

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Владимир М. Петровић

**ГЕОГРАФСКИ ИНФОРМАЦИОНИ
СИСТЕМИ У ФУНКЦИЈИ УНАПРЕЂЕЊА
УПРАВЉАЊА И ЗАШТИТЕ ИЗВОРИШТА
ПОВРШИНСКИХ ВОДА**

Докторска дисертација

Београд, 2022.

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF GEOGRAPHY

Vladimir M. Petrović

**GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS
IN THE FUNCTION OF IMPROVEMENT OF
SURFACE WATER SOURCE MANAGEMENT
AND PROTECTION**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2022.

Ментор:

др Мирољуб Милинчић, редовни професор
Универзитет у Београду, Географски факултет

Чланови комисије за преглед, оцену и одбрану:

др Мирољуб Милинчић, редовни професор
Универзитет у Београду, Географски факултет

Датум одбране докторске дисертације: _____, Београд

Захвалница

Желим да се захвалим мојој Милици, која ми је током израде докторске дисертације била неизмерна подршка и која је заслужна да постигнем овакве резултате.

Посебну захвалност дугујем мојим ћеркама Илини и Тилији, мојим најдражим и најискренијем бићима. Хвала им за сваки дан који су ми улепшале својим осмехом и инспирисале бескрајним питањима.

Искрену захвалност изражавам професору Мирољубу Милинчићу, првенствено за прихватање менторства, а потом за све добронамерне савете, сугестије и мотивацију у раду.

Велику захвалност дугујем мојим колегама из Института за хемију, технологију и металургију на помоћи и подршци коју су ми пружили током израде овог рада.

Такође, желим да се захвалим колегама у Војногеографском институту на помоћи при обради података, чиме су ми олакшали израду практичног дела рада.

ГЕОГРАФСКИ ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ У ФУНКЦИЈИ УНАПРЕЂЕЊА УПРАВЉАЊА И ЗАШТИТЕ ИЗВОРИШТА ПОВРШИНСКИХ ВОДА

Сажетак

Вода је живот. Живот на нашој планети је настао у води и постоји захваљујући њој. Адекватно управљање и заштита водних ресурса је од виталног значаја за развој једног друштва, заштиту здравља људи и очување животне средине у целини.

Када се сагледају геопросторне карактеристике територије Републике Србије, просторни и временски размештај водних ресурса и њихових корисника, као и интеракција у области коришћења вода, заштите вода и заштите од вода, може се закључити да се на читавој територији Републике Србије овим ресурсом мора управљати интегрално. То је оствариво само пуним ослањањем на савремене геопросторне технологије и информационе системе који омогућавају прикупљање, обраду, анализу и чување релевантних географских података, односно њихову интеграцију у оквиру географских информационих система (ГИС).

Дигитални модел висина (ДМВ) је једно од основних геопросторних обележја и користи се у геоморфолошким, географским, хидролошким и еколошким истраживањима. Омогућава издавајње основних карактеристика терена као што су надморска висина, нагиб терена, издавајње сливова и дренажних мрежа итд. Предмет ове дисертације је ГИС у функцији унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода. Основни циљ је креирање новог ГИС концепта управљања и заштите изворишта површинских вода, са фокусом на функционалност дигиталног приказа рељефа при хидрографско - хидролошкој анализи. Циљеви у практичном делу рада су израда ДМВ из различитих извора, у више просторних резолуција, односно степена детаљности, као и њихова упоредна анализа у смислу квалитета, употребљивости и корелативности. Коришћењем метода даљинске детекције, такође је учињен корак у унапређењу детектовања и утврђивања положаја водних тела од интереса. Ово је урађено базирајући се на локални територијални оквир, односно на подручје Власинског језера и околине и дела слива реке Љиг. Овиме се постиже побољшање у процесу интегралног управљања извориштима површинских вода.

Апсолутна контрола и заштита водних ресурса не постоји, али је потребно предузимати мере и поступке како би се развијала концепција интегралног управљања и заштите. Добијени резултати и понуђена решења последица су истраживачког рада обављеног уз примену научних метода, пре свега анализе и синтезе како у теоријском тако и у практичном приступу.

Овај рад по свом садржају и структури, односно уочавању и дефинисању слабих страна досадашњег начина управљања водним ресурсима у Републици Србији, те пројектовање потпуно нових решења на том пољу, представља посебан допринос у географско - хидрографским истраживањима.

Кључне речи: ГИС, изворишта, ДМВ, екологија, управљање

Научна област: Геонауке – Географија

Ужа научна област: Геопросторне основе животне средине

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS IN THE FUNCTION OF IMPROVEMENT OF SURFACE WATER SOURCE MANAGEMENT AND PROTECTION

Abstract

Water is life. Life on our planet originated in water and exists thanks to it. Appropriate management and protection of water resources is very important for the development of a society, protection of human health and preservation of the whole environment.

Considering the geospatial characteristics of the territory of the Republic of Serbia (spatial and temporal distribution of water resources) as well as the interactions of water supply, water protection and protection from water, with water resources should be managing integrally on the entire territory. This is possible only by full reliance on modern geospatial technologies and information systems that enable the collect, process, analyses and storage geographic data, and their integration within geographic information systems (GIS).

Digital elevation model (DEM) is one of the essential geospatial data and uses in geomorphological, geographical, hydrological, and environmental applications. It allows extracting essential terrain features such as elevation, slope, watersheds and drainage network etc. The subject of this dissertation is GIS in the function of improvement of surface water source management and protection. The main goal is to create a new GIS concept of surface water source management and protection, with a focus on the functionality of digital relief representation in hydrographic - hydrological analysis. Goals in the experiment is to create as many DEM, from different sources, in different spatial resolutions and degrees of detail, and their comparative analysis in terms of quality, usability and correlation. Using remote sensing methods, improving detection and positioning of water bodies of interest, has been taken also. GIS concept is tested in two different study areas, Vlasina Lake with surroundings and river Ljig basin. As a result we got, integrated management of surface water sources and monitoring on effective and better way.

Absolute control and protection of water resources does not exist, but it is necessary to take measures and procedures in order to develop the concept of integrated management and protection. Results and the offered solutions are a consequence of the research work performed with the application of scientific methods, primarily analysis and synthesis in both theoretical and practical approaches.

Noticing and defining the weaknesses of the current way of management of surface water sources in Republic of Serbia, and designing completely new solutions in this field, represents a special contribution to geographical and hydrographic research.

Key words: *GIS, water sources, DTM, ecology, management*

Scientific field: *Geosciences - Geography*

Scientific subfield: *Geospatial and Environmental Science*

Скраћенице

1. ГИС - Географски Информациони Систем
2. LiDAR - Light Detection And Ranging
3. ДМВ - Дигитални Модел Висина
4. WFD - Water Framework Directive
5. INSPIRE - Infrastructure for Spatial Information in the European Community
6. GNSS - Global Navigation Satellite Systems
7. ЕУ - Европска Унија
8. АЗЖС - Агенција за заштиту животне средине
9. РХМЗ - Републички Хидрометеоролошки Завод
10. ИПП - Инфраструктура Просторних Података
11. ВИС - Водни Информациони Систем
12. НИПП - Национална Инфраструктура Геопросторних Података
13. UML - Unified Modeling Language
14. ВГИ – Војногеографски институт „Генерал Стеван Бошковић”
15. ЦГТБП25 – Централна ГеоТопографска База Података у размери 1:25.000
16. РГЗ - Републички Геодетски Завод
17. КВО50 - Карта Водо Објеката 1:50.000
18. WISE - Water Information System for Europe
19. ISO - International Organization for Standardization
20. ETRS89 - European Terrestrial Reference System 1989
21. SPACE-O - Space Assisted Water Quality Forecasting Platform
22. ЕОМАР - Earth Observation and Environmental Services GmbH & Co.
23. МИР - Modular Inversion and Processing System
24. GPS - Global Positioning System
25. UAV - Unmanned Aerial Vehicle
26. SfM - Structure from Motion
27. INS - Инерцијални Систем
28. SAR - Synthetic Aperture Radar
29. OBIA - Object Based Image Analysis
30. DEM – Digital Elevation Model
31. ТИИ (TIN) - Triangulated Irregular Network
32. UTM - Universal Transverse Mercator
33. NDWI - Normalized Difference Water Index
34. NIR - NearInfraRed
35. SWIR - Short Wavelength InfraRed
36. WGS84 - World Geodetic System 1984
37. OSM - Open Street Map
38. CopDEM - Copernicus Digital Elevation Model

САДРЖАЈ:

САДРЖАЈ:.....	2
1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	4
1.1. ПРЕПОЗНАВАЊЕ И ЗНАЧАЈ ПРОБЛЕМА.....	5
1.2. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА	6
1.3. ХИПОТЕЗЕ	7
1.4. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА.....	8
1.5. СТРУКТУРА РАДА.....	9
2. АНАЛИЗА ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ	11
2.1. ПРАВНИ ОКВИР УПРАВЉАЊА И ЗАШТИТЕ ПОВРШИНСКИХ ВОДА	11
2.1.1. ПОСТОЈЕЋИ ИНСТИТУЦИОНАЛНИ СИСТЕМ И НАДЛЕЖНОСТИ.....	13
2.2. ОЦЕНА ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА У СЕКТОРУ ВОДА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ.....	14
2.2.1. ВОДОПРИВРЕДНА ИНФРАСТРУКТУРА.....	17
2.2.2. ИЗВОРИШТА ПОВРШИНСКИХ ВОДА.....	19
2.3. ИНТЕГРАЦИЈА ГИС СИСТЕМА И ПОДАТАКА О ВОДНИМ РЕСУРСИМА	24
2.3.1. НАЦИОНАЛНА ИНФРАСТРУКТУРА ГЕОПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА	25
2.3.2. ЦЕНТРАЛНА ГЕОТОПОГРАФСКА БАЗИ ПОДАТАКА ВГИ-А	29
2.3.3. ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ О ВОДАМА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ.....	32
3. УПРАВЉАЊЕ И ЗАШТИТА ВОДА У СВЕТУ	36
3.1. ЗНАЧАЈ ИНФРАСТРУКТУРЕ ПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА	37
3.2. ИСКУСТВА УПРАВЉАЊА И ЗАШТИТЕ ВОДА У ЕВРОПИ.....	38
3.2.1. ОКВИРНА ДИРЕКТИВА О ВОДАМА ЕВРОПСКЕ УНИЈЕ	38
3.2.2. ПРЕПОРУКА ЗА ГЕОГРАФСКИ ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМ	39
3.2.3. INSPIRE ДИРЕКТИВА И СПЕЦИФИКАЦИЈА ПОДАТАКА О ХИДРОГРАФИЈИ	40
3.2.3.1 <i>Садржај и структура података о хидрографији.....</i>	<i>42</i>
3.3. УПРАВЉАЊЕ ВОДНИМ РЕСУРСИМА У СЛОВЕНИЈИ.....	47
3.4. SPASЕ - О ПЛАТФОРМА.....	52
4. ТРЕНДОВИ У ИНФОРМАЦИОНИМ ТЕХНОЛОГИЈАМА И ГИС.....	58
4.1. СКУПОВИ ПОДАТАКА О ПРОСТОРУ И СТАНДАРДИЗАЦИЈА	58
4.1.1. ВЕЛИКИ СКУПОВИ ПОДАТАКА.....	59
4.1.2. СТАНДАРДИЗАЦИЈА ГЕОГРАФСКИХ ИНФОРМАЦИЈА.....	60
4.2. ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА ПРИКУПЉАЊЕ ГЕОПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА	62
4.2.1. ДИГИТАЛНА ФОТОГРАМЕТРИЈА И UAV СИСТЕМИ	62
4.2.2. ДАЉИНСКА ДЕТЕКЦИЈА	64
4.2.3. LiDAR ТЕХНОЛОГИЈА	66
4.2.4. РАДАРСКО СНИМАЊЕ.....	67
4.2.5. GNSS ТЕХНОЛОГИЈА.....	69
4.3. ГЕОГРАФСКИ ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ	69
4.3.1. КОМПОНЕНТЕ ГЕОГРАФСКИХ ИНФОРМАЦИОНИХ СИСТЕМА.....	70
4.3.2. БАЗА ГЕОГРАФСКИХ ПОДАТАКА.....	71
4.4. ГИС/ЗД РЕШЕЊА КАО ЕФИКАСНИ КОНЦЕПТИ ЗА ОДРЖИВО УПРАВЉАЊЕ ПОДАЦИМА	72
4.4.1. ДЕТЕКТОВАЊЕ РЕЧНИХ ТОКОВА И ВОДНИХ ТЕЛА НА САТЕЛИТСКИМ СНИМЦИМА	73
4.4.2. ДИГИТАЛНИ МОДЕЛИ ТЕРЕНА	74

5. КОНЦЕПТ УНАПРЕЂЕЊА УПРАВЉАЊА И ЗАШТИТЕ ИЗВОРИШТА ПОВРШИНСКИХ ВОДА.....	79
5.1. ОСНОВНИ СКУП И ОРГАНИЗАЦИЈА ПОДАТАКА О ПРОСТОРУ	80
5.1.1. МАТЕМАТИЧКА ОСНОВА	80
5.1.1.1. <i>Картографска пројекција.....</i>	82
5.1.2. ПОЛОЖАЈНА ПРЕДСТАВА ТЕРЕНА	83
5.1.2.1. <i>Хидрографија.....</i>	83
5.1.2.2. <i>Саобраћајна мрежа и путеви.....</i>	84
5.1.2.3. <i>Насељена места.....</i>	85
5.1.2.4. <i>Тло и вегетација.....</i>	85
5.1.3. ВИСИНСКА ПРЕДСТАВА ТЕРЕНА.....	86
5.1.3.1. <i>Дигитални модел висина високе резолуције.....</i>	86
5.2. ТЕМА ИЗВОРИШТА ПОВРШИНСКИХ ВОДА	87
5.2.1. ДОСТУПНОСТ ГЕОПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА	87
5.2.2. МОДЕЛОВАЊЕ ГЕОПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА	91
5.2.2.1. <i>Геометрија изворишта површинских вода.....</i>	91
5.2.2.2. <i>Топологија изворишта површинских вода.....</i>	93
5.2.2.3. <i>Атрибути изворишта површинских вода.....</i>	95
5.3. ПОДАЦИ О КВАЛИТЕТУ И МЕТАПОДАЦИ	97
6. ПРАКТИЧНИ ДЕО РАДА	98
6.1. ГЕОГРАФСКО ПОДРУЧЈЕ ОД ИНТЕРЕСА	98
6.1.1. ВЛАСИНСКО ЈЕЗЕРО И ОКОЛИНА	99
6.1.2. ДЕО СЛИВА РЕКЕ ЉИГ.....	105
6.2. ХАРДВЕРСКО - СОФТВЕРСКО ОКРУЖЕЊЕ.....	108
6.2.1. РАЧУНАРСКА ОПРЕМА И ТЕХНОЛОГИЈА.....	108
6.2.2. СОФТВЕРСКО ОКРУЖЕЊЕ И ПРОГРАМИ ЗА РАД.....	109
6.3. ИЗВОРИ ПОДАТАКА ЗА ИЗРАДУ ДМВ	110
6.3.1. ПОДАЦИ ПРОГРАМА <i>COPERNICUS</i>	110
6.3.2. ПОДАЦИ ВОЈНОГЕОГРАФСКОГ ИНСТИТУТА „ГЕНЕРАЛ СТЕВАН БОШКОВИЋ”.....	111
6.4. ПОСТУПАК ИЗРАДЕ ДМВ	113
6.4.1. ГЕНЕРИСАЊЕ ДМВ ИЗ ЦГТБП25.....	113
6.4.2. ГЕНЕРИСАЊЕ ДМВ ИЗ <i>COPDEM30</i>	116
6.4.3. ГЕНЕРИСАЊЕ ДМВ ИЗ ЛАСЕРСКОГ СНИМАЊА	117
6.5. ИЗДВАЈАЊЕ ВОДНИХ ТЕЛА ИЗ САТЕЛИТСКИХ СНИМАКА.....	119
7. АНАЛИЗА И ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА	123
7.1. АНАЛИЗА ВИСИНСКЕ ПРЕДСТАВЕ ТЕРЕНА	123
7.1.1. ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ВИСИНСКЕ ПРЕДСТАВЕ ТЕРЕНА	124
7.1.2. АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ ДМВ РЕЧНОГ КОРИТА РЕКЕ ЉИГ.....	127
7.2. ХИДРОГРАФСКО - ХИДРОЛОШКА АНАЛИЗА И УТВРЂИВАЊЕ ПАРАМЕТАРА	129
7.2.1. ОДРЕЂИВАЊЕ СМЕРА ОТИЦАЊА ВОДЕ	132
7.2.2. ПОДЕЛА ПОДРУЧЈА НА ДРЕНАЖНЕ БАСЕНЕ.....	133
7.2.3. ФОРМИРАЊЕ АКУМУЛАЦИЈЕ ВОДЕ.....	134
7.2.4. УТВРЂИВАЊЕ СТАЛНИХ И ПОВРЕМЕНИХ ТОКОВА.....	136
7.2.5. АНАЛИЗА ПОЛОЖАЈНЕ ТАЧНОСТИ ИЗВЕДЕНИХ ТОКОВА РЕКЕ ЉИГ И КАЧЕР.....	139
7.2.6. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ЗА ПОДРУЧЈЕ ВЛАСИНСКОГ ЈЕЗЕРА И ОКОЛИНЕ	141
7.3. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ДОБИЈЕНИХ ДАЉИНСКОМ ДЕТЕКЦИЈОМ.....	147
8. ЗАКЉУЧАК	150
ЛИТЕРАТУРА	154

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Вода је живот. Живот на нашој планети је настао у води и постоји захваљујући њој. Истовремено, вода је и важан ресурс, незамењив у индустријској и пољопривредној производњи, производњи електричне енергије, изградњи насеља и саобраћајница и другим делатностима на којима почивају опстанак и развој људског друштва.

За човека је најважнија слатка (пијаћа) вода која чини свега 3% укупне воде на Земљи. Развој цивилизације и све већи број људи на планети довео је до угрожавања слатке воде, загађивањем и нерационалним трошењем, тј. односом према слаткој води као неограниченом и непромењивом ресурсу. Томе су посебно изложене површинске воде. Стога њих треба заштитити и користити их на одговоран и одржив начин. Другим речима, водама треба управљати.

Управљање и коришћење површинских вода *a priori* зависи од њихових квантитативних и квалитативних одлика. У условима нарастања значаја акумулисане воде и простора као ограничених ресурса, треба да расте и значај њихове заштите, потреба за системским решењима заштите, као и дефинисање мера и режима понашања (Милинчић, 2009; Гавриловић и др., 2011). Иако није могуће елиминисање свих могућих ризика и постизања апсолутне сигурности, могући негативни утицаји се могу минимизирати. Ово је данас једно од најважнијих питања у свету и представља кључни проблем истраживања у овом раду.

„Имајући у виду геопросторне карактеристике територије Републике Србије, просторни и временски размештај ресурса вода и њихових корисника, као и међусобну интеракцију коришћења вода, заштита вода и заштитом од вода на читавој територији Републике Србије мора се газдовати интегрално, јединствено, комплексно и рационално” (Институт „Јарослав Черни”, 2001).

То је оствариво само пуним ослањањем на савремене геопросторне технологије и информационе системе који омогућавају прикупљање, обраду, анализу и чување релевантних географских информација, односно њихова интеграција у оквиру географских информационих система (ГИС).

Представљање терена са свим његовим карактеристикама (посебно са висинског аспекта) од кључне је важности за праћење појава и стања изворишта површинских вода. Раније су се многе анализе и само праћење хидролошких појава изводили коришћењем катастарских планова, општих географских карата или топографских карата одређених размера у аналогном облику. То је захтевало доста времена и напора, а прецизност и тачност добијених резултата често је била недовољна. Примена дигиталних технологија омогућила је брже прикупљање података о простору, њихову обраду и разноврсније анализе. Ови подаци кроз ГИС добијају и динамичну компоненту коју аналогни подаци о простору немају.

У Републици Србији постоје одређени ГИС системи и сервиси о водама који су у надлежности појединих државних институција и субјеката. Њихов развој и примена су значајно унапредили дотадашњи начин рада. Међутим, пошто су настајали сепаратно, са циљем да се унапреде задаци у надлежности конкретне институције, поједини ресурси се преклапају, а неки немају потребну интероперабилност.

Интеграцијом више ГИС сервиса и информационих система о водама у јединствен ГИС систем за потребе мониторинга водних ресурса, обезбедио би се ефикаснији систем мониторинга и управљања водним ресурсима на националном нивоу. Штавише, интеграција у јединствен систем се намеће као императив у савременим сложеним климатолошким, хидролошким и еколошким условима (Секуловић и др., 2021). Примена интегрисаног ГИС-а у функцији унапређења управљања и заштите вода је веома важна, а његова посебност је у томе што омогућава повезивање свих активности и појава у простору са стањем (квалитет) изворишта површинских вода (Liu et al, 2015; Dogan et al., 2016; Na NT et al., 2017; Koraran et al., 2018). Успостављање јединственог ГИС система о водама је сложен, дуг и скуп посао, али је и предуслов ефикасног доношења одлука.

Протеклих неколико година уложени су значајни напори у развоју нових сервиса и поступака за аутоматско препознавање и праћења водних тела на основу сателитских снимака (Verroorter et al., 2014; Ogashawara and Moreno-Madriñán, 2014; Jakovljević, 2020). Посебно су интересантни сателитски снимци и алгоритми за издвајање водних тела у односу на топографску површ. У истом периоду је значајно напредовала и LiDAR (Light Detection And Ranging) технологија, као и радарско снимање. Ово су технологије које се могу интегрисати у ГИС заједно са другим подацима о простору, у конзистентан оквир погодан за разноврсне анализе.

Тако се долази до предмета овог рада, а то је примена ГИС-а у функцији унапређења управљања извориштима површинских вода, базирана на моделовању висинске представе терена за потребе хидрографско - хидролошких анализа.

1.1. Препознавање и значај проблема

„Дуго се сматрало да природни ресурси (нарочито вода) не постоје као релевантан економски чинилац и да су јавна и бесплатна добра, доступна у неограниченим количинама. За разлику од већег дела историје човечанства, када је вода одговарајућег квалитета била готов и релативно лако доступан „слободни ресурс”, она то више није. Та времена „водног изобиља” из данашње перспективе општег лошег стања, великих водних дефицита и све већих проблема њеног обезбеђења, неповратно су прошла. Зато је обезбеђење воде постало императив друштвених заједница по цену великих људских, просторних, организационих, еколошких, материјалних и других ограничења, а њено управљање – „контрола живота и власти” (Милинчић, 2009).

„Вода је латентни капитал сваке територије и друштвене заједнице, њихов услов настанка, опстанка и развоја. За човека, друштвене заједнице и живи свет уопште, она је егзистенцијална од искона – једна од првих тзв. неутралних материја која је постала људски ресурс” (Hunker and Erich, 1964).

„Пораст свести о еколошкој кризи ствара услове у којима наука и друштвена пракса географије и животне средине има потребу и улогу развоја. Уосталом, друштво никад није било толико заинтересовано за питања водних ресурса и животне средине, као што је то случај данас. У многим земљама ови проблеми се третирају као научно - развојни и егзистенцијално веома значајни” (Milinčić i dr, 2014). Перцепција проблема очувања изворишта површинских вода и животне средине доприноси развоју нових технологија и практичног сазнања за стање геопростора, као и већој афирмацији географије у области животне средине.

Подаци о простору представљају важан ресурс за обављање многих задатака и активности у привреди. У ванредним ситуацијама нпр. надлежне институције имају потребу

за поузданим подацима. Поуздани подаци о извориштима површинских вода, и о водним ресурсима уопште, потребни су пре свега водопривредним предузећима и институцијама јавне управе како би политика управљања и заштите вода била ефикасна. Ту је пре свега пресудна локација изворишта. Користећи географске информације, решавање појединих проблема је олакшано (одређивање положаја, сагледавање окружења и актуелне ситуације, анализа квалитетног или најкраћег пута до места интервенције и сл.).

Има и других примера у разним подручјима од водопривреде до екологије и туризма у којима геопросторни подаци играју веома важну улогу (Стојковић и др., 2015). Стога треба спровести истраживање на основу којих је могуће прикупити, моделовати и анализирати потребне информације о геопростору на бољи начин када су у питању воде и изворишта вода. Подаци о извориштима површинских вода имају специфичне карактеристике и пружају одређене погледе на стање и појаве, али имају и одређене потребе у смислу динамике изворишта и праћења воде кроз време и простор. Ако се каже да су геопросторни подаци важни за ефикасно доношење одлука те тиме и за побољшање квалитета управљања и заштите изворишта површинских вода, исто вреди и за информационе системе о њима. Подаци о простору и извориштима површинских вода се логички и функционално могу хармонизовати кроз ГИС. Наиме, примери употребе података о извориштима су и примери употребе ГИС-а. У данашње време користећи нове технологије за прикупљање, приказ и анализу података, могућности примене ГИС-а су безбројне. Тиме ГИС постаје незаобилазан у подручјима као што су мониторинг, управљање и заштита изворишта површинских вода.

Услов успешног коришћења геопросторних података у данашње време подразумева њихово располагање у дигиталном облику и организовање на савремени начин, погодан за даљу рачунарску обраду. Један од основних задатака који се при том јавља јесте избор геопросторних података и технологије процесирања, односно начина управљања и заштите изворишта површинских вода. Идеално би било располагати подацима о свим извориштима и могућим ризицима, односно постизања апсолутне информисаности и сигурности. Како то није могуће, тај проблем се у пракси решава избором врсте изворишта и минимизирањем могућих негативних утицаја. Поред тога, подаци о извориштима не могу се изоловано посматрати од стандардних поступака откривања, управљања и заштите вода. Стога се од овог рада очекују и одговори везани за практичну применљивост предложених решења у савременим условима, посебно ако се имају у виду могућности ГИС-а и његова примена.

Прецизније и интегрисане информације које се односе на геопростор и сама изворишта површинских вода, као што је сагледавање њиховог положаја и стања, квантитативних и квалитативних карактеристика, доприносе значајно институцијама и грађанима да управљају и заштите ресурсе вода на ефикаснији начин применом нових технологија. Полазећи од искустава неких развијених земаља, у овом раду биће учињен покушај да се са становишта савремене геонауке и технологије дају предлози за унапређење у процесу праћења и управљања извориштима површинских вода.

1.2. Циљеви истраживања

Основни циљ истраживања је, пре свега, утврђивање могућности унапређења постојећег концепта у управљању, коришћењу и заштити изворишта површинских вода, засновано на примени савремених ГИС технологија. С тим у вези, дефинисани су следећи подциљеви:

- Анализа правног оквира управљања и заштите површинских вода и преглед стања изворишта површинских вода у Републици Србији;

- Анализа искуства развијених земаља у окружењу;
- Преглед важних директива и стандарда који се односе на водне ресурсе и податке о простору у дигиталном облику;
- Сагледавање савремених технологија за прикупљање, обраду и анализу података о простору и водним ресурсима;
- Проналажење оптималних организацијских решења за иницијално формирање ГИС концепта;
- Усвајање новог приступа у управљању и заштити површинским извориштима, који би, с једне стране одговарао законским нормативима и прописима заштите водних ресурса, а са друге стране задовољавао потребе савременог начина руковања геопросторним информацијама применом ГИС технологије;
- Утврђивање погодности, разноврсности и примене 3Д модела терена;
- Практична провера предложених ГИС решења на изабраним подручјима;

За остваривање наведених подциљева у оквиру овог истраживања потребно је:

- Анализирати комплексан однос водни ресурс/природа/човек;
- Анализирати правни/институционални оквир, међународне директиве и стандарде;
- Размотрити опште карактеристике постојећих информационих система о водама;
- Сагледати могућности технологије ГИС за моделовање и организацију података, у погледу значаја, употребљивости, корелативности;
- Размотрити опште карактеристике постојећих технологија и извора података за изградњу модела геопросторних база података;
- Размотрити организацијске аспекте везане за иницијално прикупљање, обраду и одржавање садржаја о површинским извориштима;
- Анализирати могуће концепте управљања и заштите изворишта површинских вода, вредновати их и одабрати оптимално решење;
- Практично проверити предложена решења на меродавним тест подручјима;
- Анализирати вишенаменске аспекте коришћења ГИС система у датој области.

Стога ће у развојно - примењеном делу бити нужно да се простудирају досадашња искуства и концепти управљања о водама. Такође, у контексту нових технологија потребно је сагледати иновативни концепт унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода.

1.3. Хипотезе

Општа хипотеза у раду је да се применом ГИС-а могу унапредити одређене активности и успоставити свеобухватнији систем одрживог управљања и заштите изворишта површинских вода. Нарочито се наглашава 3Д компонента и примена дигиталних модела висина (ДМВ), тј. њихова улога и допринос унапређењу управљања извориштима површинских вода и њихове заштите.

Полазећи од опште хипотезе, изведене су следеће разрађујуће хипотезе у овом истраживању:

- Тренутни начин управљања и заштите изворишта површинских вода не обезбеђује довољно детаљан скуп података и информација из области;
- Нове технологије и поступци омогућавају поузданије управљање и заштиту. Од посебног значаја је интерактивно посматрање ДМВ и хидролошких појава, односно компаративна анализа геоморфометријских параметара и изворишта површинских вода;

- Избором ГИС технологија и одговарајућом методологијом за прикупљање и обраду просторних података, могуће је поставити основе за развој нових решења у функцији унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода;
- Применом ГИС решења у процесу управљања водним ресурсима, могу се прецизније сагледати и утврдити евентуалне слабости у систему, односно побољшати управљање и заштита изворишта површинских вода;
- Развојем новог приступа допринеће се интегративном систему у управљању водним ресурсима на нивоу Европе.

1.4. Методе истраживања

Предмет истраживања и постављени циљеви захтевају избор најпогоднијих метода за доказивање постављених хипотеза, потребна објашњења, проверавања и доказивања ставова, као и презентовања постигнутих резултата.

Основна карактеристика научног сазнања у овој дисертацији указује на постојање проблема и феномена актуелног управљања извориштима површинских вода и његове манифестације приликом коришћења и заштите екосистема. Истраживање треба да појасни повезаност појединих поступака у процесу управљања водама, утврди могуће грешке у процесу коришћења и заштите изворишта површинских вода, као и да сагледа узрочно-последичне везе које у том смислу постоје. Методологија истраживања у овој дисертацији, такође, полази од анализе досадашњих истраживања и оцене квалитета постојећих ГИС система како у Републици Србији тако и у појединим европским државама. На основу теоријских разматрања и практичних провера на меродавним тест подручјима, ова дисертација треба да омогући нова индуктивно - дедуктивна закључивања.

Теоријски део истраживања заснива се на анализи постојећег стања (анализа текста писаних научних и стручних радова који су у вези са тематиком) које се односи на управљање и заштиту изворишта површинских вода и уочавању његових слабих страна. Осим методе анализе, у истраживањима се користи метод синтезе расположивих сазнања на пољу географије, геодезије, картографије и ГИС-а.

Концепција и програм истраживања прилагођени су конкретно постављеним научно истраживачким задацима, односно циљевима истраживања. Наведене су главне научне методе и технике истраживања које су коришћене:

- Метода дескрипције;
- Геопросторна анализа и синтеза;
- Географско - еколошки метод;
- Геостатистичке методе;
- Метод непосредног посматрања простора и компоненти животне средине;
- Моделовање геопросторних података;
- Дигитално моделовање терена;
- Метод даљинске детекције;
- Метод квалитативне валоризације;
- Класификација као метод истраживања.

Технике истраживања:

- Примена ГИС технологија;
- Примена ГПС технологије;
- Примена LIDAR и радарског снимања;
- 3Д моделовање терена и геостатистичка анализа;

- Мултиспектрална анализа сателитских снимака;
- Картографске технике и визуализација.

Посебан значај и примену има метода дигиталног моделовања терена. Сам поступак моделовања се састоји у томе да се уоче геоморфолошке одлике терена и битни чиниоци изворишта површинских вода или појаве у вези са тим. Такође, познавање процеса моделовања геопросторних података од виталног је значаја за разумевање и правилну интерпретацију функционисања ГИС-а, односно анализе и упоређивање добијених модела са стварношћу.

1.5. Структура рада

Излагање целокупне материје у докторском раду може се суштински поделити у три основне целине, и то: анализа постојећег стања, концепт идејних (нових) решења и резултати експеримента у раду. Међутим, по својој структури рад је подељен у осам основних поглавља и неколико потпоглавља.

У *првом поглављу* описана је идеја и мотивација за рад на дисертацији. Наведена је проблематика којом се рад бави и дефинисани су циљеви, те описан план и методе истраживања. Постављена је општа и разрађујуће хипотезе истраживања да је могуће унапредити постојеће концепте управљања извориштима површинских вода и формирати квалитетнији ГИС систем о водама. Притом, потребно је ускладити законодавни и институционални оквир с међународним стандардима и прописима у циљу хармонизације и принципом интероперабилности података за потребе праћења и анализе. У циљу испитивања постављених хипотеза образложена је потреба сагледавања постојећег стања и искуства у свету и код нас.

У *другом поглављу* анализирано је садашње стање управљања и заштите изворишта површинских вода код нас. Посебно су описани правни оквир и институцијалне надлежности у области управљања и заштите вода у Републици Србији. На крају поглавља дат је резиме о степену интеграције ГИС система и података о водним ресурсима код нас. Тиме се усмерава приступ пројектовању и моделовању будућег стања управљања и заштите изворишта површинских вода у Републици Србији.

У *трећем поглављу* је описана оквирна директива о водама Европске уније (*Water Framework Directive - WFD*) као и *INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community)* директива. Дато је образложење стања као и искуства развијених земаља. По питању развоја и примене ГИС система у управљању водним ресурсима одабрана су одређена искуства у Европи. Циљано су одабране државе које су више од других интересантне за проблематику рада и наше географско подручје.

У *четвртом поглављу* описани су савремени трендови у информационим технологијама и ГИС-у с аспекта стандардизације, прикупљања, приказа и анализе геопросторних података. Описана је дигитална фотограметрија која је претеча даљинске детекције и сателитских мисија. Посебно је наглашена LiDAR технологија у смислу прикупљања и обраде података. За сада то је најпрецизнија и најефикаснија техника за снимање терена, на којој се базирају и скупови великих података (*big data*). Такође, описани су *Global Navigation Satellite Systems (GNSS)* системи и технологије радарског снимања. Детаљно су описане компоненте ГИС-а и базе података. И на крају, сагледана су ГИС/ЗД решења као ефикасни концепти за одрживо управљање подацима о геопростору, те описана структура и организација ДМВ у оквиру ГИС-а.

У петом поглављу је дато концептуално решење управљања и коришћења изворишта површинских вода применом ГИС-а. У њему се описује иновативни приступ и идејно решење ученог проблема. Тиме се сагледавају и описују теоријске претпоставке за практичну реализацију и верификацију нових поступака и решења. Разматран је обим основног скупа и организација геопросторних података у оквиру ГИС-а, у функцији унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода. Поред математичке основе и положајне представе терена, посебно је наглашена улога и значај висинске представе терена, односно развој и примена ДМВ високе резолуције. Посебно је издвојена тема изворишта површинских вода, те дато идејно решење за њено формирање и садржај (геометрија, топологија и атрибути). На крају, али не и најмање важно, описана је улога и значај метаподатака.

Шесто поглавље је важан корак у истраживању и реализацији предложених решења. У њему је спроведен експеримент и практично реализован нови концепт управљања извориштима површинских вода са фокусом на израду ДМВ (у оквиру ГИС-а). Провера концептуалних решења је утицала на дефинисање два радна подручја (Власинско језеро и околина и део слива реке Љиг). На овакав одабир, првенствено је утицала условљеност расположивих извора података, као и морфолошке карактеристике терена и локација дефинисаних изворишта површинских вода. Генерисани су ДМВ у различитим структурама (ГРИД, ТИН, хибридна) и са различитим степеном детаљности. У овом поглављу обављено је и издвајање водних тела са сателитских снимака *Sentinel-2* платформе.

У седмом поглављу обављена је анализа добијених резултата. Прво су анализирани добијени ДМВ. Извршена је оцена тачности добијених модела, графичко и аналитичко поређење итд. Затим је анализиран значај генерисаних ДМВ и њихова употребљивост у функцији прецизнијег управљања и заштите изворишта површинских вода. На основу генерисаних ДМВ извршено је одређивање смера отицања воде, утврђивање сталних и повремених токова, подела подручја на дренажне басене, израда и анализа хидрографске мреже итд. Извршена је верификација повезаности хидрографске мреже, односно њене усклађености с осталим географским карактеристикама (рељеф, вегетација, комуникације). Кроз неколико студија случаја анализиран је концепт дигиталног моделовања висина веома високе резолуције и детектовање/издвајање водних тела са великом положајном тачношћу. Показује се да тај поступак даје прецизније и квалитетније резултате у односу на традиционалне методе одређивања хидрографских параметара. Анализом добијених резултата може се нпр. запазити да се на моделу висина из LiDAR података могу са великом прецизношћу детектовати водотокови и њихова корита. Овиме се корита водотокова за потребе хидрографско - хидролошке анализе, могу детаљније сагледати (ширина, дубина, профил итд). С друге стране, са модела грубље просторне резолуције могу се детектовати водотокови са мањом положајном тачношћу, а само речно корито се не може идентификовати. Мултиспектралном анализом сателитских снимака са *Sentinel-2* платформе, извршено је издвајање водних тела изворишта површинских вода, утврђена обална линија и праћена промена нивоа воде на Власинском језеру.

У осмом поглављу су изведени најважнији закључци и предлози који произилазе из спроведеног истраживања, те је образложен научни допринос дисертације. На основу прегледа и вредновања резултата истраживања, потврђене су хипотезе да је могуће формирати ефикаснији приступ у управљању и заштити изворишта површинских вода, уз одређену методологију и применом ГИС-а (пре свега, утврђивањем битних веза између изворишта површинских вода и ДМВ).

2. АНАЛИЗА ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Основни циљ овог поглавља је сагледавање стања и описивање основних обележја управљања и заштите вода у Републици Србији, са тежиштем на изворишта површинских вода. Општи подаци дати су на основу законске регулативе, као и стратешких докумената и делова планске документације којом се уређује област управљања и заштите вода на територији Републике Србије. Као други основ за анализу и писање овог поглавља коришћена су и правна акта Републике Србије која се односе на инфраструктуру просторних података. Такође, коришћене су међународне директиве у области вода и у области ГИС система, за сагледавање усклађености и уочавања евентуалних слабости домаће регулативе.

Коначно, анализиран је степен имплементације савремених технологија у процесу управљања и заштите водних ресурса кроз преглед информационих система о водама у Републици Србији.

2.1. Правни оквир управљања и заштите површинских вода

„У законодавној материји Републике Србије проблематика коришћења и заштите вода је фрагментарно присутна још од времена средњовековне српске државе. Најстарији траг је повеља којом деспот Стефан Лазаревић дарује манастиру Манасији земљу и воду. Обнављањем српске државе и учвршћењем правно – политичког система донет је Казнитељниј законик за полицајне преступке Кнежевине Србије из 1850. године” (Feliks, 1974, Дукић и Гавриловић, 1989) као и „Кривични законик Кнежевине Србије из 1860. да би 26. децембра 1878. године био донет и *Закон о водама и њиховој употреби*” (Николић, 1991).

Највиши правни акт Републике Србије, *Устав Републике Србије*, („Сл. гласник РС”, бр. 98/2006), „гарантује право на здраву животну средину и благовремено и потпуно обавештавање о њеном стању. Истовремено, прописује обавезу сваког појединца – а нарочито државних органа – да се старају за заштиту и побољшање животне средине” (чл. 74).

Основни правни акт у области вода је *Закон о водама* („Сл. гласник РС”, бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016, 95/2018 и 95/2018), којим се „уређује правни статус вода, интегрално управљање водама, управљање водним објектима и водним земљиштем, извори и начин финансирања водне делатности, као и друга питања значајна за управљање водама”. Према овом документу, „воде су добро од општег интереса и у државној су својини”.

Остала правна акта важна за област вода у Републици Србији су: *Закон о заштити животне средине* („Сл. гласник РС”, бр. 135/04, 36/09 36/2009-115 (др. закон), 72/2009-164 (др. закон), 43/2011-88 (УС), 14/2016-3, 76/2018-3, 95/2018-267 (др. закон)), *Правилник о параметрима еколошког и хемијског статуса површинских вода и параметрима хемијског и квантитативног статуса подземних вода* („Сл. гласник РС”, бр.110-00-00191/2011-07), *Правилник о утврђивању водних тела површинских и подземних вода* („Сл. гласник РС”, бр. 110-00-299/2010-07), *Правилник о одређивању водних јединица и њихових граница* („Сл. гласник РС”, бр. 110-00-100/2017-07), *Правилник о референтним условима за типове површинских вода* („Сл. гласник РС”, бр. 110-00-195/2010-05), *Правилник о одређивању граница подсливова* („Сл. гласник РС”, бр. 011-00-205/2011-07), *Уредба о класификацији вода* („Службени гласник СРС”, број 5 од 3. фебруара 1968.), *Уредбу о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање* („Сл.

гласник РС”, бр. 110-4924/2011-2), Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање („Сл. гласник РС”, бр. 110-3320/2012-1)) и други.

У периоду од 2010. до 2016. године спроведена је детаљна анализа стања у водопривредном сектору и након тога дефинисан је дугорочни стратешки оквир. Као резултат, крајем 2016. године усвојена је *Стратегија управљања водама на територији Републике Србије до 2034. године*, „Сл. гласник РС”, бр. 3/17. Многа истраживања и анализе за потребе израде *Стратегије* спроведена су у Институту за водопривреду „Јарослав Черни” уз ангажовање стручњака из релевантних државних институција. Овај документ обезбеђује дугорочно планирање у сектору вода, на принципима одрживог развоја. Њиме су обухваћене све области водне делатности (од коришћења вода и заштите вода од загађења до уређења водотока и заштите од штетног дејства вода). *Стратегија* је ослоњена на истраживања која су спроведена у складу са *Законом о водама* (члан 30.) и обухвата „оцену постојећег стања управљања водама, циљеве и смернице за управљање водама, пројекцију развоја управљања водама и мере за остваривање утврђених циљева управљања водама”, а у складу са међународним правом.

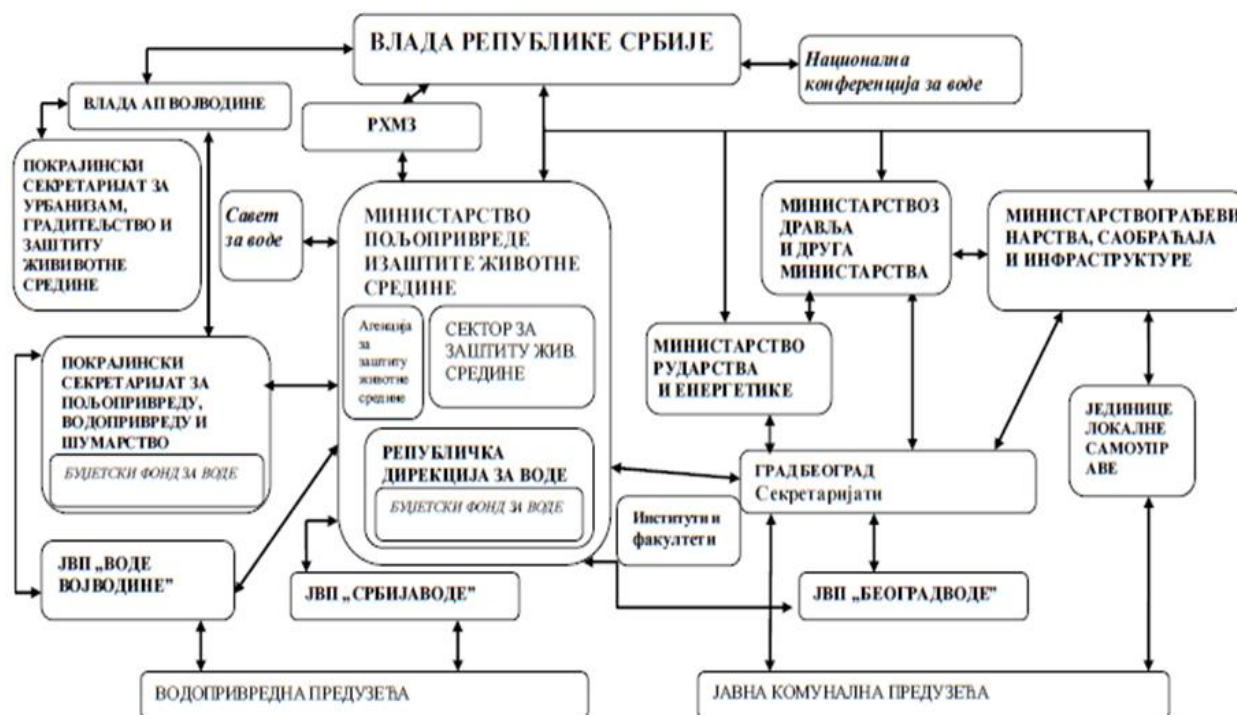
Просторни план Републике Србије од 2021. до 2035. године (ППРС) и планови јединица локалних самоуправа доносе се за територију државе и свих општина и градова на њеној територији. Стратешким планским оквиром ППРС одређене су смернице за одрживи и равномернији развој територије као и за управљање и заштиту вода. Планом је „установљена заштита простора на укупној површини од око 27.115 km² или 30% територије Републике Србије”. Од укупне површине предвиђене за заштиту, за сливна подручја изворишта регионалних система водоснабдевања, предвиђен је простор од око 11.662 km². ППРС је као један од приоритета у просторном развоју одредио заштиту овог простора у складу са режимима зона санитарне заштите подземних и површинских изворишта, које су утврђене одговарајућим подзаконским актом (*Правилник о начину одређивања и одржавања зона санитарне заштите изворишта водоснабдевања*, „Сл. гласник РС”, бр. 92/08) и планским решењима у просторним плановима подручја посебне намене. Интегрално управљање и заштита водних ресурса се позиционира као један од предуслова осталих развојних трендова.

Треба напоменути да је на снази и *Споразум о стабилизацији и придруживању* између Европске уније (ЕУ) и Републике Србије, потписан у септембру 2013. Тежиште преговарачког процеса је на усаглашавању актуелних и правних регулатива Републике Србије са правним тековинама ЕУ у оквиру 35 тематских поглавља (*МСП РС, 2017*). Поглавље 27. које обухвата област животне средине садржи преко 200 главних правних аката која регулишу питања и аранжмане о квалитету воде и ваздуха, управљању отпадом, заштити природе и биодиверзитета, контроли индустријског загађења и управљању ризиком, хемикалијама и генетски модификованим организмима (ГМО), буци и шумарству.

Очување квалитета воде једна од приоритетних области заштите животне средине и у ЕУ. Оквирна директива о водама Европске уније - WFD (*Water Framework Directive*), усвојена је 2000. године. Она успоставља оквир за спречавање даље деградације и заштиту водне средине широм Европе (ЕРС, 2000). Поред WFD, област управљања водама је регулисана низом правних аката ЕУ (*Директива о стандардима квалитета животне средине у области политике вода 2008/105/ЕС, Директива о води за пиће 2007/6/ЕС, Директива о третману градских отпадних вода 91/271/ЕЕЗ, Директива о поплавама 2007/60/ЕЗ*, итд.), са којима се усаглашавају национални закони држава чланица, као и земаља које теже чланству.

2.1.1. Постојећи институционални систем и надлежности

Управљање водама Република Србија регулише пре свега преко Министарства пољопривреде и заштите животне средине. Управљање се врши и кроз нека друга министарства, затим различите органе, од аутономних покрајина до органа локалне самоуправе и јавних водопривредних предузећа. Интегрално управљање водама на целој територији државе може се обезбедити само координисаном активношћу свих наведених субјеката (Слика 1).



Слика 1. Шема надлежности у области управљања и заштите вода у Републици Србији (Извор: Сл. Гласник РС, 2017)

Највеће управне надлежности у управљању водама и уопште заштити животне средине, има Министарства пољопривреде и заштите животне средине. Саме активности у области управљања водама ближе су утврђене *Законом о водама (Закон о водама, 2018)*. Према овом закону, „Министарство пољопривреде и заштите животне средине, припрема и доноси подзаконска акта, израђује стратешка и планска акта за територију Републике Србије и даје сагласност на акта која доносе органи АП Војводине и главног града”. Обавља регулаторну функцију, спроводи међународну политику у области вода, одржава информациони систем у области вода и врши инспекцијски надзор у области заштите животне средине.

За послове управљања водама надлежна је Републичка дирекција за воде, која се налази у оквиру Министарства пољопривреде и заштите животне средине. Дирекција је одговорна и за имплементацију бројних директива Европске уније у национално законодавство, а које се односе на област вода

У саставу овог министарства налази се и Агенција за заштиту животне средине (АЗЖС). Надлежности АЗЖС у области вода пре свега подразумевају мониторинг квалитета површинских и подземних вода. Ова надлежност је пренета АЗЖС 2011. године. До тада је то била надлежност Републичког хидрометеоролошког завода (РХМЗ). Тиме су раздвојене надлежности у области мониторинга квалитета воде (АЗЖС) и водних биланса (РХМЗ).

У Републици Србији постоје три јавна водопривредна предузећа (ЈВП): ЈВП „Србијаводе”, ЈВП „Воде Војводине” и ЈВП „Београд воде”. Водопривредна предузећа припремају програме и планове, надлежни су за одржавање водних објеката и система, за одбрану од поплава као и заштиту од ерозије и бујица. Такође, „припремају мишљења за издавање водних аката, врше идентификацију водних тела површинских и подземних вода намењених за људску потрошњу, воде регистре заштићених области и информациони систем за своју територију” (Сл. Гласник РС, 2017).

Пословима који се односе на водоснабдевање и каналисање отпадних вода баве се и комунална предузећа. Заводи за заштиту здравља, Заводи за заштиту на раду, Заводи за заштиту природе Републике Србије, затим пројектантске и планерске организације, као и научно - истраживачке организације, институти и факултети, употпуњују интегрални систем управљања водама.

2.2. Оцена постојећег стања у сектору вода у Републици Србији

Извод и оцена стања водних ресурса и водопривредне инфраструктуре у Републици Србији урађен је на основу релевантне литературе и документације из те области (Nikić i Vasiljević, 2002; Dokmanović i dr., 2003; Jemcov i Dokmanović, 2007; Милинчић, 2009; Zlatković i dr., 2010; Гавриловић и др., 2011; Milinčić i Đorđević, 2011; Dokmanović i Nikić, 2015; Сл. Гласник РС, 2017; ППРС, 2021). „Развој водопривредне инфраструктуре, као и укупни развој Републике Србије, одвијају се у сложеним условима због чињенице да је Република Србија водом сиромашна земља, са веома неповољним и неравномерним водним режимима. Просечне годишње падавине у Србији су око 730 mm и варирају од 500 mm у деловима Бачке и Баната, па до око 1.500 mm у планинским зонама по рубним подручјима Републике Србије. Падавине се генерално смањују идући од запада према истоку. Највећи део падавина утроши се на евапотранспирацију (око 530 mm), тако да се у отицање претвара просечно само око 180 mm. Територија Републике Србије је подељена између три морска слива: Црноморски слив (81.261 km², око 92% територије), којем припада и највећи домаћи слив, слив Велике Мораве (око 38.207 km²), затим Јадрански слив (око 5% територије) и Егејски слив (око 3% територије)” (ППРС, 2021).

Треба истаћи да су водни режими веома неравномерни у Републици Србији. „Водотоке Републике Србије одликују бујични режими, тако да код мањих река чак преко 50% годишњег биланса вода протекне у кратким бујичним поводњима, након којих наступе дуги маловодни периоди. У маловодним периодима домаће воде се смањују на око 50 m³/s, што је десет пута мање од просечних протока. Однос између малих месечних вода обезбеђености 95% (воде меродавне за планирање мера заштите квалитета вода) и великих вода вероватноће 1%, у односу на које се планирају системи заштите од поплава, на мањим водотоцима се пење на преко 1:2.000, што је један од најнеповољнијих односа у Европи. Специфична отицања при бујичним поводњима се пењу чак до око 20 m³/s/km². У тако неравномерним водним режимима вода опстанак и развој земље почивају на акумулацијама са тзв. годишњим регулисањем протока” (ППРС, 2021).

На територији Републике Србије формира се око 505 m³/s протока, то представља такозване домаће воде. У Табели 1 може се видети расподела домаћих вода према појединим сливовима.

Табела 1. Воде које настају на територији републике Србије (домаће воде)

Река/слив	Просечан проток m ³ /s	Укупан проток 10 ⁶ m ³ /год	Мале воде m ³ /s
Лепенац, Пчиња, Драговиштица	18	567	1,3
Бели Дрим, Плавска река	62	1.953	3,3
Слив дрине у Србији	61	1.922	14,0
Слив Саве од Дрине до ушћа у Дунав	26	819	1,4
Велика Морава	230	7.245	34,0
Млава, ушће у Данав	11	346	0,5
Слив Дунава од Млаве до границе са Бугарском	50	1.575	1,7
Банат и Бачка (домаће воде)	35	1.102	1,3
Срем	11	346	0,4
Укупно Република Србија	505	15.907	57,9

Извор: Сл. Гласник РС, 2017.

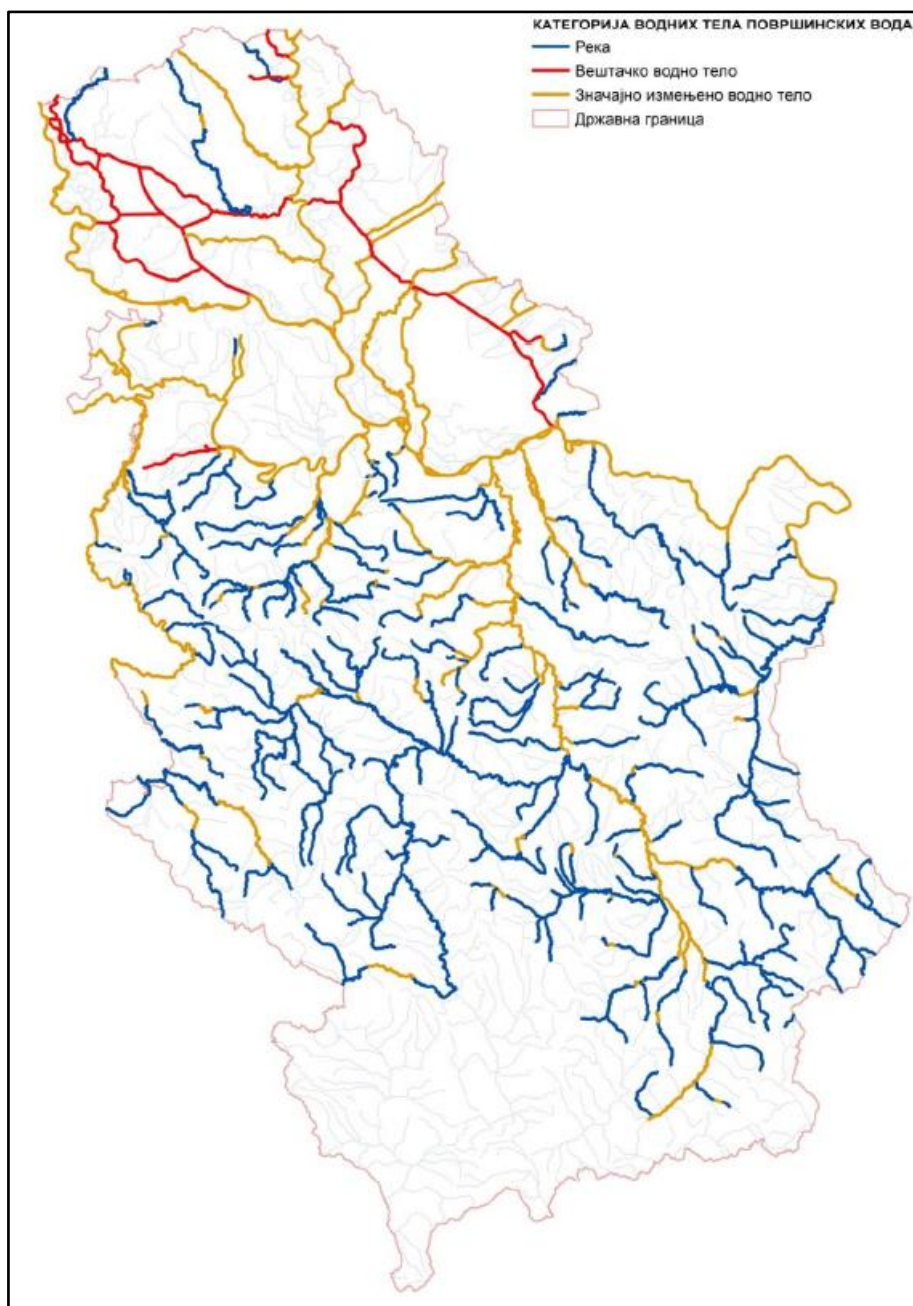
Специфична расположивост домаћих вода представља показатељ о могућностима снабдевања властитим водама неке државе. Доња граница овог показатеља је 2.500 m³ по становнику годишње. Ова количина властитих вода подразумева коришћење истих без додатног угрожавања екосистема и без потребе за транзитним водама као додатним извором водоснабдевања. Специфична расположивост домаћих вода у Републици Србији износи око 1.500 m³ по становнику годишње. Ово показује да спадамо у државе сиромашне властитим водама и зато постоји потреба за коришћењем и транзитних вода. Ово са собом носи и одређене ризике, пре свега што се не може утицати на количину и квалитет вода које долазе на нашу територију из околних држава. Велики проблем у Републици Србији представља и просторна неравномерности водотокова и велики број водотокова који су бујичног карактера.

Према (Сл. Гласник РС, 2017) „транзитне воде су значајне, у просеку око 5.239 m³/s: Дунав са Дравом и каналом Баја - Бездан: око 2.890 m³/s, Тиса са Бегејем: 794 m³/s, банатски водотоци на уласку у Републику Србију: око 72 m³/s, Дрина са Лимом (дотоци у Србију): 333 m³/s, Сава (улаз): 1.130 m³/s, Ибар (улаз): 12 m³/s, Нишава: 8 m³/s. Међутим, и те реке имају све неповољније водне режиме, јер им се у маловођу протоци смањују за неколико пута, највећим делом због све већих захватања воде за наводњавање у узводним земљама”.

„Ресурси подземних вода у Републици Србији су релативно оскудни и неравномерно распоређени. Овај ресурс се традиционално највише користи за снабдевање насеља водом: од 15-17 m³/s захваћених подземних вода, око 52-55% је из алувијалних издани, око 22% из карстних извора, око 16% из основног водоносног слоја (најзаступљенији извор водоснабдевања у АП Војводина), док је око 8% из неогених карстних формација” (Сл. Гласник РС, 2017). Треба истаћи да у сушним периодима насеља која се искључиво ослањају на алувијалне издани као изворишта водоснабдевања, имају потешкоћа да задовоље потребе за водом.

Мониторинг квалитета и квантитета вода у надлежности је АЗЖС односно РХМЗ. Увидом у расположиву документацију и извештаје о водним билансима и квалитету воде, како сезонске тако и вишегодишње, може се констатовати да стање квалитета површинских вода у Републици Србији није задовољавајуће. Због лакшег мониторинга и у „циљу планирања мера за очување или достизање доброг статуса површинских вода”, издвојена су водна тела површинских вода на целој територији Републике Србије. Издвојено је укупно

499 водних тела и она „представљају јасно одређене елементе површинских вода, приближно уједначених карактеристика” (Слика 2).



Слика 2. Издвојена водна тела на територији Републике Србије
(Извор: АЗЖС РС, 2015)

„Резултати мониторинга указују да је добар еколошки статус утврђен само код 2% водних тела, 41% водних тела има еколошки статус лошији од доброг, а за 57% водних тела нема довољно података за утврђивање еколошког статуса. У погледу хемијског статуса, резултати су нешто бољи: добар статус је утврђен на 32% водних тела површинских вода, 10% водних тела није постигло добар хемијски статус, а за 58% водних тела нема довољно података. Знатно лошији подаци за еколошки у односу на хемијски статус јасно указују на негативне последице хроничних и акутних загађења која се изливају из концентрисаних и расутих извора загађења у површинске воде. Погоршано стање квалитета изражено је у каналима у АП Војводини, на мањим водотоцима и у близини већих насеља. Ситуација је повољнија у зони заштићених изворишта. Проблем представљају загађења у седиментима

која су детектована на појединим каналима у Војводини, али и на другим рекама и акумулацијама у централној Србији” (ППРС, 2021). Интересантно је истаћи податак да река Дунав на излазу из Србије има знатно бољи квалитет воде него што је то случај на улазу у нашу државу.

Просторни план Републике Србије указује и да је квалитет подземних вода није уједначен, „првенствено због различитих услова геолошке средине у којима се формира издан, али и због антропогених утицаја. Од укупно 153 водна тела подземних вода у Републици, 119 водних тела је у добром хемијском статусу. Код 18 водних тела идентификован је лош квантитативни статус услед надексплоатације и обарања нивоа подземних вода (углавном у деловима Војводине и појединим деловима Поморавља)”.

2.2.1. Водопривредна инфраструктура

Водопривредна инфраструктура представља скуп објеката, процедура и мера који су у функцији управљања водним ресурсима. „Територија Републике Србије представља јединствен простор за интегрално управљање водама. Унутар овог простора дефинисано је седам водних подручја, као основних јединица за управљање водама, и то: водно подручје Сава, Београд, Морава, Доњи Дунав, Срем, Бачка и Банат и водно подручје Косово и Метохија” (Сл. Гласник РС, 2017). Под управљањем водама подразумева се коришћење воде, као и заштита вода и заштита од вода. Овде се даје преглед стања само у појединим областима, важним за тематику рада.

Према подацима Републичког завода за статистику, на јавни водоводни систем прикључено близу 81% становништва (Табела 2). Захваћене воде за потребе водоснабдевања у 2012. години износиле су приближно 21,6 m³/s. Међутим, највећи проблем је велики проценат губитака воде из дистрибутивне мреже који износи огромних 35% у просеку. Када се посматра квалитет воде из дистрибутивног система, појављују се одређене микробиолошке и хемијске неисправности, углавном у деловима Војводине и централне Србије. Може се рећи да квалитет воде за пиће у већим дистрибутивним системима (Београдски, Новосадски итд.) показује боље вредности.

Табела 2. Становништво прикључено на системе јавног водоснабдевања 2012. године

Р. бр.	Водна подручја	Број становника	Број корисника	Коефицијент прикључености
1.	Бачка и Банат	1.595.055	1.458.279	0,91
2.	Београд	1.659.440	1.518.877	0,92
3.	Доњи Дунав	448.307	318.360	0,71
4.	Морава	2.540.618	1.839.755	0,72
5.	Сава	606.688	405.467	0,67
6.	Срем	336.754	293.988	0,87
Укупно (Република Србија без АП Косово и Метохија)		7.186.862	5.834.726	0,81

Извор: Сл. Гласник РС, 2017.

Према (Сл. Гласник РС, 2017), садашње стање заштите вода од загађења оцењује се као незадовољавајуће. „Главне изворе загађења вода у Републици Србији представљају нетретиране индустријске и комуналне отпадне воде, дренажне воде из пољопривреде, оцедне и процедне воде из депонија, као и загађења везана за пловидбу рекама и рад термоелектрана”.

Процент становника прикључених на јавну канализацију последњих година је у благом порасту. У 2018. години број прикључених становника је био 63%. „Највећи

процент прикљученог становништва на јавну канализацију је у Београду (85,9%) и Шумадијској области (72,6%), док је најмањи проценат у Западнобачкој (29,8%) и Нишавској (33,5%) области, где су становници већином прикључени на септичке јаме” (ППРС, 2021).

Према анализи ППРС, у Србији се путем јавне канализације у реке и канале испушта 409 милиона m³ отпадне воде годишње. Велики недостатак канализационих система је и мали број постројења за пречишћавање отпадних вода. Према доступним подацима из 2017. године, третманом пречишћавања отпадних вода из јавне канализације обухваћено је само 13,85% становништва. На територији целе државе постоји укупно 42 општинска постројења за прераду отпадне воде, али већина њих ради са „ефикасношћу испод пројектоване”. Стање у области заштите вода се додатно погоршава непостојањем или недовољношћу (пред)третмана отпадних вода из индустрије као и значајним оптерећењем из пољопривреде. Епилог је да се око 84% непречишћених отпадних вода из насеља и 57% из индустријских постројења без третмана упушта у реципијенте.

Област заштите од вода подразумева активну и пасивну заштиту од поплава. Активна заштита укључује све изграђене вишенаменске акумулације, при чему веома важну улогу имају акумулације изграђене у горњим деловима слива река, бујичног карактера. Оне успоравају поплавни талас интензивирају од стране „речних бујица” карактеристичних за брдско – планинско подручје. „Пасивни системи за заштиту од поплава у Републици Србији изграђени су на око 3.500 km водотока (2.450 km насипа дуж водотока I реда и регулација река на још 1.100 km). Поред тога, велики део територије је реално и потенцијално угрожен спољним водама, што су показале поплаве 2014. године и касније (Табела 3). Штете од поплава увећава и непланска изградња у долинама река (у кориту за велику воду)” (Сл. Гласник РС, 2017).

Табела 3. Објекти за заштиту од вода на водотоцима I реда

Водна подручја	Дужина линијских објекта (km)					Акумулације и ретензије	
	Насипи	Рег. корито са насипима	Рег. корито без насипа	Обало утврда (кеј)	Високи терен	За одбрану од поплава	Вишенаменске акумулације
Бачка и Банат	915,90	422,47	9,48			1	2
Београд	114,27	5,50				2	3
Доњи Дунав	263,03	202,74	2,26	12,41	3,52	1	2
Морава	248,81	22,24	15,22	6,64	1,47	3	6
Сава	150,60	113,24	27,26	7,60	5,80		9
Срем	640,70	343,19	62,16	2,91		4	20
АП Косово и Метохија	116,95		18,50				5
Укупно	2.450,26	1.109,38	134,88	29,56	10,79	11	47

Извор: Сл. Гласник РС, 2017.

Према (ППРС, 2021; Сл. Гласник РС, 2017) „општи циљ је да се Република Србија третира као јединствен водопривредни простор, како би се омогућила висока поузданост целог водопривредног система”. Други циљеви у области водопривреде су:

- Интегрално управљање водама на целој територији;
- Обезбедити воду одговарајућег квалитета за различите видове коришћења вода, у потребним количинама;

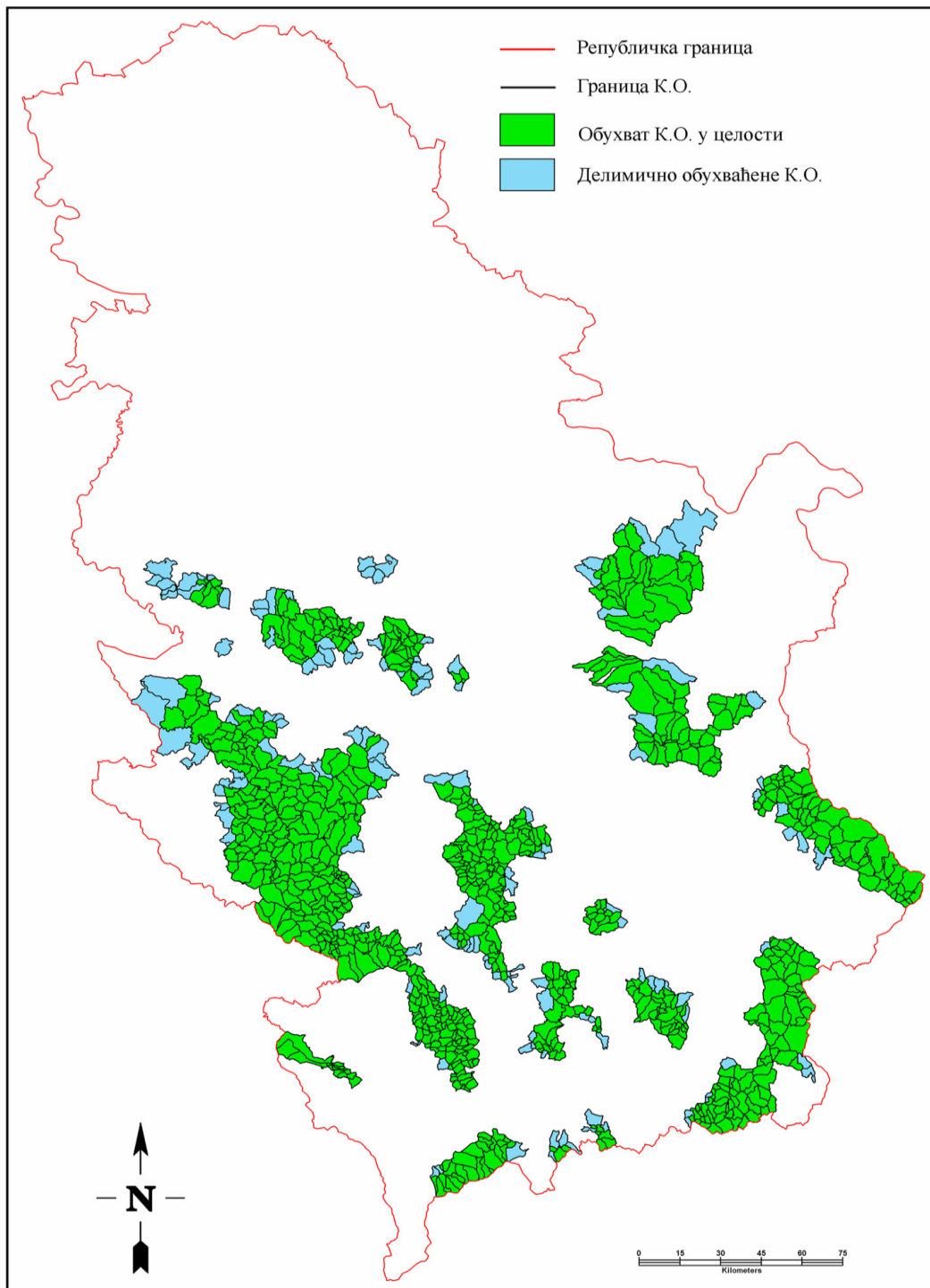
- Достижање доброг хемијског и еколошког статуса водних тела површинских вода и доброг квантитативног и хемијског статуса подземних вода;
- Обезбедити заштиту од „спољних и унутрашњих вода” и заштиту од ерозије/бујица;
- Рационална потрошња воде и смањење губитака воде.

„Укупан биланс водних ресурса, као и њихов просторни и временски размештај захтева изузетно пажљиво коришћење и уређење вода и у потпуности обезбеђен систем заштите од загађења и заштите од поплава, као и од непланског коришћења вода и водног земљишта”. Стога се као један од главних инструмената у реализацији постављених циљева и стратешких опредељења прописује увођење савремених информационих технологија и израда наменских ГИС система и сервиса. Овиме би се стекли услови за интегралну заштиту водних ресурса, симулацију и оптимизацију метода у планирању и оперативном управљању.

2.2.2. Изворишта површинских вода

Извориште површинских вода јесте простор око извора, „део реке или језера, акумулација или њен део и аквифер или његов део на коме се захвата вода за разне кориснике” (*Закон о водама, 2018*). Изворишта површинских вода и дефинисање њиховог значаја за потребе водоснабдевања становништва представља део општег проблема издвајања, односно рангирања и категоризације извора (изворишта) вода.

Према (Милинчић, 2009) „изворишта површинских вода су најзначајнији просторни сегмент резервата чисте воде и заштите простора на територији Републике Србије. Заштићени и(ли) резервисани простори, формиране акумулације, зоне и појасеви санитарне заштите и друге физички изграђене и нормативно (систем закона, уредби и просторно-плански документи) дефинисане детерминанте су релевантна онтолошка категорија обиља сложених – пре свега рестриктивних, геопросторних импулса усмерених на насеља као комплексне просторне системе и наслеђене социо-економске форме и обрасце живота локалних заједница територија изворишта површинских вода”. У савременој литератури постоје различите класификације, према: пореклу воде, хемијском саставу, геоморфолошким условима терена у смислу постанак и функционисање извора, издашности итд. Према истраживањима (Милинчић, 2009), на слици 3, приказана су изворишта површинских вода у Републици Србији.



Слика 3. Прегледна карта обухвата К.О. према категоријама изворишта површинских вода Републике Србије (Извор: Милинчић, 2009)

Изворишта површинских вода као просторно и еколошки захтевни инфраструктурни системи имају неоспоран и значајан удео у савременом стању насеобинских и популационих својстава ових територија.

Предложеним и усаглашеним методолошким поступком инвентаризације и детерминације насеља на 60 појединачних територија изворишта површинских вода констатовано је 1.065 или 17,31% укупног броја статистички евидентираних насеља Републике Србије (Табела 4).

Табела 4. Структура условног обухвата и категорије насеља по групама изворишта површинских вода у Републици Србији

Категорија заштите изворишта површинских вода	Условни обухват насеља								
	Укупно	У ужем смислу	У ширем смислу	Градска			Остала		
				Укупно	У ужем	У ширем	Укупно	У ужем	У ширем
Територије проглашене за изворишта површинских вода првог ранга	631	585	46	8	5	3	623	580	43
Територије изворишта у функцији регионалних система водоснабевања	173	153	20	3	3	0	170	150	20
Територије изворишта резервисане за реализацију великих акумулација до 2021. године	199	183	16	1	1	0	198	182	16
Територије сливова резервисане у функцији реализације дугорочних водопривредних циљева водоснабевања	62	57	5	0	0	0	62	57	5
Укупно	1.065	978	87	12	9	3	1.053	969	84

Извор: Милинчић, 2009.

Оволики број детерминисаних насеља још једном потврђује потребу за интегралним управљањем водама, због све више различитих видова еколошких ограничења унутар изворишта површинских вода као специфичног и егзистенцијално значајног инфраструктурног система територије Републике Србије.

У савременој литератури постоје опречна мишљења када је у питању изградња водних акумулација и њихово укључивање у водопривредни систем. Група аутора (Nikić i Vasiljević, 2002; Dokmanović i dr., 2003; Dokmanović i Petrović, 2010) сматра да њихово формирање и експлоатациони век носе са собом низ проблема, од мењања створених природних екосистема и кратког века изграђених акумулација, до демографских расељавања и прерасподела привредних активности и ограничења, сада узводно и низводно од формиране водне акумулације. Они у први план истичу потенцијал подземних вода (Jemcov i Dokmanović, 2007; Dokmanović i Stevanović, 2009; Komatina i Nikić 2009) и сматрају да се Стратегијом (Сл. Гласник РС, 2017) генерално занемарују капацитети подземних вода, као и њихово недовољно узимање у обзир при стратешком планирању стабилности водоснабевања Републике Србије (Dokmanović i Nikić, 2015).

С друге стране, група аутора (Милинчић, 2009; Милинчић и др, 2012; Zlatković i dr., 2010; Гавриловић и др., 2011; Stanković i dr., 2012; Milinčić i dr., 2013) глобалну присутност и многобројност водних акумулација током друге половине 20. века тумаче ставом да је то најпоузданији начин обезбеђивања потребних количина воде за снабдевање различитих категорија потрошача. Сматрају да водне акумулације представљају кључне делове вишенаменских водопривредних система којима се на оптималан начин решавају проблеми коришћења воде, заштита воде и заштита од воде, као и проблеми целовитог уређења простора. Такође сматрају да и „поред низа објективних недостатака, пракса формирања изворишта површинских вода, акумулирања вода и њихова временска и просторна редистрибуција, у складу са еколошким и водопривредним потребама, нема реалну алтернативу”.

По обиму највећи и веома значајни радови у области управљања водним ресурсима изведени су у периоду 1950 - 1980. године. Након тога, због свеопшних околности које су задесиле ове просторе, водопривредна инфраструктура се није развијала последњих деценија у складу са потребама земље. Јасно је да за уравнотежен рад постојећих водопривредних система, као и за развој нових, битан елемент имају до сада изграђене водне акумулације (Табела 5).

Табела 5. Акумулације у функцији водоснабдевања становништва Републике Србије

Р. бр.	Акумулација	Водоток	Година изградње	Површина слива (km ²)	Σ запрем. (10 ⁶ m ³)	Намена
1.	Грошница	Грошница	1937	30	4	В
2.	Власина	Власина	1949	349	176	Е,В
3.	Кокин Брод	Увац	1962	1.057	250	Е,В
4.	В. Букуља	В. Букуља	1965	6	0,4	В
5.	Грачанка	Грачаница	1965	104	32	В
6.	Батлава	Батлава	1965	250	40	И,В
7.	Рибничко	Црни Рзав	1972	70	3,5	В
8.	Гараши	Букуља	1976	22	6,3	В
9.	Газиводе	Ибар	1977	1.060	350	Е,П,Н,В
10.	Ћелије	Расина	1978	598	60	В,П
11.	Бован	Моравица	1978	522	58	В,П
12.	Лисина	Божичка р.	1978	182	10,4	Е,В
13.	Сјеница	Увац	1979	920	212	Е,В
14.	Радоњић	Пруе	1980	34	110	В,Н
15.	Придворичко	Придворичка р.	1982	21	0,8	В
16.	Врутци	Ћетиња	1984	160	54	В
17.	Гружа	Гружа	1984	317	65	В
18.	Брестовац	Пуста р.	1985	112	9,25	В
19.	Грлиште	Грлишка р.	1988	191	12,5	В
20.	Завој	Височица	1989	584	170	Е,В
21.	Барје	Ветерница	1991	233	41	В,П
22.	Првонек	Бањска	2006	86	20	В
24.	Стуборовни	Јабланица	2016	104	51,5	В
23.	Селова	Топлица	у изг.	349	70,5	В

Намена: В - водоснабдевање становништва, И - снабдевање водом индустрије, Е - енергетика, Н - наводњавање, П - одбрана од поплава

Извор: Сл. Гласник РС, 2017; Милинчић, 2009.

Треба напоменути да се при планирању изградње акумулације као и самом начину коришћења и одржавања, оне најчешће посматрају само као резервоари сировине (у овом случају воде), а не као екосистеми, што је у старту погрешно становиште. „У основи, погрешна концепција која се одликује у приступу и третирању воде као сировине (за водоснабдевање становништва, индустрију, туризам и др.) а не као животне средине, као и неразумевање природних процеса који се у акумулацији као екосистему дешавају, доводи до пропадања или неадекватног искоришћавања појединих формираних акумулација” (АЗЖС РС, 2015). У Републици Србији постоје примери за горе наведено и они су очигледни (Гружа, Међувршје, Ћелије, Бован, Овчар Бања, итд).

Међутим, упркос различитим тврдњама, становиштима и истраживања свих поменутих аутора (на тему потенцијала подземних вода као ресурса за водоснабдевање, предностима и манама изградње водних акумулација, утицај формираних водних акумулација на трансформацију геопростора) Република Србија се дугорочно определила да своју стабилност у водоснабдевању и другим водопривредним областима планира кроз изградњу нових водних акумулација и заштитом простора самих изворишта.

У наредној (Табели 6) дат је преглед планираних и потенцијалних акумулације на територији Републике Србије које ће према (Сл. Гласник РС, 2017; ППРС, 2021) представљати догорочно решење у области вода. За све акумулације предвиђена је израда Просторног плана подручја посебне намене – „ППППН (са детаљном разрадом за зону I санитарне заштите изворишта) и пројектне документације којима ће се одредити плански оквир за уређење и коришћење, намена земљишта, односно режими заштите, ограничења и могућности градње. До израде ППППН могуће је планирање и изградња објеката јавне намене који су компатибилни са функцијама водопривреде, односно нису у супротности и не угрожавају реализацију планираних и потенцијалних акумулација”. Стратешким и другим релевантним документима, Република Србија се превасходно одлучује за грађење водоакумулација у сврху реализовања водопривредних система „које ће омогућити регулисање и боље искоришћење вода”.

Табела 6. Потенцијалне и планиране акумулације у Републици Србији

Р. бр.	Акумулација	Река	Општина	Запремина тах (10 ⁶ m ³)	КМУ (m н.в.)	Намена
1.	Прохор Пчињски	Пчиња	Трговиште	58	510	В,Е,Н
2.	Свође	Власина	Црна Трава	80	500	В,И,Е,Н,П
3.	Кључ	Шуманка	Лебане	21	495	В,Е,П
4.	Зебице	Вел. Косаница	Куршумлија	17	560	В,Е,П
5.	Кремената	Кремената	К.Каменица	23	590	В,Е,П
6.	Бинач	Голема река	Витина	22	595	В,Е,П
7.	Кончуљ	Бин. Морава	Бујановац	230	445	В,И,Е,Н,П
8.	Слатина и Царићи	Лепенац	Штрбце	19	742	В,И,Е,Н,П
9.	Доброшевац	Дреница	Глоговац	45	574	В,И,Е,Н,П
10.	Мова	Клина	Клина	50	560	В,И,Е,Н,П
11.	Сврачково	Велики Рзав	Ариље	27	418,2/421	В,Е
12.	Роге	Велики Рзав	Ариље	162	512,5	В,И,Е,Н,П
13.	Орловача	Велики Рзав	Ариље	770	690	В,И,Е,Н,П
14.	Сеча Река	Скрапеж	Косјерић	17	465	В,И,Е,П
15.	Рокци	Ношница	Ивањица	83	640	В,И,Е,Н,П
16.	Рибарићи	Ибар	Тутин	51	795	В,Е,П
17.	Бараково	Јошаница, Рашка	Нови Пазар	57	695	В,И,Е,П
18.	Вучиниће	Људска река	Нови Пазар	45	667	В,И,Е,П
19.	Бела Вода	Људска река	Сјеница	60	880	В,Е
20.	Препрана	Студеница	Ивањица		665	В,Е,П
21.	Бела Стена	Лопатница	Краљево	65	460	В,Е,П
22.	Забреге	Црница	Параћин	25	335	В,И,Е,П
23.	Дрезга	Угљешница	Крагујевац	12,9	277	В,И,П
24.	Бељаница	Ресава	Деспотовац	40	560	В,И,Е,Н,П
25.	Витман и Градац	Млава	Петровац	12,5	203/251	В,Е,П
26.	Кучево	Буковсла река	Кучево	28	250	В,И,Е
27.	Околиште	Околишка река	Сврљиг	15	520	В,Е,П
28.	Одоровци	Јерма	Бабушница	56	598	В,Е,П
29.	Дојкинци	Дојкиначка река	Пирот	24,5	970	В,Е,П
30.	Жуковац	Алдиначка река	Књажевац	17	330	В,Е,П
31.	Боговина	Црни Тимок	Бољевац	47,5	266	В,И,П
32.	Бродарево	Лим	Бродарево			Е
33.	Клак	Увац	Нова Варош	30	815	Е
34.	Средња Дрина	Дрина	Бај. Башта			Е,Н,П
35.	Горња Љубовиђа	Љубовиђа	Љубовиђа	11	535	В,Е

Намена: В - водоснабдевање становништва, И - снабдевање водом индустрије, Е - енергетика, Н - наводњавање, П - одбрана од поплава

Извор: ППРС, 2021.

На свим локацијама предвиђеним за акумулације, од тренутка резервације простора до привођења истог одговарајућој намени, режимом заштите забрањена је изградња нових као и реконструкција већ постојећих стамбених, инфраструктурних, привредних и свих других објеката и активности које могу да угрозе планирано коришћење простора. У случају реконструкције постојећих и изградње нових инфраструктурних садржаја (саобраћајнице, водови и др.) исти се релоцирају ван зона будућих акумулација и припадајућих зона непосредне заштите.

Померањем тежишта функција површинске акумулације према водоснабдевању заштита постаје егзистенцијално значајна а тиме и императив постојања акумулација. Изворишта површинских вода намењена снабдевању могу се лако угрозити природним и/или антропогеним факторима. На тај начин трајно се може утицати на њихов квалитет и расположивост (квантитет). Оне су „због своје отворености и других карактеристика осетљиве како на директна загађења акумулиране воде тако и на загађења сливног простора” (Милинчић и др, 2012) али и друга негативна дејства. Посебно су осетљиве на инцидентне случајеве, односно хаварије (нпр. транспорт или лагеровање нафте, потенцијална загађења од узводних хидроенергетских објеката) на сливном простору које отварају могућност великог и изненадног загађивања акумулисане воде. Такође, велики проблем је и што се употребљене воде враћају непречишћене и тако загађују водна тела и екосистеме.

2.3. Интеграција ГИС система и података о водним ресурсима

Стање и исправност површинских вода је повезано с климатским, еколошким, хидрометеоролошким и антропогеографским утицајима као и природним условима на терену. У процесу управљања водним ресурсима неопходан је мултидисциплинаран и интегративан приступ свих релевантних организација из водопривредног, као и одговарајућих организација из индустријског и еколошког сектора. Управљање водама као ресурсом будућности незамисливо је без јасно дефинисане националне стратегије и развијеног регулаторног оквира у овој области. С друге стране, мониторинг водних ресурса, на данашњем степену технолошког развоја, незамислив је без примене нових технологија.

Прегледом литературе „утврђено је да постоје развијени ГИС сервиси и информациони системи о водама који су у власништву различитих јавних предузећа и институција. Информациони системи и ГИС сервиси функционишу одвојено један од другог” (Секуловић и др., 2021). Такво стање отежава и не доприноси квалитетном управљању водним ресурсима на многим нивоима, а посебно националном нивоу. „Интеграција различитих сервиса и информационих система у јединствен ГИС за потребе управљања водама намеће се као императив у данашњим сложеним климатским и еколошким условима живота”.

Успостављање концепта „интегралног управљања водама је процес који захтева: одговарајући законодавни оквир; одговарајућа институционална и организациона решења са довољним и компетентним стручним кадром и задовољавајућом материјалном основом; одговарајући систем финансирања са дефинисаним изворима средстава и могућом динамиком њиховог обезбеђења; успостављање равнотеже на централном и локалном нивоу управљања водама” (*Институт „Јарослав Черни”, 2001*).

Стратегијом (Сл. Гласник РС, 2017) се дефинише да је „систематски и свеобухватан мониторинг предуслов за поуздано утврђивање статуса површинских и подземних вода, као основе за планирање коришћења вода и ефикасно интегрално управљање водама”. Један од дефинисаних циљева гласи: „Релевантни резултати мониторинга морају бити укључени у

Водни информациони систем (ВИС) Републике Србије, како би се омогућило праћење и унапређење водног режима, планирање развоја водних система и интегрално управљање водама”. *Стратегија* указује и на велики значај водних катастара (водних објеката, катастара водних добара, података о коришћењу водног добра и земљишта, као и загађивача) и њихову имплементацију и ВИС. Ово подразумева пре свега комплетирање и ажурно вођење водних катастара али и истовремено интеграцију у оквиру ВИС, а све као предуслов ефикасног и квалитетног управљања водама на територији Републике Србије.

Такође, (*Сл. Гласник РС, 2017*) потенцира потребу за разменом релевантних информација о водама и са појединим информационим системима како на националном тако и на међународном нивоу. Размена треба да се координира на нивоу Министарства пољопривреде и заштите животне средине. Јавна предузећа и друге институције изван сектора вода морају перманентно да врше прикупљање и ажурирање, у оквиру информационих система у њиховој надлежности, свих релевантних података и информација од значаја. Потреба за успостављање интегралног ВИС је уређена законским и подзаконским актима, правилницима, уредбама и међународним стандардима. Основна законодавна акта која то регулишу су: *Закон о водама* („Сл. гласник РС”, бр. 30/10 са изменама и допунама „Сл. гласник РС”, бр. 93/12 и 95/18) и *Закон о националној инфраструктури геопросторних података* („Сл. гласник РС”, бр. 27/18).

Закон о водама у члану 148. прописује обавезу успоставе и вођења ВИС, а саму израду и вођење ближе прописује *Правилник о садржини и начину вођења водног информационог система, методологији, структури, категоријама и нивоима сакупљања података, као и о садржини података о којима се обавештава јавност* („Сл. гласник РС”, бр. 011-00-206/2011-07). Управљање ВИС-ом у надлежност је Министарства пољопривреде и заштите животне средине.

Законом о националној инфраструктури геопросторних података („Сл. гласник РС”, бр. 27/2018) практично је у законодавство Републике Србије имплементирана *Директива Европске уније 2007/2/EZ*. Овим законом (*Закон о НИГП, 2018*) је обавеза успостављања Националне инфраструктуре геопросторних података (НИГП) дата у надлежност Републичког геодетског завода (РГЗ), а чланом 10. прописано је да хидрографски подаци спадају у прву групу тема геопросторних података (према Анексу 1, INSPIRE директиве).

2.3.1. Национална инфраструктура геопросторних података

Закон који је ступио на снагу у априлу 2018. године (*Закон о НИГП, 2018*), створен је основ да се INSPIRE директива (*Директива Европске уније 2007/2/EZ*) имплементира у наше национално законодавство. То је и један од услова за приступање Републике Србије Европској унији. Током 2019. године, као најважнији подзаконски акт овог закона, усвојена је *Уредба о спроведбеним правилима за метаподатке НИГП* („Сл. гласник РС”, бр.110-6705/2019-1).

Но, (*Закон о НИГП, 2018*) код нас, није настао само због иницијативе европске INSPIRE директиве. И пре тога су рађене многе анализе стања и студије које су указивале на потребу и значај развоја националне инфраструктуре података о простору, а стварана је и конкретна инфраструктура: споразуми о дељењу, приступу и коришћењу геопросторних података као и метаподаци, скупови геопросторних података и мрежни сервис/технологије. Све то, заједно са механизмима координације и праћења, установљеним процесима и поступцима узето је у обзир приликом израде овог закона.

„Посебан циљ НИГП-а у Републици Србији је успостављање инфраструктуре која олакшава приступ информацијама о животној средини, тако што ће осигурати јавни приступ и уклонити препреке за размену података између органа јавне власти, како на националном нивоу тако и у оквиру прекограничне сарадње”(Закон о НИГП, 2018). Нуклеус развоја НИГП је РГЗ којем су просторни подаци примарна делатност. „Органи за успостављање НИГП-а су Савет НИГП-а и радне групе НИГП-а. Савет НИГП-а има 18 чланова које именује и разрешава Влада Републике Србије, на период од четири године. Радом Савета НИГП-а руководи председник. Председник Савета НИГП-а је директор РГЗ”. Савет НИГП-а чине представници (Закон о НИГП, 2018):

- „Министарства надлежног за послове заштите животне средине;
- Министарства надлежног за послове просторног планирања;
- Министарства надлежног за послове е-управе;
- Министарства надлежног за послове пољопривреде, шумарства и водопривреде;
- Органа надлежног за управљање водама;
- Министарства надлежног за унутрашње послове;
- Министарства надлежног за послове саобраћаја;
- Министарства надлежног за послове одбране;
- Министарства надлежног за послове геологије;
- Министарства надлежног за послове финансија;
- Министарства надлежног за послове културе;
- Министарства надлежног за послове информационог друштва;
- Покрајинског секретаријата надлежног за послове животне средине;
- Посебне организације надлежне за послове статистике;
- Посебне организације надлежне за послове хидрометеорологије;
- Сталне конференције градова и општина;
- Канцеларије надлежне за послове е-управе”.

Савет НИГП-а у свом делокругу надлежности координира, односно има следеће активности (Закон о НИГП, 2018):

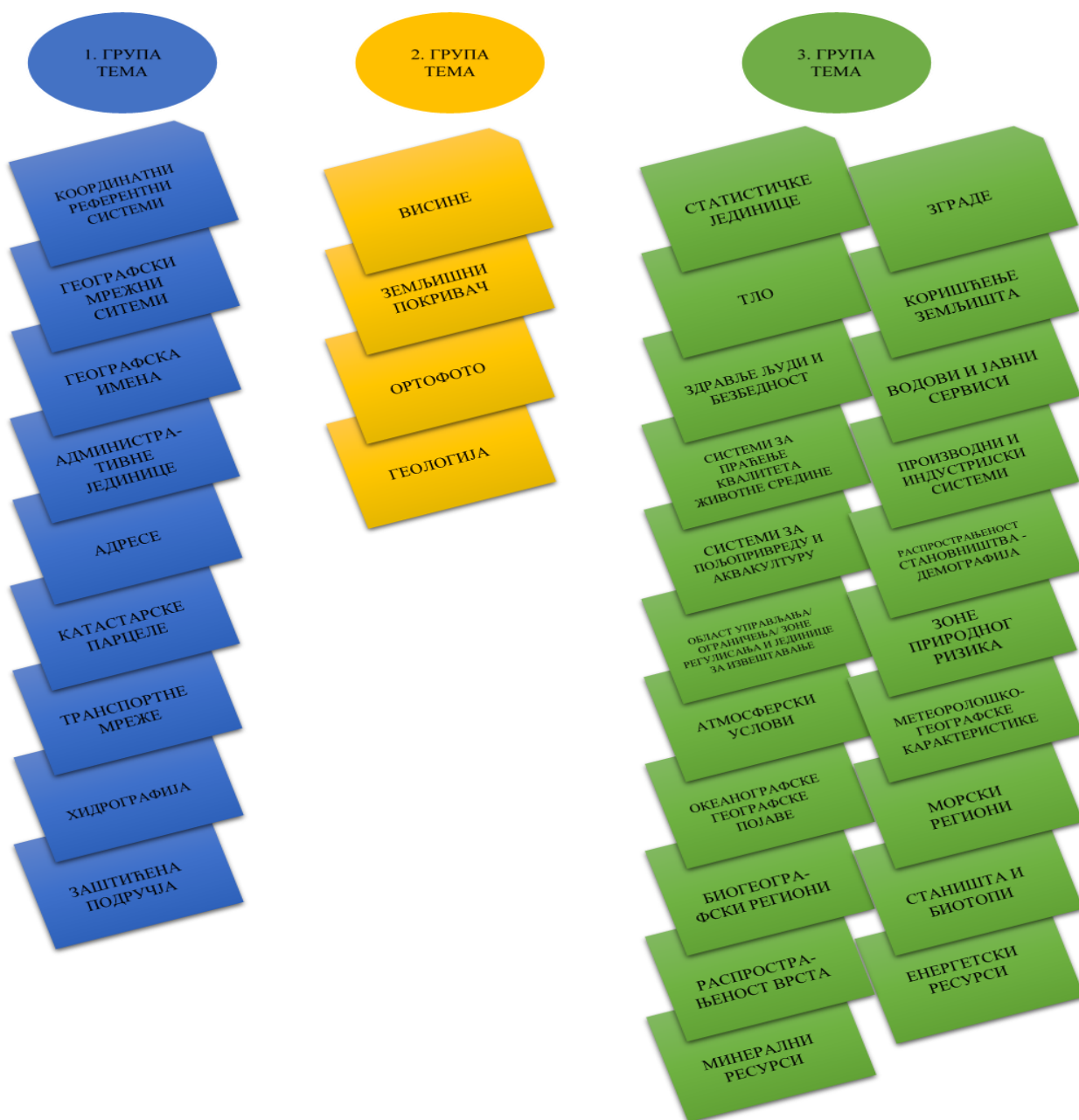
- „Доноси годишњи план рада Савета НИГП-а;
- Доноси одлуке и техничка упутства из области НИГП-а;
- Одређује одговорног субјекта НИГП-а за дефинисане скупове геоподатака;
- Одређује субјекте НИГП-а који користе скупове и сервисе геоподатака;
- Усклађује активности субјеката НИГП-а;
- Врши контролу успостављања и функционисања НИГП-а;
- Доноси пословник о свом раду;
- Доноси одлуку о формирању радних група НИГП-а и њиховим задацима;
- Доставља Влади годишњи извештај о активностима у вези са успостављањем и функционисањем НИГП-а;
- Обавештава јавност о активностима везаним за успостављање и функционисање НИГП-а”.

Влада Републике Србије (Закон о НИГП, 2018) „у складу са постојећим INSPIRE спроведеним правилима издатим од стране Европске комисије, доноси подзаконска акта којима се прописују спроведбена правила за: метаподатке, интероперабилност, мрежне сервисе, приступ скуповима и сервисима геоподатака, укључујући јавни приступ и размену података између органа јавне власти, праћење и извештавање”.

Такође, према истом закону (Закон о НИГП, 2018) „Савет НИГП-а, у циљу ефикаснијег обављања својих активности, одлуком образује радне групе НИГП-а. Радне

групе НИГП-а образују се ради обављања одређених стручних послова који се односе на успостављање и одржавање НИГП-а, као и за пружање стручне помоћи субјектима НИГП-а и другим крајњим корисницима сервиса и скупова геоподатака НИГП-а. За чланове радних група НИГП-а бирају се представници субјеката НИГП-а, као и других правних лица који су стручни и квалификовани за област за коју се формира радна група”.

Геоподаци везани за одређене теме, систематизовани су према групама (Слика 4):



Слика 4. Теме геоподатака организоване по групама

Према (Закон о НИГП, 2018) постоје одређени субјекти НИГП-а. „То су органи јавне власти који, у складу са законом о НИГП, обављају прикупљање и одржавање геоподатака, као и органи јавне власти који у обављању послова из своје надлежности користе исте. Савет НИГП-а посебним актом може одлучити који ће органи јавне власти бити одговорни за одређене теме. Притом, закон о НИГП не прописује нове обавезе одговорним субјектима

НИГП-а за поступке прикупљања геоподатака, већ да исте учине доступним у складу са овим законом и подзаконским актима”.

Истим законом (*Закон о НИГП, 2018*) улогу „националне контакт тачке” има РГЗ који је одговоран за спровођење INSPIRE директиве и комуникацију са Европском комисијом. За потребе корисника НИГП кроз свој геопортал представља средство за прикупљање великог броја информација базираних на просторној основи неопходних за многобројна проналажења, прегледавања и преузимања геопросторних података. Могућност разних просторних анализа на подацима сигурно ће помоћи да многе одлуке буду базирани на стварним подацима о геопростору. Јавна управа ће сасвим сигурно имати највећу добробит од успостављања НИГП-а, а корист ће у крајњем случају имати грађани и друштво у целини. Сви послови који се у оквиру јавне управе базирају на геопросторним подацима обављаће се квалитетније и ефикасније

РГЗ реализује највећи део задатака на изградњи НИГП као најодговорније национално тело, а заједно са партнерским институцијама. За реализацију задатака на изградњи, управљању и развоју НИГП, РГЗ је оформио посебну организациону јединицу - Центар за управљање геопросторним подацима. Центар је направио web апликацију НИГП, која се налази на порталу <http://www.geosrbija.rs>. С аспекта овог рада, занимљива је тема *Хидрографија*. Структура теме узрађена је једним делом према *Unified Modeling Language (UML)* шеми која се налази у документу *D2.8.I.8 Data Specification on Hydrography – Technical Guidelines (Data content and structure)*. Овај документ спада у основна документа INSPIRE директиве.

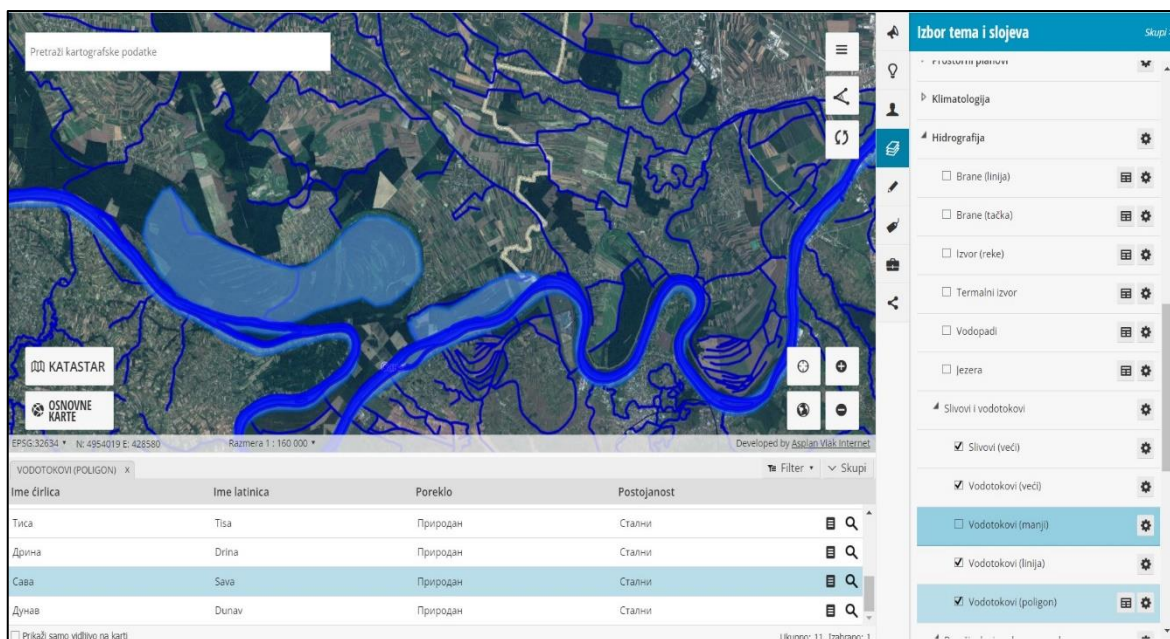
Тема *Хидрографија* моделована је као посебан тематски слој и њену структуру чине следеће тематске целине:

- Хидрографски објекти: бране, извори, водопади, острва, језера и мочваре;
- Слинови и водотоци: слинови и водотокови;
- Површинске и подземне воде: хидролошке станице.

Притом, утврђено је да су многи подаци о водоточима, речним слиновима као и хидрографским објектима, преузети од других државних институција које имају ове податке. Подаци који се односе на имена хидрографских објеката, њиховом пореклу, пловности и постојаности преузети су из Водног информационог система (ВИС). Скупови података о површинским водама (нпр. хидролошким станицама) су преузети од РХМЗ. Када се у питању графички и тематски садржај, може се рећи да је израђена и адекватна топологија хидрографских података (нпр. језера и водотоци садрже полигоне, линије, чворишта), што обезбеђује просторну анализу над подацима теме *Хидрографија*.

Према ауторима (Татмировић и др., 2020; Секуловић и др., 2021) поред позитивних карактеристика, могу се уочити и одређени недостаци. Пре свега, то је резолуција геопросторних података теме *Хидрографија*. Увидом у метаподатке наведено је да су водотоци који чине хидрографску мрежу и чија је ширина мања од 125 m, представљени линијским елементима, а шири водотокови су представљени полигонима. Наиме, „хидрографски просторни подаци прикупљени су и приказани према *EuroRegionalMap* просторном моделу података и техничкој спецификацији, а не према INSPIRE спецификацији”. Зато су они нивоа детаљности еквивалентно размери карте 1:250.000. На овај начин израђена је хидрографска мрежа, која се превасходно може користити за глобалне геопросторне анализе. Као изворни подаци коришћени су векторски подаци топографских карата размера 1:200.000 и 1:300.000 издања Војногеографског института „Генерал Стеван Бошковић” (ВГИ), док су као додатни извори за прикупљање података

коришћени: ортофото израђен у оквиру CARDS програма, ортофото SPOT 5 мозаик резолуције 2,5 m и делимично топографске карте у размери 1:100.000 и 1:25.000. Приказ дела података тема *Хидрографија* на порталу <http://www.geosrbija.rs> дат је на слици 5.



Слика 5. Приказ теме *Хидрографија* на порталу (<http://www.geosrbija.rs>)

Према (Tatomirović i dr., 2020) „за потребе квалитетног интегрисаног управљања водним ресурсима у Републици Србији неопходни су подаци који могу омогућити детаљније геопросторне анализе”, а то су по његовом мишљењу подаци који имају ниво детаљности еквивалентан топографској карти 1:25.000. На тај начин се у тему *Хидрографија* могу унети сви токови површинских вода који чине интегралну хидрографску мрежу река и потока чија је ширина и мања од 10 m. Тиме би се омогућиле сложеније геопросторне анализе.

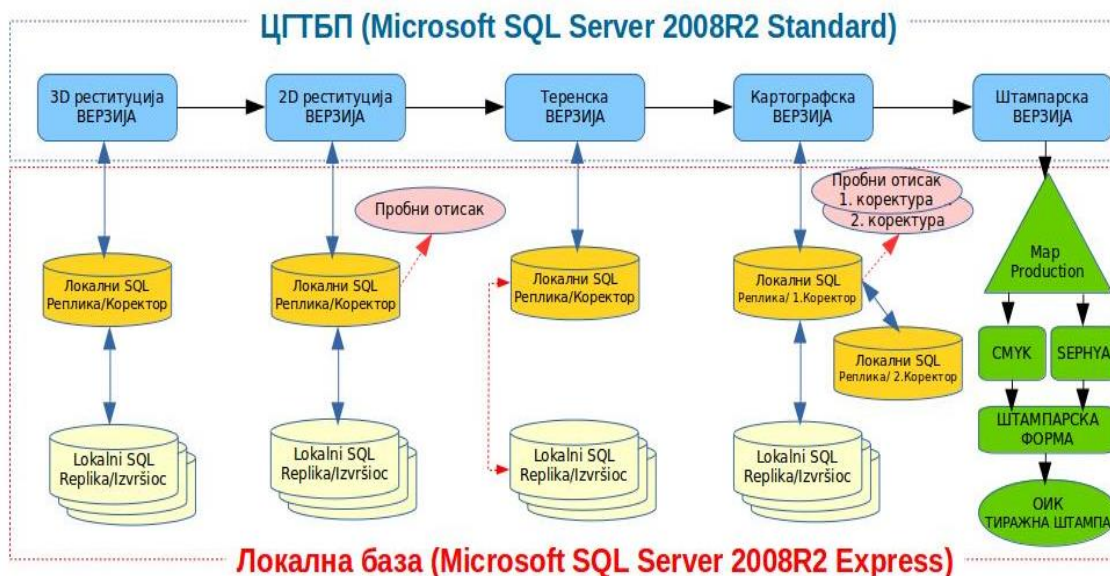
2.3.2. Централна геотопографска бази података ВГИ-а

Војногеографски институт „Генерал Стеван Бошковић” (ВГИ) је као војна установа припремила и организовала све геопросторне податке за Републику Србију у Централној геотопографској бази размере 1:25.000 (ЦГТБП25). Пројекат успостављања ЦГТБП за основну топографску карту размера 1:25.000 четвртог издања (ТК25/IV), почео је током 2012. године (www.vgi.mod.gov.rs). Концепција и структура ЦГТБП подржава:

- Промене у моделу података;
- Процесе израде карте и топографске моделе;
- Хардверске и софтверске компоненте;
- Поступке при ажурирању података;
- Процесе генерализације садржаја;
- Задатке и потребе војних и цивилних корисника.

Такође, ЦГТБП25 је дизајнирана и подржава израду ТК25/IV која заправо представља основну топографску карту. На основу ње, применом софтверске и картографске генерализације израђују сетопографска карта размера 1:50.000 III издање (ТК50/III) и топографска карта размера 1:100.000 III издање (ТК100/III).

Поступак израде ТК25/IV има софистицирану технолошку линију. Процес реализације се одвија кроз одређени број фаза и подфаза, које су међусобно зависне и чине функционалну целину. Наиме, примена нових технологија (захтевнијих хардвера, стандардних софтверских платформи, мрежних протокола, итд.) омогућује јединствени концепт израде основне топографске карте и других картографских производа. У складу са новим могућностима и квалитетом карата, производни процес израде ТК25/IV се заснива на дистрибуираним базама података у софтверском окружењу ArcGIS. Блок шема производног процеса је дата на слици број 6.



Слика 6. Блок шема производње ТК25/IV у ВГИ (Извор: Павловић, 2014)

Основне фазе у изради ТК25/IV које су примењене у процесу производње карте, су:

- Припремни радови;
- Аерофотограметријско и LiDAR снимање;
- 3Д и 2Д реституција;
- Теренски радови;
- Картографска обрада;
- Припрема штампе и тиражна штампа.

Геопросторни садржај који се приказује на новој топографској карти ТК25/IV није значајно модификован. Наиме, елементи садржаја топографске карте који су се раније приказивали, присутни су и данас са мало измењеном симбологијом и дизајном. Међутим, технолошки процес израде у потпуности је инован. Сем рада у потпуно заокруженом софистицираном окружењу, значајно је измењена организација и структура података ТК25/IV, односно база геоподатака. То је довело до формирања једног новог хијерархијског модела где су елементи садржаја груписани по темама. На основу тога формиране су посебне тематске целине. Свака тематска целина садржи једну или више објектних класа за израду ТК25/IV, и то:

- Анотације;
- Геодетска основа;
- Географски називи;
- Границе;
- Хидрографија;

- Хидротехнички објекти;
- Рељеф;
- Комуникације;
- Насеља;
- Објекти;
- Вегетација;
- Ваздухопловни садржај;
- Војни објекти;
- Специјални садржај.

У процесу израде ЦГТБП25 дефинисан је посебан слој *Хидрографија*. Логичким моделом података за дати слој обухваћене су све воде и водни објекти: реке, потоци, канали, језера, локве, баре, рибњаци, чесме, бунари, извори, резервоари, црпке, водоводи, као и објекти на језерима и рекама са хидролошким и привредним карактеристикама (речне преводнице, пумпно акумулациона постројења, тунели за воду, аквадукти итд.).

Према групи аутора (Секуловић и Дробњак, 2011; Дробњак, 2016; Tatomirović i dr., 2020; Секуловић и др., 2021) појединачни елементи теме *Хидрографије* дефинисани су системом слојева и шифара као јединственим индикатором припадности одговарајућој целини, односно као ближе одређење специфичности класе објеката. Физичким моделом података дефинисан је изглед базе података односно „простор” за похрањивање елемената дефинисаних логичким моделом података. Генерално, у складу с логичком структуром података ЦГТБП25, тематски слој *Хидрографије* обухвата три тематске целине: стајаће воде, текуће воде и објекте за снабдевање водом. Представљање стајаћих вода у оквиру ЦГТБП25 засновано је на приказивању детаља обале и водене површи. Основа за представљање обала јесте линија, тј., обалска линија по којој се непосредно додирују копно и вода. Представљају се сви детаљи који карактеришу обалу: прави делови, делови истурени у водену површину (полуострва, ртови) или увучени у копно (заливи, увале). Поред података о обали у ЦГТБП25 дају се и објекти који служе потребама навигације (кеј, светионик, ознаке за пловидбу), као и објекти који указују на опасности приликом пловидбе.

У оквиру ЦГТБП25 садржани су подаци о поточима, рекама и каналима (текуће воде). Основни геометријски критеријуми за њихово представљање су линијски или површински елементи. Површинско представљање водотока (у размери 1:25.000) заснива се на приказу обалне линије корита водотока и линијске структуре отицања. Посебно су издвојени водотокови који имају стално воде, од оних које повремено пресушују као и реке понорнице (Секуловић и Дробњак, 2011). Поред тога, дате су карактеристике водотока: извори, водопади, рачвања, меандрирања, спрудови, острва, делте, ушћа итд. У оквиру базе садржани су и разни вештачки објекти за заштиту обала (потпорни зидови, обалоутврде), хидроелектране, воденице, стругаре и томе слично. Посебно су у представљени објекти од значаја за савлађивање река (скелски прелази, преводнице, мостови), као и подаци од значаја за пловност река и канала (пристаништа, лукобрани, марине итд.).

Карта водообјеката 1:50.000 (КВО50) је један од важнијих производа ВГИ када су у питању изворишта површинских вода и уопште подаци о водама код нас. За дигитализацију и унос тематског садржаја у базу података, коришћен је својевремено расположив хардверски ресурс и развијена програмска подршка у ВГИ-у. „Дигитализовани тематски подаци КВО50 су у периоду од 2002. до 2004. године додатно ажурирани и моделовани на векторском нивоу. Обављено је геометријско, тематско и тополошко моделовање, као и коректура података у складу са захтевима изградње својеврсног ГИС система. Повезивање

геометријских и негеометријских података и креирање коначне базе података, реализовано је у софтверском пакету *ArcGIS*” (Секуловић и др., 2021).

База КВО50 садржи различите податке о изворима (стални и повремени), затим каптираним изворима, бунарима (артески, ренибунари, бушени, итд), понорима, пећинама, и јамама са водом, као и податке о резервоарима за воду, цистернама, водозахватима, водоводним мрежама, потисним станицама итд. (Tatomirović i dr., 2020). Почетком 2019. године ВГИ и ЈВП „Србијаводе” су започели пројекат заједничког ажурирања и допуне Базе података КВО50.

2.3.3. Информациони системи о водама у Републици Србији

На основу (*Закон о водама, 2018*) донет је и *Правилник о садржини и начину вођења водног информационог система, методологији, структури, категоријама и нивоима сакупљања података, као и о садржини података о којима се обавештава јавност* („Сл. гласник РС”, бр. 011-00-206/2011-07). Обавеза вођења водног информационог система (ВИС) дата је у надлежност ЈВП „Србијаводе” и Републичкој дирекцији за воде. „Водни информациони систем садржи податке о стању квалитета вода, класама водних тела површинских вода, водној документацији, законодавним, организационим, стратешким и планским мерама у области управљања водним ресурсима, као и научно - техничке и друге податке значајне за управљање водама”.

Такође, на основу (*Закон о водама, 2018*) и *Уредби о утврђивању годишњих програма мониторинга статуса вода у АЗЖС води се Информациони систем квалитета вода Србије*.

Правилником о садржини и начину вођења ВИС („Сл. гласник РС”, бр. 011-00-206/2011-07), „обезбеђено је спровођење стандардизованих методолошких поступака за прикупљање, чување и дистрибуцију података, укључујући и ГИС податке, обраду података и извештавање, повезивање рачунарских система и сервиса, поступака техничке и научне подршке, као и обавештавања јавности”. Према овом правилнику структура података у ВИС, подељена је у следеће категорије:

- „Правна лица надлежна у области управљања водама (државни органи, посебне организације и предузећа);
- Површинске воде (водотоци, класе водних тела, стајаће воде, сливови и сл.);
- Подземне воде (подземне воде, подземна водна тела);
- Водно земљиште (катастарске општине и катастарске парцеле које обухвата водно земљиште);
- Водни објекти (тачкасти, линијски и површински);
- Мерне станице за одређивање квалитета и квантитета вода (хидролошке станице, метеоролошке станице);
- Уређење водотока и заштита од штетног дејства вода (одбрана од спољних и унутрашњих вода, плавне зоне и др.);
- Одводњавање и наводњавање (системи за одводњавање и наводњавање, мелиорациона и сливна подручја и сл.);
- Ерозија (узроци ерозије, типови, категорије, предузете мере и др.);
- Експлоатација речних наноса (правна лица и предузетници који врше експлоатацију речних наноса, локација, врста, количина и начин експлоатације речних наноса и др.);
- Уређење и коришћење вода (процент обухваћеног становништва водоводним системима, специфична потрошња воде по кориснику – норма потрошње воде, губици воде – проценат, привредни капацитети прикључени на јавни водовод и сл.);

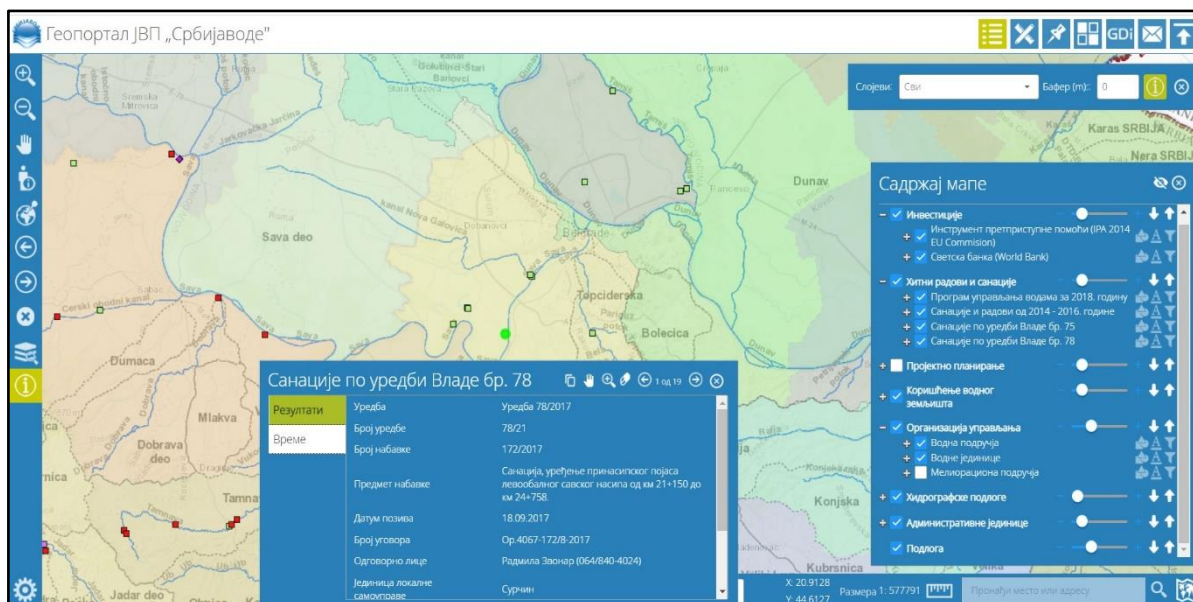
- Заштита вода од загађивања (изграђеност и број корисника јавне канализације, врста, тип и процентуална заступљеност јавне канализације (општа, сепарациона, мешовита), привредни капацитети прикључени на јавну канализацију, изграђеност постројења за пречишћавање отпадних вода);
- Хаваријска загађења (подаци о локацији, и врсти загађења, лицу које је извршило загађење и др.);
- Водна документација (водна књига и водни катастар);
- Заштићене области (зоне санитарне заштите изворишта, подручја намењена за захватање воде за људску употребу, водна тела намењена рекреацији)”.

Изградња и имплементација ВИС-а у техничко – технолошком смислу, реализована је у оквиру базе података (*Oracle*). „За комуникацију са базом података, одабрано је софтверско окружење *ArcGis*. Главни комуникациони сегмент између *Oracle* база података и платформе *ArcGis* јесте *ArcSDE*, који омогућава везу између корисничких апликација и базе података ВИС-а. Њиме је омогућено комфортно и прегледно складиштење геопросторних података у јединствену базу ВИС-а, и тиме обезбеђена доступност података свим апликацијама које се користе”.

Правилником о ВИС прописано је да се подаци који се уносе у ВИС прикупљају на нивоу: органа аутономних покрајина и државних органа; ЈВП; локалних јединица самоуправе; привредних субјеката чије активности утичу на водни режим и других овлашћених организација.

Према (Татомировић и др., 2020; Секуловић и др., 2021) концепт успостављања ВИС, је у великој мери усаглашен са *Директивом 2000/60/ЕС*. Подаци о површинским водама (водна тела, водообјекти, сливови, водотоци), као и подаци из области управљања и мониторинга вода других институција, преузети су и похрањени у ВИС. Поједини подаци садржани у ВИС нису слободно доступни свим корисницима и то је у складу са законом о безбедности података. „Комплетна изградња ВИС може да подржи концепт интегралног управљања водама на простору Републике Србије”. Као негативну страну у поступку формирања ВИС аутори наводе „изостанак стратегије и успостављених процедура за размену релевантних података о водама са другим информационим системима на националном нивоу”. Истиче се да „јавна предузећа и друге институције изван сектора вода морају перманентно да обављају прикупљање и ажурирање података и информација од значаја за интегрално управљање водама”. Подаци о површинским водама и водним објектима унети у ВИС прикупљени су векторизацијом Топографске карте 1:25.000 издања ВГИ-а закључно са 2012. годином. Иако је у међувремену ВГИ ажурирао преко 30% тих података на нивоу Републике Србије, промене нису спроведене у ВИС.

Приступ подацима из ВИС-а је омогућен заинтересованој јавности преко web портала (Слика 7) .



Слика 7. Приказ просторних података у ВИС (<https://geoportal.srbijavode.rs/>)

Други значајан информациони систем о водама јесте Информациони систем квалитета вода Републике Србије. *Стратегијом* (Сл. Гласник РС, 2017) пројектоване су и мере и оперативни циљеви у области заштите вода. Једна од мера гласи: „унапредити мониторинг параметара еколошког и хемијског статуса површинских вода и хемијског и квантитативног статуса подземних вода, који су дефинисани одговарајућим правилником и податке мониторинга укључити у информациони систем”.

На основу (*Закон о водама, 2018*) у оквиру годишњих уредби о утврђивању програма мониторинга статуса вода, разрађују се и мере за унапређења мониторинга квалитета површинских и подземних вода. „Министарство пољопривреде и заштите животне средине је поред развоја оптималне мреже станица надзорног и оперативног мониторинга статуса вода, развој оперативног мониторинга квалитета вода усмерило и на формирање Регионалних центара (на нивоу водних подручја), као и њихово повезивање у Информациони систем квалитета вода Републике Србије” (Слика 8).



Слика 8. Мрежа Регионалних центара квалитета вода у Републици Србији (<http://www.sepa.gov.rs/>)

Информациони систем квалитета вода Републике Србије је развијен у циљу подршке и побољшања свакодневних пословних операција које се спроводе у АЗЖС. Овај систем је примарно развијен у складу са стандардом SRPS ISO 17025:2006 и WFD директивом. Резултати мониторинга квалитета површинских и подземних вода у Републици Србији, смештају се у базу података, у којој се спроводи валидација података пре креирања извештаја.

База са подацима о квалитету површинских и подземних вода у Републици Србији обезбеђује прављење годишњих извештаја о квалитету воде, према Европској агенцији за животну средину (ЕЕА) и интеграцију свих прикупљених података у Информациони систем о водама за Европу (*Water Information System for Europe – WISE*). Такође, развијени *Extensible Markup Language* (XML) сервис, обезбеђује размену података са Водним информационом системом.

3. УПРАВЉАЊЕ И ЗАШТИТА ВОДА У СВЕТУ

Према Резолуцији 64/292, Генерална скупштина Уједињених Нација (УН) означава приступ безбедној води за пиће као основно људско право (UNGA, 2019). Здравље људи, сигурност хране, екосистеми, индустријски и пољопривредни развој, економски раст, производња енергије зависе у великој мери од воде. Према Светској Здравственој Организацији (СЗО) потребно је обезбедити од 50 до 100 литара воде по особи дневно само за најосновније потребе (Howard and Jamie, 2003). На пример, у 2017. години 71% глобалне популације имало је приступ безбедној води за пиће, а само 45% приступ санитарним услугама.

Глобална употреба воде повећала се за шест пута у последњих 100 година и наставља раст из године у годину (UN-WATER, 2020). Повећани захтеви за слатком водом су у великој мери под утицајем урбанизације и миграције становништва, односно климатских промена, економског раста, заједно са повећањем производње и потрошње. Предвиђа се да ће се свет суочити са глобалним дефицитом воде од 40% под наведеним условима живота и пословања до 2030. године, док ће се глобалне потребе за водом до 2050. године значајно повећати (WWAP, 2015). Поред физичке оскудице, деградације квалитета воде смањује количину воде која је безбедна за употребу. Све веће загађење слатке воде узроковано одлагањем непречишћених или недовољно пречишћених површинских отпадних вода, онда вода од пестицида који се користи у пољопривреди, или увећано загађење воде (микро)пластиком, представља глобални изазов који се повећава у развијеним земљама и земљама у развоју. Такође, у 2012. години, готово 842.000 људи је преминуло од последица загађености воде и слабих санитарних услова (UNESCO, 2017; UNICEF, 2019).

Подаци о стању (квалитативни и квантитативни) вода и животної средини од суштинског су значаја и за праћење општег развоја друштва. Према Агенди 21 (UNSD, 1992) наглашава се важност података о водама, али и свих других географских информација за подршку у процесу доношења одлука и разумевање друштвених, економских и еколошких перспектива на локалном, регионалном и глобалном нивоу. Агенда је захтевала да се нагласи јаз у „доступности, квалитету, кохерентности, стандардизацији и расположивости података”, посебно између развијених и земаља у развоју (UNSD, 1992).

Вода као један од најважнијих ресурса на Земљи, покрива 71% њене површине. Притом од укупне количине воде на Земљи, само 3% воде има обележја слатке воде, од којих је више од две трећине замрзнуто у глечерима и леду на половима. Укупни обновљиви водни ресурси, дефинисани као дугорочни просечни годишњи проток површинских и подземних вода, показује велику просторну и временску варијабилност. На нивоу држава, водни ресурси варирају од 5 m³ у Кувајту по глави становника до више од 100.000 m³ по глави становника на Гренланду, Француској Гвинеји, Исланду итд. (WDI, 2014). Притом, 45 земаља има мање од 1.000 m³ по глави становника, од чега њих 27 има мање од 500 m³ (WDI, 2014).

Резултати процене квалитета вода у рекама Латинске Америке, Африке и Азије, показују да је загађење патогенима, односно фекалним бактеријама већ захватило око једне трећине свих речних и хидрографских мрежа. Такође, да је органско загађење утицало сваких седам километара на једну од речних деоница и да су интензивно или релативно умерено загађене одређеним салинитетом (UNEP, 2016).

Генерална скупштина Уједињених Нација (УН) је кроз Резолуцију 64/292, која је усвојена 28.06.2010. године, препознала приступ безбедној питкој води и санитарнијама као

основно људско право, јер вода и санитарије представљају основу за реализацију свих других људских права (UNGA, 2019). У Европи се успоставља оквир за превенцију даљег погоршања статуса вода и заштиту природних система, обезбеђујући свеобухватне смернице за ефикасан и потпун мониторинг и класификацију статуса водних тела (ЕРС, 2000). Додатно, и на глобалном и на европском нивоу се наглашава потреба за трансформисањем начина управљања водним ресурсима и афирмише значај мониторинга за детекцију примарних загађивача и карактеризацију њиховог утицаја на свеукупни статус вода.

3.1. Значај инфраструктуре просторних података

Без обзира на велик и непорецив значај располагања просторним подацима, квалитетне информације о простору су често недоступне чак и државним органима и телима који на основу њих треба да донесу важне одлуке. Разлози су различити, а доминира недостатак одговарајућих сервиса за прикупљање, а потом њихово сепаратно, неинтегрисано дејство, тако да се понекад догађа да се исти или слични подаци о простору прикупљају и одржавају на неколико различитих адреса у систему државне управе.

Брзим развојем технологија за прикупљање података о простору, инфраструктура просторних података (ИПП) постаје све важнији фактор у начину њиховог коришћења на нивоу приватног и јавног сектора. Према (Kuhn, 2005), ИПП представља „координирани низ споразума о технолошким стандардима, институционалним аранжманима и политикама, који омогућују проналажење и употребу информација од стране корисника за сврху која је различита од њене првобитне намене”. Такође, ИПП представља оквир за све геопросторне податке како би се постигла интероперабилност. Уопште узевши, интероперабилност је способност комуникације и размене, односно повезивање програма и пренос података између различитих функционалних јединица на начин који од корисника не захтева посебно познавање техничких карактеристика система.

Многе земље света примењују ИПП као оквир за решавање разноврсних проблема и задатака у пројектовању и управљању природним ресурсима. Притом, ИПП може бити рецимо секторска, у оквиру организације са малим бројем корисника, или регионална, национална, глобална. Неки од примера глобалних инфраструктура просторних података су и *Global Earth Observation System of Systems (GEOSS)* или *United Nations Spatial Data Infrastructure (UNSDI)*, које укључују више хиљада корисника широм света. Заједничко за све ИПП је тежња ка што већој интероперабилности, коришћењем истих стандарда, политика и технологија.

Развој ИПП се разликује од државе до државе (Groot and McLaughlin, 2000). Такође, скупови основних просторних података варирају од земље до земље и свака национална инфраструктура просторних података је различита обзиром на потребе друштва, социолошку еволуцију, привредну реалност те националне амбиције и приоритете. Ефикасно управљање простором уз одрживи развој као и планирање свих захвата у простору, захтева уређење и модернизацију просторних евиденција те успостављање националне инфраструктуре података. Њена изградња захтева пуну координацију и сарадњу између даваоца и корисника просторних података, као и између јавних и државних установа.

Системи управљања и заштите вода који су уведени у ранијем периоду били су углавном развијени унутар државних институција задужених за водопривреду. Ти системи нису развијани по одговарајућим стандардима, с обзиром да их у то време за област информационих система вода, какве их данас познајемо, није ни било. С друге стране,

одржавање наведених система је постајало све скупље или се за многе компоненте није могло даље гарантовати. Такође, органи надлежни за руковођење овим системима у већини држава били су приморани да имплементирају стално нову технологију доступну у одређеном тренутку историјског развоја, да би се обезбедио сигуран и брз систем оријентисан ка пружању ефикасних услуга кориснику и друштву у целини.

3.2. Искуства управљања и заштите вода у Европи

Улога информационих система у функцији управљања и заштите изворишта површинских вода, односно утицаја на животну средину је годинама темељно разрађивана у развијеним земљама Европе. Посебно, примена ГИС-а за потребе мониторинга загађења вода, као и моделовања активности за сузбијање загађења и минимизирање негативних ефеката. На европском нивоу око 40% површинских водних тела је у добром или релативно високом еколошком статусу, са језерима и приобалним водама које су бољег квалитета од река, а само 38% је у добром хемијском стању (ЕЕА, 2018).

Уместо изградње два или више паралелних система података, у Европској унији су препознали и дефинисали такву инфраструктуру у којој ће се просторни подаци прикупљати једном те ставити на располагање различитим корисницима и одржавати јединствено, у договореном стандардном формату. Осим самих података, инфраструктура укључује договоре између земаља чланица које су одговорне за поједине скупове података и услове под којима ће се ти подаци давати на располагање другима, законодавни оквир, технички оквир и пратећи скуп стандарда. Након иницијалног периода успостављања, јасно се показало да таква инфраструктура одговара разноврсним потребама јавног сектора за тачним, потпуним и ажурним геопросторним подацима, као и приватном сектору који је добио могућност за даљи развој услуга коришћењем тих података.

3.2.1. Оквирна директива о водама Европске уније

Оквирна директива о водама Европске уније - *Water Framework Directive* (WFD), усвојена је 2000. године. Она утврђује основне принципе водне политике, узимајући у обзир одрживи развој и интегрисано управљање водама (Слика 9) и успоставља оквир за спречавање даље деградације и заштиту водне средине широм Европе (ЕРС, 2000). У том контексту, водна средина укључује реке, језера, прелазне воде и приобалне воде до једне наутичке миље. Процеси идентификације изворишта површинских вода, категоризације и типизација је описана детаљније у Анексу 2 WFD.



Слика 9. Приказ управљања водама према WFD

Примарни циљ је постизање тзв. „доброг статуса” у свим извориштима површинских вода. „Добар статус” значи да вода показује благу промену у односу на уобичајену, односно повезану са типом изворишта површинске воде у непоремећеним условима. Ово стање се постиже када су и еколошки и хемијски статус добри (ЕПС, 2000). За дефинисање статуса изворишта површинских вода, односно праћење биолошког, хидроморфолошког и физичко-хемијског квалитета воде, потребно је одредити параметре који третирају идентификоване факторе и утицаје (Ђереџ и Марковић, 2016). За сваку врсту изворишта површинских вода, референтни услови се идентификују и упоређују са резултатима мониторинга ради процене еколошких статуса који је класификован у пет класа од „лош” до „висок”, као и хемијски статус који је класификован у две класе.

Програми мониторинга требају да успоставе кохерентан и свеобухватан преглед статуса вода унутар сваког сливног подручја. Такође, требају окарактерисати утицај људских активности на животну средину, а државе чланице су у обавези да за сваки план управљања речним сливом имају циклус извештавања око успостављања надзорног праћења у току једне године где ће повереник обезбедити прецизан преглед еколошког и хемијског статуса (ЕПС, 2000).

Имплементација WFD захтева велику количину геопросторних података које треба користити за припрему, праћење и извештавање. Те податке треба прикупити, моделовати и организовати. Потребна је њихова анализа и размена информација између страна које су укључене у имплементацију WFD, у распону од локалних власти до Европске комисије.

3.2.2. Препорука за географски информациони систем

Оквирна директива о водама користи информациони систем о водама за Европу (*Water Information System for Europe - WISE*). Информациони систем о водама је заснован на отвореној и дистрибуираној сервисно - оријентисаној архитектури, применом одговарајућих стандарда и спецификације за *Open Geospatial Consortium (OGC)*, Међународну организацију за стандарде (*International Organization for Standardization - ISO*), Европски комитет за стандарде (*European Committee for Standardization - CEN*) и смернице из *INSPIRE* директиве.

Интероперабилност и транспарентност су важни аспекти информационог система о водама, јер пружају информације о стању, омогућавају дељење и размену између различитих нивоа надлежности. Такође, систем о водама пружа увид у просторне и неппросторне податке, односно њихово даље уређивање и визуализацију. Притом постоје два основна скупа података укључујући опште податке о простору и оне који се односи на хидрографију. Стога веза између националног информационог система о водама и WISE система треба да буде успостављена на нивоу једног интегралног ГИС система.

Просторни подаци се публикују у облику појединачних тематских слојева (хидрографија, путеви, насеља, тло и вегетација, рељеф, објекти) који омогућавају агрегацију података и израду тражених карата на нивоу ЕУ. Слојеви у ГИС су векторски подаци и повезани су са атрибутима. Подаци се могу припремити у облику датотека и конвертовати у језик *Geography Markup Language (GML)*, коришћењем доступног алата за конверзију. Такође, метаподаци се морају обезбедити за сваку датотеку, према INSPIRE профилу метаподатака. Податке треба заснивати на Европском терестричком референтном систему (*European Terrestrial Reference System 1989 - ETRS89*) са положајном тачношћу прихватљивом за картографско приказивање у размери 1:100.000 или више, односно просторна тачност података 50 m или већа.

3.2.3. INSPIRE директива и спецификација података о хидрографији

Општа правила за успостављање ИПП у ЕУ за подршку еколошким политикама, дефинисана су INSPIRE директивом. Ову иницијативу „је покренула, развила и усвојила ЕУ 14. марта 2007, у сарадњи са државама чланицама и прикљученим државама” (ЕПС, 2007), са циљем да се приликом размене скупова просторних података користе заједнички модели података, листе кодова, слојеви карата и додатни метаподаци. INSPIRE директива се састоји од спецификација података и докумената са упутствима који су организовани у три анекса и 34 теме просторних података.

Језгро директиве подупире пет прописа ЕУ, такозваних правилима спровођења, који покривају разне теме и широк распон спецификација, од техничких питања до питања семантичке интероперабилности. Као и све директиве ЕУ и INSPIRE директива је обавезујућа за национално законодавство. „Ако је било тешко описати велике системе ИПП, још је теже описати Европску ИПП која као систем има пуно сложенију организацију”. Она је изграђена од мањих ИПП, такозваних националних инфраструктура просторних података (НИПП), те је као таква збир свих мањих делова НИПП-ова у Европи (ЕПС, 2007).

Директива „INSPIRE је један од главних алата за еУправу у Европи”, јер не треба само оснажити јавну управу, грађане и привреду да доносе, на пример, добре пословне одлуке, већ мора у потпуности променити став о дељењу података у Европи. Дељење података, поред осталог, води економским предностима које се огледају у смањењу трошкова и успешним пословним подухватима (ЕПС, 2007). Такође, дељење података може повећати и унапредити привреду, подићи квалитет живота и подржати јавну управу повећаном транспарентношћу и партиципацијом грађана.

За организацију спровођења INSPIRE директиве задужена је такозвана „група четворице” коју чине Општа управа Европске комисије за животну средину, Заједнички истраживачки центар, Европска агенција за животну средину и Еуростат. Неке од најважнијих чињеница о INSPIRE директиви (ЕПС, 2007):

- „Прописује општа правила за успостављање инфраструктуре за просторне информације у Европи;

- Дефинише 34 просторне теме података у три анекса;
- Правно обавезује јавне институције које су власници или менаџери података који се односе на тематске целине дефинисане одговарајућим подацима и да исте учине доступним у складу с INSPIRE спецификацијама;
- Ако се подаци односе на спецификације INSPIRE, онда директива изискује да се они објаве као преглед услуга и преузимања у сврху нове употребе, као и да се метаподаци учине доступнима у сврху проналажења;
- INSPIRE не захтева прикупљање нових података;
- Такође, INSPIRE допушта могућност да се ограничи приступ одређеним корисницима или да се уведу накнаде за коришћење”.

Основне компоненте INSPIRE директиве и део Система заштите животне средине (*Shared Environmental Information System - SEIS*), представљају основу изградње информационог система о водама ЕУ (*WISE*). Наиме систем *WISE* је развијан према спецификацијама INSPIRE директиве да би обезбедио усклађен, интероперабилан и транспарентан систем о водама. Поред података додатих у складу са *WFD*, систем *WISE* садржи податке у складу са другим директивама које се односе на воду и водне објекте, као што су Директива о третману градских отпадних вода, Директива о водама за купање, Директива о нитратима, Директива о питким водама, Директива о поплавама и Директива о морској стратегији. Опис односа између објеката у сваком *WISE* скупу података и њихових повезаних атрибута обезбеђују се преко модела података и речника података. Модел података у *WISE* систему је у складу са INSPIRE препорукама и пројектован је у односу на заједнички концептуални модел за европску инфраструктуру података. Стога, *WISE* концептуални модел не ствара јединствени модел података са сваком темом унутар *WISE*, већ ставља податке у контекст *WISE*-а који омогућава интероперабилност и хармонизацију.

Тема *Хидрографија* је једна од основних тема INSPIRE директиве, стога је њена спецификација од посебног интереса за овај рад. Она обухвата податке који покривају сва водна тела на површини земље, укључујући морска подручја, сливове и подсливове, као и обале и речна корита.

Спецификација података о хидрографији је обухваћена у географском и тематском смислу. Географски обим подразумева све унутрашње површинске воде које подлежу спецификацији хидрографских података, а тематски обим више је усмерен на дефинисање оквира података о хидрографији у циљу картирања, извештавања и моделовања. Обалне воде су, такође предмет ове спецификације како је то дефинисано у контексту *WFD*. Наиме, то су површинске воде ка копну, чија се гранична линија налази на удаљености од једне наутичке миље од обале, односно од најближе тачке линије од које се мери ширина територијалних вода, протежући се тако до спољне границе прелазних вода. Преостали део теме *Хидрографија* је предмет тема у Анексу 3, односно теме морске регије и океанографске географске целине. Остале теме Анекса 1, 2 и 3 баве се додатним хидрографским карактеристикама (INSPIRE, 2014), и то:

Анекс 1

- Географски називи (називи водних објеката);
- Административне јединице (административне границе дефинисане хидрографским елементима);
- Транспорт (пловидба водом).

Анекс 2

- Надморска висина (у вези са геометријском конзистентношћу);
- Земљишни покривач (мочваре, водена тела, снег, лед и глечери);
- Геологија (тела подземних вода и геоморфологија).

Анекс 3

- Комуналне и државне услуге (места водоснабдевања и испуштања воде);
- Објекти за праћење животне средине, односно хидрометријске станице (ниво воде, испуштање, итд.) плус праћење квалитета воде;
- Производни и индустријски објекти (објекти за захватање воде);
- Пољопривредни и аквакултурни објекти (системи за наводњавање);
- Зоне управљања / ограничења / регулационе зоне и извештајне јединице (WFD подјединице и водна подручја);
- Зоне природног ризика (зоне ризика од поплава, зоне ерозије);
- Морске регије (у вези са границом између копна и мора);
- Океанографске географске карактеристике (морска подручја и океани).

Имајући у виду значај WFD, тематска радна група за хидрографију *Thematic Working Group Hydrography* (TWG) је одлучила да укључи географски опис водних тела у ову спецификацију, поред физичких објеката и структуре података. Иако су то у суштини делови теме Анекса 3: управљање подручјем / ограничења / регулационе зоне и извештајне јединице, TWG је сматрала да је од великог значаја усвојити географске аспекте и класификацију водних тела као саставни део спецификације података о хидрографији (INSPIRE, 2014).

Сврха овог документа је да специфицира усклађену организацију података за тему *Хидрографија*. При томе, спецификација хидрографских података је дата као основни оквир који корисници могу усвојити и по потреби проширивати. Сам концепт је разматран и описан тако да максимизира поновну употребу и дељење података који имају усклађену организацију и структуру. Стога треба креирати и одржавати податке компатибилним са INSPIRE скупом података.

Профил метаподатака WISE система представља проширене INSPIRE метаподатке, развијене у складу са INSPIRE правилима и спецификацијама за имплементацију метаподатака, односно Техничке смернице засноване на стандардима (*EN ISO 19115* и *EN ISO 19119*).

Већина европских земаља је успоставила стандарде и имплементацију нових технологија, а у неким је тај комплексан и скуп процес у току. Оно што овај процес чини посебно карактеристичним је чињеница да постојећи системи морају несметано радити без прекида, све док се не доврши процес миграције података и услуга из старих у нове системе.

3.2.3.1 Садржај и структура података о хидрографији

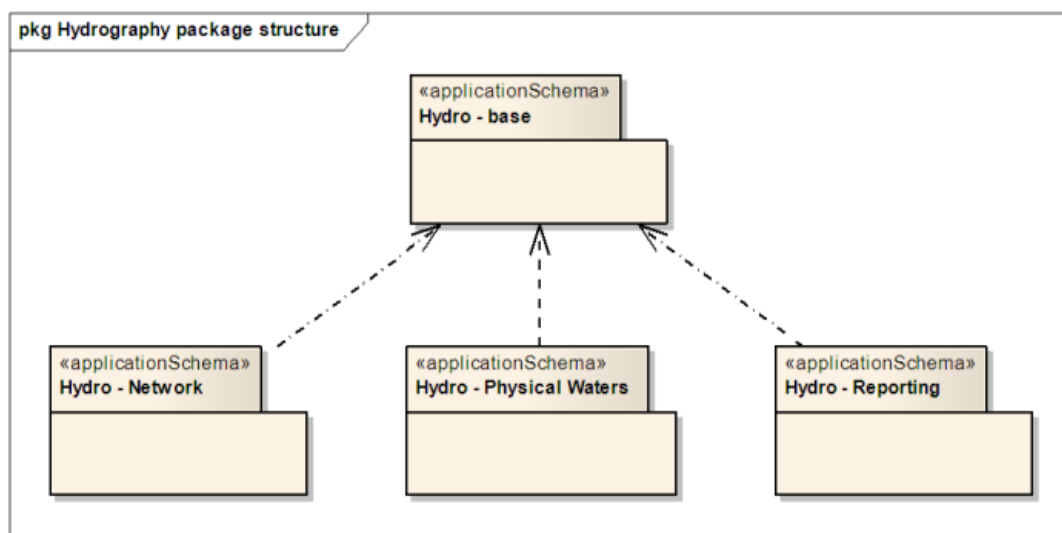
Географски посматрано, тема *Хидрографија* обухвата сва копнена и морска подручја покривена сливним подручјима како је дефинисано WFD. За потребе картирања (да би се обезбедила позадина приказа за оријентацију и да би се разумели односи положаја објеката), она укључује представљање свих главних хидрографских објеката.

Јединице за управљање пакетима водних тела садрже класе које се односе на управљање и администрацију. Ове јединице су подручје речног слива, подслива и заштићена подручја. Подручје речног слива означава подручје копна и језера, односно мора које се састоји од једног или више суседних речних сливова заједно са обалним водама, и представља главну јединицу за управљање речним сливовима (INSPIRE, 2014). Притом, појмови *слив* и *речни слив* се односе на физички слив, а не на водно подручје (*River Water District - RWD*) или под јединицу, што такође постоји у класификацији WFD. Ове последње две су административне јединице које немају директну везу са физичким сливом и басеном, стога RWD је више јединица за извештавање него физичка карактеристика и није тема моделована Анексом 1, али се сматра да је део теме Анекса 3, јединица за управљање и извештавање.

Тела површинских вода унутар сливних подручја су категорисана као језера, реке, канали, прелазне или приобалне воде, вештачка површинска водна тела или јако измењена тела површинских вода. Да би се максимизирала поновна употреба тако класификованих и организованих података са другим просторним објектима требало би да повезивање буде лабаво у смислу да су они идеално дефинисани као различити објекти у бази података. При том исправно структурирани подаци се могу поново користити у неколико различитих апликација, а све повезане информације се деле и размењују по жељи.

Поступци који се користе за размену и класификацију просторних објеката из скупова података који се односе на тему *Хидрографија*, дефинисани су одређеним апликационим шемама (Слика 10). При том основна апликациона шема *Hidro-base* подељена је на три подшеме, како би се испунили главни услови употребе:

- *Hydro-Network* (мрежни модел првенствено за просторну анализу и моделирање);
- *Hydro-Physical Waters* (физичке воде првенствено за потребе картирања);
- *Hydro-Reporting* (извештаји првенствено за потребе информисања у складу са WFD).



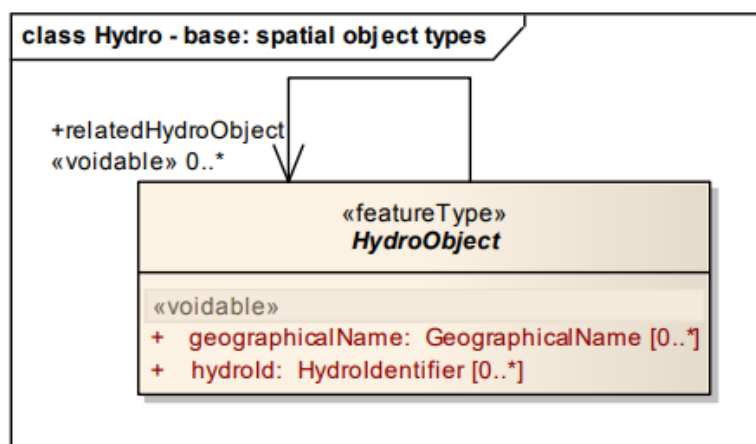
Слика 10. Основни пакети теме *Хидрографија* – апликационе шеме (Извор: INSPIRE, 2014)

а) Апликациона шема *Hidro-base*

Она пружа основу за дефинисање различитих „погледа” на хидрографију. Иако постоји само један реалан свет (поглед) хидрографских објеката, он може имати више интерпретација и приказа. Према спецификацији тема *Хидрографија* идентификује „мрежу”, „картирање”, и „извештавање” и третира их као различите приказе стварног света,

односно кроз три одговарајуће апликационе шеме. Како би се хидрографски објекти прилагодили различитим погледима, класа заједничке базе (шема *Hydro-base*) нуди могућност разноликих изгледа неке карактеристике из стварног света, делећи при том заједничко име или идентификатор.

Једини елемент *Hydro-base* је *HydroObject*, кога наслеђују остале класе (Слика 11). Његов циљ је да се обезбеди основа за дефинисање специјализованих погледа хидрографских карактеристика у другим шемама.



Слика 11. Основна класа пакета *Hydro-base* (Извор: INSPIRE, 2014)

Класа пакета *Hydro-base* обезбеђује својства која омогућавају повезивање различитих просторних објеката који представљају исту карактеристику (одлику) из реалног света. За то су предвиђена три начина - механизма (INSPIRE, 2014):

- Заједнички атрибут „*geographicName*” омогућава имплицитну повезаност између просторних објеката представљајући истоимено обележје из реалног света;
- Заједнички атрибут „*hydroId*” омогућава имплицитну повезаност између просторних објеката који представљају иста препознатљива обележја реалног света;
- Асоцијација „*relatedHydroObject*” дозвољава експлицитну повезаност између просторних објеката који представљају исту одлику из реалног света, али тамо где заједничко име или идентификатор није применљив.

На пример, река са именом у стварном свету може бити представљена различитим просторним објектима, и као приказ „картирања” и као приказ „извештавања”, кроз просторне објекте „*Watercourse*” и „*WFDRiver*”. Делењем исте вредности за наслеђени атрибут „*geographicName*”, успоставља се имплицитно асоцијација (повезивање) између ова два просторна објекта. Слично томе, „*mapping*” поглед и „*network*” поглед у реалном свету могу бити помирили кроз делење заједничког хидрографског идентификатора, који обично додели национални менаџмент или надлежна институција (INSPIRE, 2014).

6) Апликациона шема *Hydro-Network*

За моделовање података Хидрографије, потребне су додатне информације (нпр. затворена мрежа, одређени атрибути) које нису нужно потребне за карту у позадини. Ове додатне информације, као и сам модел мреже, садржане су у посебној апликационој шем. Ако је само мрежни модел доступан код добављача података, могуће је описати мреже без

директног упућивања на физичке објекте. Из тог разлога, просторни објекти у оба модела (и мрежни модел и модел физичких вода), садрже сопствене геометрије.

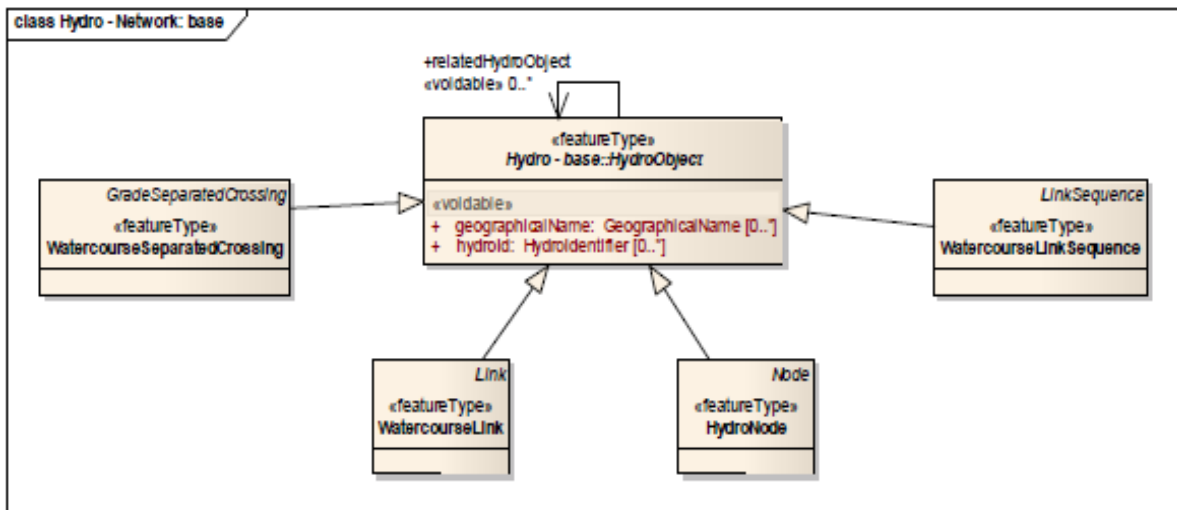
Апликациона шема *Hydro-Network* специјализује *Generic Network Model* пружајући четири специфична хидрографска просторна типа објеката (Слика 12):

- *WatercourseLink* и *HydroNode* (пружају главну везу и чворове у мрежном погледу);
- *WatercourseLinkSequence* (служи за идентификацију редоследа повезаних секвенци водотока);
- *WatercourseSeparatedCrossing* (одвојени прелаз водотока без интеракције (нпр. аквадукт који пролази преко канала)).



Слика 12. Елементи мрежног модела (Извор: *INSPIRE*, 2014)

На слици 13 дат је UML дијаграм који визуализује специфичне хидрографске просторне типове објеката и њихов међусобни однос. Имајући у виду тематику, без обзира на непознавање структурирања UML дијаграма, може се у потпуности разумети садржај логичког модела података, фокусирајући се при том на Каталог објеката и карактеристика. Каталог објеката (одлика) посебно је користан код провере података неопходних за апликације које се покрећу.



Слика 13. Преглед апликационе шеме *Hydro-Network* (Извор: INSPIRE, 2014)

с) Апликациона шема *Hidro-Physical Waters*

Основна примена апликационе шеме *Hidro-Physical Waters* јесте креирање основне карте за хидрографију. Избор карактеристика је заснован на условима за картирање специфичних објеката, као и на потреби за разликовањем појединих објеката у погледу моделовања. Ова шема моделује основне хидрографске елементе (Слика 14): обала (*Shore*), регион океана (*OceanRegion*), површинске воде (*SurfaceWater*: текуће - *Watercourse* и стајаће – *StandingWater*), сливове и подсливове (*RiverBasin*). Такође моделује и објекте које је човек направио као што су мостови (*Crossing*), бунари (*DamOrWeir*), насипи (*Embankment*) (INSPIRE, 2014).



Слика 14. Елементи *Хидрографије* и сродни објекти (Извор: INSPIRE, 2014)

Шема апликације *Physical Waters* дефинише типове просторних објеката за низ физичких ствари у стварном свету класе обележја које имају јаку везу са хидрографијом и пружају основу за неке просторне типове објеката у другим темама:

- Физичке површинске воде: водоток, стајаћа вода;
- Типови земљишног покривача (из теме Анекса 2 „Покривач земљишта“) са значајним хидролошким утицајем: мочваре, глечери, тло под снегом, пешчаре;
- Сливна подручја: дренажни басен и речни слив;
- Обалне воде и границе;
- Типови урађених објеката: насип, брана, мост;
- Типови хидро објеката: извори, бунари, водопади, врела.

д) Апликациона шема *Hydro-Reporting*

Шема *Hydro-Reporting* се односи на извештавање према WFD. Дефинисана је класа *WFDWaterBody* која представља основу за низ конкретних изведених WFD извештаја о типу водних тела и других важних карактеристика.

3.3. Управљање водним ресурсима у Словенији

Словенија је чланица ЕУ и спада у ред развијених земаља. Као и у неким другим областима, тако и у области управљања и заштите водама, технолошки је испред не само наше земље и појединих држава у нашем окружењу, већ и испред неких држава у ЕУ. Геопросторни подаци и подаци о водама сматрају се, поред људства и технологије, једним од најважнијих ресурса неопходних за успешно извршавање многих активности у привреди и друштву. Последњих година се доста радило на обезбеђењу геопросторних података и управљању водама. Урађене су разноврсне базе података, тематске карте и студије од стране различитих институција и за различите намене (Grilj et al., 2015). Није било централног управљања овим подацима, нити ширег публициитета, односно приступ им је био отежан. У неким случајевима чак ни многи државни органи нису знали који су подаци доступни.

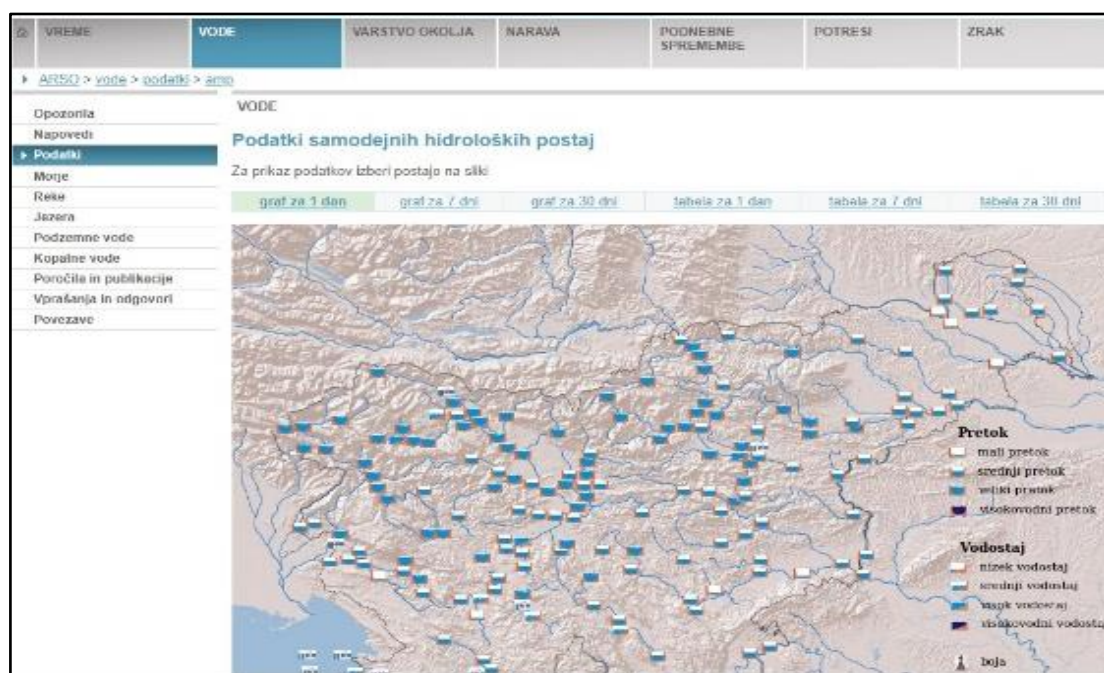
Због отежаног приступа подацима о простору и дисперзије база података, Министарство животне средине и просторног планирања Владе Републике Словеније је 2015. године, заједно са Агенцијом за животну средину Републике Словеније успоставило веб портал **еВоде** (Слика 15).

Слика 15. Web портал **еВоде** (<http://www.evode.gov.si/>)

Сврха пројекта **еВода** је да попише и прикупи све релевантне информације о водопривреди на једном месту и да сетове података о простору ажурира или прикупи податке изнова. Тиме би ресорно министарство имало све потребне базе података за водопривреду које су пре тога биле по разним заводима и институцијама. Због одређених реорганизација у области водопривреде, Министарство животне средине и просторног планирања је управљање веб порталом **еВоде**, пренело у надлежност Дирекцији за воде 2017. год., што је утицало на одржавање и повећање квалитета база података.

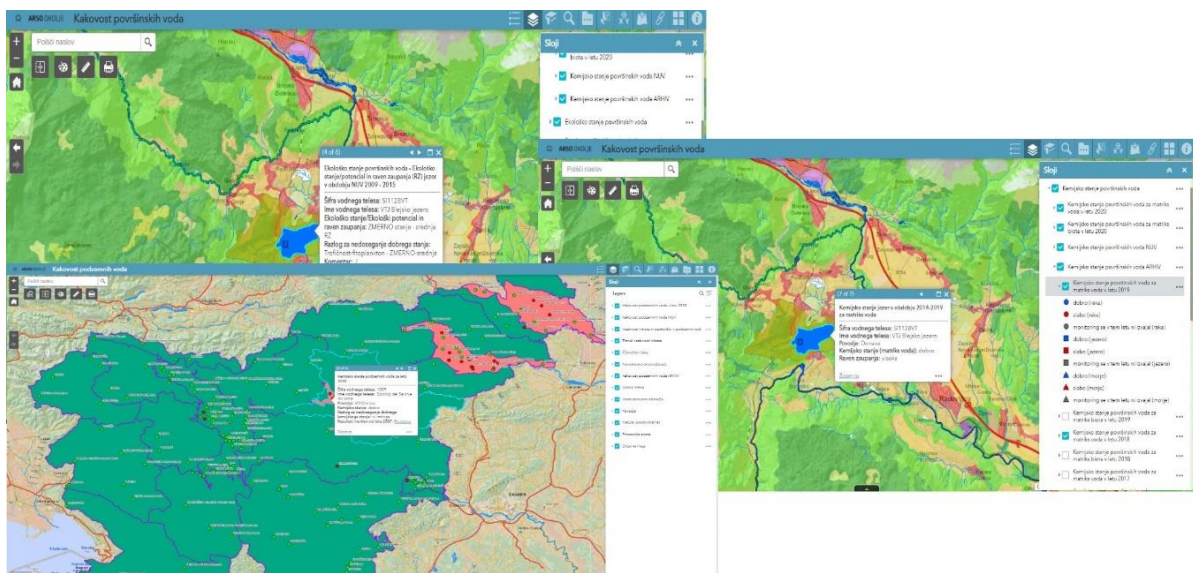
Министарство за животну средину и просторно планирање 2017. године, надоградило је веб портал **еВоде**. Надоградња се огледа у имплементацији катастра вода (инвентар вода и инвентар водних објеката и уређаја), као додатне службене евиденције из области водопривреде. Информативни графички приказ података из базе катастра вода, омогућен је у оквиру портала **еВоде** коришћењем *Atlas Water Viewera*. Према политици која регулише приступ подацима о водама у катастру, прописано је да свако може имати увид и добити изводе из база података. Тиме се спроводи принцип јавне доступности водног катастра, путем савремених е-услуга (Grilj et al., 2017).

На порталу **еВоде** може се приступити тренутним подацима о температури, протицају и водостајима река са мерних станица површинских вода, као и подацима са станица подземних вода. Подаци се налазе у оквиру интерактивних карата, табела, затим дневних, недељних и месечних извештаја у виду графикона, дијаграма итд. Такође, постоје линкови ка порталима сличног садржаја и подацима о водотоковима суседних земаља (Слика 16).



Слика 16. Тренутни подаци са мерних станица (<http://www.arso.gov.si/vode/podatki/amp/>)

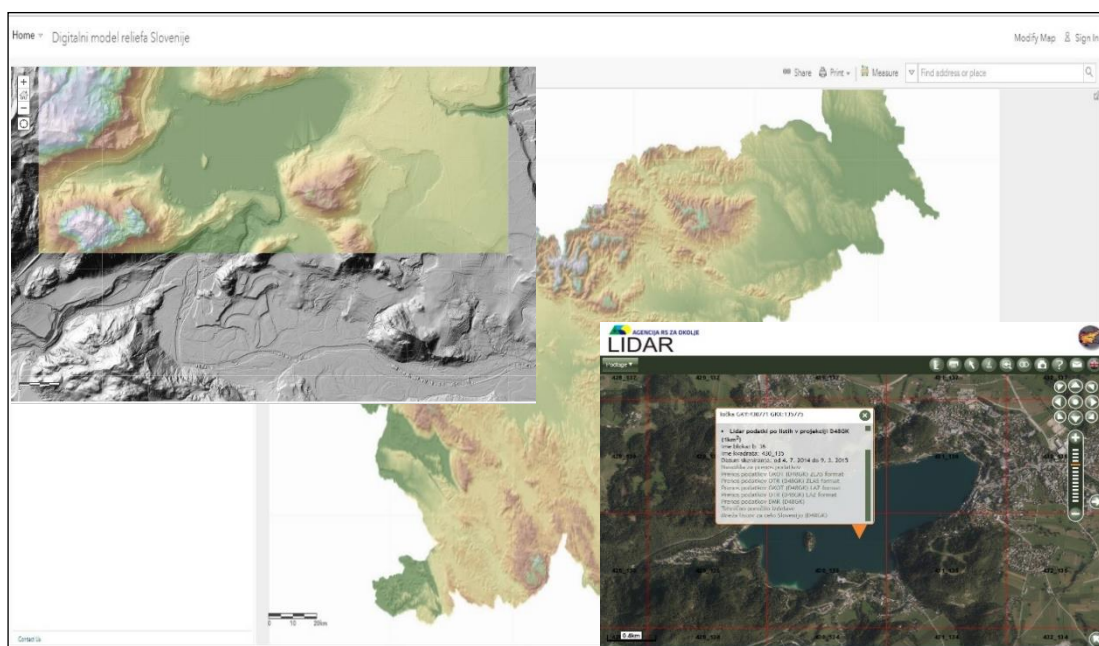
На порталу **еВоде** може се приступити и архиви хидролошких података о водама у виду извештаја као и приступ многим хидрографским информацијама преко ГИС прегледача: *Kakovnost površinskih voda* и *Kakovnost podzemnih voda*. На слици 17, дат је приказ хемијског и еколошког статуса површинских и подземних водних тела.



Слика 17. Геопортали са архивским подацима о води (<https://gis.arso.gov.si/portal/home/>)

Министарство животне средине и просторног планирања, како би обезбедило адекватну базу података за системску реализацију задатака у области водопривреде, омогућило је и прикупљање података о рељефу за целу територију Словеније ласерским скенирањем (LiDAR). Корисници могу добити следеће податке:

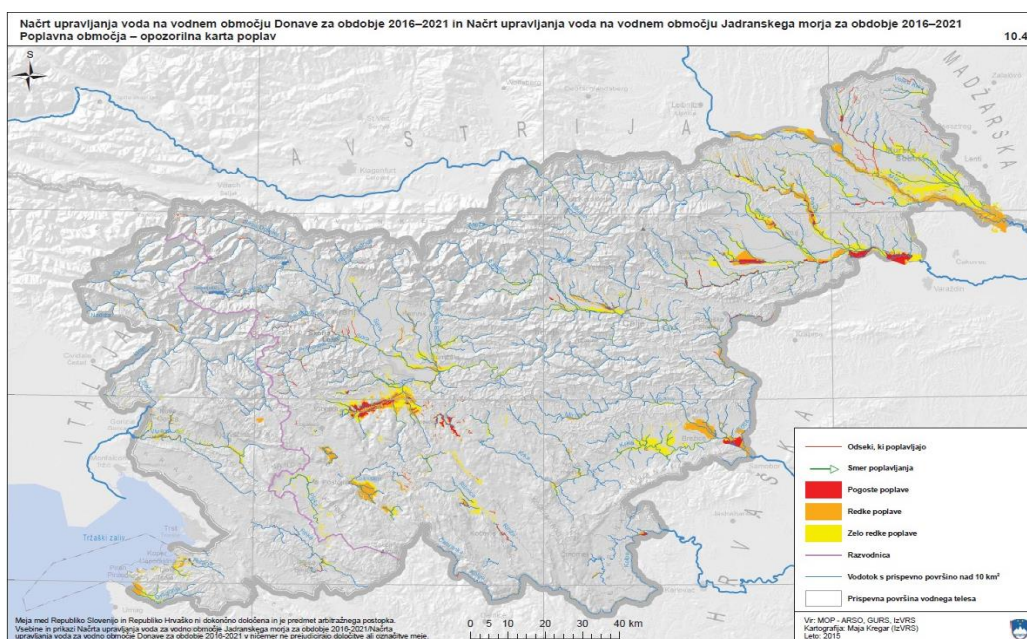
- Геореференцирани и класификовани облак тачака, односно облак у којима су тачке раздвојене по нивоима, земљиште, зграде и инфраструктурни објекти, три различите врсте вегетације (ниска, средња и висока). Након што, корисник може преузимати податке, и класификовати их према сопственом потребама;
- Облак тачака који се односи на рељеф, односно ниво у коме се чувају само тачке које се односе на тло;
- Дигитални модел рељефа (ДМР), где је обављена интерполација и моделовање рељефа на основу облака тачака, који је креиран у ГРИД правилној мрежи 1 m × 1 m (Слика 18).



Слика 18. ДМР Републике Словеније (<https://gis.arso.gov.si/portal/home/>)

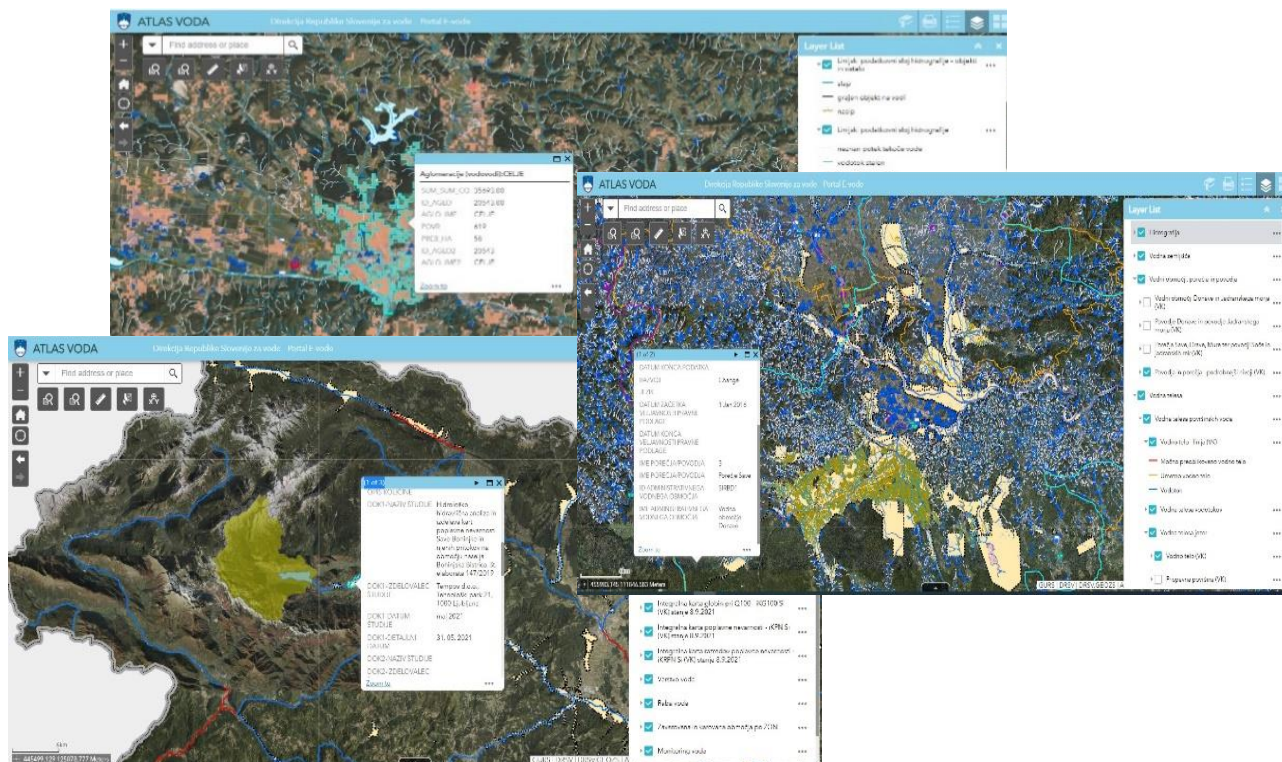
Подаци прикупљени LiDAR снимањем су доступни, односно надлежно министарство дозвољава приступ свим заинтересованим корисницима и преузимање података online. Корисници могу добити геореференцирани облак тачака за било коју област у Словенији. Ови подаци су корисни код израде разних хидролошких студија, планирања мера за повећање безбедности од поплава, праћење промена у животној средини, пољопривреди, шумарству, саобраћају, одбрани. Због широког спектра коришћења, очекује се и њихова већа примена у градском зеленилу, односно ефикасније управљање у урбаним срединама и брже планирање животног простора.

На порталу **еВоде** налазе се студије о безбедности и процени ризика од поплава. Оне су доступне са описом и симулацијама поплавних подручја, хидролошким и хидрауличким прорачунима, за период од десет и више година (Слика 19). Преко протокола <http> омогућен је приступ различитим документима (*html, pdf, doc, kml*).



Слика 19. Карта могућих поплавних подручја у Републици Словенији (<http://www.evode.gov.si>)

Главно обележје web портала **еВоде** је геопортал **ATLAS VODA**. На геопорталу **ATLAS VODA** постављен је претраживач (*Atlas Water Viewer*) који омогућава приказ целине геопростора, главне водно - просторне целине, управљање ризиком од поплава, управљање водама, заштиту и коришћење водних ресурса, мониторинг у области водопривреде, тематске карте и LiDAR податке. Садржај геопортала **ATLAS VODA** допуњава се и надограђује континуирано и свеобухватно. Притом, јавност може имати увид у активности из акционог плана услед поплава, заштите од поплава или мера у имплементацији заштите (Слика 20).



Слика 20. Атлас вода - разноврсност тематских целина
(<https://gisportal.gov.si/portal/apps/webappviewer/index.html>)

Министарство за животну средину и просторно планирање путем геопортала **ATLAS OKOLJA** приказује просторне податке које има у својим званичним евиденцијама и који се односе на сва питања животне средине (природа, вода, тло, клима, земљотреси, екологија). Садржаји су распоређени по тематским групама: мерна места, животна средина, клима, вода, вегетација и тло, земљотреси. На овом геопорталу су обједињени сви подаци из надлежности министарства. Као додатни подаци за повезивање са еколошким садржајима, у систем су укључене следеће националне евиденције:

a) Просторне јединице:

- Графички део катастра земљишта, улице и кућни бројеви, општине, насеља, административне јединице, катастарске општине, регистар географских имена.

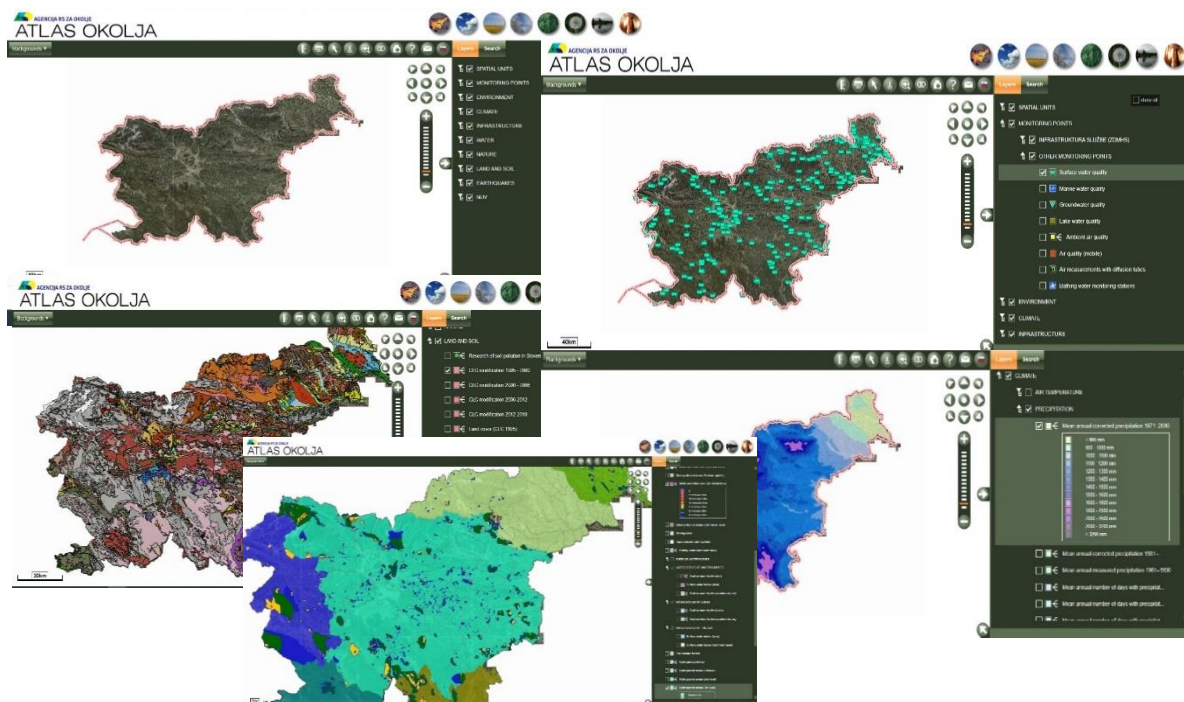
a) Картографске и ортофото подлоге:

- Дигитални ортофото у размери 1:5.000 (урађен на основу авио-снимака);
- Основни топографски планови размере 1:10.000 и 1:5.000;
- Топографске карте размере 1:25.000 и 1:50.000;
- Прегледне карте размере 1:250.000, 1:500.000 и 1:1.000.000;
- Дигитални модели висина (ДМВ 100, ДМВ 25, ДМВ 12,5 , ДМВ 5).

b) Инфраструктура:

- Државни путеви и просечни годишњи дневни саобраћај, извори електромагнетног зрачења (<http://gis.arso.gov.si/related/help/index4.htm>).

За ширу јавност **ATLAS OKOLJA** је доступан на <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja>. Приступ је бесплатан и кориснику није потребна лозинка (Слика 21).



Слика 21. Атлас окоља - разноврсност тематских целина (<http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/>)

Постављањем веб портала **еВоде** са јавно објављеним подацима, омогућило се ефикасније (лакше, брже и јефтиније) планирање простора, анализа улагања, прикупљање информација у истраживачке сврхе итд. Поступци у области просторног планирања и изградње објеката постали су рационалнији и бржи. Притом, информације су побољшане не само у области водопривреде, већ су доступне свим субјектима у друштву. На овај начин, портал **еВоде** пружа информациону подршку за ефикаснију водопривреду. Од веб портала, се очекује комфорнији приступ свим подацима са терена, што између осталог, значи ефикасније управљање и заштиту водних ресурса. Приликом имплементације веб портала **еВоде**:

- Следили су се принципи INSPIRE директиве;
- Прикупили су се релевантни подаци из области водопривреде на „једно место“;
- Омогућио се приступ подацима широј јавности;
- Усвојен је принцип објављивања нових информација чим се добију или прикупе.

Искуства и одзиви корисника веб портала **еВоде** су позитивна. На овај начин се потврђују запажања о отежаном управљању водама у прошлости. Наиме, били су тешко доступни и парцијални, што су посебно осећала друга одељења која су у свом раду била везана за управљање и заштиту водних ресурса. Уочено је велико интересовање међу корисницима веб портала **еВоде** за преузимање LiDAR података.

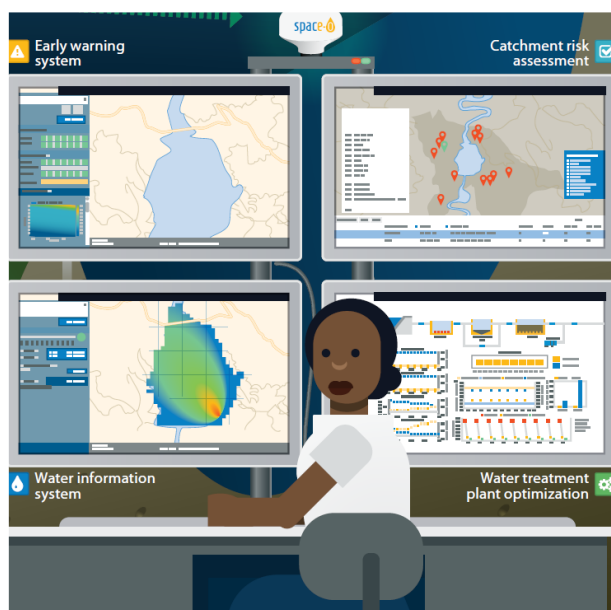
Као један од дугорочних циљева дефинисана је компјутеризација административних поступака у области управљања водама. Тиме би се довршило комплетирање пројекта **еВоде** (е-водна сагласност, е-водна дозвола...) и омогућило повезивањеса е-услугама јавне управе.

3.4. SPACE - О платформа

Сателитски подржана платформа за прогнозу квалитета воде у циљу оптимизације доношења одлука у сектору снабдевања водом *Space Assisted Water Quality Forecasting Platform* (SPACE-O) интегрише најсавременију сателитску и земаљску информационо-

комуникациону технологију (Šotić i Veljković, 2018). Систем има за циљ праћење квалитета воде и напредно хидролошко моделовање, односно моделовање квалитета воде користећи алате за генерисање краткорочних и средњорочних прогноза у реалном времену протока воде и кључних параметара квалитета површинских вода (замућеност, присуство алги), која ће се заузврат користити за подршку доношењу одлука у услугама водоснабдевања.

SPACE-O обезбеђује платформу за подршку одлучивању која повезује физички и дигитални свет комбинујући сателитску технологију са напредним хидролошким, хидродинамичким и еколошким моделовањем, праћењем промена на лицу места и традиционалним геонаукама. Почевши од 2016. године, тим стручњака из међународних организација (*Earth Observation and Environmental Services GmbH & Co.* (EOMAP), *International Water Association* (IWA), *Swedish Meteorological and Hydrological Institute* (SMHI), *National Research Council of Italy – Institute for the Electromagnetic Sensing of the Environment* (CNR-IREA), *EMVIS Consultant Engineers S.A.*, *European Dynamics Belgium S.A.* (ED), *Ente Acque della Sardegna* (ENAS), *The Organization for the Development of Crete S.A.* (OAK)) удружио се да би искористио могућности савремене технологије у борби са данашњим изазовима када су воде за пиће у питању. Развијене процедуре и алати су тестирани на две пилот локације, водне акумулације на Криту и Сардинији, као подршка у процесу управљања локалним водoprивредним предузећима (*Ente Acque della Sardegna* и *The Organization for the Development of Crete*). SPACE-O платформа користи сателитске снимке из *Copernicus* - а, европског *Union's Earth Observation* програма. Сателитски снимци се обрађују помоћу најсавременијег система *Modular Inversion and Processing System* (MIP) који је развио EOMAP коришћењем података са два сателита, *Sentinel-2* и *Landsat 8*. Платформа SPACE-O подразумева више интегрисаних сервиса (Слика 22) (SPACE-O, 2021).



Слика 22. Концепт Space-O платформе (Извор: SPACE-O, 2021)

„Информациони систем за воде” (*Water Information System*) омогућава прикупљање детектованих и прогнозираних параметара квалитета вода са акумулација у циљу анализе и одлучивања. Информациони систем је део платформе SPACE-O који функционише као производ у развоју, притом омогућава краткорочне прогнозе (до 10 дана) хидролошких параметара и параметара квалитета воде.

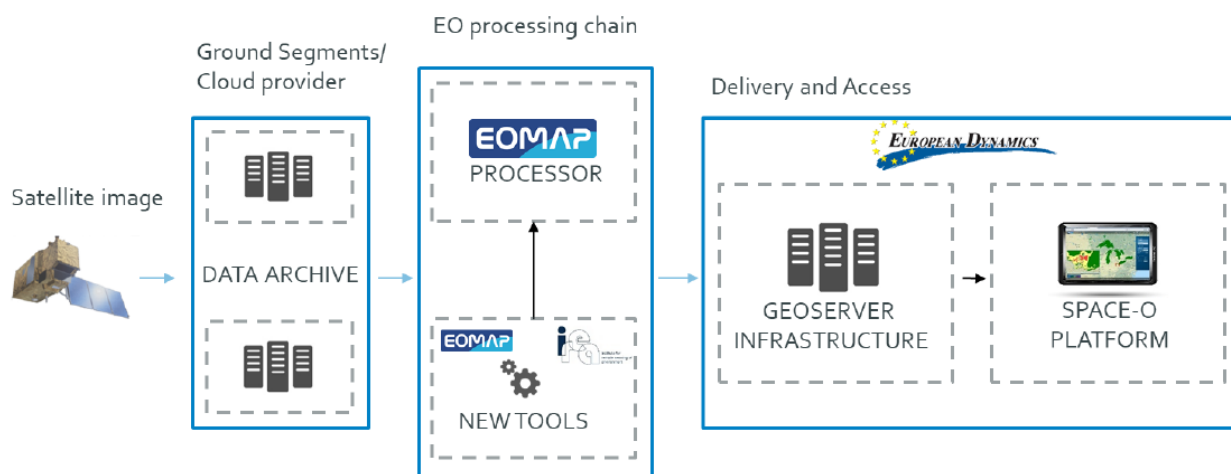
„Систем раног упозорења” (*Water Quality Early Warning System*) има за циљ доношење правовремене одлуке. Тиме се стиче боља припремљеност доносилаца одлука против могућих краткорочних/средњорочних промена количине и квалитета површинске воде у акумулацијама и језерима.

„Процена ризика слива” (*Catchment Risk Assessment*) је интерактивни алат за процену и ублажавање ризика. Процена ризика слива се користи за идентификацију области на нивоу слива где се посматрају интензивне антропогене активности и процену потенцијалног ризика.

„Оптимизација постројења за пречишћавање воде” (*Water Treatment Plant Optimization - WTP*) интегрише токове вода и параметре квалитета који утичу на контролу рада водопривредних предузећа. На тај начин, ефикасно се планирају и усвајају све критичне мере и контроле које имају за циљ побољшање оперативне ефикасности WTP у смислу бољег квалитета воде за пиће, финансијског учинка и поверења потрошача.

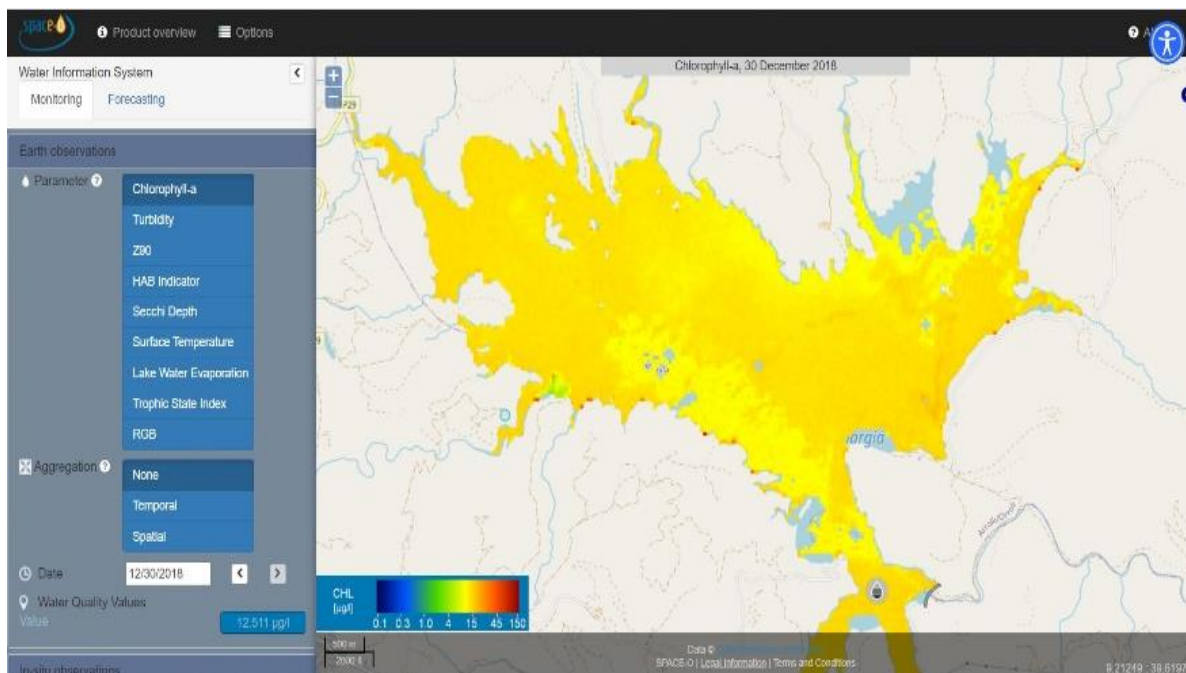
Током пројектовања SPACE-O платформе, EOMAP је имплементирао потпуно аутоматизовану обраду сателитских снимака за добијање параметара квалитета воде на две акумулације. Прва је, акумулација Муларгиа (*Mulargia*) у Италији, запремине 347 милиона кубних метара и површине воденог огледала 5 km². Постројење за пречишћавање воде за пиће је капацитета 2.500 l/s и снабдева 700.000 становника у регији Калгарија (Сардинија). Друга је, акумулација Апоселемис (*Aposelemis*) у Грчкој, запремине 27 милиона кубних метара и површине воденог огледала 2 km². Постројење за пречишћавање воде за пиће је капацитета 1.300 l/s и снабдева 300.000 становника у Ираклиону и околини (Крит). За ове две акумулације, на основу сета података из 2013-2016. године урађене су процењене вредности за рано упозорење коришћењем сателитских података високе резолуције са сателита *Sentinel 2* и *Landsat 8* (Tzimas et al., 2017).

Аутоматизација тока процедура и поступка обраде сателитских снимака уграђена је у MIP-у, организованог од стране *EOMAP Workflow System (EWS)*. Она укључује: аутоматизоване скрипте за преузимање сателитских снимака, обраду са MIP-ом и укљученим новим развојем алгоритама. Такође, подразумева аутоматско учитавање одабраних параметара квалитета воде на геопортал платформе SPACE-O, уз аутоматску контролу квалитета и датном валидацијом од стране оператера. (Слика 23):



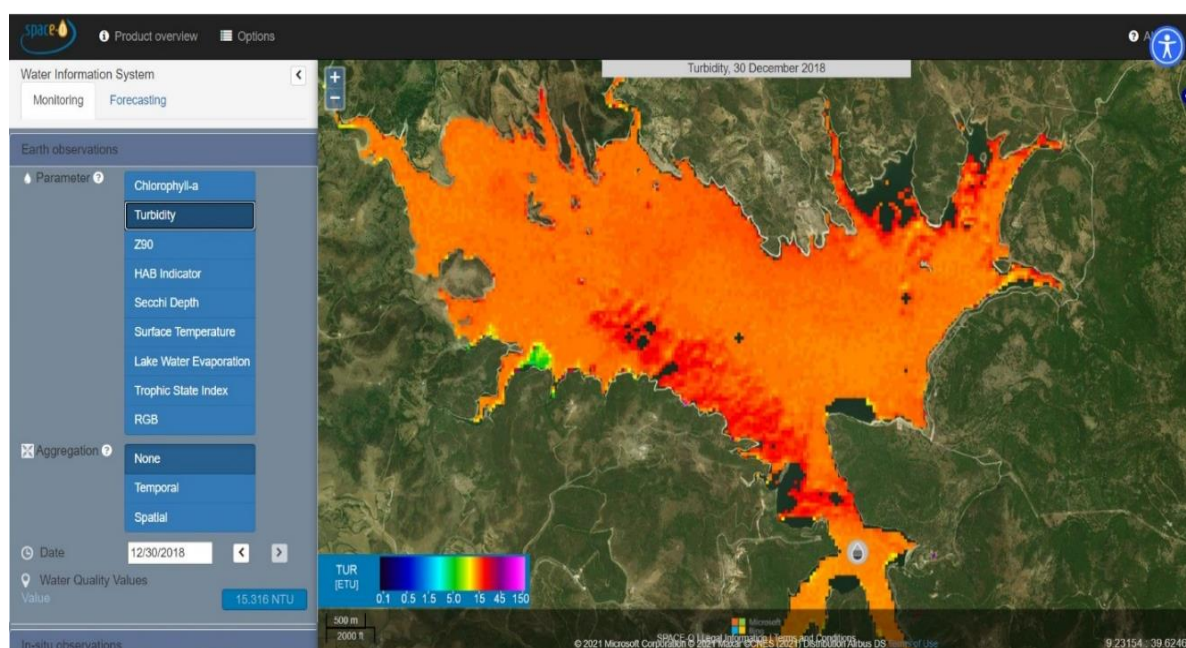
Слика 23. Дијаграм тока рада за праћење квалитета воде на SPACE-O платформи (<https://www.eomap.com/services/water-quality/>)

Сателитски мониторинг површи Земље обухвата различите параметре који се прате више пута недељно. За ово поглавље изабрано је неколико параметара који су значајни и занимљиви за мониторинг површинских акумулација. Због веће површине водног огледала акумулација Муларгиа у Италији је узета као пример у раду. Неки од параметара квалитета воде добијених са платформе SPACE-O су приказани на наредним сликама. Хлорофил-индикатор добија се из података о органској апсорпцији у води и спектралним карактеристикама снимка одговарајућег водног тела (Слика 24). На геопорталу SPACE-O доступни су параметри квалитета воде за оба пилот подручја.



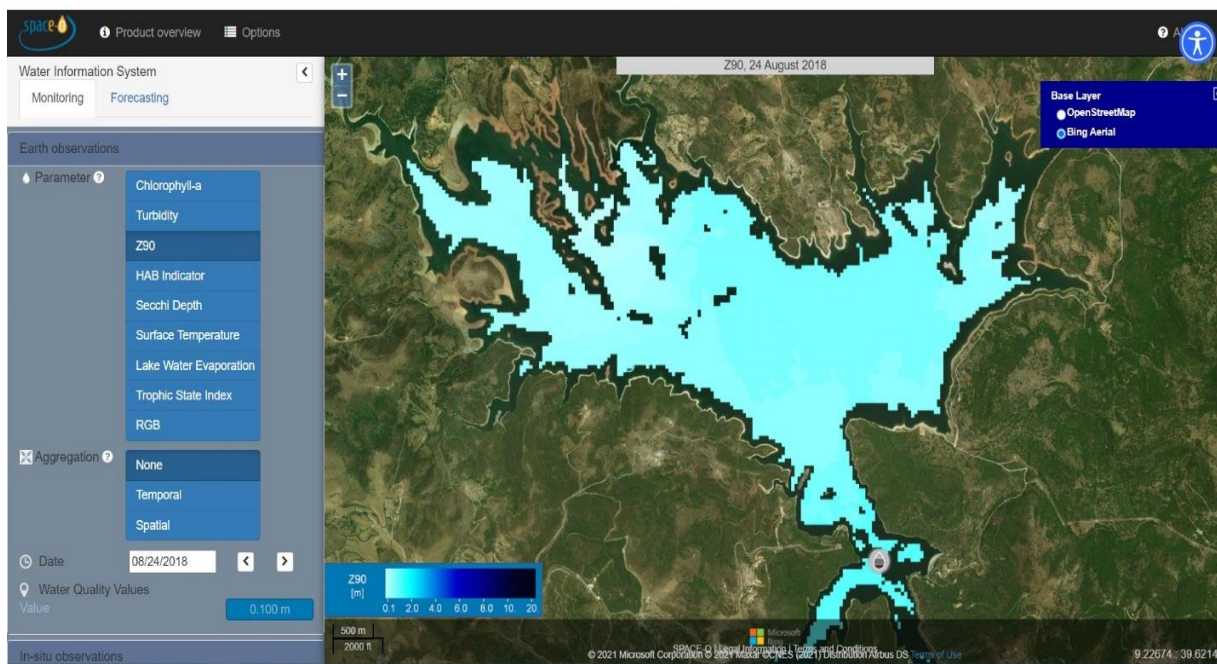
Слика 24. Индикатор Хлорофил-а (<http://www.space-o.eu/>)

Мутноћа је кључни индикатор квалитета воде и линеарно је повезан са повратним расипањем светлости рефлектованих од органских и неорганских честица у води (Слика 25). Мерна јединица је *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU).



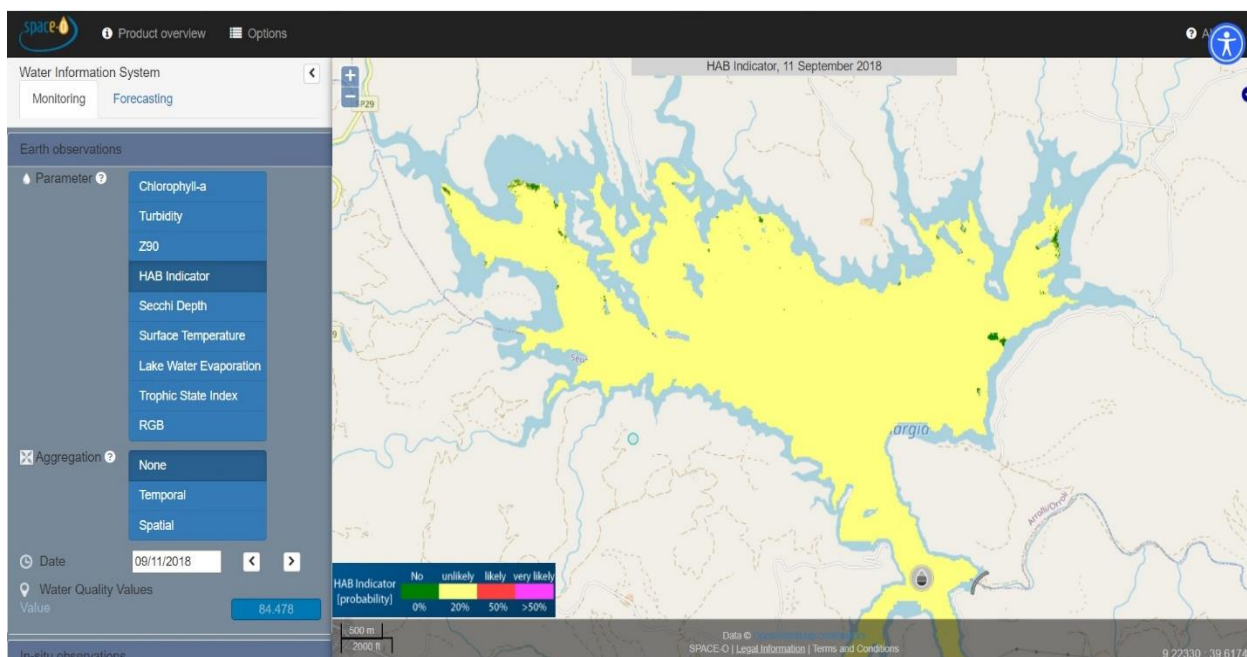
Слика 25. Индикатор мутноћа (<http://www.space-o.eu/>)

Индикатор дубине *Secchi Disk Depth* (SDD) изражава се у метрима и означава провидност воденог стуба. За потребе платформе SPACE-O установљен је параметар Z90 који показује дубину од које заправо долази 90% рефлектованог светла (Слика 26).



Слика 26. Индикатор дубина продирања светлости (<http://www.space-o.eu/>)

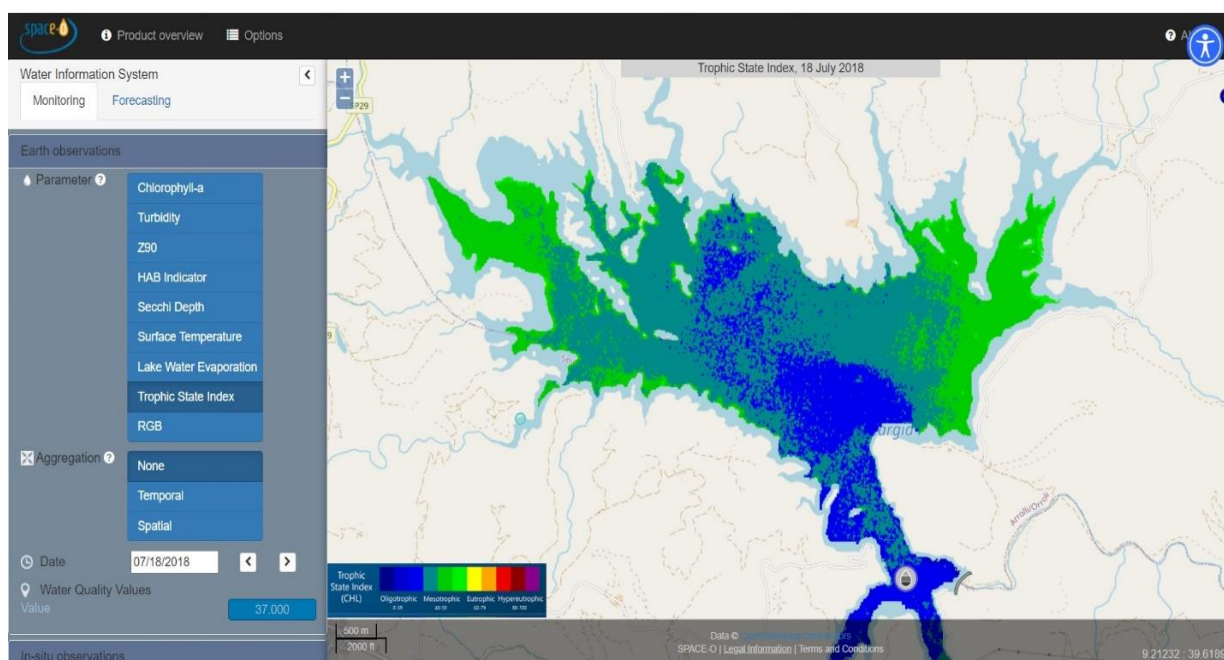
На овој платформи доступан је и индикатор штетног цветања алги *Harmful Algae Bloom* (HAB), односно непожељних цијанобактерија (*Cyanobacteria*). Индикатор HAB је важан при сагледавању и оцењивању општег стања екосистема (Слика 27).



Слика 27. Индикатор HAB (<http://www.space-o.eu/>)

Trophic State Index (TSI) представља систем за класификацију водних тела на основу количине биолошке продуктивности коју заправо одражавају. Иако се TSI обично

примењује на језера, свако површинско водно тело може бити „индексирано”. На платформи SPACE-O доступан је TSI добијен из обраде сателитских снимака (Слика 28).



Слика 28. Индекс TSI (<http://www.space-o.eu/>)

Као што се види из претходних прилога, помоћу нових технологија које се баве предвиђањем и моделовањем или развојем сценарија за картирање стања и последица, могу се добити боље процене фактора ризика. Ово заузврат може побољшати планирање и управљање водним ресурсима, уз смањење ризика од погрешних одлука.

Према (Šotiћ i Veljković, 2018) сателитски подржана еколошка истраживања постају недељиви део мониторинга, од локалног до глобалног нивоа. Подаци добијени сателитским осматрањем и снимањем користе се у свим природним наукама, примењују у пракси и постају основа развоја цивилизације. Презентована сателитски подржана платформа SPACE-O за прогнозу квалитета воде у циљу оптимизације доношења одлука у сектору снабдевања водом и управљања процесом од акумулације до постројења за пречишћавање воде за пиће представља пример искорака у будућност.

Сателитски подржан мониторинг квалитета вода има својство да унапреди доношење одлука тако што може да обезбеди драгоцене информације (просторне и временске), пре свега, о акумулацијама намењених водоснабдевању. Платформа SPACE-O која за сад функционише као производ у развоју је добар показатељ како ГИС технологије позитивно утичу на трендове развоја и у процесу праћења хидролошких појава и процеса. Имплементацијом истих ствара се предуслов за унапређење у процесу управљања и заштите изворишта површинских вода. Као што је илустровано у случају SPACE-O, покривеност сателитима нуди нове могућности и перспективу која може помоћи при решавању проблема у овој области.

4. ТРЕНДОВИ У ИНФОРМАЦИОНИМ ТЕХНОЛОГИЈАМА И ГИС

Подаци о простору имају суштинску улогу при описивању и анализи објеката, стања и појава у природи. Међутим, када су у великом броју и обиму онда се стварају одређене потешкоће управљања и руковања подацима. Користећи рачунаре и софтвере у данашње време, могућности су постале много веће. Примена база података и информационих система препозната је на глобалном нивоу, односно кроз интегрисани оквир информација о простору који „обезбеђује” основне и смернице за даљи развој, повезивање, јачање и максимизацију управљања геопросторним подацима и сродним ресурсима у свим земљама (IGIF, 2020). Имајући у виду тематику овог рада, посебно се наглашава примена савремених информационих технологија и трендова у управљању водним ресурсима (UN GGIM, 2020). Притом, сателитски снимци, LiDAR технологије, *Global Positioning System* (GPS) подаци постају све више доступни великом броју корисника и постају саставни део свакодневних активности.

4.1. Скупови података о простору и стандардизација

Скупови података о простору или геопросторни подаци се дефинишу као „подаци са директном или индиректном референцом за одређену локацију или географско подручје” (EPS, 2007). Реални свет представља низ објеката који имају одређене димензије у простору. Притом, просторни објекат „означава апстрактну представу реалног света, односно феномен који је везан за одређену локацију или географско подручје” (EPS, 2007).

Према (Jakovljević, 2020) за представљање објеката из стварног света у моделу података, неопходно је разумети структуру геопросторних појава. Постоје две врсте геопросторних појава: дискретне и континуиране. Дискретни феномени су дисконтинуирани и могу се разграничити од других феномена. Имају јасно дефинисану границу и лако је детектовати почетак и крај објекта или појаве. На пример, реке и језера су дискретни објекти јер граница између воде и копна може бити утврђена. Међутим, непрекидне појаве се мењају, стога их није могуће приказати као појединачне објекте. Надморска висина је, на пример, континуирана појава. Није могуће да се измери свуда, без обзира на то колико су узорци мерења надморске висине близу. Такође, чување записа о локацији и вредности појединачних тачака нису довољне кориснику да би добио корисне информације о својствима терена као што су нагиб, геоморфолошки изглед или висину у било којој тачки. На основу наведених карактеристика геопросторних појава, постоје две врсте модела који се могу применити за представљање података: векторски модел (за дискретне појаве) и растерски модел (за континуиране појаве). Векторски модел података чува просторне објекте у облику геометријских елементата: тачака, линија или полигона. Растерски модел података складишти просторне објекте у мрежи ћелија или пиксела. Сваки пиксел садржи вредност (интензитет) која представља информацију као што је надморска висина, врста тла или вегетације. Поред геометрије, сваки просторни објекат укључује један или више атрибута који описују квалитативну и квантитативну карактеризацију појава. Подаци о атрибутима се прикупљају и референцирају на сваки објекат. На пример, језеро се може описати у смислу његовог назива, дубине, квалитета воде, еколошког или хемијског статуса.

Топологија се користи, првенствено, да би се обезбедила конзистентност просторних односа објеката и појава у рачунару. Осим тога, може се користити за моделовање и интеграцију геометрије из различитих класа објеката, за побољшање ГИС анализа или за повећање брзине приступа (Egenhofer and Herring, 1991). Тополошки односи се сматрају важним као и сами објекти (Chen et al., 2001). Релације и међусобни односи могу бити

дефинисани између елемената полигон-линија, полигон-тачка, линија-линија, линија-тачка и обична тачка као тачка у 2Д или 3Д простору.

4.1.1. Велики скупови података

Брзи и непрекидни развој информационих технологија и уопште комуникационих система, доприносе експоненцијалном порасту количине (обима) података. Према (IBM, 2020) готово 90% података у свету је створено за 2 године (2014-2016), што је више него у читавој историји људског рода. Такође, број корисника интернета порастао је са 2,4 милијарде у 2014. години на 4,4 милијарде 2019. и на тај начин стварајући велику количину и поплаву података. У том смислу, термин „*Big Data*” или скуп великих података је уведен како би презентовао растуће количине података. Генерално, велики скупови се односе на обимну хетерогену колекцију структурираних и неструктурираних скупова података о простору који су тако велики и сложени да се не могу ускладиштити, процесирати и анализирати постојећим хардвером и софтвером, односно уобичајеним алатима за рад са базама података. Према (Laneu, 2001) велики скупови података о простору се често означавају као 3V:

- *Volume*, представља експоненцијално растућу количину података, мерену терабајтима и више;
- *Velocity*, представља количину генерисаних података у времену. Да би се приступило тим подацима, време је често кратко па их треба анализирати у стварном или скоро реалном времену;
- *Variety*, представља разноликост у форматима записа података. Подаци могу бити у различитим форматима као што су структурирани подаци и уграђени у табеле базе података, полуструктурирани подаци као што је *Extensible Markup Language* (XML), неструктурирани подаци као што су подаци о трансакцијама и евиденцији, текст, слике, аудио или видео записи. Хетерогеност неструктурираних података представља изазов за складиштење, анализу и визуализацију.

Процењује се да је око 80% информација које користе доносиоци одлука, повезано са географском локацијом што указује на значај података о простору (Worrall, 1991). Неки аутори су дефинисали и четврто „V”, *Veracity*. То је додатна димензија која описује интегритет и квалитет података, односно веродостојност (Marz and Varren, 2014). Имајући то у виду, одлике релевантне и за геопросторне податке су 4V:

- *Volume*: одлика која се односи на количину и обим геопросторних података. Даљинско осматрање, сензори за праћење у реалном времену, LiDAR системи, перманентне GNSS станице, информационе и многе друге комуникационе технологије (друштвене мреже, медији) производе информације и податке у петабајтима дневно;
- *Variety*: карактеристика геопросторних података о њиховој доступности у различитим форматима записа, од растерских и векторских, преко облака тачака, дигиталне графике, текста са географским ознакама и симболима, до слика и видео записа. Такође, многи геопросторни подаци имају сложене структуре које захтевају ефикасније моделе, индексе и технике управљања;
- *Valocity*: одлика која се односи на генерисање података са високом фреквенцијом. На пример, сензори на web мрежама, GNSS системи у реалном времену, камере за мониторинг екосистема и праћење саобраћаја, помажу корисницима широм света да раде брже и боље кроз најбољу технологију, пошто је време обраде погођено хитном потражњом за информацијама;
- *Veracity*: одлика геопросторних података која се односи на ниво истинитости (тачности) и варира у зависности од извора података. Наиме, многи подаци потичу

из непроверених извора и са непознатом тачношћу, па је то разлог за њихову веродостојност (Mooney et al., 2010).

4.1.2. Стандардизација географских информација

„Приказивање и анализа географских информација у појединим размерама, из различитих извора података и разноврсним технологијама, не даје потпуну и истоветну слику простора или јединствен одговор на сва постављена питања” (Павковић, 2016). Недостатак универзалног приказа изазива одређене потешкоће како у примени и коришћењу тако и у креирању географских информација. Стога се јавља потреба за стандардизацијом. Дакле, креирање, презентација и употреба географских информација биће успешнији, ако се дефинишу стандарди „који ће обавезивати и ствараоце и кориснике података о простору”. Између осталог, стандардима треба да се пропише координатни систем, квалитет података, формат и све друго што може утицати на употребу и размену географских информација у дигиталном облику.

Основни разлог „стандардизације јесте да се омогући интеграција географских података са свим осталим подацима. Стандарди у области географских информација односе се на дефиниције, описе и управљање географским подацима, тј. геопросторним подацима. Приликом развијања стандарда у области географских информација неопходно је, кад год је то могуће, узети у обзир постојеће стандарде информационих технологија” (Дробњак, 2016). Доста времена пре увођења дигиталних или рачунарских техника прихваћено је да је за олакшавање у интерпретацији и разумевању карата неопходно да визуелна презентација буде униформна и хомогена. Увођењем рачунарских метода шездесетих година прошлог века постало је још неопходније постизање договора о опису садржаја и формата података. Подаци су из рачунарских система произвођача преношени у рачунарски систем купаца и било је неопходно да се информације интерпретирају на исти начин. Током протеклих 10-15 година многе земље су донеле националне стандарде, а нарочито за пренос дигиталних географских информација између корисника са различитим системима и окружењем. Стога је било природно, да се и Међународна организација за стандардизацију (ISO) позабави том облашћу. Та организација покренула је активности на изради стандарда у области ГИС и 1994. године формирала Комитет за израду стандарда *ISO/TC211 - Geographic information/Geomatics*. Комитет је у протеклом периоду покренуо веома обимне активности на изради предлога стандарда у тој области. Многе међународне асоцијације које раде у области ГИС (или су заинтересоване за њихов развој и примену) прикључиле су се тим активностима. Многе земље света пријавиле су своје учешће у Комитету и активно раде на припреми и проучавању материјала за израду стандарда. Према следећим документима (ISO/TC211, 2001a; ISO/TC211, 2001b; ISO/TC211, 2001c; ISO/TC211, 2002a; ISO/TC211, 2002b; ISO/TC211, 2002c; ISO/TC211, 2002d), а у оквиру Комитета образовано је пет радних група.

Прва радна група је за оквир и референтни модел. Она одређује смернице и повезује рад осталих радних група. Будући да већина стручних неспоразума потиче од коришћења истих термина са различитим значењем, а геоинформатика је, за разлику од географије, геодезије и математике, млада наука чији се појмови још нису усталили. Терминологија је такође у надлежности те радне групе. Пројекти за које је она задужена су:

- **Референтни модел**, описује околину у којој су дефинисани стандарди географских информација, основна начела која се примењују и сам оквир рада стандардизације;
- **Преглед**, описује скуп стандарда које доноси *ISO/TC211* и начин на који су они повезани;
- **Језик концептуалне шеме**, описује јединствени језик моделовања структуре података;

- **Терминологија**, бави се усклађивањем терминологије ради бољег разумевања стандарда;
- **Усаглашеност и тестирање**, дефинишу концепте и методе тестирања, а служе онима који развијају ГИС и програмске пакете да докажу како је њихов производ у складу с тим нормама.

Друга радна група односи се на геопросторне моделе и оператере. Она проучава начине моделовања просторних објеката (тачке, линије, површи и тела) и њихову међусобну везу (топологију), те одржавање географских информација. Пројекти за које радна група задужена:

- **Просторна подшема**, прописује израду концепцијске шеме за просторне одлике географских информација, у првом реду геометрију и топологију;
- **Временска подшема**, прописује израду концепцијске шеме за временске одлике географских информација, тј. одржавање података;
- **Правила за апликациону шему**, односе се на развој начела за класификацију просторних објеката;
- **Географски оператери**, тј. просторни оператери.

Трећа радна група је за администрацију геопросторних података. У надлежности те радне групе важни су подаци о простору у које спадају опис квалитета и вредновања, како би се оценило да ли су поједини скупови података погодни за предвиђену употребу или нису, описи самих података, метаподаци, који се могу укључити у сервисе каталога или референтне системе, и геопросторне референце објеката у простору, било непосредно преко географских координата, или посредно коришћењем ознака области, назива или адреса. Пројекти за које је радна група задужена су:

- **Каталогизирање**, дефинише методологију за израду каталога просторних објеката, атрибута и њихових узајамних веза;
- **Геодетски и референтни системи**, дефинишу концепцијску шему и упутство при описивању геодетског референтног система;
- **Индириктни референтни системи**, дефинишу концепцијску шему за референтне системе који се не заснивају на координатама;
- **Квалитет**, пројекат који прописује јединствен начин за приказ квалитета географских информација;
- **Поступци вредновања квалитета** посебан је пројекат, који прописује методе за оцену квалитета географских информација;
- **Метаподаци**, прописују шему за израду метаподатака.

Четврта радна група је за геопросторне сервисе. Она разрађује методе кодирања података у форматима за пренос, те методологије представљања геопросторних података, што у неку руку представља повратак на картографију и традиционалним методама визуализације података. Та група такође покрива садашња поља одређивања положаја помоћу сателита, где су обухваћени формати и интерфејси неопходни за коришћење модерних сателитских навигационих система. У тој области постоје многа решења која су, међутим, скоро у потпуности ван службених стандардизационих тела, те је прави изазов позабавити се тим окружењем. Одређивање положаја помоћу сателита, комбиновано са геопросторним подацима, убрзано постаје врло важан алат у ГИС апликацијама. Пројекти за које је та радна група задужена су:

- **Сервиси за одређивање положаја**, односно, службе за позиционирање;

- **Приказивање геопросторних података**, пројекат који дефинише јединствен начин описа географских информација;
- **Поступак кодирања**, одређује правила кодирања географских информација;
- **Остали сервиси**, тј. службе.

Пета радна група је за профиле и функционалне стандарде. Она разматра груписање делова веће групе стандарда да би се задовољила посебна подручја примене или корисника. То је значајно ради брже примене и уласка у окружења корисника, пошто укупан скуп релевантних стандарда може да буде гломазан и непогодан за коришћење у целини. Та радна група је такође надлежна за усвајање *de facto* стандарда у поморском и војном окружењу, и њихово усаглашавање са профилима нових ISO стандарда. Пројекат за које је та радна група задужена назива се **Профили**. Увођењем различитих стандарда у прикупљању, изради и одржавању просторних информација створена је могућност њиховог коришћења у различитим апликацијама независно од извора настајања.

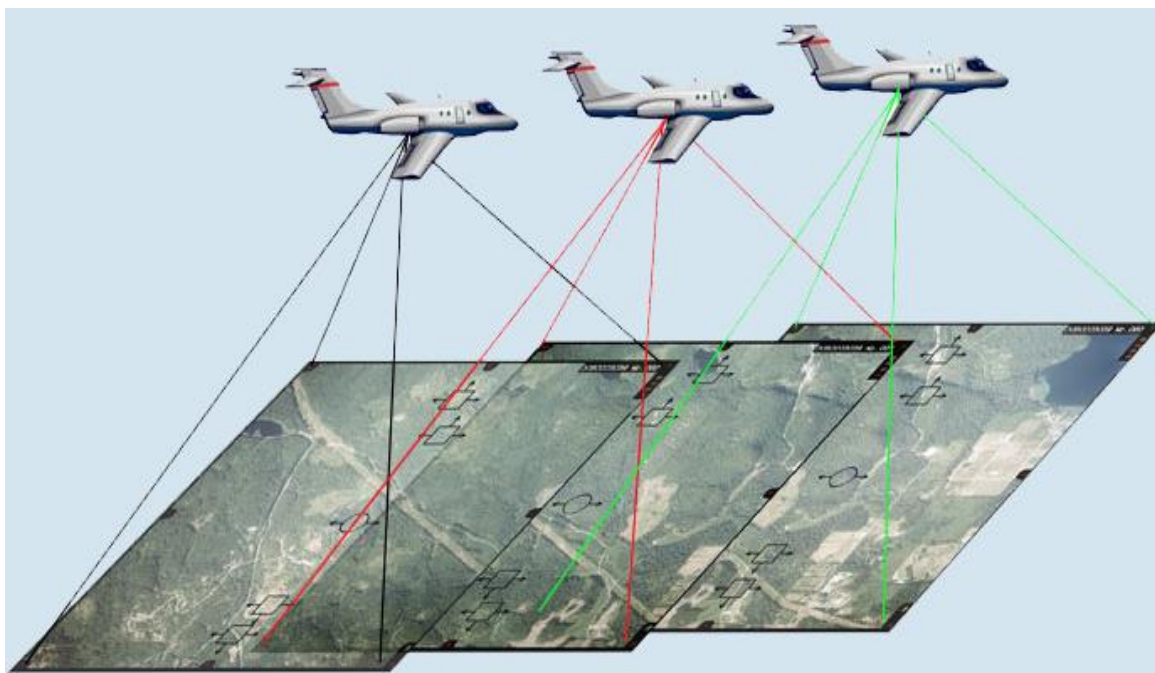
4.2. Технологије за прикупљање геопросторних података

Доступност нових техника и технологија за прикупљање геопросторних података обезбеђују све већу количину информација, померајући прикупљање података ка парадигми великих скупова. До недавно, прикупљање геопросторних података било је технолошки доста захтевно, засновано на изузетно скупим, сложеним професионалним уређајима и компликованим процедурама мерења и обраде. Наиме, прикупљање података померило се са мануелних поступака и снимања терена ка прикупљању густог облака тачака. Све више се користи дигитална фотограметрија и *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) системи, LiDAR технологија, даљинска детекција, радарско снимање и GNSS системи. Такође, прикупљање података је имплементирано у многим уређајима који су у свакодневној употреби, на пример, „паметни” телефони које људи користе све више.

4.2.1. Дигитална фотограметрија и UAV системи

Фотограметрија има дугу традицију и примену код прикупљања података о простору. Захваљујући сталном развоју летелица и техника за снимање, фотограметрија је незаобилазна метода за масовно прикупљање геопросторних података. Само снимање се врши помоћу специјалних камера које се уграђују у под авиона. Основни предуслов да би се аерофотоснимци могли користити за мерење тродимензионалних координата тачака на терену, јесте да се снимање изводи са одговарајућим преклопима између снимака а то обично износи око 60% подужним и око 25% попречним преклопом. Током времена стручњаци који су се бавили фотограметријом усавршавали су и технике обраде података, од аналогне, аналитичке, до дигиталне фотограметрије.

Тип система за фотограметријско прикупљање података, зависио је од историјског тренутка развоја технологије и величине подручја које се снима. Генерално правило је да се за веће територије користе авионске летелице са одговарајућом опремом (Слика 29), док за мање површине и блиско предметно опажање примењују беспилотне летелице, односно UAV системи.



Слика 29. Аерофотограметријско снимање терена
(<https://www.aboutcivil.org/Principal-method-of-Terrestrial-Photogrammetry.html>)

Због добрих перформанси и све веће доступности, UAV системи постају све заступљенији у фотограметрији, извиђању и надзору у реалном времену, праћењу кризних ситуација и томе слично. Развој ове технике доприноси велики напредак, захваљујући основним предностима система као што су економичност и мобилност у раду. Наиме, UAV системи су се појавили као приступачнија алтернатива конвенционалном аерофотограметријском систему, што је омогућило ниску цену производње висококвалитетних и високофреквентних снимака (Симић, 2020). Поред високе просторне и временске резолуције, UAV системи значајно доприносе флексибилности у прикупљању података као и дизајну кампање за снимање. Притом, развој алгоритма структуре из покрета *Structure from Motion* (SfM) омогућава посебно ефикасан метод квалитетног и брзог добијања геопросторних података резолуције испод једног метра (Nyimili et al., 2016).

Такође, UAV системи интегришу разноврсне сензоре, пружајући притом различите типове података који могу бити од користи за праћење различитих параметара, на пример, квантитет и квалитет површинских вода. У том контексту, системи беспилотних летелица представљају добро решење да се превазиђу одређени захтеви и економски параметри авионских система. Међутим, постоје и нека ограничења. Обично се UAV системи користе за снимање на локалном нивоу, а већина земаља успоставља прописе који ограничавају њихову употребу, нарочито у урбаним срединама.

Развојем UAV платформе за прикупљање снимака, беспилотне летелице преошћују јаз између аерофотограметрије и терестричке фотограметрије, и нуде алтернативу конвенционалним системима прикупљања геопросторних података. У поређењу са авионским или сателитским платформама, UAV системи се одликују ниским трошковима, адекватним коришћењем у опасним или неприступачним областима и могућношћу постизања високих просторних и временских резолуција. Данас постоје бројни и веома различити UAV системи. Њихова класификација се може обавити на више начина, односно, на основу аеродинамике, начина приземљења, хардверског дизајна, тачности (Симић, 2020). Међутим, најчешћа класификација беспилотних летелица је према конструкцији на летелице са фиксним крилима и мултиротор беспилотни системи (Слика 30).



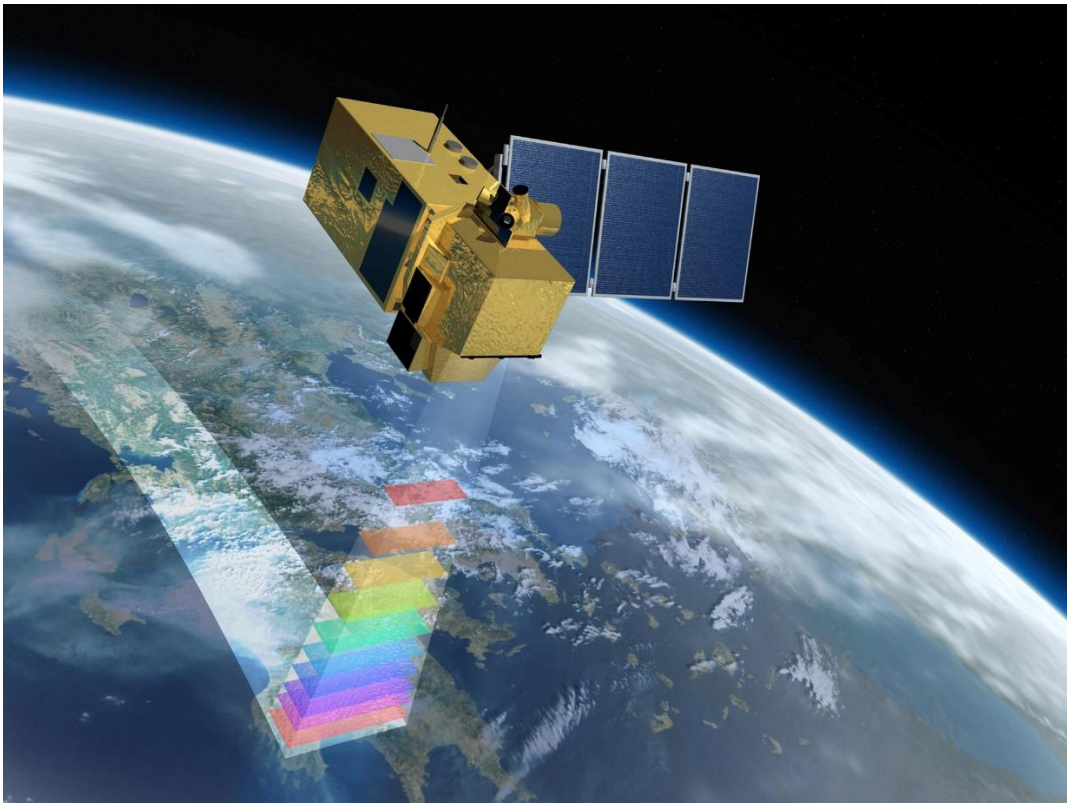
Слика 30. Категоризација UAV према конструкцији (Извор: Симић, 2020)

За примену у фотограметријске сврхе као што је ажурирање топографских карата, израда ортофотоа, дигитално моделовање површи, основни предуслов су прецизни геореференцирани снимци UAV система. Такође, обзиром на хардверска ограничења, највећи број летелица је опремљен једноставним GNSS и инерцијалним системима (INS), који омогућавају метарску прецизност позиционирања (Zhou et al., 2017). Ово је сасвим задовољавајуће, на пример, у процесима мониторинга, управљања и заштите изворишта површинских вода.

4.2.2. Даљинска детекција

Према (Jensen, 2007; Милановић и Љешевић, 2009; Oštir i Mulahusić, 2014) даљинска детекција представља метод масовног прикупљања геопросторних података путем сложених система, који нису у директном контакту са објектом или појавом на површи Земље. Притом, карактеристике неког објекта се могу дефинисати коришћењем рефлектованих или емитованих електромагнетних таласа од његове површине. У том смислу постоје пасивни и активни сензори. „Пасивни сензори детектују природну радијацију коју емитују или рефлектују посматрани објекти или околно подручје. Активно прикупљање, у другу руку, емитује енергију ради скенирања објеката и подручја а затим пасивни сензор детектује и мери радијацију коју је објекат рефлектовао или распршио у позадини”.

У данашње време, даљинска детекција покрива велика географска подручја и пружа велику количину података који се могу користити за праћење величине и геометрије облика водних тела, топологију, атрибута и њихових промена (Verpoorter et al., 2012; Feyisa et al., 2014; Rokni et al., 2015). Сателитски снимци су посебно значајни за прикупљање информација о водама у удаљеним, изузетно сложеним или опасним подручјима за приступ, на пример, током поплава (Santoro et al., 2015). Резолуција података даљинске детекције може се категорисати на основу четири типа резолуција: просторна, спектрална, радиометријска и временска. На основу просторне резолуције, сателитски снимци се могу класификовати у веома високе резолуције (испод 1 m), високе резолуције (између 1 и 5 m), средње резолуције (између 5 и 30 m) и ниске резолуције (више од 30 m) (DIGITALGLOBE, 2020). Више од две деценије на сателитским снимцима различитих резолуција и платформи, као што су *Landsat*, *Sentinel-1*, *Sentinel-2*, *WorldView-2*, *WorldView-3*, могу се учавати и издвајати значајне информације о хидрографији и уопште о површинским водама (Слика 31). Подаци даљинске детекције, са побољшаном просторном и временском резолуцијом, имају велики потенцијал за детекцију изворишта површинских вода и мониторинг њихове динамике.



Слика 31. Сателитска платформа *Sentinel-2*
(https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2008/04/Sentinel-2)

Примене даљинских истраживања укључују надзор и праћења на површи Земљи, утицај климатских и метеоролошких појава, те дубинско сондирање површинских вода. „Користећи даљинску детекцију могу се боље пратити кретања и промене површинских вода, а у еколошком смислу ширење загађења било ваздухом или воденим путевима” (Jensen, 2007). С друге стране, подаци даљинске детекције пружају глобалну покривеност са високом просторном и временском резолуцијом. Већ је неколико поступака и метода развијено за издвајање средишње линије тока река и прорачун ширине реке (Pavelsky and Smith, 2008). Алгоритам израчунава растојање за сваки пиксел воде до најближег пиксела који није вода и примењује Лапласове филтере да изведе средишњу линија. Такође, постоје одговарајући алати за екстракцију и аутоматско извлачење средишњих линија канала са *Landsat* снимака применом процедуре скелетизације праћене алгоритмом обрезивања.

Последњих година показало се „дубоко учење” као једна од бољих метода за откривање и препознавање објекта крупних размера (He et al., 2016), детекцију разноврсних објеката и семантичку сегментацију (Isikdogan et al., 2017), а која је заснована на такозваним конволуцијским неуронским мрежама. Основна предност конволуцијских неуронских мрежа је могућност хијерархијског учења објеката помоћу вишеструких конволуционих слојева, пружајући притом могућност детаљисања и уопштавања. Три главна фактора која утичу на квалитет приказа хидрографије су: величина, облик и хемијски састав воде. Притом, тачност картирања водних тела може бити значајно смањена у областима где је позадина шумски покривач, тамни објекти у урбаним срединама, снег и сенке са планина, зграда и облака (Feysa et al., 2014). У овим случајевима, објекти са водом и сенке се не могу лако раздвојити због њиховог сличног спектралног узорка (Dare, 2005). Присуство сенки је примарни извор грешака, посебно у градским срединама где се смањује тачност картирања површинских вода и анализа промена (Huang et al., 2012). Међутим, интеграција мултиспектралних слика и LiDAR података може смањити грешке изазване сенкама, где употреба LiDAR података повећава тачност класификације преко 10% (Swan and Griffin,

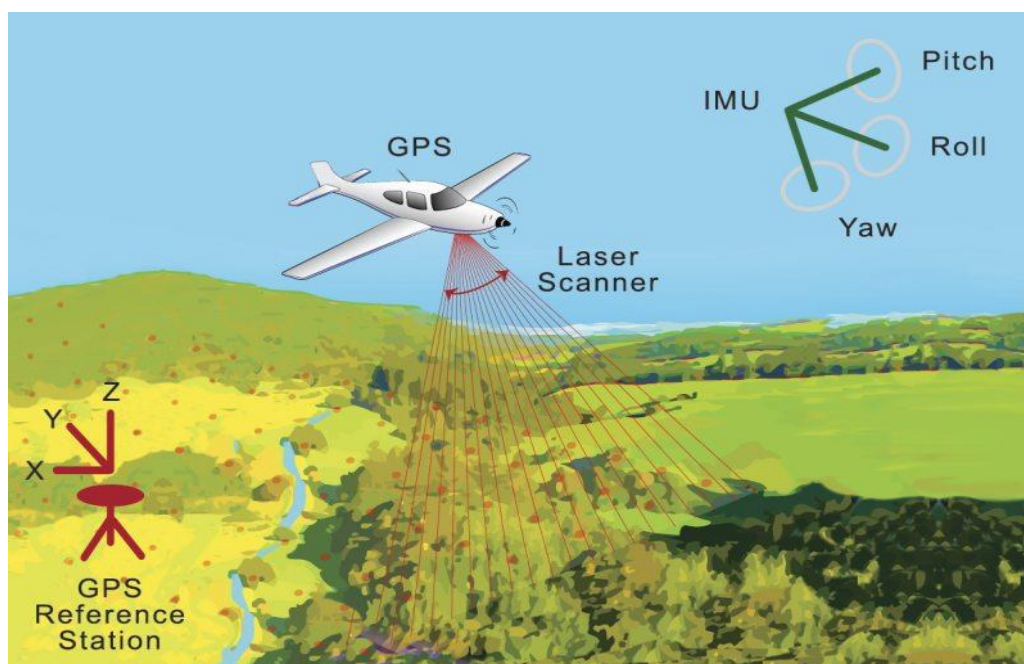
2019). Такође, на тачност картирања водних тела утичу високи нивои суспендованих честица чврсте материје, хлорофил, хранљиве материје и разни загађивачи који мењају спектрални попис у поређењу са онима у незагађеним областима (Donchyts et al., 2016).

Даљинска детекција се користи и приликом израде ГИС система. Управљање великим даљинским сензорима, укључујући мултирезолуцију, мултitemпоралне и мултиспектралне скупове података у различитим форматима, представља значајан изазов за ГИС системе. Штавише, потреба за обрадом у реалном времену на глобалном нивоу је захтевна иако тренутни рачунарски ресурси имају високе перформансе. Према (Hwang and Chen, 2017) рачунарство у облаку (*on cloud*) представља модел који омогућава практични приступ мрежи на захтев у заједнички скуп рачунарских ресурса који се могу конфигурирати (нпр. мреже, сервери, складиште, апликације и услуге) које се могу брзо обезбедити и ослободити уз минималан напор управљања или пружаоца услуга интеракција. Услуге у облаку могу се груписати у три категорије: софтвер као услуга, платформа као услуга и инфраструктура као услуга.

4.2.3. LiDAR технологија

Уз снимак као резултат даљинских истраживања, постоје и друге технике за картирање и визуализацију терена. У последње време појавили су се нови начини генерисања модела висина и геопросторне стварности помоћу ласерских снимања - LiDAR технологија. Притом мноштво тачака ласерски снимљених на неком подручју, груписани у скуп података, назива се облак тачака. Облак тачака омогућава погодан формат записа података за обраду и процесирање које, на пример, снимак или фотографија не поседују.

Наиме, LiDAR је активан систем даљинске детекције који функционише тако што емитује ласерске импулсе светлости на високим фреквенцијама ка површи Земље. Сваки емитовани пулс се шири кроз атмосферу пре него што погоди циљ, где се делови пулса рефлектују, апсорбују и преносе у зависности од карактеристика осветљеног објекта. Пријемник прикупља фотоне који се рефлектују. Удаљеност до тачке рефлектовања се израчунава на основу времена путовања између импулса и повратка сигнала (Слика 32).



Слика 32. LiDAR систем (<https://www.newport.com/n/lidar>)

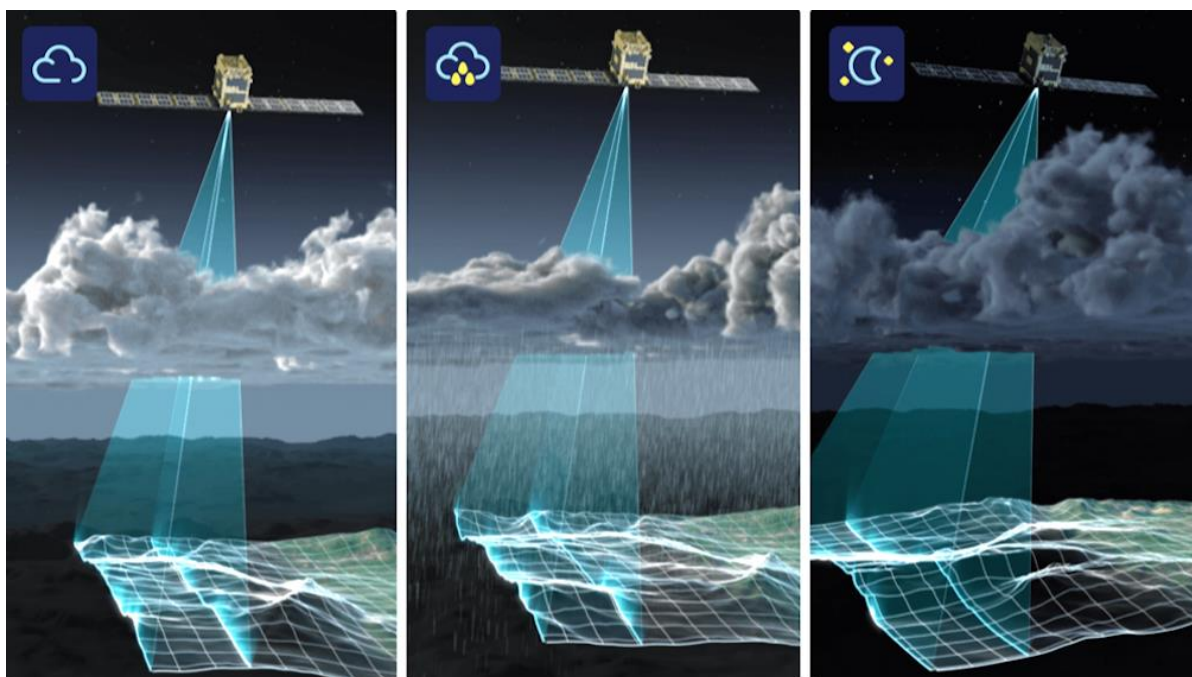
Могућности откривања водних тела из података добијених LiDAR снимањем, истражене су у протеклих неколико година. Систем LiDAR технологије углавном функционише у блиском инфрацрвеном спектру (од 788 nm до 2.500 nm). Према ауторима (Hofle et al., 2009; Jakovljević, 2020) облак тачака који се рефлектује од водне површи је сигнал ниског интензитета, осипа се и има релативно велику варијацију интензитета. Све ово зависи од дубина и турбуленције брзина воде. Већина метода класификације водних тела функционише на дигиталној представи висина (растер) и интензитету који потиче из оригиналног облака тачака. С једне стране, главна предност коришћења LiDAR података је оцртавање водног тела и могућност картирања обима дна. С друге стране, на тачност детектоване границе копно/вода, поред тачности класификације, утиче и густина облака тачака пошто граница вода - копно иде негде између класификованих тачака на води и ван водених површи.

Мониторинг хидроморфолошких параметара квалитета вода захтева тродимензионалност. Поред 3Д облака тачака на површи, LiDAR технологија може да продре кроз густу вегетацију и саму воду, обезбеђујући информације о топографији под вегетацијом, структури вегетације као и информације о батиметрији. Поред X,Y,Z координата, бележе се интензитет и број рефлектованих информација за сваку тачку из облака тачака. Интензитет се дефинише као однос рефлектоване и емитоване светлости. То је функција таласне дужине ласера, геометрије ласерског скенирања и морфологије водне површи (Yan et al., 2019). Сензор LiDAR технике ради на оптичким и инфрацрвеним таласним дужинама. Пошто вода апсорбује већину инфрацрвене енергије, LiDAR за батиметрију ради на таласној дужини од 532 nm, и дизајниран је за прикупљање података о дубини. Поред тога, ултраљубичасто флуоресцентни LiDAR, који ради на 355 nm, пружа анализу физичких и биолошких параметара као што су замућеност или цветање алги.

Замућеност и рефлективност дна су главни фактори који ограничавају дубину продирања зелене боје ласерских импулса а самим тим и опсега дубине који се може прецизно измерити. Замућеност је веће важности, јер улази као негативан експоненцијални фактор, док је доњи одраз линеарни фактор (Guenther et al., 2000). Максимална достижна дубина може варирати од 1-2 m у веома замућеној води, а до 50 m у врло бистрим водама са изразито рефлектујућим дном (Danson, 2006).

4.2.4. Радарско снимање

Радар са синтетичким отвором *Synthetic Aperture Radar* (SAR), као активни сензор за даљинско детектовање функционише на већим таласним дужинама у поређењу са оптичким сензором. Зраци продиру кроз облаке и могу обавити снимање на Земљи без обзира на атмосферске прилике. Без обзира на временске услове, код аквизиције података током дана или ноћи или у облачним условима, SAR слике нуде алтернативу оптичким сликама (Слика 33).



Слика 33. SAR систем

(<https://news.satnews.com/2021/02/15/japanese-space-startup-synspectives-first-sar-image/>)

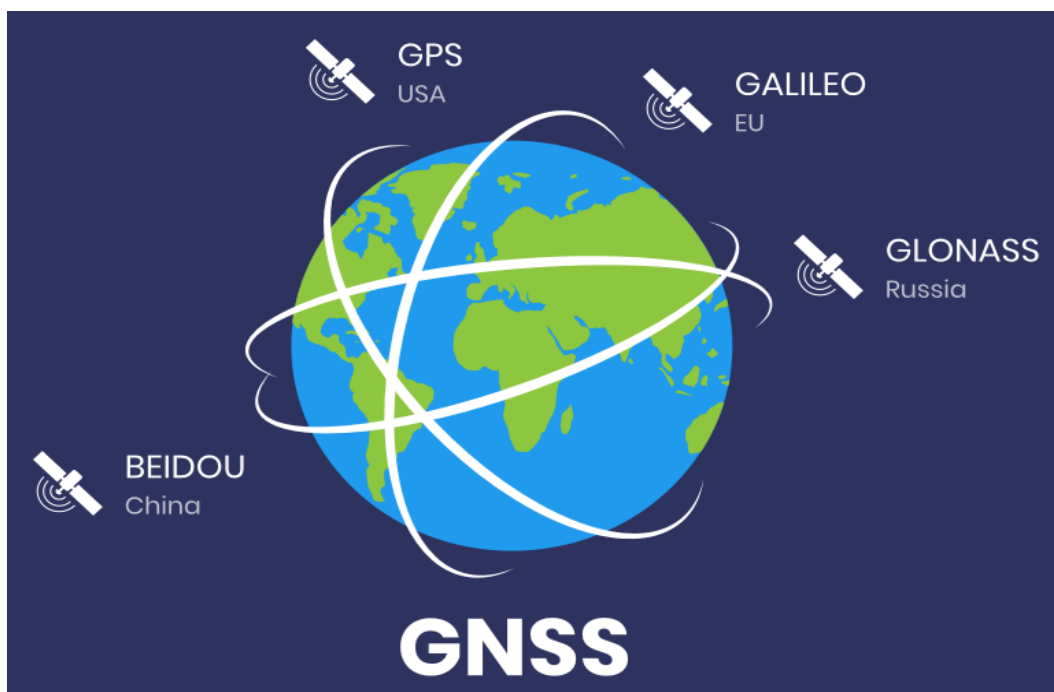
Интензитет враћеног сигнала са површи Земље је под утицајем сензора и параметара тла, укључујући просечну храпавост површи и диелектрична својства земљишта (Brivio et al., 2002). Код глатких хоризонталних површи (водна тела) са високом дијалектичком константом која делују као огледала, и због расипања усмереног сигнала од сензора ка замишљеном правцу, не обезбеђује се довољно квалитетан повратак сигнала (Minchew et al., 2012). Због тога су водна тела представљена тамним тоналитетом, чинећи их тиме лако препознатљивим. Из тог разлога, многи приступи за изцртавање површи водних тела заснивају се на примени прага слике хистограма, са малом вредношћу повратног расипања која се приписује води (Stumpf et al., 2003; Behnamian et al., 2017).

Повратно расипање зависи и од других фактора, као што су на пример, лоши временски услови или присуство вегетације, о чему се мора водити рачуна. Повратни сигнали од водне површи прекривене вегетацијом могу се побољшати због расејања двоструког одбијања. Осим тога, ефекат двоструког одбијања повећава вредности повратног расејања вода у близини урбаних карактеристика као што су зграде (Liao and Wen, 2020). Остале равне површи, попут путева, платоа или писта, могу пружити слична својства рефлексије као и површи вода у урбаним срединама (Stefan et al, 2015).

Иако се SAR подаци нашироко користе за откривање загађења воде као што је загађење нафтом и регионални мониторинг леда, њихове могућности за праћење биолошких и физичко - хемијских карактеристика вода, у контексту параметара квалитета, су ограничени. Радарски таласи не продиру у водени стуб. Због тога радарски сигнали носе само информације о водним површина као нпр. геометрија водне површине и храпавост, материјал на површини воде и диелектрична константа горњег слоја воде. Више студија се бавило испитивањем могућности SAR-а за праћење квалитета воде. Већина од њих се заснивају на промени дијалектичке константе воде. На пример, током цветања алги на воденој површи се јавља слој уљане супстанце који се може детектовати овом технологијом. Због тога се SAR подаци могу користити за праћење цветања алги.

4.2.5. GNSS технологија

Глобални навигациони сателитски систем (GNSS) је синоним за све сателитске навигационе системе (Слика 34). Сједињене Америчке Државе су развиле први глобални сателитски навигациони систем - GPS. Такође, Совјетски Савез је развио својеврсни пандан том систему, *ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система* (ГЛОНАСС), који данас одржава Руска Федерација. Земље чланице ЕУ развиле су свој сателитски систем тзв. GALILEO. Кина је радила на свом сателитском систему (BEIDOU), итд. Сви ови системи позиционирање и навигацију објеката на Земљи врше на сличан начин, па постоје пријемници који могу да сигнале примљене са сателита који припадају различитим системима обједине у једно решење, као да сви сателити припадају истом систему.



Слика 34. GNSS систем

(<https://www.fieldbee.com/de/was-ist-der-unterschied-zwischen-gnss-und-gps-empfaengern/>)

Примена ових система је велика и незаобилазна код одређивања тачног положаја, односно висине, географске ширине и дужине било где на планети, ноћу и дању, независно од временских услова. Као глобални систем, GNSS има примену у многим сферама живота. Употреба GNSS се огледа од свакодневног коришћења (рецимо навигационих система и сличних услуга), до употребе за истраживачке и научне сврхе. Посебно је значајан код снимања Земље из ваздуха и одређивање позиције летелице са које се обавља прикупљање геопросторних података. То је посебно значајно код картирања земљишта и одређивања положаја изворишта површинских вода.

4.3. Географски информациони системи

Развој и примена информационих технологија у области геонаука довео је до појаве и настанка нових дефиниција и дисциплина, међу којима се посебно истичу географија и ГИС. Рачунарски подржана географија у својој већ одмаклој фази развоја добија назив дигитална географија и употребљава се двозначно: као модерна технологија процесирања података о простору и као нова дисциплина. Главни принцип на коме је постављена дигитална географија као дисциплина, јесте прикупљање, обрада и визуализација података о површи Земље, компјутерски подржаном технологијом. Слично се третира и ГИС - као посебна научна дисциплина и као нова технологија за „интегрисање, анализу, дељење,

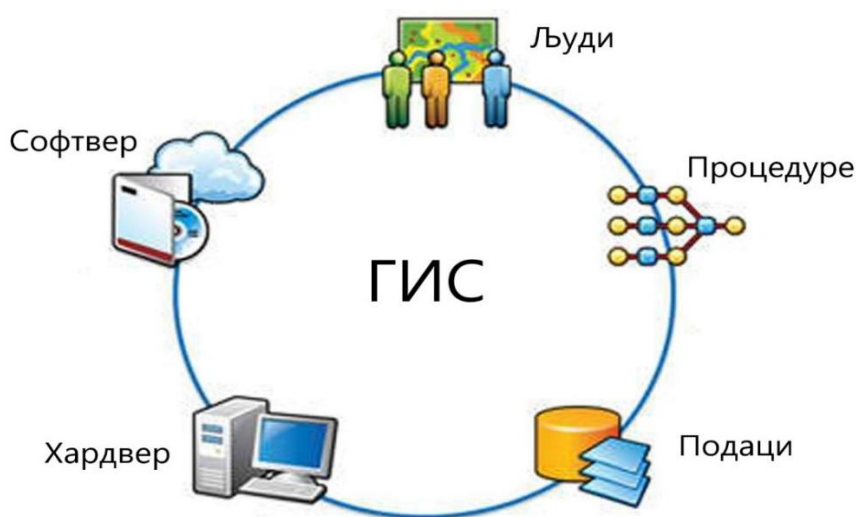
управљање и приказ просторних података”. Непросторни подаци (табеле и базе података) повезују се са просторним подацима и тиме омогућавају постављање различитих упита. Овиме је омогућено модификовање и анализа постојећих, те добијање нових скупова података и информација.

Појмови „географски информациони системи”, „геоинформациони системи” или „просторни информациони системи” могу понекад изазвати извесне термилошке недоумице. Појам „просторни информациони системи” усвојен је крајем осамдесетих година прошлог века, у време када се за ту област још није искристалисао одговарајући термин. У свету се често користи и термин „геоинформациони системи”, за чију се употребу оправдање налази у томе што одражава мултидисциплинарност таквих информационих система, која је усмерена према геодисциплинама. У међувремену, та област је добила универзално скраћено име - ГИС, као скраћеница од појма „географски информациони системи”.

Две напомене су неопходне у вези с претходно описаним дефиницијама ГИС. Прво, чињеница је да и многи други информациони системи имају сличне могућности као и ГИС у погледу операција над подацима. Друго, и неки други информациони системи обрађују податке о простору, али нису ГИС. На пример, картографски системи меморишу карте у рачунару и приказују их на екрану. Оно што разликује ГИС од свих других система јесте управо могућност интеграције и анализе просторних података.

4.3.1. Компоненте географских информационих система

Са развојем ГИС технологије створени су предуслови за лакше и једноставније решавање проблема обраде нових и великих количина информација, просторне и временске интеракције разнородних врста података, па самим тим и ефикаснији начин примене савремених метода при анализи, планирању, управљању и одлучивању у областима водних ресурса и заштите животне средине. Сваки ГИС систем састоји се од 5 компоненти: хардвер, софтвер, подаци, процедуре и корисници (Слика 35).



Слика 35. Структурне компоненте ГИС-а

Хардвер обухвата опрему потребну за подржавање активности у ГИС-у од прикупљања података до њихове анализе. То је пре свега рачунар, али и остали уређаји за унос и приказивање података (скенери, дигитализери, плотери, мрежни уређаји итд.). Програми и софтверски алати потребни су кориснику за стварање, мењање, приказивање и анализирање географских и атрибутивних података. Подаци су организовани и смештени у

базама података. Од њихове тачности зависи и тачност ГИС-а. Похрањују се две врсте података: просторни или географски подаци и атрибути или непросторни подаци. Просторни подаци дају географски положај неког објекта или појаве у облику скупа координата, а атрибути су описни подаци који се односе на квалитативне и/или квантитативне карактеристике тог објекта или појаве (нпр. назив, висина, тип изворишта, квалитет воде итд.). Корисници (људи) који управљају системом, одржавају га и доносе одлуке које користе у стварном свету. Процедуре представљају организационе поступке, методе и начин усклађивања и повезивања свих претходних компоненти у складу са функционалном, економичном и делотворном целином. Све компоненте су једнако битне и недостатком било које од њих ГИС систем не може функционисати.

4.3.2. База географских података

У бази података су ускладиштени релевантни подаци који информациони систем чине јединственим и непоновљивим. Врло често подаци, односно база података представља и највреднији део система. Реализација ГИС система је стандардно заснована на концепту релационих и објектно - оријентисаних база. Појава релационог модела омогућила је корисницима ефикасно коришћење података које се састоји у могућностима лаког, интерактивног добијања података и управљању њима. Дефинисање посебног језика структурираних, конструктивних упита (SQL) кориснику олакшава комуникацију са базом. Концепција база географских података треба да омогући основне функције као што су:

- Моделовање и организовање скупа контролисаних података;
- Приступ, анализу и приказ тих података.

Моделовање је најважнији поступак код израде и формирања базе података. То је поступак умањене копије реалног система и креирање његове логичке замене (Кукрика, 2000). Реални систем поседује мерљиве улазе и излазе система док његов модел има задате улазе и израчунате излазе система. Модели података редукују комплексне проблеме на простије форме, којима се лакше управља. Вештина дефинисања модела података се састоји у проналажењу таквог формалног система чије ће понашање успешно симулирати понашање одређених аспеката реалног света. Општи методолошки приступ при креирању модела је апстракција података. Апстракција података је поступак пажљивог укључивања и скривања детаља, према потреби конкретног приказа.

У циљу што реалнијег пресликавања стварности, у складу са степеном сложености реалног система и захтевима корисника, моделовање може бити концептуално, логичко и физичко.

Концептуално моделовање је окренуто ка кориснику и одговара на питање: „Шта нас занима у реалном свету?“. Према типу појаве могу се креирати два типа модела (Кемп, 2008):

- „Модел базиран на пољима, где замишљамо да се испитивани атрибут мења у простору као нека непрекидна математичка функција или поље;
- Модел базиран на ентитетима где сматрамо да је простор састављен од ентитета који се описују својим атрибутима или својствима, и чије се локације картирају помоћу математичког координатног система”.

Логичко моделовање одговара на питање: „Како дефинисане предмете интересовања представити као формални систем?“ Наиме, „прецизно дефинисаним објектима се може управљати само поштујући прецизна правила, без обзира на њихову интерпретацију и

правила у стварном свету”. Географски ентитети на логичком нивоу описују преко две врсте информација (Кемп, 2008):

- Геометријских симбола (облик и позиција);
- Тополошких веза (односи са осталим географским ентитетима).

Један од основних проблема логичког моделовања географских података је како дефинисати геометрију неког простора. Основне геометријске примитиве које служе за приказ реалног света су: тачка, линија и полигон. Термин „примитива” наглашава њихову основну улогу, јер служе као основа на којој се изграђују богатији системи (Кемп, 2008). Тачка је најједноставнија геометријска примитива која служи за приказ ентитета који су сувише мали да би били приказани као површине. Тачкама се могу означавати бунари, црпне станице, извори вода и слично. Низ повезаних тачака сачињава линије. Линије се користе за представљање дужинских елемената из природе, на пример река или обалских линија, али и елемената који нису видљиви голим оком, као што су административне или међународне границе. Полигони се представљају низом затворених линија и користе се да би се описали елементи као што су језера, области слива и сл.

Док су геометријом представљени метрички просторни аспекти географских информација, топологију чине дискретни просторни аспекти истих. „Топологија је математичка процедура за експлицитно дефинисање просторних обележја и њихових односа. Топологија географске ентитете који су представљени тачкама, линијама и полигонима, повезује у јединствену целину. Тополошки аспекти географских ентитета могу се описати коришћењем једне или више тополошких примитива. Три основна типа тополошких примитива су означени као: чвор, ивица и изглед. Чвор је свака карактеристична тачка у референтном систему тј. простору, граница или површина која добија одговарајући топографски знак у складу са њеним значењем у простору, док је ивица једнодимензионална тополошка линија која је усмерена веза између два гранична чвора која могу бити иста. Ивица је графички представљена линијом (кривом). Изглед представља дводимензионалну тополошку линију. Просторни положај сваке тополошке примитиве може се описати с једном или више геометријских примитива” (Дробњак, 2016).

Физичко моделовање је конкретизација логичког модела података и његово превођење на језик рачунара. Чине га егзактни фајлови (конкретни подаци геопростора) и табеле база које се користе за меморисање података. Географски ентитети се на физичком нивоу описују преко:

- Векторског и растерског модела;
- Одговарајућег модела просторне базе података.

Такав стандардизовани начин представљања географских информација има ефикасне могућности у раду са геореференцираним подацима, израдом садржајних интерактивних тематских карата и разноврсних геопросторних анализа.

4.4. ГИС/ЗД решења као ефикасни концепти за одрживо управљање подацима

Са експоненцијално растућим обимом информација из сателитских и радарских снимака, до изражаја за одрживо управљање подацима о простору долазе ГИС/ЗД решења. Из скупова података даљинске детекције и LiDAR технологије, ГИС/ЗД решења могу се примењивати и код управљања и заштите изворишта површинских вода. Током протеклих неколико година, уложени су значајни напори у развој алгоритама и аутоматског детектовања површинских вода. Посебно, концепт аутоматског детектовања речних токова

и водних тела на сателитским снимцима. Ту су развијене многе технике и методе како би се елиминисале непожељне или погрешне информације, као што су појаве и објекти који се разликују од водних површина (топографске сенке, сенке облака, изграђене површине).

4.4.1. Детектовање речних токова и водних тела на сателитским снимцима

Проблематиком класификације и раздвајања различитих објеката са сателитских снимака бавио се одређен број аутора (Blaschke et al., 2000; Ding, 2005; Blaschke, 2010; Duro et al., 2012; Oštir i Mulahusić, 2014, и др.). Концепти класификације и препознавања изворишта површинских вода применом ГИС технологије могу се поделити на методе базиране на пикселима и методе засноване на објектима у зависности од основне процесорске јединице, по пикселу или по објекту. Методе засноване на пикселима широко се користе за класификацију појединачних пиксела на основу спектралне рефлексије, без разматрања просторне или неке друге текстуалне информације. На снимцима веома високе просторне резолуције, величина пиксела је знатно мања од интереса за објекат, сходно томе, међукласна варијанса је већа, у поређењу са средњим или грубим просторним резолуцијама података са даљинског снимања. Традиционални концепт заснован на пикселима класификује пикселе другачије од околних подручја што резултира ефектом „соли и бибера”. Та ограничења могу се решити повећањем просторне резолуције (мешовити пиксел) или анализом слике засноване на објекту (*Object Based Image Analysis* - OBIA). Са повећањем величине пиксела (просторне резолуције), детаљност представљена пикселима се смањује.

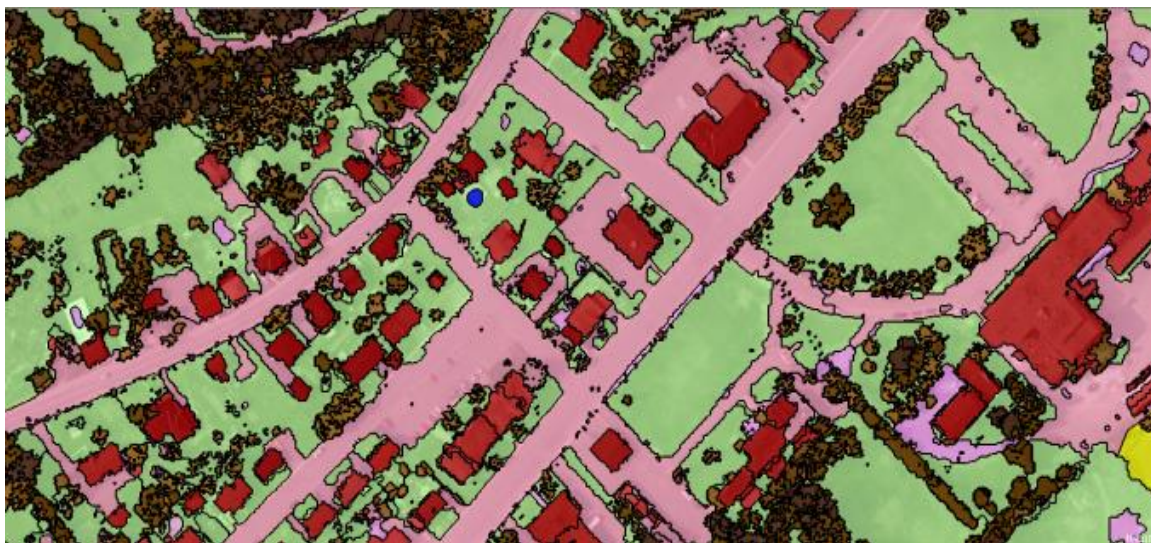
Према концепту OBIA, постоје два главна корака: сегментација и класификација (Ding, 2005). Алгоритам сегментације групише пикселе у објекат према једном или више критеријума хомогености и обезбеђује градивне блокове, односно интегрише сличне пикселе у објекте (Слика 36).



Слика 36. Сегментација према концепту OBIA (<https://gisgeography.com>)

Резултати процеса сегментације су заправо реплицирања онога што голим оком можемо видети и запазити на самом снимку. Да би се обавила класификација целокупног земљишног покривача, треба анализирати спектрална, геометријска и просторна својства сегментираних објеката (Слика 37). Наиме, класификација заснована на објектима користи додатне спектралне информације у поређењу са пикселима (средња вредност опсега, минималне и максималне вредности, средњи односи, варијанса), геометријске

карактеристике (облик, величина), просторно одређење и тополошке односе (Blaschke, 2010).



Слика 37. Класификација према концепту ОБИА (<https://gisgeography.com>)

Главно ограничење концепта ОБИА је избор одговарајућих улазних варијабли и велики број параметара који се користе у оба корака. Одређивање одговарајуће вредности параметара није једноставно и обично се заснива на интегративном приступу методом покушаја и грешке. Поред тога, сегментација слике је рачунска и захтева време, што чини изузетно изазовним руковање подацима великих сателитских сцена.

Аутори (Duro et al., 2012; Jakovljević, 2020) су у својим истраживањима приказали још неке анализе сателитских снимка засноване на пикселима и објектима за коришћење земљишта/класификација земљишног покривача, укључујући снимке средње резолуције. На основу резултата, није било значајне предности да се преферира анализа снимка заснована на објекту у односу на анализу засновану на пикселима, односно издвајању водног тела коришћењем снимка средње резолуције. Анализа картирања геометрије водних тела на основу SAR снимка, користећи метод прага (гранична вредност) заснован на пикселима, показује да има опсег тачности од (88% - 98%), док базиран на методи објекта има опсег тачности од (98% - 99,74%). Такође, нема значајније разлике у перформансама пикселима (90% - 99%), објектима (95% - 99%) и тачкама (97% - 99%) за картирање водних тела на основу LiDAR података.

4.4.2. Дигитални модели терена

Информације везане за површ терена су интересантне за бројне области примене: просторно планирање, грађевинарство, пољопривреда, шумарство, водопривреда, екологија, саобраћај и др. Први покушаји представљања површи терена састојали су се у изради географских карата који су садржали генерализоване карактеристике површи Земље као што су најважнија обележја са геометријског и картографског аспекта, али је тачност таквог приказа површи терена била је условљена многим другим факторима (размера, намена, технологија). Начини представљања површи терена су током времена значајно усавршени.

Сам поступак формирања површи терена у дигиталном облику назива се дигитално моделовање терена (ДМТ). Увођење самог термина ДМТ приписује се двојици америчких инжењера са Института за технологију Масачусетс (Miller and LaFlamme, 1958). Према (Li et al., 2005), процес формирања површи терена у 3Д облику се састоји од избора и

имплементације одговарјуће структуре и организације података о висинама. Сам процес се састоји из:

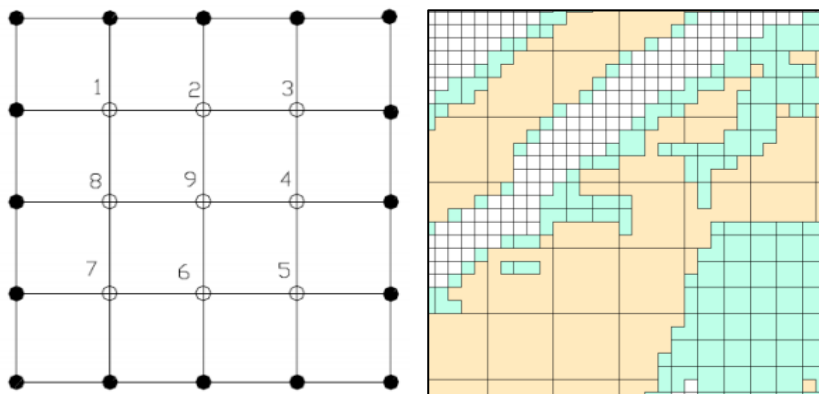
- Прикупљања података о површи терена (прикупљање статистички релевантног узорка);
- Формирања модела површи терена у математичком облику (реконструкција површи терена на основу прикупљених података);
- Управљање ДМВ подацима (ажурирање, дистрибуција);
- Анализе модела за конкретну област примене (упити, визуализација, интерпретација резултата).

Свака од ових фаза може се даље поделити на даље активности, од којих су неке неопходне, а неке могу бити заступљене или не, у зависности од конкретног случаја примене. Тако се прикупљање података састоји од: израде студије изводљивости, израде пројекта, прикупљања узорака и верификације података (Šiljeg et al., 2018). Након прикупљања података врши се израда модела и оцена тачности реконструисане површи терена.

У фази прикупљања података највише су заступљене дисциплине: геодезија, картографија, фотограметрија и даљинска детекција. У фази формирања модела површи терена су такође заступљене картографија, геодезија, фотограметрија и даљинска детекција, али и географија, рачунарска графика и дигитална обрада слика.

Аутори (Zeiler, 2000; Frančula, 2000; Li et al., 2005; Борисов и др, 2005; Šiljeg et al., 2018) дефинишу да „дигитални модел висина као статистичка представа континуалне површи земљишта и начину на који чува податке о висинама, може имати два облика”.

У првом случају, тачке су распоређене у облику правилне решетке (обично се ради о квадратној мрежи) тачака тако да је база података практично матрица чији су чланови висине тачака и представљају ДМВ у ГРИД структури (Слика 38). Они представљају најједноставнији и најчешће примењивани начин за моделовање површи терена. „Истовремено, постоје знатне уштеде у меморији, јер за тачке у моделу ГРИД није потребно чувати све податке. Наиме, у самој бази ДМВ налазе се основни подаци о координатама почетне тачке, димензије ГРИД модела, број редова и колона, ротација мреже и други релевантни подаци” (Frančula, 2000). Захваљујући правилном распореду елемената у ГРИД моделу, није потребно одржавати посебну топологију (односно податке о просторним односима и везама између појединих елемената).



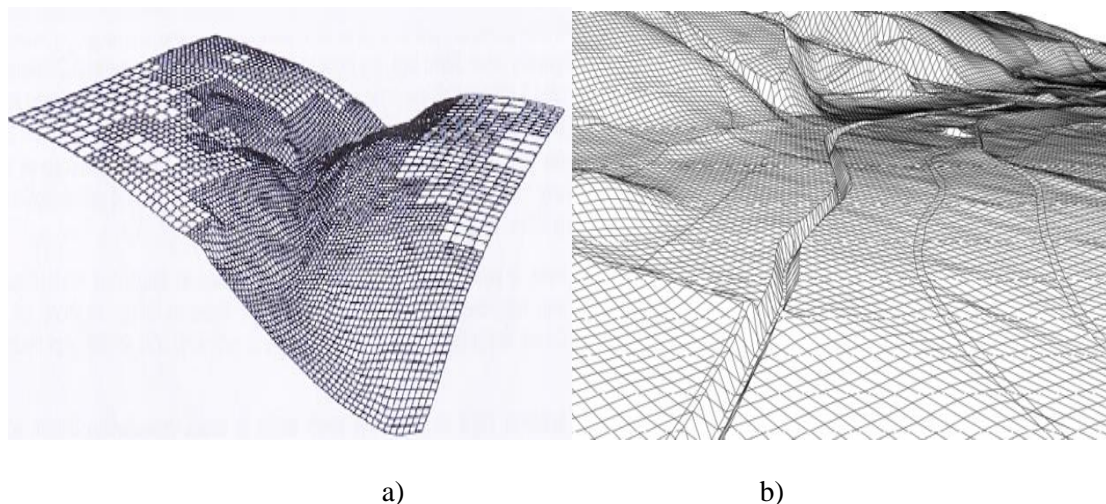
Слика 38. ДМВ у ГРИД структури

Аналогно обичном растерском формату где вредност пиксела приказује одређену боју, код генерисаних ДМВ у ГРИД структури сваки пиксел има вредност надморске или елипсоидне висине. Предности моделовања топографске површи преко висина у ГРИД структури, огледа се у (Li et al., 2005):

- Једноставној примени алгоритама за анализу и приказ терена;
- Ефикасном управљању подацима и примени у области ГИС-а;
- Већој уштеди меморије рачунара и архивирања података.

Поред предности, постоје и одређени недостаци овог модела. Они се првенствено односе на квалитет излазних података. Недостатак ГРИД-а првенствено се огледа у неприлагођености за представљање карактеристичних рељефних облика с већом прецизношћу. Наиме, преломне (структурне) линије рељефа као што су вододелнице, водосливнице и други карактеристични детаљи терена (врхови, вртаче итд.) не могу се довољно тачно приказати. Да би се елиминисали неки од недостатака, обично се обавља модификација ГРИД-а. Те модификације се спроводе обично у два правца (Слика 39):

- а) Формирање ГРИД-а са променљивом величином елемената мреже;
- б) Уградњом структурних линија терена.



Слика 39. Модификације ДМВ у ГРИД структури (Извор: Petrović i dr., 2016)

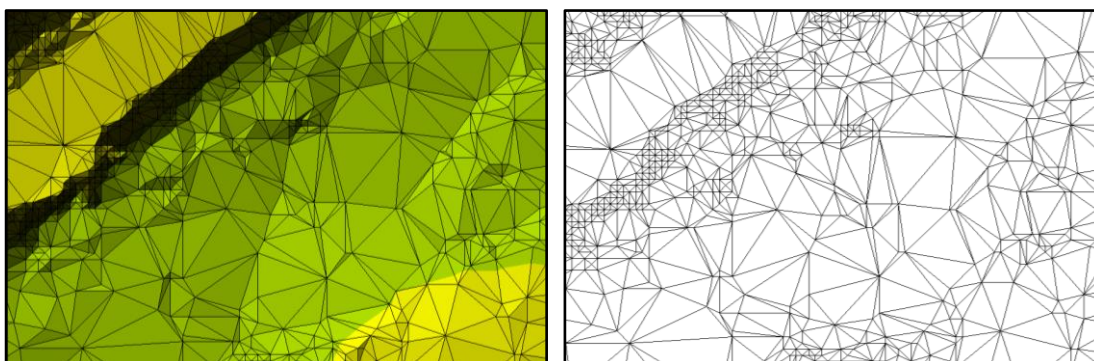
Сам избор резолуције ГРИД-а као и интерполација приказа са променљивом величином ГРИД-а, представља важан фактор, који у великој мери утиче на квалитет ДМВ. Резолуција показује колика је равномерна (просечна) густина висинских тачака који чине модел. Што је већа њихова густина, то је модел прецизнији и детаљнији (Finlayson and Montgomery, 2003). У пракси се, најчешће користе модели ниске, средње, високе и веома високе резолуције (Табела 7).

Табела 7. Однос резолуције и хоризонталног растојања тачака висина ДМВ

Резолуција	Хоризонтално растојање тачака висина	
	(m)	(лучна секунда)
ниска	90 - 900	3 - 30
средња	30 - 90	1 - 3
висока	10 - 30	0,3 - 1
веома висока	1- 10	0,03 - 0,3

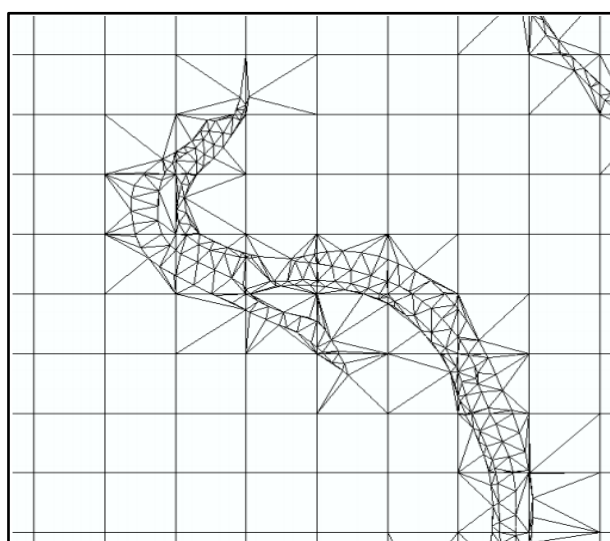
Други случај, заснован је на мрежи неправилних троуглова *Triangulated Irregular Network* (ТИН). Мрежа се састоји од низа просторних троуглова који су добијени спајањем суседних тачака са 3Д координатама (X,Y,Z) и применом *Delaunay*-јеве триангулације (Слика 40). Основни недостатак код моделовања површи терена коришћењем ТИН структуре су сложени алгоритми за обраду и процесирање података. Према (Li et al., 2005) главне предности ТИН структуре података се огледају кроз:

- Квалитетнији приказ геоморфолошких облика (врхови, структурне линије);
- Боље прилагођавање разним типовима земљишних облика у односу на ГРИД структуру;
- Веће очување изворних података (мерених висина);
- Релативно боље анализе терена (нагиби, оријентација, видљивост).



Слика 40. ДМВ у ТИН структури

„Све донедавно водила се жучна расправа о предностима и манама између модела ГРИД и ТИН, да би се на крају закључило да најбоље резултате даје комбинација оба модела” (Борисов и др, 2005). Комбинација ГРИД и ТИН структуре података даје хибридни ДМВ. Оваква структура података користи добре карактеристике и ГРИД и ТИН структуре. Са једне стране, област коју покрива ДМВ можемо поделити на хијерархијски ГРИД (ГРИД променљиве величине), а са друге, унутар појединих елемената ГРИД-а, може се по потреби креирати локална триангулација (Слика 41). На тај начин, структура ГРИД омогућава брзо лоцирање и приступ подацима у оквиру великог подручја ДМВ, док истовремено ТИН структура ефикасно прилагођава ДМВ карактеристикама земљишта уз малу редундантност података (Baumann et al., 2000).



Слика 41. ДМВ у хибридној структури података

Избор резолуција ГРИД утиче на прецизност висинског представљања земљишта. За разлику од ГРИД-а, ТИН моделом много боље визуализујемо геоморфолошке облике терена. Ово треба имати у виду при хидролошким истраживањима, где су положајна тачност изворишта вода и сами геоморфолошки облици веома важни. Због тога треба истаћи да се у раду могу комбиновати оба типа модела, зависно од потребне тачности података у појединим фазама.

Повезивањем различитих просторних и непросторних података (нпр. информације о коришћењу земљишта или заштити површинских вода), може се рећи да ДМВ игра важну улогу у управљању и визуализацији геопростора у многим апликацијама виртуелне стварности (нпр. симулације плавлeња). У том смислу визуализација у реалном времену захтева моделовање терена у више резолуција како би се генерисао терен са различитим нивоима детаљности за анализу геопростора.

Развој нових технологија, довео је до тога да се многи ДМВ заснивају на посебно пројектованој бази података. Са одговарајућим процедурама и ГИС технологијом, омогућено је одржавање базе података, и у сваком тренутку могу се добити ажурне информације или приказ тренутног стања упитом над истом. Повезивање са осталим технологијама или уградња ДМВ у информационе системе представља најновији тренд у даљем развоју ГИС система. Према (Šiljeg et al., 2018) ГИС/3Д решења и област примене ДМВ омогућава:

- Планирање, пројектовање и извођење радова на површи терена (водопривреда, грађевинарство, рударство, енергетика);
- Симулације и 3Д анимације (урбанизам, саобраћај, војска);
- Хидролошке анализе, односно, прорачун дренажних мрежа, делинеација сливова, моделовање отицања (хидрологија, заштита од поплава, хидроенергетика, екологија);
- Анализа догледања објеката на површи терена (телекомуникација, војска, ватрогасна служба);
- Рачунање запремина (хидроенергетика, грађевинарство, рударство, геологија);
- Геоморфолошке анализе, симулација и класификација (водопривреда, пољопривреда, шумарство, метеорологија, заштита животне средине);
- Обрада сателитских снимака, израда ортофотоа, карата и база података (географија, даљинска детекција, картографија);
- Решавање задатака у просторном планирању и управљању водним ресурсима.

Треба посебно истаћи да је 3Д моделовање терена тесно повезано са развојем ГИС технологије и анализом геопростора. Нагли развој технологија у овом веку (хардвера, софтвера, сензора итд.) омогућили су ширу примену ДМВ у многим областима науке, привреде и друштва.

5. КОНЦЕПТ УНАПРЕЂЕЊА УПРАВЉАЊА И ЗАШТИТЕ ИЗВОРИШТА ПОВРШИНСКИХ ВОДА

Технике и процедуре које се код нас користе за управљање и заштиту вода нису довољно ефикасне и хармонизоване. Последица тога је слабост и ограничен скуп информација о појавама и стању површинских вода у реалном времену. Праћење стања површинских вода на већем подручју није лак задатак, јер су за прикупљање и анализу великих скупова података потребни велики ресурси, пре свега време и стручна радна снага. Међутим, нагли развој технике и технологије, чији се резултати већ користе у многим земљама Европске уније, изнедрио је потпуно нови концепт управљања и употребе података о водама. Тај концепт се, пре свега, заснива на примени савремених ГИС технологија и инфраструктури података о простору, у складу са WFD и INSPIRE директивама. Такође, LiDAR технологија се намеће као први избор при снимању терена и водних тела, јер је значајно боља од осталих расположивих технологија за масовно прикупљање података о простору.

Примена савремених концепата и технологија у овој области је у овом тренутку актуелан задатак и код нас. Међутим, уместо концепције која почива на више разуђених система за прикупљање и анализу геопросторних података, боље је развијати јединствен ГИС систем о водама. Ово није лак задатак и стручњаци из различитих области (географија, хидрологија, информатика, геодезија, екологија, хидрографевина) морају да удруже напоре како би решавали проблем управљања и заштите површинских вода на најбољи могући начин.

Код прикупљања и обраде података за ГИС, моделовање и структурирање су главне одреднице. У временима када концепт „великих података” постаје све популарнији, улога стручњака биће посебно значајна код моделовања података и процеса. Концептуално моделовање ГИС-а представља управо поступак уобличавања геопросторних података, где након тога, подаци постају корисне информације (Вилјески, 2007). Дакле, ако желимо да будемо детаљни и прецизни, онда треба правити разлику између појмова „податак” и „информација”. Податак је носилац информације и служи за њихово техничко уобличавање како би се оне могле сачувати или пренети, а информација је протумачени податак о садржају који податак приказује (Кукрика, 2000). При том геометријске, тополошке и атрибутивне информације изворишта површинских вода су посебно важна обележја и захтевају одређену примену стандарда у датој области.

Приступ у овом раду првенствено се заснива на примени ГИС-а у функцији унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода. Основна претпоставка је да геопросторним подацима треба располагати на једном месту, а не на два, три или више места као што је то чињено до сада. Притом, геопросторни подаци треба да буду расположиви и организовани за даљу вишенаменску и ширеразмерну употребу. Концепт унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода третира поглед на постављени проблем са аспекта примене:

- Стандарда у овој области од структурирања и организације до употребе геопросторних података (ISO, INSPIRE, WFD, итд.);
- Нових технологија за прикупљање и анализу изворишта површинских вода (GNSS, даљинска детекција, LiDAR технологија, дигитална фотограмetriја и UAV системи);
- ДМВ у одрживом управљању водним ресурсима, обезбеђујући тиме интеграцију социјалних, економских и еколошких питања у многим фазама управљања.

- Располовживих IT платформи и ресурса за мониторинг и анализу стања и појава на извориштима површинских вода (сензори, хардвер, софтвер, геопортали вода, итд.).

5.1. Основни скуп и организација података о простору

„Будући да је стварност у сваком погледу бесконачна, бесконачан је и број објеката и односа који међу њима постоје. Обрадити све је немогуће, практично и теоретски. Зато у пракси постоји само избор одређеног, мањег или већег скупа објеката који је у датом тренутку и на датом простору занимљив. Код тих објеката заједничка и најкритичнија одлика јесте просторно одређење. Иако има неколико начина да се то просторно одређење представи, у суштини се све то своди на избор и дефинисање основног скупа података о простору. Сврсисходан и успешан начин да се то и оствари у пракси, јесте дефинисање једног поузданог и стандардног просторног оквира” (Bill and Fritsch, 1991).

„Основни скуп података о простору” који подразумева заједнички просторни оквир за изградњу ГИС-а, представљаће просторни модел података. „Такав би оквир требало да пружа костур коме би се могле додавати друге информације (подаци)” (Борисов, 2011). У нашем случају то су, пре свега, изворишта површинских вода и њихова обележја. У оквиру базе података о теми изворишта површинских вода, поред стандардних информација као што су врста и тип изворишта, корисник би свакако морао да има податке о квалитету воде.

Имајући у виду основни скуп података, просторни модел података састоји се од дела који се односи на математичку и географску компоненту. Он ће умногоме одговарати садржају географске и топографске карте, и биће концептуално организован и приказан по тематским целинама:

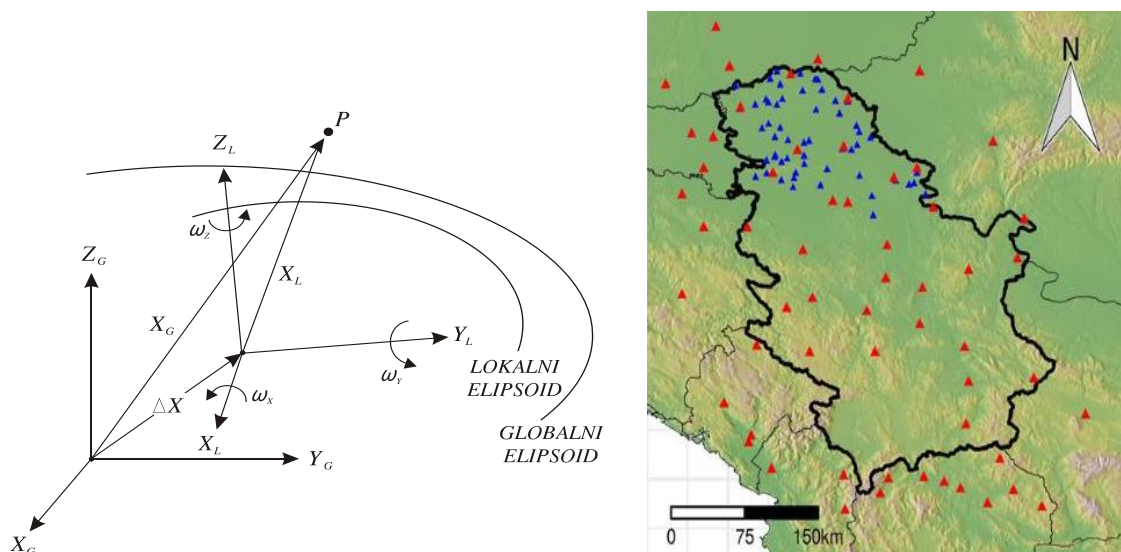
- Математичка основа садржи координатне системе и геодетске елементе. Ту су геодетске тачке и картографске пројекције;
- Положајна представа терена је најобимнија тематска целина. Она обухвата хидрографију, путеве и саобраћајну инфраструктуру, насељена места, вегетацију и тло;
- Висинска представа терена је важна посебно с аспекта проблематике овог рада. Она се односи на систем висинских тачака и геоморфолошке одлике земљишта.

Међутим, податке о простору треба структурирати и организовати ради даље лакше употребе. Притом сама организација података је сређивање података с обзиром на њихове међусобне физичке односе, посебно у погледу концептуалне основе ГИС-а. Док је структура података специфичан распоред података за који је могуће одредити односе међу њима. Овде се мисли, у ствари, на тзв. логичко структурирање и моделовање у коме су важни односи и повезаност геопросторних података, а не њихово физичко постављање на медијум за складиштење података. Организацију и структуру прати одговарајућа база геопросторних података која омогућава вишеструку и разноврсну употребу истих, односно стабилност логичке структуре и прегледност у организацији садржаја (Borisov, 2006; Кукрика, 2000). Такође, база података задовољава ефикасно потребе корисника за геоинформацијама, па се може сматрати да је она суштински део ГИС-а.

5.1.1. Математичка основа

Математички закони приказа геопростора, шематски узимајући, предвиђају две операције за прелаз од физичке површи Земље на њен графички приказ у равни. У првој од њих се прелази са физичке површи Земље на условну (математичку) површ елипсоида (Слика 42). Овај прелаз остварује се ортогоналним пројектовањем тачака физичке површи, линијама управним на математичку површ Земље, а одређује га и условљава мрежа тачака

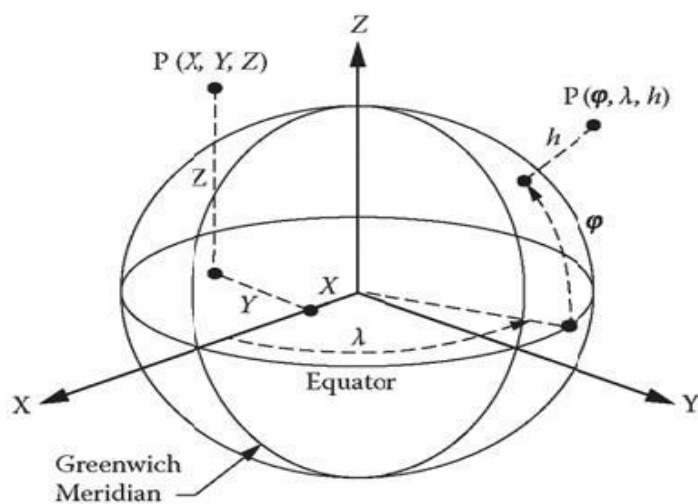
геодетске основе, која обезбеђује правилан географски смештај и оријентацију геопросторних података у оквиру неке координатне мреже на елипсоиду и затим у равни (Jovanović, 1983; Borisov i Petrović, 2013).



Слика 42. Геодетски датум (елипсоид) и геодетске тачке

Пресликане тачке геодетске основе и пресечне тачке координатних линија омогућују конструисање одговарајућих координатних система, неопходних за наношење осталог геопросторног садржаја у изради ГИС-а. При разматрању геодетске и картографске основе просторног модела података за ГИС, отварају се још нека од питања, као што су, на пример: питање избора координатног система, односно у ком координатном систему треба чувати податке о простору - географском или ортогоналном?

Координатни систем представља скуп условних линија и равни које служе као основа за једнозначно одређивање положаја тачке у простору. При одређивању положаја тачака, односно њихових координата најчешће се користе праволинијски (правоугли) и криволинијски (географски) координатни систем. Оба координатна система имају одговарајућу сврху и у зависности од практичних потреба обављају се одређене трансформације из једног координатног система у други (Слика 43).



Слика 43. Криволинијски (географски) и праволинијски (правоугли) координатни системи (Извор: Annoni et al., 2003)

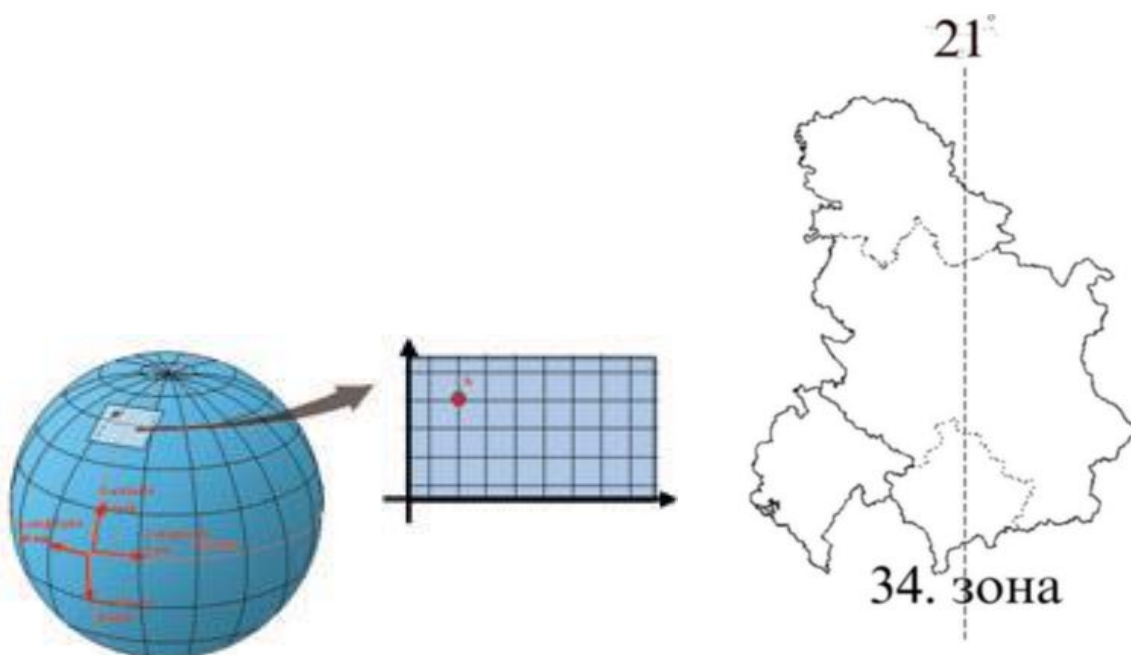
Тешко је унапред донети коначан закључак, односно који је облик координатног система погоднији за ГИС, јер то поред практичних разлога, зависи и од многих других потреба. Начелно би се могло констатовати да су географски системи погоднији за веће територије, јер географске координате припадају јединственом и универзалном координатном систему за целу Земљину површ. Међутим, географске координате су неподесне код практичног рачунања одређених вредности објекта и појава, а за тим често има потребе. Нарочито правоугли системи у простору, за разлику од географских, много су једноставнији, јер правоугле координате омогућавају непосредну процену, на пример, дужина у простору које одговарају логици људског размишљања.

Појава GNSS технологије, наметнула је потребу прецизног дефинисања координатног система. Након готово једног века, прецизније од 1. јануара 2011. године, у Републици Србији се у складу са Законом о катастру и државном премеру примењује просторни референтни систем који се подудара са Европским терестричким референтним системом (ETRS89). При том усвојен је нови референтни елипсоид (GRS80) и нова државна картографска пројекција *Universal Transverse Mercator* (UTM). Ознака просторног референтног система за Републику Србију је SRB_ETRS89.

5.1.1.1. Картографска пројекција

Картографска пројекција представља прелаз са површи елипсоида на раван, односно пресликавање закривљене површи у раван карте, на основу одређених математичких закона. Овим законом (картографском пројекцијом) дефинише се функционална веза (однос) између координата тачака на елипсоиду и њима одговарајућих координата у равни.

Службена картографска пројекција у Републици Србији је пројекција UTM. Према врсти и положају пројекционе површи спада у цилиндричну попречну, а према карактеру пратећих деформација у конформну картографску пројекцију (Слика 44). Одлика конформности значи да пројекција омогућава сличност фигура и очување једнакости углова код пресликавања. Овакав начин пресликавања има велику примену у многим областима, а једна од њих јесте и ГИС.



Слика 44. Пресликавање површи елипсоида у раван картографске пројекције

Картографска пројекција UTM или како се често назива картографски систем UTM, има и географску и правоуглу мрежу координатних линија. Решавање многих задатака на основу географске координатне мреже много пута је непрактично, односно отежано у равни картографске пројекције. Да би се поједноставио рад са подацима, поред географске мреже меридијана и паралела, наноси се и правоугла мрежа.

5.1.2. Положајна представа терена

Положајна представа терена треба да садржи све оне теме (нивое) које су описане у основном просторном моделу података, изузев математичке основе и висинске представе које представљају посебне тематске целине.

5.1.2.1. Хидрографија

Тематска целина *Хидрографија* обухвата стајаће воде, текуће воде и пратеће објекте. Стајаће воде су: мора и језера, локве и рибањаци. Њихово представљање састоји се од приказивања обале и водне површи. Основа за приказ водних површи јесте обалска линија, под којом се подразумева контура додира копна и воде. Обалу треба представити са свим детаљима који је одликују за одређену размеру. Такође, представљају се и острва. У ГИС-у, стајаће воде се представљају полигонима.

Текуће воде су: реке, потоци и канали. Главне одлике текућих вода су и општи правац протезања и веће или мање кривудање корита. Корита текућих вода (река, канала) се представљају линијом одређене дебљине или двома линијама на различитом растојању, што зависи од ширине тока и од пројектоване детаљности приказа. У ГИС-у, текуће воде се представљају линијом или полигоном.

Објекти за воду представљају издвојен садржај теме *Хидрографија* и може се поделити на објекте:

- За добијање воде за пиће (чесме, бунари, извори итд.);
- За сакупљање воде (базени, резервоари, цистерне итд.);
- Објекте помоћу којих се усмерава ток воде (аквадукти, тунели за воду итд.).

Такође, на привредни значај хидрографије указује се приказивањем објеката, као што су: електричне централе, воденице, стругаре итд. Подаци од интереса су и места прелаза преко скела, затим подаци о правцу тока и брзини реке, па и дубини воде. Да би се истакла пловност реке, на самој водној површи би се додавали посебни знаци који указују за које је пловне објекте река пловна и на којим деловима. Посебно је важно да се унесу пристаништа преко којих се одвија редован бродски саобраћај. Када се разматра цео речни систем, тј. скуп свих река и њихових притока које узимају воду са одређене површи, морају се имати у виду два захтева:

- Да се јасно разликују главне реке и притоке;
- Да се приказивање речног система базира на јединственој основи.

Детаљност тематске целине *Хидрографија* зависи углавном од размере приказивања, те од обележја самог земљишта. Међутим, нове могућности у приказу хидрографског садржаја битно су другачије, па и степен густине (детаљности) приказа података треба да буде флексибилнији. Оно што је до сада приказивано традиционално на географским картама, у принципу може послужити као основни критеријум и убудуће. У сваком случају, избор садржаја хидрографије за просторни оквир података треба да обезбеди потпуност и

верност хидрографске мреже, раздвајање основних елемената хидрографије, те њихову усклађеност са осталим подацима о простору.

5.1.2.2. Саобраћајна мрежа и путеви

Под саобраћајем се подразумевају мрежа комуникација и сви пратећи објекти који могу битно утицати на кретање и превоз људи и роба. Саобраћајна мрежа је разноврсна и може се глобално поделити на: копнену, водну и ваздушну. Притом су копнене комуникације најсадржајније и ту доминира путна мрежа. Постоји неколико критеријума класификовања путне мреже. Најважнији и најчешће коришћени су саобраћајно-економски и технички критеријум (Peterca i dr., 1974). Према техничком критеријуму саобраћајна мрежа дели се на:

- Аутопутеве;
- Главне путеве (путеви првог реда);
- Споредне путеве (путеви другог реда);
- Остале путеве;
- Стазе.

Аутопутеви имају посебно место и значај и њих треба издвојити и посебно представити. Главни путеви представљају доминантну категорију путева и они задовољавају основне техничке критеријуме, а притом и саобраћајни значај комуникацијског правца. Споредни путеви су лошијег квалитета и мањег значаја. У остале путеве се убрајају и сви они који су најниже категорије, а њихов значај је у складу са ситуацијом на терену. Стазе су углавном у беспутним теренима захваћене територије, али с обзиром на изабрану намену (изворишта вода), важно је и њих приказати. Пре тога сваку стазу треба проанализирати и обрадити на примерен начин. Такође, на свим путевима се приказују мостови, надвожњаци, подвожњаци, тунели или пропусти. Насипи и усеци, потпорни и заштитни зидови такође могу бити врло важне информације.

Док се неки од путева (стазе) дају у зависности од значаја и густине саобраћајне мреже, те од техничких својстава друмских подлога, железничке пруге се дају без икакве редукације. Класификација железнице обавља се и према броју и ширини колосека. У зависности од тога, оне се деле на пруге уског и нормалног колосека, те пруге са једним колосеком и више њих. Занимљиво је за пруге да се дају тачно, потпуно и верно у односу на сав не само саобраћај него и остали садржај положајне представе терена.

У сличном маниру требало би дати водни и ваздушни саобраћај, односно све објекте који им припадају. Такође би ваљало назначити линије пловних путева, луке и пристаништа, пратећи поморски и речни садржај. Навигационе одлике се, с једне стране, изражавају представљањем објеката који служе потребама навигације (ознаке, светионици), а с друге, представљањем објеката који указују на опасности приликом пловидбе. Посебним знацима требало би назначити скелске прелазе, забране и друге информације које упозоравају на опасност при пловидби. Од ваздушног саобраћаја требало би дати објекте за полетање и слетање, односно све врсте аеродрома. Атрибути који описују елементе приказане на том нивоу треба да садрже информације о статусу, врсти подлоге, значају и томе слично.

5.1.2.3. Насељена места

Насељена места представљају посебну тематску целину. Она су основни показатељ размештаја становништва, у њему су разна индустријска и уопште привредна предузећа. Такође, она су раскрснице комуникација и центри саобраћаја. У насељеним местима су разне државне установе (Peterca i dr., 1974). Многа од њих су политички и административни, економски и привредни, културни и спортски центри. Дакле, представљају важан геопросторни садржај, и њих треба што верније представити у односу на друге елементе садржаја.

Пошто линијски знаци река и комуникација заузимају велики део простора, важно је да насељено место буде постављено правилно у односу на те елементе садржаја, тј. да се види њихов међусобни положај. Насеља изузетно расутог типа приказују се типичним распоредом појединачних објеката у њима, а сва друга насеља у складу са густином и структуром насељеног места. Под структуром насељеног места подразумевају се састав и распоред делова насеља, као што су: улице, тргови, зграде, паркови итд. Основни задатак представљања јесте да се покажу комуникациони правци и да се дају оне улице које ће најбоље означити структуру и изглед насеља. Код представљања насељених места нарочиту пажњу треба посветити:

- Правилном и прегледном приказивању спољашњих контура, унутрашњег распореда и густине објеката, прилаза насељу и већих површи у њему;
- Издвајању главних комуникација, великих зграда и објеката распоређених на раскрсницама;
- Доброј усклађености са осталим елементима садржаја, посебно усклађеност насеља са обалном линијом мора, језера или великих река.

Поред општих одлика насеља (облик, величина и структура), које се изражавају геометријским „примитивима”, у оквиру ове теме требало би дати и називе насељених места. Избор географских назива и уопште других словних или бројних ознака, те њихова примена остаје важна.

5.1.2.4. Тло и вегетација

Тло и вегетација су у уској међусобној вези. Зато се обично и разматрају заједно. Под тлом се разуме површински слој земље. Тамо где нема неке вегетације, где је голо земљиште, представљају се одређене врсте тла. У противном би тло могло да се разматра и у вези са рељефом, а мочварна земљишта у оквиру хидрографије. Међутим, у визуалном смислу карактеристике тла смењују се са разним врстама вегетације, што их у неку руку и везује. Такође, ови елементи су распоређени управо парцијално у оквиру рељефа, вегетације и хидрографије, где им је логично место када се има у виду њихово представљање у ГИС-у.

Својства тла и вегетациони покривач углавном одређују карактер земљишта. Да би се могла анализирати и правилно оценити, потребно је да та својства буду представљена и истакнута на што јаснији и уочљивији начин. Код вегетације треба разликовати високо растиње (шуме и воћњаци) и ниско растиње (жбуње, макија, ливаде и друго). Само представљање остварује се на тај начин што се дају контуре које дефинишу положај, облик и димензије површи изабраним садржајем, унутар којих се може ставити одговарајући картографски знак. Потпуније приказивање квалитативних и квантитативних одлика вегетације представља се атрибутивно. Податке о вегетацији требало би користити у

комбинацији са висинском представом земљишта, ради одређивања оптичке видљивости на терену или његове проходности.

Поред основног садржаја вегетације, постоје и неке посебне одлике вегетације (усамљено дрво, пропланак, дрворед и сл.). Њих треба посебно издвојити или одређеном контуром и примереним симболима јасно представити и означити у односу на остали садржај вегетације. Основни циљ представљања тог садржаја јесте да се прикаже размештај појединих одлика вегетационог покривача и међусобни однос, тј. да се сачува однос покривене и непокривене површи земљишта.

5.1.3. Висинска представа терена

Висинска представа терена у ужем смислу првенствено се односи на систем надморских висина, тј. на систем висинских тачака земљишта у односу на изабрани референтни систем висина. Представљање терена изохипсама је најчешће коришћен начин када је реч о приказу рељефа на традиционалним картографским подлогама (Frančula 2000; Борисов, 2011; Petrović i dr., 2016). „Међутим, овакав начин представљања површи терена није довољно егзактан, јер се поставља питање: шта се дешава са површином и местима терена између две суседне изохипсе?” (Борисов, 2011). Ова дилема посебно је изражена на местима где се појављују карактеристични рељефни облици као што су: превоји, вододелнице, водосливнице, врхови и сл. Да би се овај недостатак донекле ублажио, изохипсе се на картама и плановима допуњавају котама и топографским знацима, тј. тачкама са исписаним висинама и специфичним картографским симболима.

Развојем ГИС технологија створили су се повољнији „услови” за приказ и анализу земљишта. Данас се висинско представљање и анализа земљишних облика све више обавља коришћењем ГИС технологије (дигитално моделовање терена). При том дигитално моделовање терена обухвата читав низ активности које се односе на прикупљање и обраду података о површи терена, израду 3Д модела и аспектима коришћења у различитим областима. У пракси се најчешће користе два термина за моделовање и организацију података о простору када је у питању висинска представа терена:

- Дигитални модел висина (ДМВ), „који се односи на систем висина у виду одређеног распореда тачака који прекрива површ земљишта”;
- Дигитални модел терена (ДМТ), „који поред висина тачака, узима у обзир и рељефне одлике”, односно структурне линије и карактеристичне облике терена.

5.1.3.1. Дигитални модел висина високе резолуције

Извори података, као и методе израде ДМВ, значајно су еволуирале током протеклих неколико година, од прикупљања и конверзије у дигитални облик до метода даљинске детекције и LiDAR снимања. Веома су популарни „сателитски” модели висина као што су: SRTM, ASTER, CartoDEM и други, јер су јавно доступни. Користе се за многе студије и истраживања. На основу овако добијених ДМВ могу се аутоматски екстраховати изворишта површинских вода (Wu et al., 2019). Но, они немају већу примену у локалним анализама које захтевају ДМВ пуно веће резолуције.

Дигитални модели висина највеће резолуције се добијају на основу LiDAR снимања. На квалитет израде овог ДМВ утичу:

- Тачност и густина добијеног „облака тачака”;
- Перформансе алгоритма за класификацију тачака;
- Поступци за интерполацију вредности висина;

- Резолуција ДМВ.

Редукција густине облака тачака смањује обим прикупљања и цену обраде података, али свакако утиче на детаљност модела. На пример, смањење од 50% густине облака тачака не доводи до великог погоршања визуелних за разлику од статистичких карактеристика генерисаног ДМВ (Asal, 2016). С друге стране, прецизни и тачни ДМВ могу се добити само ако се облак сирових тачака класификује на начин како би се разликовали објекти на тлу и само тло. Томе служе многе функције које поспешују процес класификације тачака као што су интензитет, број враћања сигнала или боја објекта.

5.2. Тема изворишта површинских вода

„У протеклом периоду секторско управљање извориштима површинских вода је појачало наслеђене и произвело низ нових негативних развојних ефеката. Управо то нарастање противуречности условљава потребу преиспитивања постојећих и изналажење нових образаца управљања водама. У том погледу треба створити могућност за остварење интегрисаних циљева заштите и унапређења површинских изворишта и насеобинског развоја. Управљање овим просторима подразумева усклађену примену различитих инструмената заштите и развоја, укључујући присутне еколошке и правне, као и одговарајуће организационо - институционалне, економске, технолошке, информационе и остале мере” (Милинчић, 2009).

Поред основног скупа података о простору треба посебно истаћи тему изворишта површинских вода. Садржај ове теме је генетски везан за тематску целину *Хидрографија*, али због проблематике у овом раду је посебно издвојена. Тема изворишта површинских вода обухвата поједине текуће и стајаће воде на површини Земље. Она обухвата и друге објекте и постројења (резервоаре, акумулације, пумпне станице итд). Ова тема садржи и податке о квалитету, који су значајни и приказују се у складу са санитарним потребама.

5.2.1. Доступност геопросторних података

Прикупљање података о извориштима површинских вода базирало би се, пре свега, на технологијама даљинске детекције и LiDAR снимању. Даљинска детекција је посебно важна за прикупљање информација о извориштима вода на удаљеним или неприступачним подручјима, на пример, током поплава већих подручја или у ванредним ситуацијама (Verpoorter et al., 2014; Ogashawara and Moreno-Madriñán, 2014; Kaplan and Avdan, 2017a; Kaplan and Avdan, 2017b). При том се прикупљање података LiDAR технологијом помера са селективног снимања топографије на прикупљање густих облака тачака за израду ДМВ. Такође, селективно прикупљање података о заштити околине мањих подручја помера се на континуирано праћење већих, па и глобалних подручја.

Према доступности података о извориштима вода постоје комерцијални и бесплатни извори геопросторних података (отворени подаци). Комерцијални подаци су у власништву појединих државних институција (Дирекција за воде, РГЗ, ВГИ, итд.) и делимично су доступни, односно доступни под одређеним условима. Такође, различити сетови комерцијалних података су доступни преко организација које се баве сакупљањем и продајом геопросторних података, или њиховом дистрибуцијом. Отворени подаци се састоје од података који су слободни и доступни, у форматима за вишеструку употребу и уз обезбеђивање отворених лиценци, односно без икаквих ограничења и у погледу приступа и накнаде (Hossain and Chan, 2015). Усвојена политика слободних, потпуних и отворених података програмима *Copernicus* и *Landsat* је одобрио приступ подацима *Sentinel 1-2*, *Landsat 4-8* производа, путем једноставне предрегистрације.

Главне предности бесплатних снимака су дугорочно континуирано прикупљање података, глобална покривеност, бесплатан и брз приступ, док је просторна резолуција за неке од њих једно од већих ограничења за анализу изворишта мањих димензија. Притом учесталост посматрања снимка може значајно да варира у зависности од локације, а коришћење више сателитских мисија повећава временску резолуцију скупова геопросторних података. Према (Mandanici and Bitelli, 2016), резултати радиометријског поређења *Sentinel 2* и *Landsat 8* снимака за праћење земљишта и водних објеката, показали су да се у већини случајева подаци са оба сензора могу комбиновати, док код неких појавила су се питања у вези са *NearInfraRed* (NIR) опсезима.

Landsat серија сателита непрекидно пружа снимке за површину Земље од 1972. год. При том *Landsat 5* носио је мултиспектрални скенер и тематски мапер. Тематски мапер пружа седам спектралних опсега, са просторном резолуцијом од 30 m. Временска резолуција (интервал поновног снимања) износи 16 дана. Генерација сателита *Landsat 7* која носи *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), обезбеђује осам спектралних опсега са истом просторном резолуцијом (30 m), осим за панхроматског опсега резолуције 15 m. Последња генерација сателита, *Landsat 8* има бољи сензор за детектовање површинских вода и праћење земљишта као и инфрацрвени сензор. Сензор обезбеђује девет спектралних опсега са просторном резолуцијом од 30 m, осим панхроматског, који има резолуцију од 15 m. Приближна величина сцене је 170 km север - југ и 183 km исток - запад (Chul et al., 2015). Временска резолуција код *Landsat 8* износи такође 16 дана.

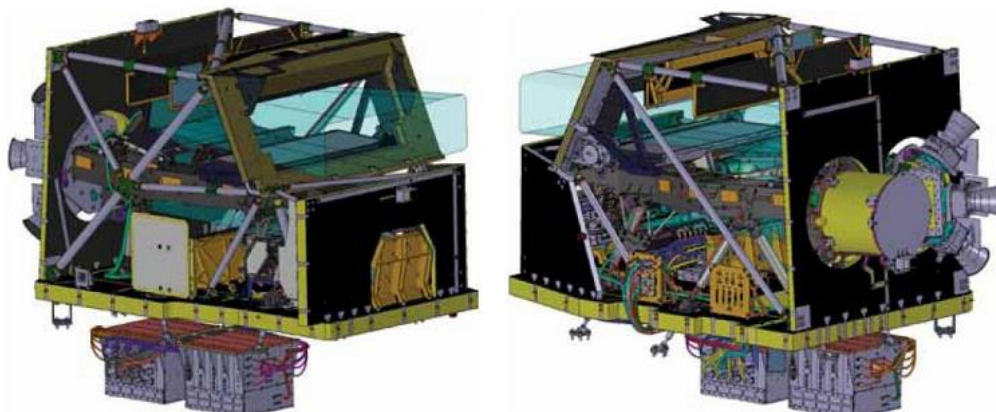
Програм *Copernicus* обухвата сателите са различитим просторним и временским резолуцијама за посматрање планете Земље и пружа услове за брзо евидентирање и картирање топографије, хидрографије, пољопривредних и шумских површина, промена рељефа и тла. Временске серије снимака *Copernicus* сателита SAR *Sentinel-1* и оптичког *Sentinel-2*, због својих високих просторних (10 m) и временских резолуција (5 дана), пружају сјајну прилику за надгледање површи Земље. За разлику од већине SAR података (нпр. *RADARSAT-2* или *TerraSAR-X*) и оптичких сателитских платформи (нпр. *SPOT*, *Planet*, *WorldView 2,3*) ови подаци су слободни и доступни за коришћење.

Мисија *Sentinel-2* се заснива на сазвежђу два идентична сателита у истој орбити, размакнутих 180° за оптималну покривеност и испоруку геопросторних података. Тиме се заједно покривају копнени делови површи Земље, велика острва на мору, унутрашње и обалне воде сваких пет дана на екватору, до десет дана на већим географским ширинама. Овај јединствени програм праћења стања и појава на Земљи и животној средини представља значајан корак у промени методологије на који начин треба управљати, односно поступак како разумети и борити се са ефектима климатских промена и очувати природу.

Мисија великим делом пружа информације за водопривреду, пољопривреду или за помоћ у производњи и безбедности хране. Сателитски снимци се користе за одређивање различитих индекса биљака, као што су хлорофил на површини вегетације, индекси садржаја и квалитета воде. Мисија *Sentinel-2* се може користити за картирање промена на земљишном покривачу, пре свега за праћење промене шумског покривача, изворишта површинских вода итд. Велику примену имају и код праћења и картирања поплава, клизишта и вулканских ерупција. Са аспекта предложеног концепта, посебно су значајне информације о загађењу језера, река и приобалних делова.

Сваки од сателита *Sentinel-2* носи по једну иновативну мултиспектралну камеру (*MSI*) високе резолуције снимања са 13 спектралних канала у видљивом/блиском инфрацрвеном (*VNIR*) и краткоталасном инфрацрвеном делу спектру (*ShortWavelength Infrared* - *SWIR*) (Слика 45). Комбинација високе резолуције, већих спектралних

могућности, ширина снимања од 290 km и високе временске резолуције, сателитска платформа *Sentinel-2* пружа садржајнији и свеобухватнији поглед на Земљу (<https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2>)



Слика 45. Мултиспектрална камера са сателита *Sentinel-2*
(<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>)

Мултиспектрална камера мери рефлектовану светлост кроз атмосферу унутар 13 спектралних канала и то:

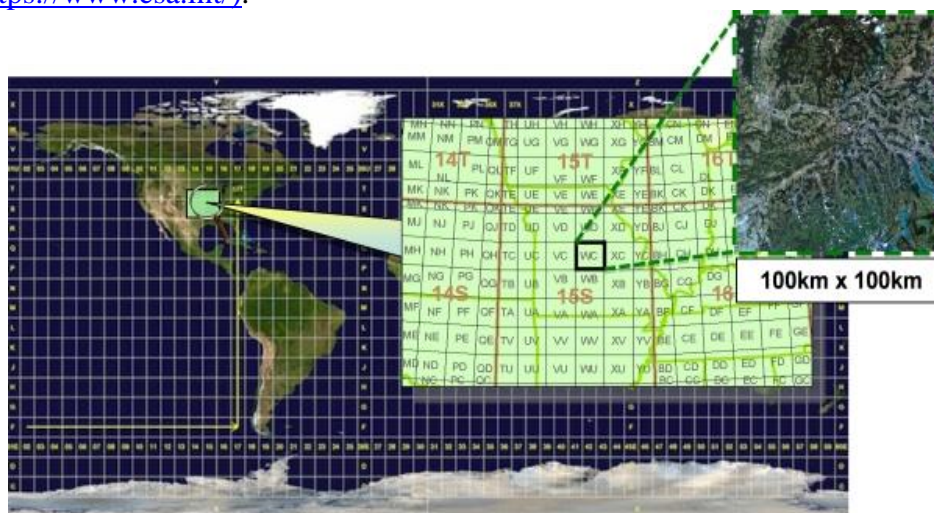
- 4 канала са просторном резолуцијом од 10 m плава (490 nm), зелена (560 nm), црвена (665 nm) и блиска инфрацрвена (842 nm);
- 6 канала са просторном реолуцијом 20 m: 4 уске траке за карактеризацију вегетације (705 nm, 740 nm, 783 nm и 865 nm) и 2 веће SWIR траке (1.610 nm и 2.190 nm) за апликације као што су детекција снега/леда/облака, процена стреса од влаге;
- 3 траке на 60 m: углавном за скрининг облака и атмосферске корекције (443 nm за аеросоле, 945 nm за водену пару и 1.375 nm за детекцију вируса) (Табела 8).

Табела 8. Спектрални снимци са сателитске платформе *Sentinel-2*

Sentinel-2 спектрални канали	Централна таласна дужина (nm)	Ширина траке бенда (nm)	Просторна резолуција (m)
Band 1	443	21	60
Band 2	490	66	10
Band 3	560	36	10
Band 4	665	31	10
Band 5	705	15	20
Band 6	740	15	20
Band 7	783	20	20
Band 8	842	106	10
Band 8A	865	21	20
Band 9	945	20	60
Band 10	1.375	31	60
Band 11	1.610	91	20
Band 12	2.190	175	20
TCI	RGB (Band 4,3,2)	Composite	10

Главни производи који се могу генерисати мисијом *Sentinel-2*, односе се на:

- Ниво-L1C у референтном координатном систему, односно UTM картографска пројекција и елипсоид *World Geodetic System (WGS84)*. Производи нивоа L1C се односе на сцене величине 100 km × 100 km, где свака од њих има меморију приближно 500 MB. Ови производи су радиометријски и геометријски кориговани (укључујући орторектификацију). Могу се добити са *Copernicus Open Access Hub*-а или других сличних платформи као што је *USGS EarthExplorer* (Слика 46).
- Ниво-L2A се односи на податке који су обрађени и припремљени за анализу (*Analysis Ready Data - ARD*). Производ се може преузети са *Copernicus Open Access Hub*-а или креирањем од стране самог корисника са *sen2cor* процесором из *ESA's SNAP Toolbox*-а (<https://www.esa.int/>).



Слика 46. Производ нивоа L1C Sentinel-2 мисије (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>)

Поред тога, за кориснике са специјализованим знањем доступан је и производ ниво-а L1B чија употреба захтева напредно знање, односно специфично искуство у раду.

Са својом мултиспектралном камером и широком покривеношћу, мисија *Sentinel-2* не само да подржава континуитет, већ се и употпуњује са мисијама *French Spot* и *US Landsat*. Притом *Sentinel-2A* лансиран је 23. јуна 2015. године, а *Sentinel-2B* уследио је 7. марта 2017. године. Након лансирања, Европска комисија је преузела власништво над сателитима. Трећи сателит, *Sentinel-2C*, тренутно се тестира и у припреми је за лансирање 2024. године.

Што се тиче других типова података отвореног кода, *OpenStreetMap (OSM)* је један од најпопуларнијих примера расположивих геопросторних информација. Током неколико минутих година, OSM се показао као озбиљна алтернатива геоподацима за различите примене у широком спектру за ГИС и друге апликације, посебно у управљању катастрофама и планирању у ванредним ситуацијама, као што су земљотреси или поплаве (Eckel et al., 2016). Такође, OSM има за циљ да створи, обезбеди и надокнади недостатак бесплатних геопросторних података, пошто подаци и ако су слободно доступни, добијају се уз лиценце које ограничавају употребу информације (Girres and Touya, 2010; Barron et al., 2014). Подаци OSM могу се бесплатно преузети у векторском формату. Положајна тачност OSM података зависи од начина прикупљања (прецизност GNSS сигнала, карактеристике сателита, квалитет дигитализације) и могућности у прикупљању података.

5.2.2. Моделовање геопросторних података

Просторно моделовање односи се на опште посматрање и екстракцију изворишта површинских вода. Оно води такозваном просторном моделу нове теме, у коме корисник експлицитно утврђује водни објекат с обзиром на његово тематско издужење и разграничење. Овде у првом реду треба да се уреди геометријско моделовање изворишта вода, те утврђивање тематске хијерархије. При том би требало одговорити на питање: „Како изабране објекте и појаве формализовати, тј. представити на прихватљив начин?” Ентитети изворишта вода се на концептуалном нивоу описују путем:

- Геометријских симбола (положај, облик, величина);
- Тополошких веза (суседност, припадност или повезаност);
- Тематских података (атрибута).

Под геометријским моделовањем подразумева се поступак обраде, описивања и архивирања расположиве геометрије изворишта површинских вода, коришћењем аналитичких и апроксимативних метода. То су најчешће векторски модели података који пружају информацију о локацији и облику изворишта, изражени „геометријским примитивима” (тачка, линија, полигон).

Поред геометрије изворишта површинских вода, распоред речних токова (речна мрежа) и структура (топологија речне мреже) су важне карактеристике једног слива, тј. кључно за разумевање отицања површинских вода, транспорта седимената и других материја, динамике екосистема и геоморфолошких процеса. Геометрија мреже је математички приказ просторног распореда скупа изворишта у виду веза (речних токова) и чворова (извора и ушћа), док топологија мреже представља међусобну повезаност у мрежи. И на крају следи тематско моделовање које подразумева описивање, обраду и архивирање расположиве тематике изворишта вода, при чему се користе технике раслојавања и описивања атрибутима. Све ово треба да буде усклађено са прописима и процедурама које су описане у INSPIRE (спецификација података о хидрографији) и WFD директиви.

5.2.2.1. Геометрија изворишта површинских вода

У раду се разматра приступ за аутоматску детекцију изворишта површинских вода заснован на сателитским снимцима. Такође, описује се детекција изворишта на основу LiDAR података. Аутоматско откривање изворишта површинских вода са снимака даљинске детекције представља посебан изазов. Основни разлог је велика међукласна варијабилност и мала међукласна удаљеност, нарочито за мања изворишта површинских вода или она која су делимично заклоњена. Међутим, стални напредак технике даљинског откривања су у великој мери побољшале могућности прикупљања геопросторних података, посебно високе резолуције.

а) Детекција изворишта на основу сателитских снимака

Даљинска детекција кроз мултиспектралне анализе представља значајну технологију у функцији унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода. За детектовање и издвајање водних тела, користио би се индекс *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Примена индекса NDWI може се односити на један од два индекса добијена даљинским истраживањем у вези стања воде:

- Један се користи за праћење стања и промена садржаја воде у листовима вегетације, користећи блиске инфрацрвене (*NIR*) и краткоталасне инфрацрвене (*SWIR*) таласне дужине (Gao, 1996); и

- Други, користи се за праћење промена у вези са садржајем воде у самим водним телима, користећи зелене (*Green*) и *NIR* таласне дужине (McFeeters, 1996; McFeeters, 2013).

Код праћења вегетације у подручјима погођеним сушом, препоручује се примена NDWI индекса који је заправо дефинисао Гао. Наиме, NDWI индекс је снажно повезан са садржајем воде у биљци и представља веома добар показатељ за „стрес” воде у биљци. То је сателитски индекс са канала блиског инфрацрвеног (*NIR*) и краткоталасног инфрацрвеног (*SWIR*) канала. Притом *SWIR* рефлексција одражава промене и у садржају воде у вегетацији и у структури сунђерастог мезофила у вегетацијским крошњама, док на *NIR* рефлексiju утичу унутрашња структура листа и садржај суве материје, побољшавајући прецизност у проналажењу садржаја воде у вегетацији (EUC, 2011). Веома је користан за праћење суше у пољопривреди и предузимањем мера и поступака управљања у наводњавању.

Изворишта површинских вода на сателитским снимцима се појављују са различитим нивоом детаљности. С једне стране, аутоматско разграничење изворишта површинских вода од осталог окружења најчешће се обавља коришћењем водних индекса и с друге, приступима заснованим на одређеним граничним вредностима тзв. праговима. Методе које би се примењивале при издвајању „водних” пиксела базирају се на пиксел и *OBIA* класификацији.

б) Детекција изворишта на основу LiDAR података

Примена LiDAR снимања је постала широко коришћена метода за обезбеђивање скупова података високе резолуције, првенствено због чињенице да се тродимензионалне информације прикупљају брзо и тачно, на већој површини. Подаци добијени LiDAR снимањем често се користе код пројектовања ДМВ ради сагледавања поплава (Yan et al., 2015), визуализације и картирања ризика од поплава (Bodoque et al., 2016) и екстракције површинских вода (Hofle et al., 2009). Све ове апликације су креиране након формирања ДМВ, користећи при том необрађене облаке тачака.

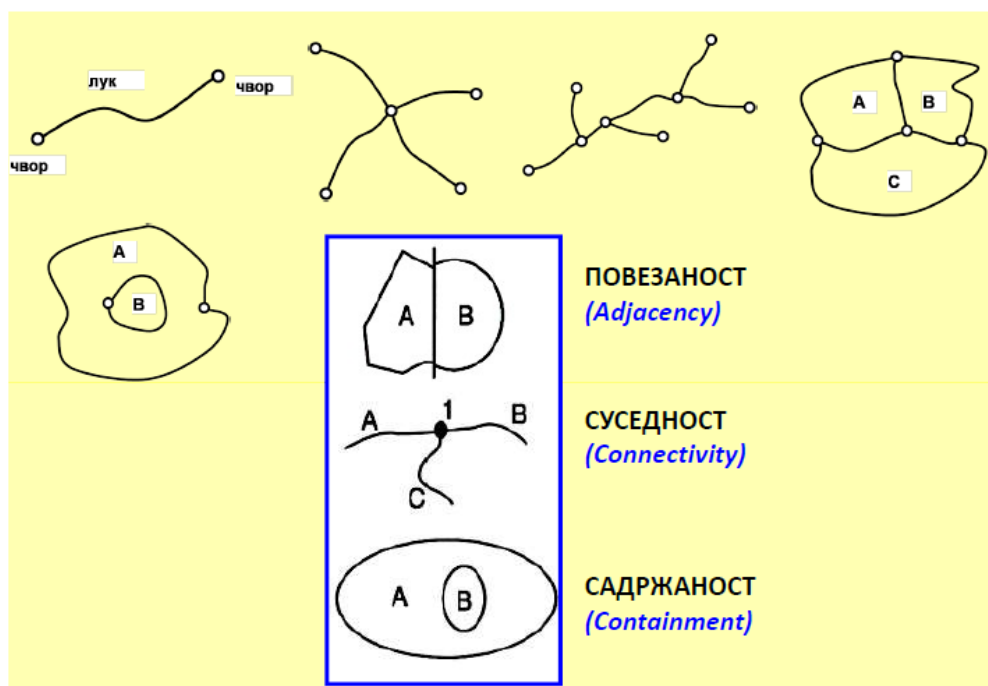
Код већине поступака за детекцију и одређивање изворишта површинских вода користи се метод прага, односно гранична вредност. Граничне вредности се бирају искуствено тако да одговарају тестираном подручју. При том се ограничавају могућности генерализације самог алгоритама или његова примена за неку другу област истраживања. Изворишта површинских вода обично заузимају најнижу коту на сцени, тако да се праг надморске висине може користити за дефинисање границе између воде и копна. Међутим, праг надморске висине не пружа прецизну класификацију у вишим пределима терена, пошто надморска висина изворишта на брдовитим и ниским подручјима неће бити иста. Наиме, код снимања LiDAR технологијом, интензитет повратног сигнала је у функцији положаја летелице, упадног угла ласерског импулса и храпавости саме површи воде. Притом изворишта површинских вода су обично повезана са ниским интензитетом повратног сигнала. Услови околине, као што је на пример ветар, повећавају храпавост површи воде која изазива промену угла нагиба и интензитета повратног сигнала.

С једне стране, велика је предност коришћења LiDAR података за откривање изворишта површинских вода и могућност картирања садржаја самог дна изворишта, пошто LiDAR сигнали имају одлику продирања кроз воду и лишће. С друге стране, на квалитет детектоване границе копно/вода, поред тачности класификације, утиче и густина облака тачака (Hofle et al., 2009).

Главно ограничење већих примена LiDAR снимања су још увек високи трошкови технологије и истраживања, посебно за мала подручја истраживања. При том UAV системи као алтернатива конвенционалном аерофотограметријском систему, пружају јефтинија решења за добијање висококвалитетних и високофреквентних снимака. Наиме, поред високог нивоа просторних и временских резолуција, UAV системи утичу значајно на побољшање флексибилности у прикупљању геопросторних података.

5.2.2.2. Топологија изворишта површинских вода

Тополошко моделовање се остварује: чворовском структуром, разгранатом структуром (у виду стабла), линијском мрежном структуром и површинском структуром (полигон). На пример, путеви секу реке, нека изворишта воде имају заједничку границу, одређени објекти су уз саму реку, а неки су поред и томе слично. Овакве везе се зову тополошке везе и одређене су „односним” положајем објеката у простору (Слика 47).



Слика 47. Тополошки појмови и односи

Креирање и чување тополошких односа је јако важно како због уочавања међусобног односа различитих елемената простора, тако и због самих просторних анализа. И док је примена даљинске детекције за издвајање геометрије и праћење облика површинских вода под интензивним истраживањем, много мање пажње је посвећено екстракцији топологије токова вода и речних мрежа. На пример, објекти површинских вода се представљају као полигони, док је референтна геометрија за реку полилинија, односно полигон у случају модификованих речних токова као што су реке са браном. Такође, у оквиру директиве о водама (WFD), захтева се приказ централне линије за површинска водна тела (WISE GIS, 2016). Из тих разлога потребно је формирати речну мрежу како би се испунили дефинисани захтеви WFD.

По питању екстракције и класификације типова изворишта, због природних и уметнутих препрека, реке се појављују као скуп неповезаних сегмената. Веза између тих сегмената је од виталног значаја за обезбеђивање континуитета и тополошке исправности речне мреже. На пример, сегменти код суседних делова река су повезани на нивоу полигона ако је растојање између њих мање од 40 m, а правац струјања конзистентан (Jakovljević,

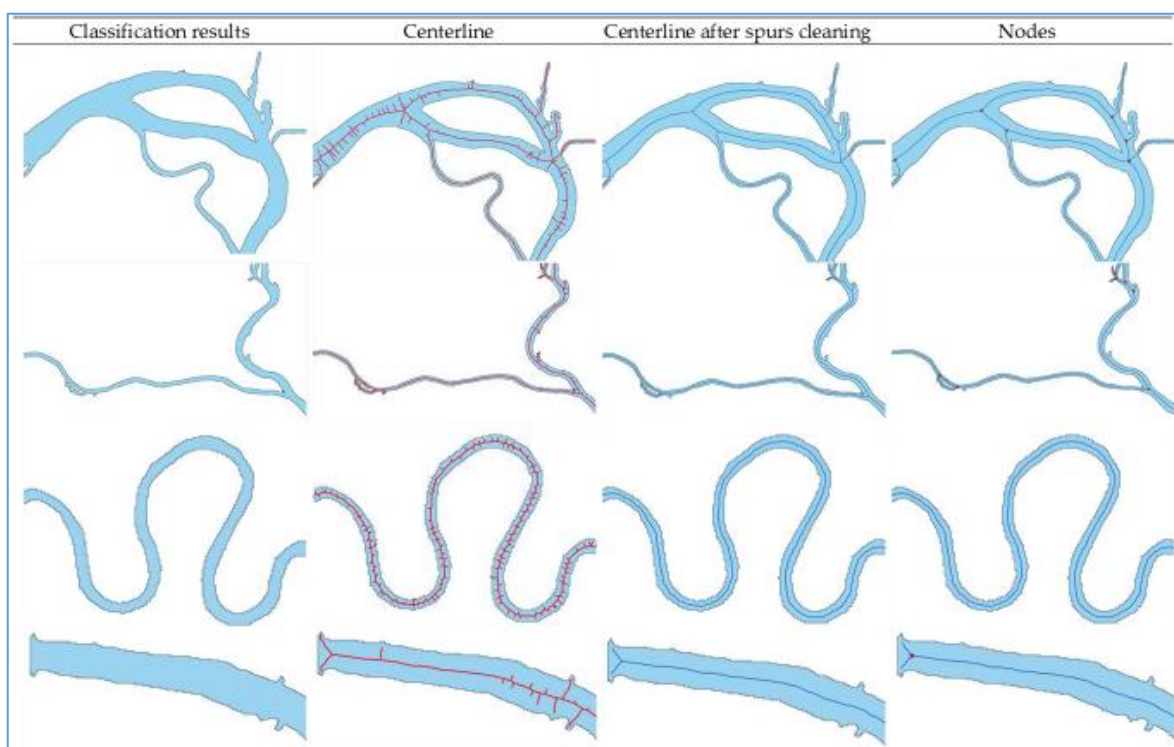
2020). Издвојена изворишта се класификују у реке и језера на основу карактеристика облика. При том тип изворишта се може одредити применом срачунатог прага за издуженост (I) и компактност (K). Издужење и компактност се рачунају коришћењем израза (1 и 2):

$$I = \frac{avg \check{s}}{avg d} \quad (1)$$

$$K = \frac{4\pi p}{per^2} \quad (2)$$

где \check{s} , d , p , per , представљају ширину, дужину, површину и периметар. Издужење има вредност један за објекте који су кружног или квадратног облика, а све мању како објекат постаје издуженији. Компактност се дефинише као однос површине објекта према површини круга за исти периметар. Због тога ће се реке одликовати малим издужењем и збијеношћу док ће језера производити вредности блиску јединици. Поред тога, реке просечне ширине веће од 500 m класификоване су као главне реке.

Речни полигони садрже дисконтинуитете у виду „путева” и „рупа”, које узрокују кретање бродова или речна острва и други објекти присутни на рекама. Присуство тих малих рупа ствара грешке у формирању топологије речне мреже. Алгоритам би аутоматски издвајао средишње линије свих водних тела, укључујући главни канал, притоке, огранке и одсечке падова (Слика 48). Поред тога, извучене средишње линије притока су повезане са средишњим линијама река које теку, стварајући потпуно повезану речну мрежу (Swan and Griffin, 2019).



Слика 48. Визуелна инспекција екстраковане речне мреже (Извор: *Jakovljević, 2020*)

Потреба за хармонизацијом геометрије је уско повезана са тополошком конзистентношћу, унутар и између различитих класа објеката. При том појављују се одређене тополошке грешке због нарушавања унапред дефинисаних тополошких правила.

За откривање тополошких грешака могу се користити и алгоритми у оквиру програма *OpenJump* (Sehira et al, 2014), *ArcGIS* (Servigne et al, 2000) итд.

5.2.2.3. Атрибути изворишта површинских вода

На крају следи тематско моделовање података које подразумева прикупљање, обраду и архивирање атрибута изворишта површинских вода уз употребу савремених ГИС технологија. Савремена литература обилује оваквим примерима ефикасне употребе (Liu et al, 2015; На NT et al., 2017; Кораран et al., 2018; Politi and Prairie, 2018; Avdan et al., 2019 и други). Праћење и прикупљање биолошких и физичко - хемијских параметара, заснива се на анализи сателитских снимака о појавама и стању изворишта површинских вода. Даљинско праћење квалитета воде заснива се на разумевању односа промена измереног параметара квалитета воде (на терену), са оптичким својствима воденог стуба. При том праћење квалитета воде малих и средњих изворишта је изазовно због грубе просторне резолуције сензора, односно просторне хетерогености и временски динамичније промене у мањим рекама. Поред скупа параметара о квалитету воде које дефинише WFD, пожељно је и праћење органолептичких својстава воде, односно мириса, боја и видљивих отпадних материјала.

а) Параметри квалитета воде

За праћење параметара квалитета воде, односно индикатора биолошког статуса, стања кисеоника и хранљивих материја, могу се користити подаци даљинске детекције. Обработом сателитских снимака могу се добити параметри квалитета воде као што су концентрација *Chl* (биолошки параметар), седиментација, замућеност, нитрати, фосфор и количина кисеоника (физичко-хемијски параметри) (Dogan et al., 2016). Биолошки параметар *Chl* сматра се индикатором обиља фитопланктона и биомасе у водама и може се користити за одређивање квалитета воде, биофизичког статуса и нивоа еутрофикације водног тела (Ćirić i dr., 2018). Биолошки параметар *Chl* користи се у фотосинтези кисеоника и налази се у биљкама, алгама и цијанобактеријама.

Суспендовани седименти су једно од најчешћих загађења у слатководном систему. Релеф и нагиб речних токова су фактори који посебно утиче на концентрацију седимената. Такође, не треба занемарити временске прилике и величину басена, као и антропогени фактор (Шакарани, 2005). При том повећана концентрација седимената инхибира правилну функцију водног екосистема и мења квалитет воде (повећава температуру, смањује раствореност кисеоника).

Азот (N), потребан за синтезу протеина, и фосфор (P), потребан за ДНК, РНК и пренос енергије, кључни су ограничавајући хранљиви састојци за раст биљака у већини водних и копнених екосистема (Liu et al, 2015). Многе студије се састоје од мерења свих неорганских, органских и растворених облика фосфора. Концентрација фосфора директно је повезана са биолошким параметром *Chl*, а индиректно са параметром замућености тј. *Secchi Disk Depth* (SDD). Повећање концентрације *Chl*-а, повећава концентрацију фосфора, док повећање фосфора смањује SDD (Ćirić i dr., 2018).

Један од критичних параметара је количина кисеоника која је доступна у изворишту воде. Температура воде веома утиче на количину кисеоника и може се користити за процену његове концентрације. При том количина кисеоника и квалитет воде су директно повезани, односно већа концентрација кисеоника указује на бољи квалитет воде.

б) Откривање видљивих отпадних материјала

Загађење пластиком и микропластиком постало је једно од најзначајнијих еколошких проблема нашег доба. Од 1950-их, када је измишљена као санитарни и јефтин материјал, пластика је заузела место папира и стакла у амбалажи за храну, дрво у производњи намештаја и метал у производњи аутомобила. Глобална производња пластике се повећава из године у годину, да би у 2018. години достигла 360 милиона тона. (PLASTICS EUROPE, 2021). Од девет милијарди тона пластике колико је до сада произведено рециклирано је свега 9 посто. Сваке године у океанима заврши више од 8 милиона тона. (UNEP, 2020). Пластика није биоразградива, а током времена, макро пластични комади се разграђују физички у све мање и мање комаде, стварајући нов еколошки проблем - микропластику. Пластични отпад у водама представља глобални еколошки проблем са значајним економским, еколошким, здравственим и естетским утицајима. Ове чињенице су од посебног значаја за развој планова мера и активности како би се смањио утицај отпада и смећа на копну и у површинским водама.

Визуелна истраживања и праћења на терену одузимају пуно времена и енергије, а дају само мањи, локални увид који се потом користи као узорак за шири простор. Поред тога, људи на терену су често изложени неповољним метеоролошким условима, непогодним теренским условима или опасним отпадним материјалима (као што су хемијске супстанце, медицински отпад, итд.). Пластично смеће је углавном концентрисано у приобалном делу и у горњем слоју површинских вода, и то углавном унутар првих 0,5 m водног стуба (Kooi et al., 2016). Имајући ово у виду, технологије даљинске детекције са високим просторном, временском и спектралном резолуцијом имају потенцијал да постану поуздани извори информација о плутајућој пластици. Постоје примери који се односе на алгоритам за откривање плутајуће пластике у слаткој води, на основу вештачких неуронских мрежа и високе резолуције мултиспектралне снимке *WorldView-2* (Jakovljević i dr., 2019). Такође, (Aoyama, 2016) је користио сателитске снимке високе резолуције *WorldView-3* и алгоритме за откривање отпада у Јапанском мору

Последњих година, беспилотне летелице су препознате као ефикаснија и јефтинија платформа за снимање терена, односно добијање снимака са великом прецизношћу и погодне за праћење водних средина (Gray et al., 2018). Прилагодљиве руте лета на ниским висинама у комбинацији са новим алгоритмима за фотограметријску обраду SfM, обезбеђују исплативо прикупљање геопросторних података са високом просторном и временском резолуцијом погодном за квалитативну и квантитативну анализу природних и вештачких изворишта вода и токова. Поред инфрацрвених и стандардних сензора, UAV системи могу бити опремљени мултиспектралним камерама које омогућују да се прикупљени подаци комбинују са сателитским снимцима.

Иако беспилотне летелице могу да обезбеде одговарајућу просторну и временску резолуцију за добијање квалитетних информација код картирања плутајуће пластике, већина метода развијених до сада, засноване су на визуелној интерпретацији и ручном обележавању комада пластике, што представља дуготрајан и радно интензиван поступак. Поступак у решавању проблема пластике у извориштима површинских вода односи се пре свега, на процену количине пластике, места где се она задржава (акумулира), путеви настанка и кретања пластике. Плутајући отпад је главни извор отпада због одлагања смећа на дивље депоније и излетишта дуж реке или директно у реку. Количина материјала највише зависи од временских услова. Највећа количина се акумулира у кишним периодима (пролеће и јесен) када се водостај повећа и смеће са обала река доспе у воду (Jakovljević i Govedarica, 2019). При том постоје разлике у самим протоколима којима се прате просторне и временске дистрибуције загађења пластиком, као и чињенице да тачност и квалитет

прикупљених података варира у зависности од вештине посматрача, односно интеграције и упоредне процене изазова.

5.3. Подаци о квалитету и метаподаци

Подаци о простору „треба да буду једноставни за разумевање и интерпретирање пошто ће бити документовани на одговарајући начин, те се могу представити у одређеном контексту који ће бити прилагођен да одговара корисницима” (*Закон о НИГП, 2018*). Такође, то су подаци „са директном или индиректном везом са одређеном локацијом на површи Земље или географском облашћу. Они описују територију и њене карактеристике употребном просторно референцираних података као што су координате, адресе, називи и слично”. Већина ГИС система укључује одређени број уобичајених врста просторних података као што су: геодетске тачке, координатни системи, географски садржај итд. Ове врсте података представљају основу за имплементацију других, специјализованих тематских података.

Описна документација о самим подацима, представља метаподатке. Основна компонента сваког ГИС-а је каталог метаподатака над којим је могуће вршити упите употребом просторних, временских и тематских атрибута у циљу проналажења одговарајућих ресурса.

Да би се обезбедио ефикасан и интегрисан ГИС систем о водама потребно је поштовати правила за имплементацију која се односе на метаподатке, интероперабилност скупова просторних података (описано у Анексима 1, 2 и 3 INSPIRE директиве и спецификацији података о хидрографији), процедуре за праћење стања изворишта површинских вода (квантитет и квалитет), мрежне услуге, као и дељење података (интерно/екстерно) и извештавање.

6. ПРАКТИЧНИ ДЕО РАДА

Фокус практичног дела рада је на изради ДМВ (у оквиру ГИС-а) и приказу могућности истог у процесима управљања изворишта површинских вода, а све због наведених претпоставки о недовољном третирању висинске представе терена у стратешким и планским документима када је управљање водним ресурсима у питању. Такође, тестирани су и неки поступци идентификовања изворишта површинских вода, које је могуће унапредити методама даљинске детекције и LiDAR технологијом у области од интереса.

Провера концептуалних решења је утицала на дефинисање два радна подручја. Првенствено је утицала условљеност расположивих извора података, као и морфолошке карактеристике терена и локација дефинисаних изворишта површинских вода. Због свега наведеног изабрано је подручје Власинског језера и околине и део слива реке Љиг.

За област Власинско језеро и околину били су доступни подаци из ЦГТБП25. На основу ЦГТБП25, урађени су ДМВ резолуције 10 m, 25 m и 100 m, у ГРИД и ТИН структури података:

- ДМВ 10 m;
- ДМВ 25 m;
- ДМВ 100 m.

За радно подручје дела слива реке Љиг располагало се подацима који су добијени LiDAR снимањем. На основу њих, генерисани су ДМВ у различитим просторним резолуцијама, у ГРИД и ТИН структури података:

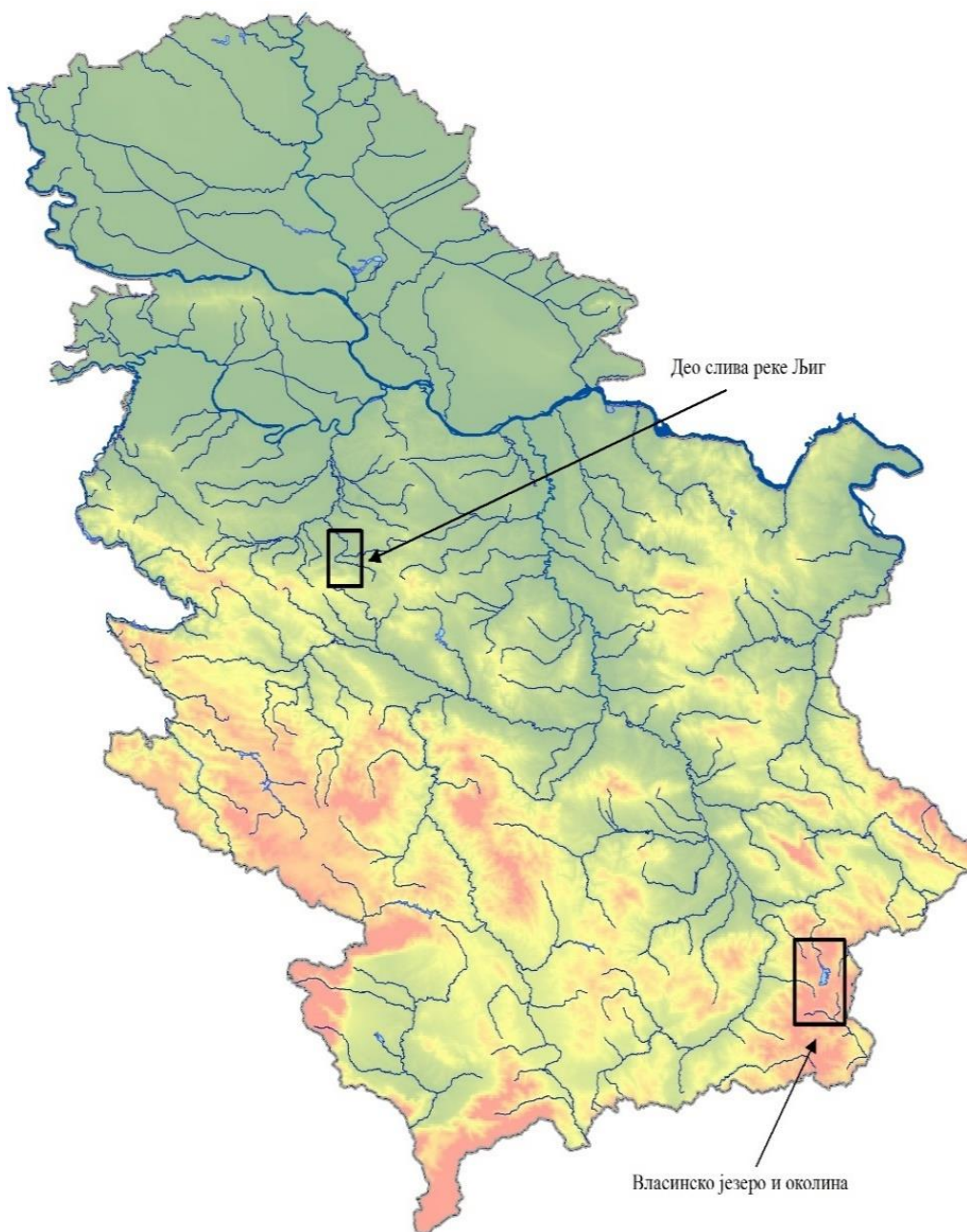
- ДМВ 0,5 m;
- ДМВ 1 m;
- ДМВ 5 m;
- ДМВ 10 m.

Поред ова два ДМВ, за потребе анализе морфологије речног корита генерисани су и ДМВ са променљивом величином ГРИД-а и ДМВ хибридне структуре (ТИН/ГРИД).

За радно подручје Власинско језеро и околина са *Copernicus Open Access Hub*-а преузети су производи нивоа L1C и нивоа L2A. Ово су мултиспектрални сателитски снимци са *Sentinel-2* сателита. Они су обрађивани у ГИС окружењу, а различитим методама класификације, издвојена су изворишта површинских вода.

6.1. Географско подручје од интереса

Основна идеја приликом избора подручја за рад била је да се одаберу области за које постоје одређени подаци о терену и извориштима површинских вода, а чије је прикупљање обављено недавно или је могуће обавити снимање применом савремених технологија. Сходно томе одабране су две области. Прва је Власинско језеро са околином а, која се налази у Пчињском округу, односно у југоисточном делу Републике Србије. Друга област истраживања је део слива реке Љиг у Колубарском округу, односно средњи део западне Србије. Оба подручја имају богату хидрографску мрежу и представљају значајна изворишта површинских вода (Слика 49). Покривена су мешовитом вегетацијом, ораницама, воћњацима и ливадама, као и путевима, инфраструктурним објектима (броне, насипи, канали).



Слика 49. Република Србија са означеним радним подручјима

С једне стране, изабрана подручја одликују се различитим геоморфолошким карактеристикама, од равних и благих рељефних облика до брда и планина. С друге стране, за изабране области постоје различити извори података па је мотив да се упореде перформансе алгорита у различитим хидрографско - хидролошким анализама и еколошким сценаријима. Наиме, у раду се користе геопросторни подаци прикупљени различитим техникама и технологијама.

6.1.1. Власинско језеро и околина

Подручје Власина (Власинско језеро и околина) налази се у источном делу слива Јужне Мораве, између планина Чемерник (1.638 m) на западу и Велики Стрешер (1.874 m) на југу, Крајишта на југоистоку, државне границе са Републиком Бугарском на истоку и планине Вртоп (1.721 m) на североистоку (Слика 50). Изабрано подручје је издиференцирано на четири геосистемске јединице, односно сливова река: Власине, Врле, Јерме и Божичке реке. Локације Букова глава и Цветков гроб, представљају развођа река

Власине, Јерме и Божичке реке са надморским висинама од 1.472 до 1.490 m и најсевернији су делови области Крајишта. Власинско језеро хидролошки доминира овим крајем. Оно заузима централну позицију на територији општине Сурдулица и представља својеврстан природни репер Републике Србије.



Слика 50. Подручје Власинског језера и околина (Извор: ТК100 – лист 633 Власотинце, ВГИ)

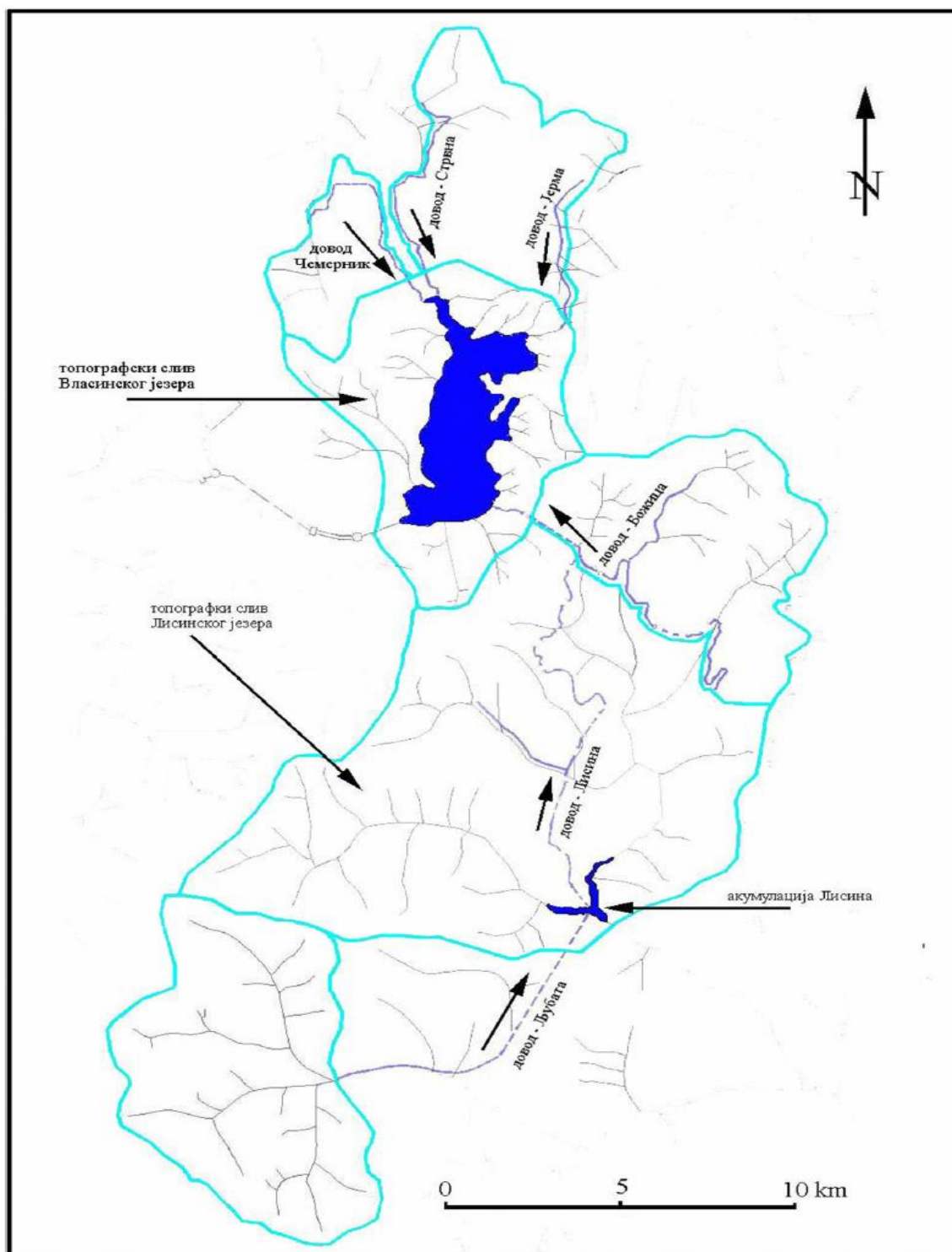
„Власинско блато је било некадашње језеро које је зарашћивањем претворено у тресетну мочвару. Његова површина износила је око 10,5 km². Та равна и млада тресава снабдевала се водом околних речица и потока, као и извора на самом дну, а отицала реком Власином” (ППППН, 2019). Изградња језерске бране на Власинском језеру трајала је од 1946, па све до 1949. године. Брана Власинског језера се налази на некадашњем току Власине и изграђена је од земље. Висина бране је 34,43 m, од чега се 25,7 m налази изнад површине земље. Дужина бране у темељу је 239 m, док је у круни дужина 139 m, а ширина 5,5 m (Слика 51). У брану је уграђено укупно 330 хиљада m³ земље (ППППН, 2019).



Слика 51. Брана на Власинском језеру (<http://www.opanak.net/vlasinsko-jezero/>)

Формирање акумулације је почело 9. априла 1949. године. „Од тада је почело постепено попуњавање језера, а воде су подземним каналима одводњаване до сукцесивно изграђиваног система електричних централа на реци Врли. Да би се слив језера повећао, вештачки су доведена још три потока. Године 1950. површина језера је износила свега 7,7 km², 1951. 9,6 km², 1952. 11,3 km², 1953. 12,7 km², а тек 1954. језеро је добило своју планирану величину од 15,2 km² површине, 150×106 m³ запремине, 25 m највеће дубине и 13 m просечне дубине. Стварањем језера промениле су се физичке, хемијске и биолошке особине воде” (ППППН, 2019).

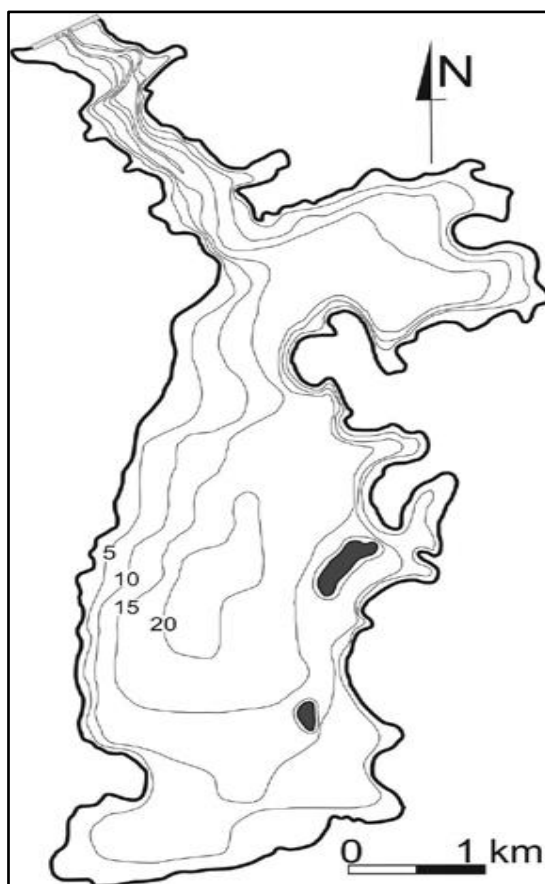
Након изградње један део језера је био под пловећим острвима. Та острва су формирана од делова тресета, који се откинуо са дна новообразоване акумулације. Острва су у почетку везивана за обалу, али се крајем седамдесетих година прошлог века уочила њихова јединственост. Данас постоји мали број ових пловећих острва. Језеро сваког минута прима 2 m³ воде, а реке које га пуне су Божичка река, Лисинска река, Јерма, Љубатска река, Власина, Стрвна и Чемерница. Посматрајући и њихове притоке, слив Власинског језера чини велики број токова (реке, канали, потоци). Велики део ових река не дотиче у језеро природно, већ је хидротехничким радовима њихов смер промењен и до језера дотичу кроз цеви. Укупна дужина цеви којима вода притиче из околних река и потока у Власинско језеро износи 60 km (ППППН, 2019). Довод Чемерник захвата воду из Чемернице и цевима је доводи до бране. Дужина овог довода је 14,8 km. Довод који воду из реке Стрвне пребацује у Власинско језеро износи 16 km, а онај из Јерме 7,5 km, док је довод из Божичке реке дугачак 22 km (Слика 52).



Слика 52. Систем „Власина” – пример проширења граница изворишта површинских вода и међусливног трансфера водних ресурса (Извор: Милинчић, 2009)

Језеро је данас нешто веће површински али и нешто плиће од првобитно формираног 1954. године. Оно данас има површину од приближно $16,5 \text{ km}^2$ и запремину од 165 милиона m^3 , при коти максималног успора (КМУ) која је на 1.213 m н. в., максималну дубину 22 m и просечну 10,3 m. Језеро је у меридијанском правцу (север - југ) дуго 9 km са просечном ширином 1,77 km те максималном ширином на јужном делу од 3,5 km (Leščešen et al., 2019). Централни део језера је најшири, а ужи део се налази на северу, где се постепено сужава и стиже до бране. Обална линија је у сталном померању и њена дужина варира. На језеру

постоје два острва - Страторија (250 × 115 m) и Дуги дел (480 × 150 m широко), те полуострво Дуги дел у виду ниског истуреног рта (Слика 53).



Слика 53. Батиметрија Власинског језера (Извор: Leščešen et al., 2019)

Према (ППППН, 2019) „физичко - хемијске карактеристике вода Власинског језера показују да је вода неутрална до благо алкална, нискоминерализована, мека и богата растворним кисеоником. Није оптерећена присуством тешких метала и може се окарактерисати као вода прве класе”. Стратегијом (Сл. Гласник РС, 2017) „из акумулације Власинско језеро, која је до сада првенствено служила за производњу електричне енергије, предвиђа се снабдевање водом насеља у општинама Владичин Хан и Сурдулица”. Водна акумулација Лисина је такође део хидро - енергетског система „Власина”, из које се пребацују воде слива Божичке реке у Власинско језеро. Она је у перспективи планирана „за снабдевање водом насеља у општини Босилеград. У овај систем предвиђа се укључење вода и са дела осталог слива реке Власине. Изворишта овог подсистема служила би и за задовољење корисника и Пчињског подсистема уколико се за то укаже потреба” (Табела 9).

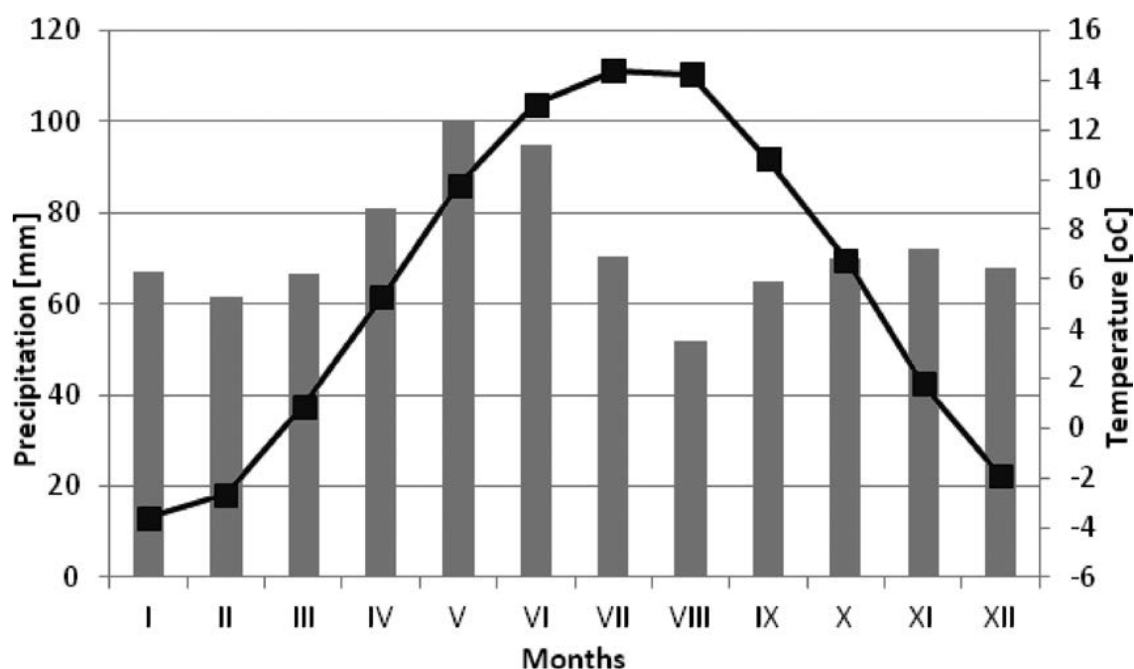
Табела 9. Постојеће акумулације

Акумулација	Површина акумулације (km ²)	Запремина акумулације (m ³)	Дубина воде (m)	КМУ (m н.в.)
Власинско Језеро	16,5	165	15-34	1.213
ПАП Лисина	0,54	10	20-33	923

Извор: ППППН, 2019

Већа насељена места око језера су: Власина Стојковићева, Власина Рид и Власина Округлица. На ова три насељена места вежу се села из унутрашњости, која зависно од своје позиције инклинирају неком од њих. Главни саобраћајни правци су магистрални пут према Клисури и Стрезимировцима, регионални пут према Божици и Босилеграду и регионални пут према Црној трави и Власотинцима. Додатно, саобраћајну мрежу чине и локални путеви (делом асфалтирани, делом земљани) те остали некатегорисани (земљани) путеви.

За Власинску метеоролошку станицу преузети су подаци из метеоролошког годишњака РХМЗ-а од 1968. - 2019. године. Средња годишња температура на испитиваним станицама је 5,7°C. Најхладнији месец је јануар, са средњом месечном температуром од -3,6°C, а најтоплији јул, са средњом месечном температуром од 14,4°C (Слика 54). Најтоплије годишње доба је лето, са температуром од 13,8°C, а најхладније зима са температуром од -2,7°C. Средња температура на јесен је 6,5°C, а на пролеће 5,3°C. Највиша температура до сада забележена је 39,8°C, а најнижа -29,5°C. Укупна годишња средња вредност падавина на Власинском језеру износи 868 mm. Највећа вредност је у пролеће и износи 247,3 mm, а најнижа у јесен, 186,8 mm.



Слика 54. Средња месечна температура ваздуха и количина падавина на Власини за период 1968-2019. (Извор: Leščešen et al., 2019).

За водоснабдевање подручја најважнији је извор водозахвата са хидро - система „Власина”, односно локација између Врла 2 и Врла 3 (брдо Калифер) које служи као допуна система водоснабдевања општине у летњем периоду (други водозахват општине Сурдулица је Масуричка река). Постројење за прераду Калифер има капацитет од 70 l/s са пречиштачем капацитета 252 m³/h и пешчаним филтером са 3 поља од 22 m². Једино насеље на језеру са јавним водоводом је Власина Рид које се снабдева водом са постојећег постројења за пречишћавање изворске воде „Тубегхије” капацитета 15 l/s (ППО, 2012; ППППН, 2019). Остала насеља и махале на језеру се снабдевају водом преко сепаратних гравитационих водовода са каптираних локалних извора. Описани систем водоснабдевања углавном задовољава потребе квалитета воде.

Ситуација са канализационим системом на језеру се може оценити као лоша, јер се отпадне воде неконтролисано одводе испод бране у слив реке Власине, преко колектора који је делимично оштећен и не врши функцију биолошког пречишћавања. У сеоским

насељима се користе септичке јаме које су углавном непрописно изведене и представљају опасност за околину због потенцијалног изливања. Атмосферска вода није контролисана и препуштена је слободном отицању и понирању. Наиме, загађење вода на овом подручју је последица, пре свега, испуштања непречишћених отпадних вода из насељених места и објеката, а највећи загађивачи су управо насеља у непосредној околини Власинског језера (ППО, 2012).

За ово подручје је израђена следећа просторно - планска документација:

- Просторни план Републике Србије за период од 2021. до 2035. године;
- Регионални просторни план општина Јужног поморавља из 2010. године;
- Просторни план подручја посебне намене предела изузетних одлика „Власина” из 2019. године;
- Просторни план општине Сурдулица из 2012. године.

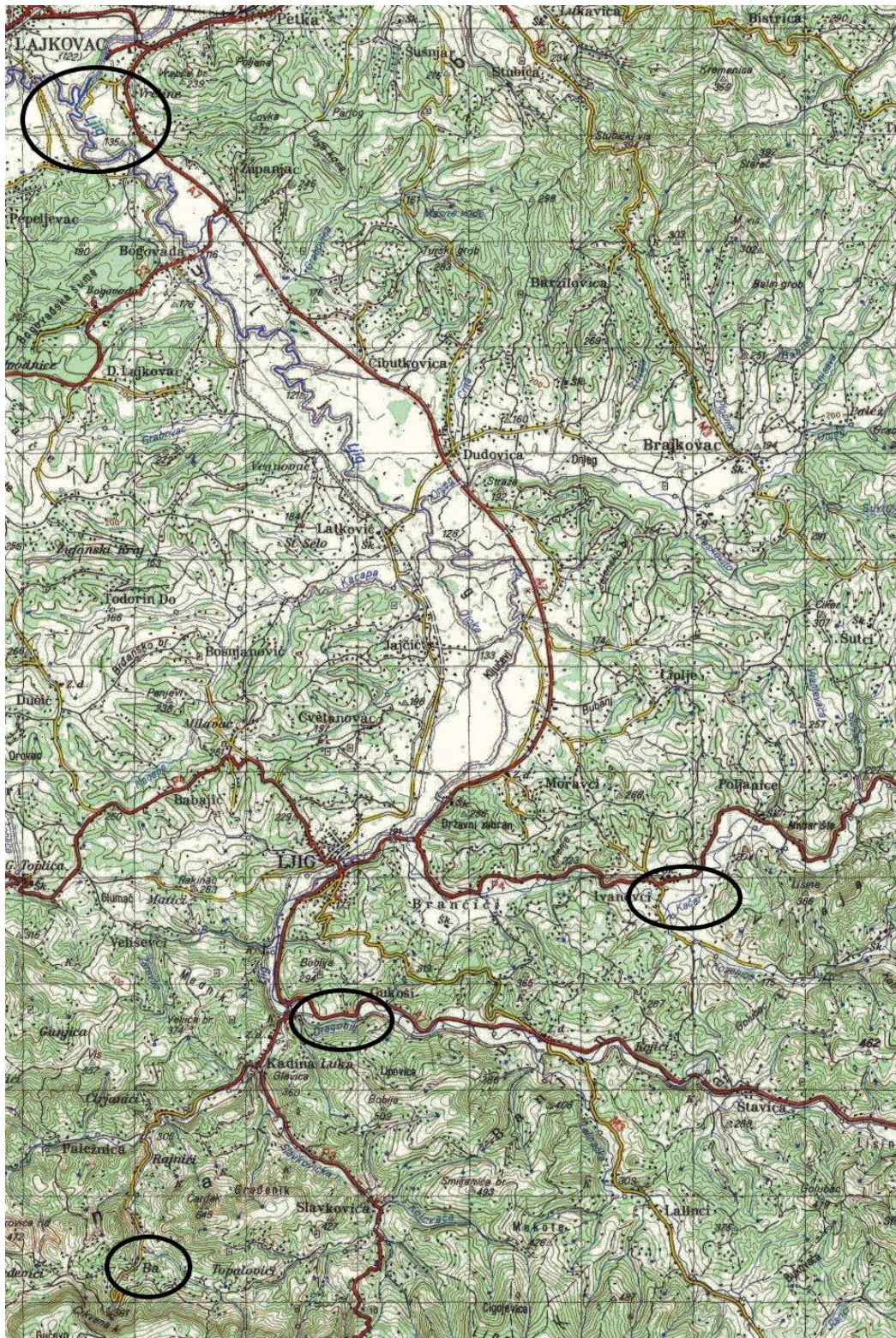
Овим плановима, који су међусобно хијерархијски усклађени и проистичу један из другог, Власинско језеро је, заједно са акумулацијом Лисина, дефинисано као подсистем у оквиру регионалног Јужноморавског система за водоснабдевање.

У свим просторно - планским документима је подручје Власине означено као драгоцен извориште површинских вода, а препознаје се и заједнички циљ: заштита природних ресурса, односно усклађивање привредног и туристичког развоја са природним вредностима Власине, преваходно извориштима површинских вода. ГИС технологија се намеће као решење у процесу интегралног управљања овим комплексним простором са становишта коришћења и заштите водног добра као и геопростора у целини.

6.1.2. Део слива реке Љиг

Река Љиг је десна притока реке Колубаре и њена је најводоноснија притока. Настаје спајањем више водотокова који са планине Суворор отичу северном падином. Само извориште је крашко врело у селу Ба, јер за разлику од осталих изворишних кракова ово врело има стабилну издашност и водом је најбогатији извор у крају. Остале изворишне саставнице реке Љиг имају карактер пресушивања у летњим месецима.

Извориште реке Љиг се налази на надморској висини од 395 m, а дужина речног тока до ушћа у Колубару код Лајковца износи 33 km. Највећа притока реке Љиг је река Качер са притоком Козељицом која извире испод западних падина Букуље и северозападних падина Рудника. Велика притока реке Љиг је и река Драгобиљ са притоком Лалиначком реком које извиру испод западних и југозападних падина планине Рудник (Слика 55).



Слика 55. Подручје слива реке Љиг (Извор: ТК100 – лист 479 Лазаревац, ВГИ)

У горњем делу слива реке Љиг најзначајнији водотокови су још река Марица и Славковачка река. У доњем делу слива, у реку Љиг се уливају Ошег и Отока са притоком Кацапом. Потоци Жеревац и Липовица су такође притоке Љига (Табела 10).

Табела 10. Хидролошка мрежа реке Љиг

Р. бр.	Река	Слив	Дужина водотока (km)	Површина слива (km ²)
1.	Љиг	Колубара	30,13	274,42
2.	Качер	Љиг	22,99	83,77
3.	Козељица	Качер	8,04	21,26
4.	Драгобиљ	Љиг	13,93	38,36
5.	Лалиначка река	Драгобиљ	7,00	14,68
6.	Марица	Љиг	6,32	15,19
7.	Славковачка река	Љиг	3,86	26,22
8.	Оњег	Љиг	7,58	20,96
9.	Отока	Љиг	3,31	25,39
10.	Жеревац	Љиг	5,31	6,8
11.	Липовица	Љиг	2,84	5,88

Извор: Ковачевић - Мајкић и Радовановић, 2006

Токови у сливу реке Љиг су хидролошки слабо изучени. Мерења водостаја и протицаја се једино врше на реци Љиг, на мерној станици Боговађа (ППО, 2008).

У својим истраживањима аутори (Ковачевић - Мајкић и Радовановић, 2006) закључују да „према коефицијентима варијације средњих протицаја реке Љиг, она спада у реке са већим колебањима. Разлике, тј. односи између малих и великих вода су нарочито изражени крајем пролећа и почетком јесени. Велике разлике у протицајима сведоче о неравномерној распоређености количине вода. Највећи део воде отекне у поплавним таласима, док периоди малих вода дуго трају.” Односи између минималних и максималних протицаја најизраженији су у јулу и септембру, а тренд раста из године у годину је очигледан.

Ово указују на бујични карактер реке Љиг. Поплаве су се дешавале у целој долини реке Љиг, плавећи плодно пољопривредно земљиште и наносећи велику материјалну штету. Према ауторима (Ковачевић - Мајкић и Радовановић, 2006) „постојећи насипи су изграђени према прорачуну за педесетогодишњу велику воду и стога је стање заштите од поплава неповољно, а заштита недовољна. Велике поплаве које су се десиле 1965, 1967, 1969, 1970 и 1999. године потврдиле су потребу за тражењем ефикаснијег решења у заштити од поплавних таласа. Та решења могу да буду насипи изграђени за стогодишњу воду, као и антиерозивни радови у сливовима притока реке Љиг.” Ерозивни процеси најизраженији су у горњем делу слива реке Љиг. Насупрот томе, поплавом су најугроженији доњи делови долина река Качер и Драгобиљ и при самом ушћу у реку Љиг, као и алувијалне равни низводно од ушћа.

Према (ППО, 2008) када су у питању воде и водопривредни проблеми у општини Љиг, може се закључити да недовољна и временски неравномерно распоређена количина воде, уз недовољно развијену водопривредну инфраструктуру, представља главни проблем стабилног и одрживог развоја. Уз ово треба додати и чињеницу да је ерозија у сливу реке Љиг интензивна. То за последицу има бујични карактер већине водотокова и то представља такође велики проблем за обезбеђивање довољних количина воде како за водоснабдевање становништва тако и за наводњавање и друге привредне активности.

Ови проблеми уједно представљају потребу за интегрално управљање и заштиту на територији читавог слива. Просторним планом општине Љиг предвиђене су две вишенаменске акумулације (Славковица и Козељица) „за потребе: водоснабдевања,

наводњавања, оплемењивања малих вода и задржавања наноса и поплавних таласа” (*Оперативни план за одбрану од поплава, 2018*). Такође, треба планирати антиерозионе мере, првенствено у горњем делу слива, које би довеле до побољшања речног режима.

Сагледавање ГИС у функцији унапређења управљања мањим речним токовима огледа се у чињеници да ДМВ генерисани из ласерског скенирања, могу помоћи при детектовању мањих водних токова, морфологије корита и даље при симулацијама бујичних вода. Овиме би се између осталог, помогло и планирању активних и пасивних мера за спречавање последица од поплава.

6.2. Хардверско - софтверско окружење

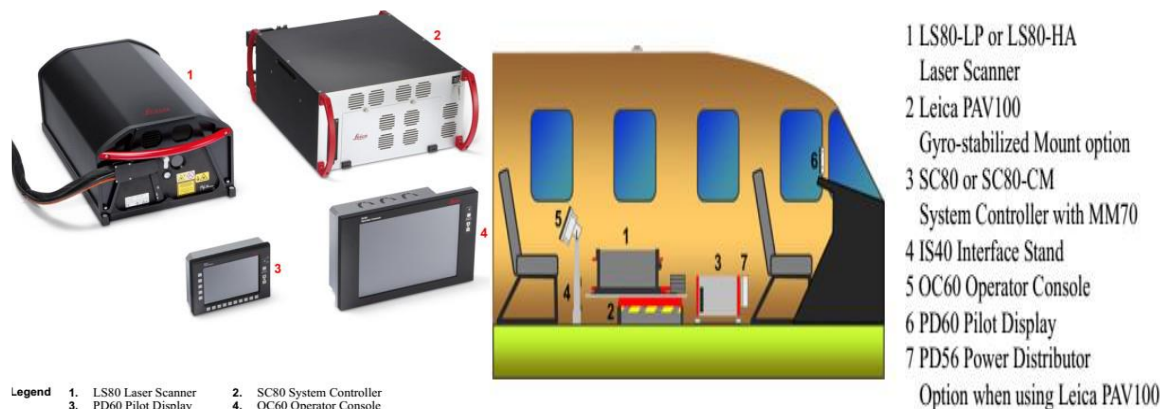
При обради и процесирању података коришћена је рачунарска опрема и софтверска технологија под оперативним системом *Windows*. Сви уређаји су међусобно повезани у локалну рачунарску мрежу и представљају заокружену линију за потпуно аутоматизовану обраду података. За обраду и процесирање података, поред рачунара и улазно - излазних уређаја, коришћени су системи LiDAR технологије, даљинска детекција и дигитализација топографских карата, односно ГИС технологија намењена прикупљању, обради, управљању, анализи, приказивању и архивирању података.

За реализацију и практично истраживање у раду, коришћени су специјализовани програми и алати за обраду и процесирање података које користи ВГИ. Посебан значај и улогу имао је софтверски пакет *ArcGIS*, који је коришћен за креирање дигиталног модела висина, хидрографско - хидролошку анализу и визуализацију геопростора. Софтверско окружење *ArcGIS* укључује неколико интегрисаних апликација: *ArcMap*, *ArcCatalog*, *ArcToolbox*, *ArcScene* и *ArcGIS Pro*. Главни акценат у раду је на приказу висинске представе терена. Притом *ArcToolbox* је збирка алата за анализу, уређивање и процесирање података, а *ModelBuilder* визуелни програмски језик за израду радних процеса, односно геопроцесирање података.

6.2.1. Рачунарска опрема и технологија

За реализацију истраживачког дела овог рада коришћене су бројне технике и технологије. За потребе прикупљања података и снимања подручја дела слива реке Љиг, коришћена је дигитална аерофотограметријска камера *Leica ADS80 SH82* и ласерски скенер *Leica LS80-LP*. На слици 56, дат је приказ начелног распореда опреме система за LiDAR снимање унутар летелице. Систем се састоји од следећих физичких компонената:

- LS80-LP ласерски скенер;
- PAV100 жirosкопски стабилизатор;
- SC80 контролор система;
- IS40 постоље за интерфејс;
- OC60 операторска конзола;
- PD60 пилотски интерфејс;
- PD56 трафо – дистрибутер снаге;
- Антивибрирајуће плоче за монтирање скенера и систем контролера;
- Потребни каблови.



Слика 56. Приказ начелног распореда опреме за LiDAR снимање (<https://leica-geosystems.com/products/airborne-systems>, 2021)

За прикупљање података о простору није довољна сама летелица са одговарајућим сензорима, већ су неопходне и GNSS станице на подручју снимања (за потребе прецизног геореференцирања снимљеног материјала), као и одговарајући ресурси за складиштење података. Количина података за једно снимање, на пример, је реда величине терабајта.

6.2.2. Софтверско окружење и програми за рад

За практични део и експериментална истраживања, у раду је примењен специјализован софтвер. При прикупљању, обради, смештању, анализи и визуализацији података о простору коришћени су програми и софтвери за:

- Прикупљање и архивирање података;
- Обраду података на растерском и векторском нивоу;
- Израду модела висина;
- Приказ и хидрографско - хидролошку анализу терена.

У оквиру примене LiDAR система коришћени су различити програми и алати:

- *AeroPlan80*: помаже кориснику како да правилно детерминише подешавање и простор између линија лета при планирању лета;
- *Leica MissionPro Flight Planning and Evaluation Software*: рачуна оптималне линије, даје нацрт плана лета и врши оптимизацију системских подешавања;
- *Leica FlightPro Sensor Control and Flight Management Software*: прихвата информације из базе података за планирање лета и даје навигацијска усмерења пилоту и оператеру;
- *NovAtel Inertial Explorer GNSS/INS Processing Software*: обрађује GNSS податке и даје позициона решења летелице заједно са INS аспектом и даје оријентационе податке у реалном времену;
- *Leica CloudPro*: покреће излазне податке и врши њихову накнадну обраду.

Даља обрада и коначни циљ јесте формирање и визуализација ДМВ, односно хидрографско - хидролошка анализа терена на основу прикупљених података. Из тих разлога, обрада података прикупљених ласерским скенером, осим у софтверском пакету компаније *Leica*, обавља се и у софтверском окружењу *Terrasolid* и софтверу „отвореног кода” *Global Mapper*.

У практичном делу рада коришћен је софтверски пакет *ArcGIS* америчке компаније *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). *ArcGIS* садржи неколико интегрисаних апликација: *ArcMap*, *ArcCatalog*, *ArcToolbox*, *ArcScene* и *ArcGIS Pro*.

ArcMap је примарна апликација *ArcGIS*-а која даје могућност рада са геопросторним подацима и њиховом визуализацијом, али има и одређене могућности просторних анализа. Интеграција *ArcToolbox*-а заједно са *ArcMap*-ом управо то и омогућава. Функционалност *ArcMap*-а заједно са свим екстензијама унутар *ArcToolbox*-а и другим апликацијама *ArcGIS*-а је велика, те је могуће доћи до решења готово сваког просторног проблема. Такође, *ArcMap* садржи алате за приказ слојева који се користе у раду и алате у оквиру *System Toolbox*-а од којих су за овај рад посебно важни *3D Analyst Tools* и *Spatial Analyst Tools* у оквиру којег се налази скуп алата под називом *Hydrology* које су управо намењене за хидрографско - хидролошке анализе. *ArcScene* даје могућност 3Д визуализације података и прављење разних анимација и симулација.

6.3. Извори података за израду ДМВ

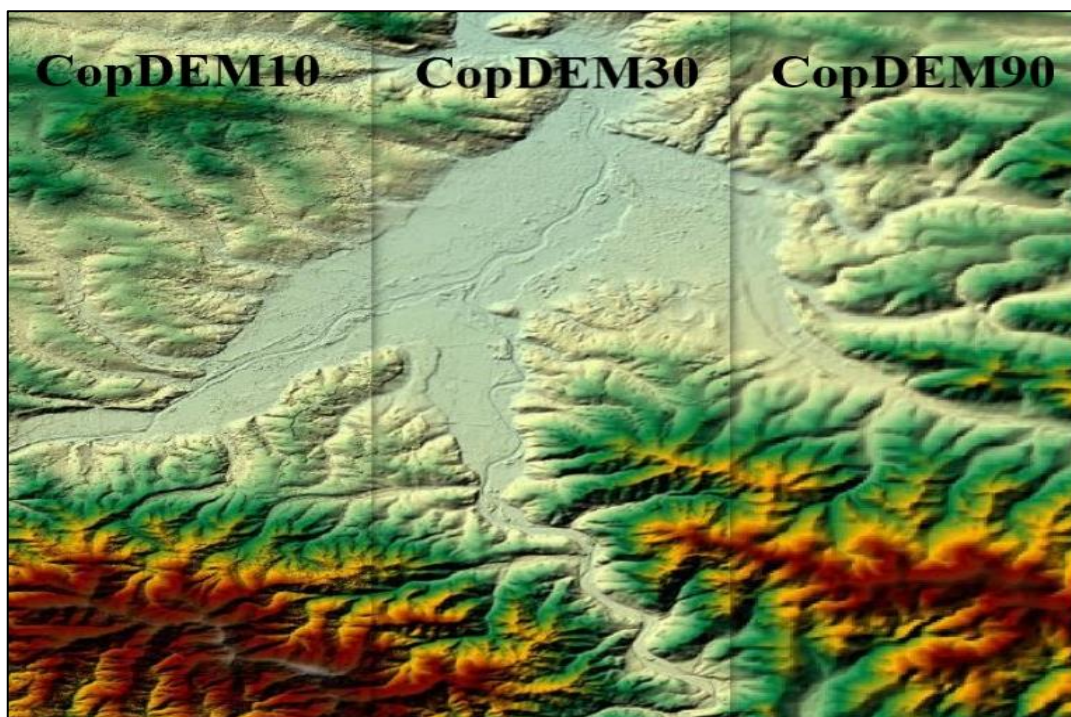
6.3.1. Подаци програма *Copernicus*

Copernicus DEM (*CopDEM*) је глобални модел висина доступан у просторним резолуцијама од 10 m, 30 m и 90 m. Програм и реализација овог пројекта је финансијски подржана од стране јавно-приватног партнерства Немачке државе коју представља Центар за ваздухопловство (*German Aerospace Centre* - DLR) и *Airbus Defence and Space*.

Глобални модел висина *CopDEM* изведен је из претходно уређеног ДМТ-а под називом *WorldDEM*. Такође, обављено је усклађивање са водним телима и речним токовима. Модел *CopDEM* је заснован на радарском сателитском снимању великих географских области. Овим снимањем су покривена глобална континентална подручја, укључујући Антарктик и Арктик. Основне податке је прикупила сателитска мисија *TanDEM-X*, а *TerraSAR-X* је додатак за одређивање и мерење надморских висина. Тиме су попуњене одређене празнине и формиран хомогени модел висина који је применљив у бројне научне и комерцијалне сврхе (ESA, 2021).

Верификација вертикалне тачности снимања је важна. Она је од суштинског значаја како би се осигурало да подаци о надморској висини испуњавају потребну спецификацију. Да би се обавила одговарајућа валидација, требало је обезбедити скуп референтних података са одређеном тачношћу, као и глобалном покривеношћу. Захваљујући *Geoscience Laser Altimeter System* (GLAS) as integral part of the NASA's и *Ice, Cloud and land Elevation Satellite* (ICESat) добијен је јединствен скуп референтних података, користећи LiDAR технологију. Тиме је осигурана довољно добра вертикална прецизност како би се верификовала тачност *CopDEM*.

Европска агенција за свемир (*European Space Agency* – ESA) је 2019. године објавила јавно доступан *CopDEM90* просторне резолуције од 90 m. У 2020. години, ESA објављује проширена права приступа подацима у резолуцији од 30 m, односно *CopDEM30*. Такође, овај скуп је јавно и бесплатно доступан регистрованим корисницима од децембра 2020. године. Поред ова два бесплатна модела, ESA је израдила и *CopDEM10* тј. у просторној резолуцији од 10 m (Слика 57). Овај модел је израђен за подручје Европске економске заједнице (ЕЕА39), али за сада није доступан бесплатно.



Слика 57. Визуелно поређење *Copernicus* DEM модела (ESA, 2020)

Доступност скупа података *CopDEM30* многим корисницима омогућава велику примену и практичну употребу, с обзиром на његову глобалну покривеност и добар квалитет. Велику добит од појављивања бесплатног *CopDEM30* имају, пре свега, корисници у даљинској детекцији, на пример код геометријске корекције сателитских снимака, затим хидролози, еколози, географи, просторни планери, геодете и други корисници.

6.3.2. Подаци Војногеографског института „Генерал Стеван Бошковић”

Војногеографски институт „Генерал Стеван Бошковић” је установа Војске Србије (ВС), која се бави истраживачко - развојним и производним радом у областима геодезије, фотограметрије, картографије, ГИС-а, геодетске метрологије и других геодисциплина ради израде геотопографских материјала (www.vgi.mod.gov.rs). Институт је опремљен савременом технологијом за аерофотограметријско снимање коју чине авион *Piper Seneca V* и дигитални аерофотограметријски систем за авионско ласерско скенирање терена. Наведена технологија је основа за прикупљање геопросторних података на основу којих се раде топографске карте и ажурирају базе података. Такође, омогућен је приступ ажурним подацима и производима на један потпуно нови начин, односно применом геопортал технологије (Banković i dr., 2014).

Такође, ВГИ је акредитована истраживачко - развојна јединица од стране Министарства науке, просвете и технолошког развоја владе Републике Србије (Одлука о акредитацији број 660-01-00003/3 од 11. септембра 2018. године). Институт има више потписаних споразума о међусобној научно - техничкој или пословној сарадњи. Такав споразум потписан је и са Географским факултетом Универзитета у Београду (Споразум о научно-техничкој сарадњи, од 16. септембра 2014. године). Научно веће ВГИ је на 46. седници одобрило истраживачки пројекат под називом: „Примена података ТК25/IV и LiDAR снимања у управљању и заштити изворишта површинских вода на два пројектна подручја”. Подаци прикупљени LiDAR снимањем за потребе тог пројекта коришћени су као извор за потребе овог рада.

А) Подаци за израду ДМВ из ЦГТБП25

На изради ЦГТБП25 се ради од 2014. године и за сада је завршена 1/3 (286 од укупно 823 листа топографске карте у размери 1:25.000 који покривају Републику Србију). Очекује се да ће комплетна база бити израђена до 2025. године. Осим слоја *Хидрографија*, она ће садржати и друге геопросторне податке потребне за управљање водним ресурсима. Пре свега, то су дигиталне ортофото карте и ДМВ.

Тачност ДМВ Војногеографског института, насталог тежишно векторизацијом изохипси са оригинала топографске карте 1:25.000 и допуњеног једним бројем висина одређених теренским мерењима је приказана у табели 11.:

Табела 11. *Оцена тачности генерисаног ДМВ за територију Републике Србије*

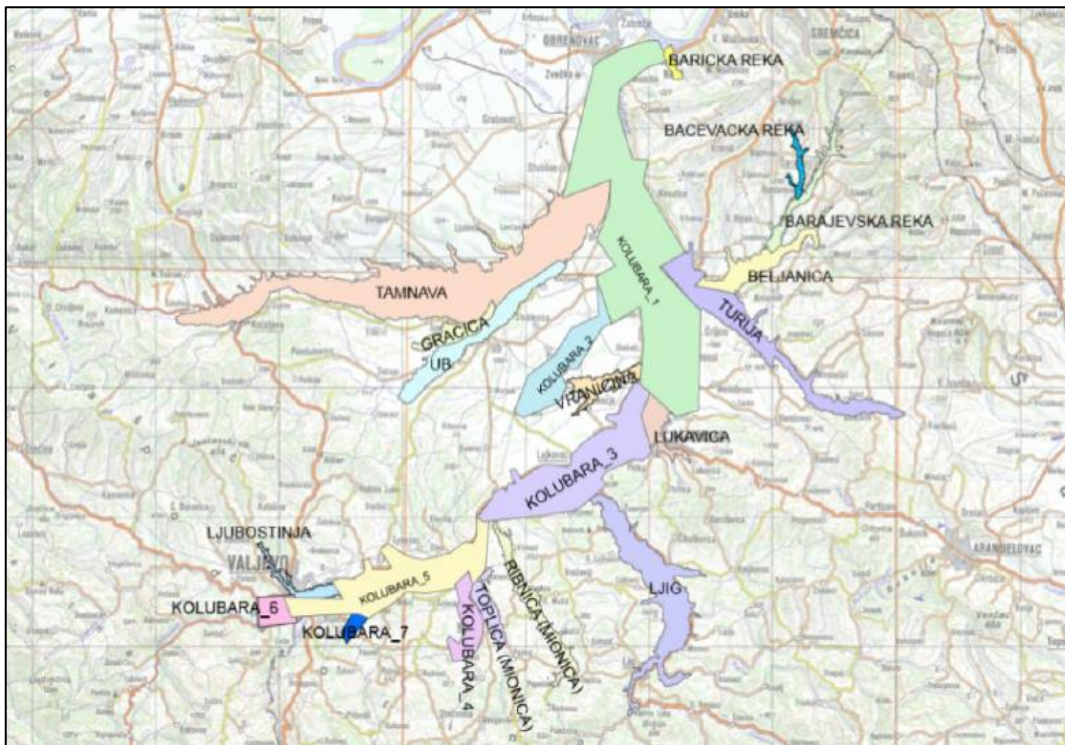
Раван терен 0⁰ - 2⁰	Брдовит терен 2⁰ - 6⁰	Планински терен > 2⁰
±3 m	±5 m	> ±5 m зависно од нагиба

Извор: Цвијетиновић, 2005

За потребе практичног дела овог рада одабрани су подаци из ЦГТБП25 за подручје Власинског језера и његову околину. То су: хидрографија, хидротехнички објекти, комуникације, насеља, вегетација и рељеф (Прилог 1).

Б) Подаци за израду ДМВ из ласерског снимања

Након катастрофалних поплава које су задесиле Републику Србију 2014. године, а које су највеће последице оставиле у сливу Колубаре, покренут је пројекат Обнова последица поплава (ИПА2014). Пројекат је финансиран из предприсупних фондова Европске уније (ИПА фондови), а носиоци пројекта су били Републичка дирекција за воде (Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде), Републички геодетски завод, Војногеографски институт „Генерал Стеван Бошковић“ (Министарство одбране), Републички хидрометеоролошки завод, као и јавна водопривредна предузећа „Србијаводе“ и „Воде Војводине“. У оквиру пројекта, извршено је ласерско скенирање терена LiDAR технологијом (Слика 58) које је извршио ВГИ.



Слика 58. Области слива реке Колубаре снимљени LiDAR технологијом

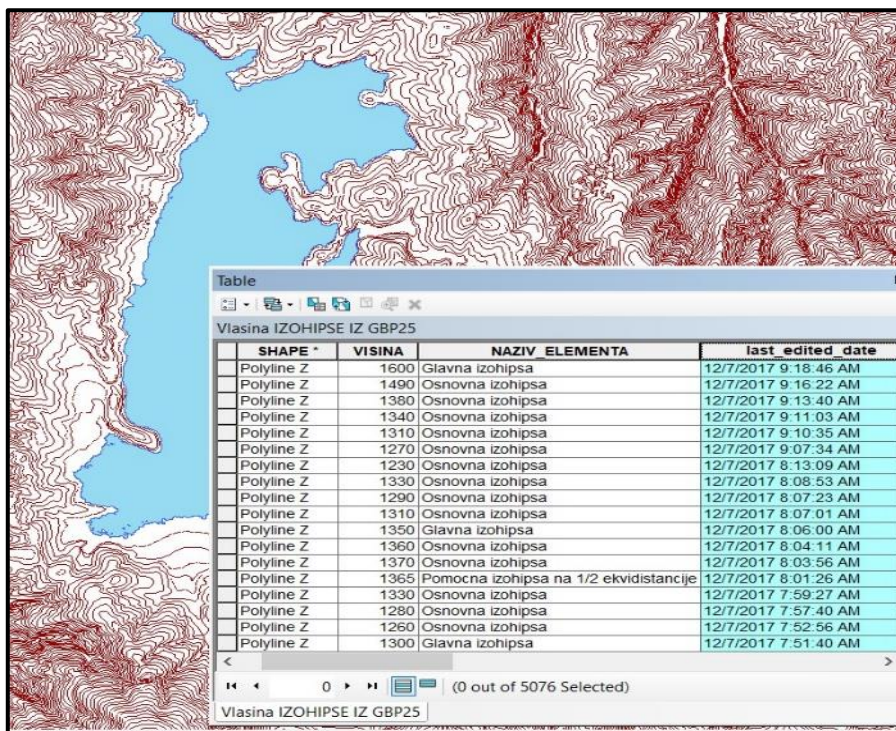
Део резултата овог снимања, извршено у подручју дела слива реке Љиг, коришћен је у овом раду за добијање ДМВ у различитим просторним резолуцијама.

6.4. Поступак израде ДМВ

Поступак израде ДМВ има за циљ формирање висинске представе терена који ће рељефне облике верно приказати и омогућити разноврсне геоморфолошке и хидрографско - хидролошке анализе. Имајући у виду да се ДМВ обично састоји из велике количине података, поред методе прикупљања, потребно је водити рачуна о организацији и структури података модела висина. У наредним подпоглављима се описују примењени поступаци и процедуре за генерисање ДМВ из различитих извора података, одговарајућих структура и резолуција.

6.4.1. Генерисање ДМВ из ЦГТБП25

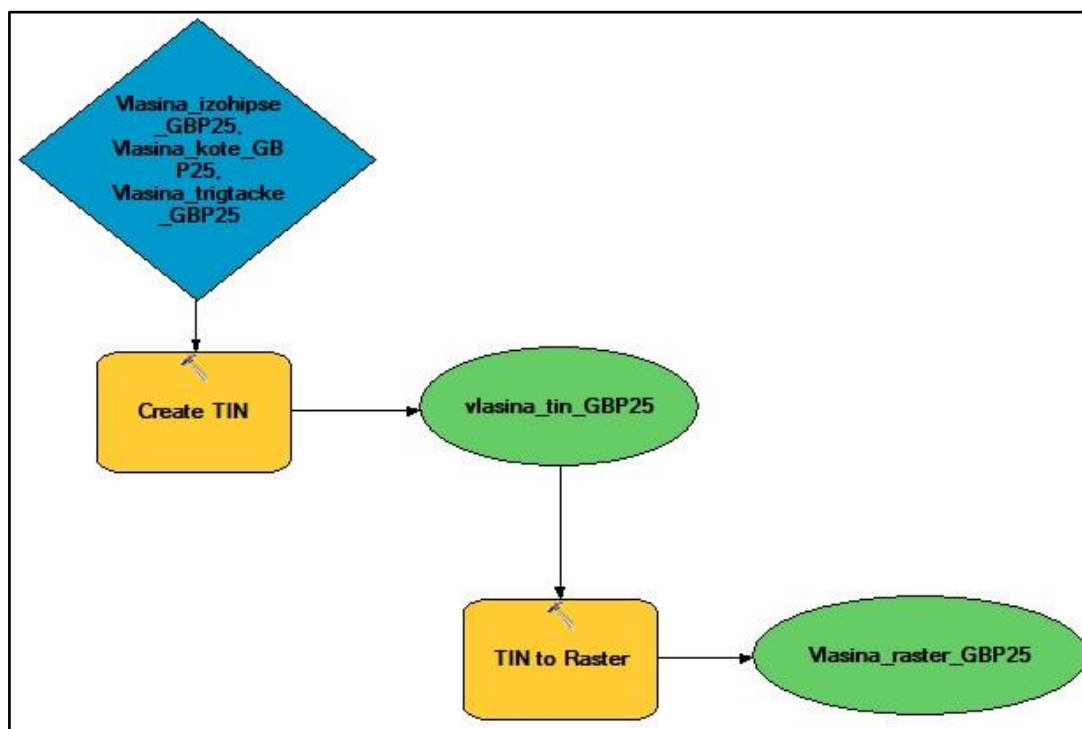
Имајући у виду циљ и карактер истраживања у раду, односно генерисање ДМВ за подручје Власинско језеро и специфичне анализе, из базе ЦГТБП25 преузете су (експортиране) изохипсе еквидистанције 10 m. Такође, преузети су атрибути висина изохипси као и карактеристичне коте и структурне линије (Слика 59).



Слика 59. Скуп преузетих података из ЦГТБП25

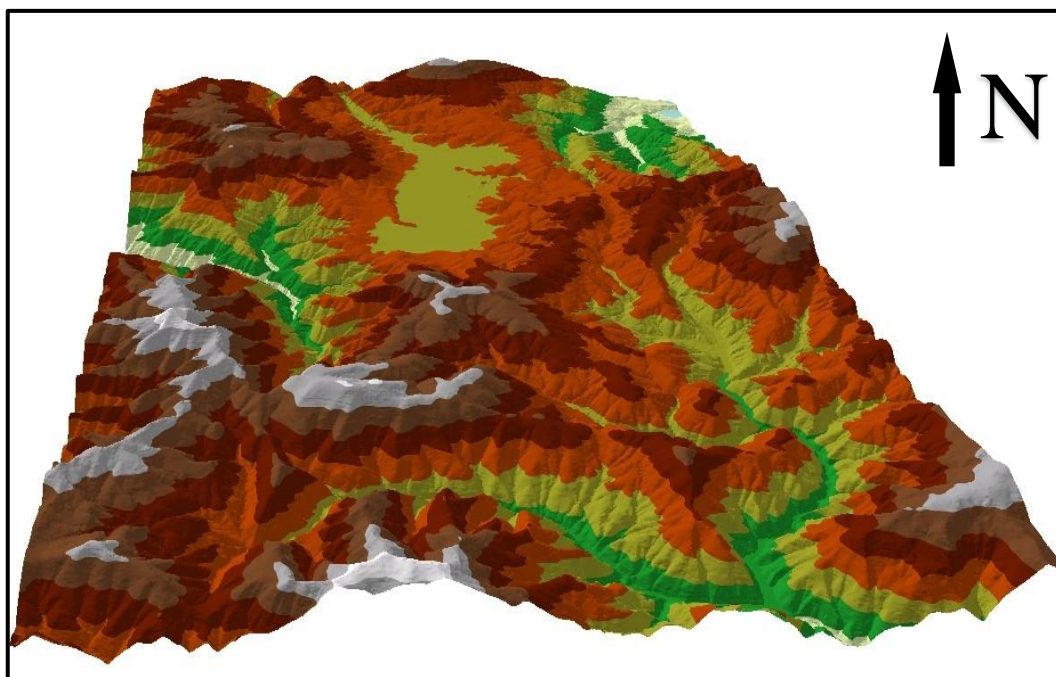
Процес формирања ДМВ се састоји из избора и имплементације одговарајуће структуре и организације података као и одговарајуће методе интерполације. Поступак генерисања ДМВ имао је неколико фаза (Слика 60):

- Учитавање изворних података из ЦГТБП25 у софтверско окружење *ArcGIS*, односно конверзија изворних датотека у нове *.shp* датотеке и њихове припреме за даљи рад;
- Генерисање ТИН модела;
- Генерисање ГРИД модела у различитим резолуцијама.



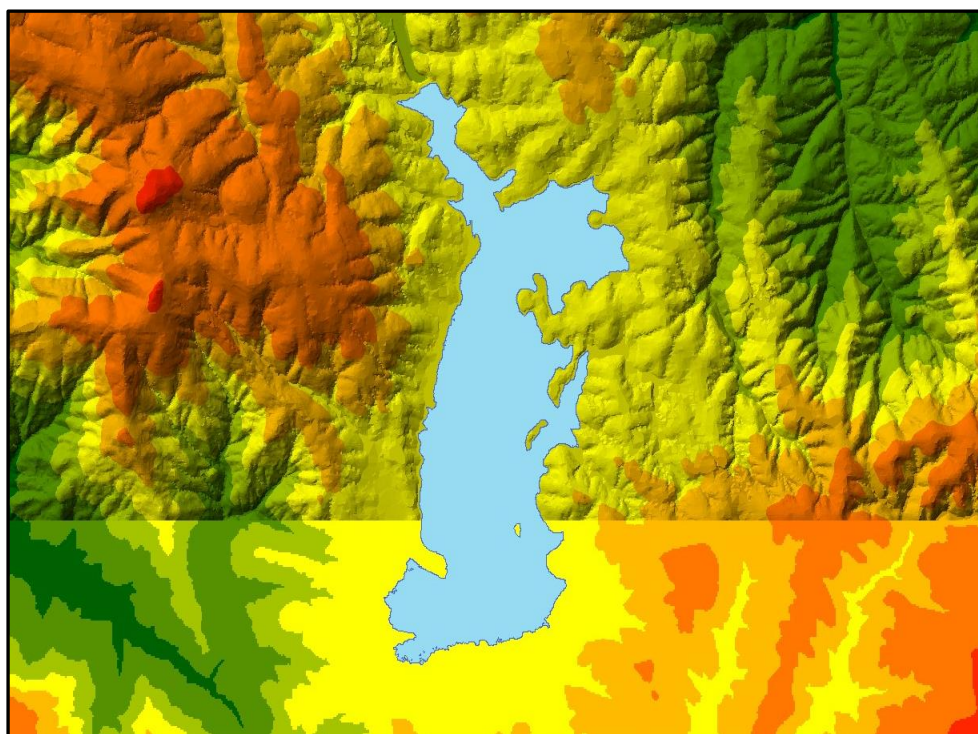
Слика 60. Дијаграм израде ДМВ и базе ЦГТБП25

Прво је формирана ТИН структура података, помоћу алата *Create TIN iz 3D Analyst Tools*. Осим изохипси еквидистанције 10 m, коришћене су и висине кота и тригонометријских тачака које покривају задато радно подручје. Резултат је приказан на слици 61.



Слика 61. Власинско језеро и околина ДМВ добијен из ЦГТБП25 у ТИН структури

Наредни корак је конверзија из ТИН-а у растер преко алата *TIN to Raster* из *3D Analyst Tools*, ради лакшег даљег управљања и процесирања при хидрографско - хидролошким анализама. На овај начин, добија се првобитни ДМВ у ГРИД структури, резолуције 10 m (Слика 62).



Слика 62. Упоредна визуализација ТИН/ГРИД

Ради упоредне анализе добијених резултата на ДМВ различитих просторних резолуција, генерисана су још два ДМВ, са резолуцијама од 25 m и 100 m. Да би се то постигло, потребно је извршити конверзију почетног растера у тачке (*Raster to Point* из *Conversion Tools*), а затим применити неку од метода интерполације. У конкретном случају коришћена је *Inverse Distance Weighted (IDW)* метода интерполације. Као резултат овог процеса добија се ДМВ у форми ГРИД жељене просторне резолуције.

Визуализација генерисаних ДМВ различитих просторних резолуција, који су у овом раду коришћени за потребе хидрографско - хидролошких анализа, приказани су у Прилогу 2.

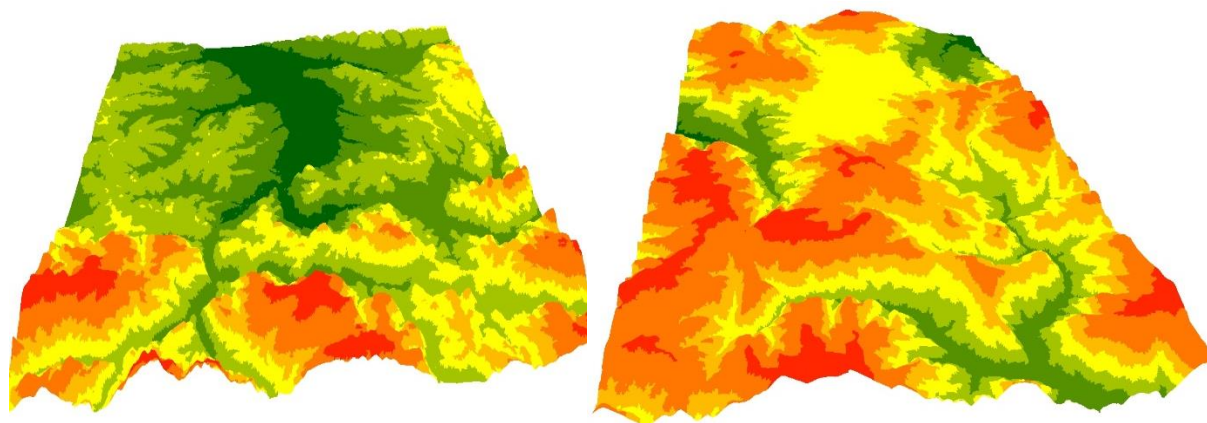
6.4.2. Генерисање ДМВ из *SopDEM30*

За потребе генерисања ДМВ из *SopDEM30* за подручје Власине и околине преузети су подаци са сајта *OpenTopography.org* са предходном ауторизацијом. Такође, исти извор података је коришћен и за подручје дела слива реке Љиг (Табела 12).

Табела 12. Границе истраживачких подручја (*Decimal Degrees*)

Гранична координата	Власинско језеро и околина	Део слива реке Љиг
Xmax:	22.438611	20.36222
Xmin:	22.246388	20.16388
Ymax:	42.784583	44.31236
Ymin:	42.543472	44.16875

Модел *SopDEM30* је ДМВ просторне резолуције 30 m који је „припремљен” за разне геопросторне и геоморфолошке анализе. Подаци су преузети са сајта у *GeoTIFF* формату и обрађивани су, такође, у софтверском окружењу *ArcGIS*. У раду је одабран метод *Natural break* (Jenks) и притом је изабрано 7 класа висинског представљања (Слика 63).



Слика 63. 3Д приказ ДМВ за оба истраживачка подручја у *SopDEM30*

За подручје Власинског језера и околине одређене су следеће граничне вредности при висинском представљању терена: 900 m, 1.100 m, 1.200 m, 1.300 m, 1.400 m, 1.600 m и максимална вредност 1.872 m. За радно подручје дела слива реке Љиг одређене су вредности при висинском представљању терена од: 150 m, 200 m, 250 m, 300 m, 350 m, 450 m и максимална вредност 642 m. Због упоредивости, ДМВ-ови добијени из различитих извора података, имају исте параметре висинског представљања. Визуализација *SopDEM30*, за потребе хидрографских анализа, оба подручја приказана је у прилозима 3 и 4.

6.4.3. Генерисање ДМВ из ласерског снимања

Поступак израде и генерисања ДМВ је обављено на основу прикупљених података ласерског скенирања терена. Обављена је иницијална обрада података, класификација облака тачака и генерисање ДМВ.

а) Иницијална обрада података

Иницијална обрада података почиње у оквиру софтверског пакета *TerraSolid* где се у програму *TerraScan* учитавају снимљене тачке у оквиру изабраног подручја. Сви процеси се обављају у оквиру UTM картографске пројекције на елипсоиду WGS84.

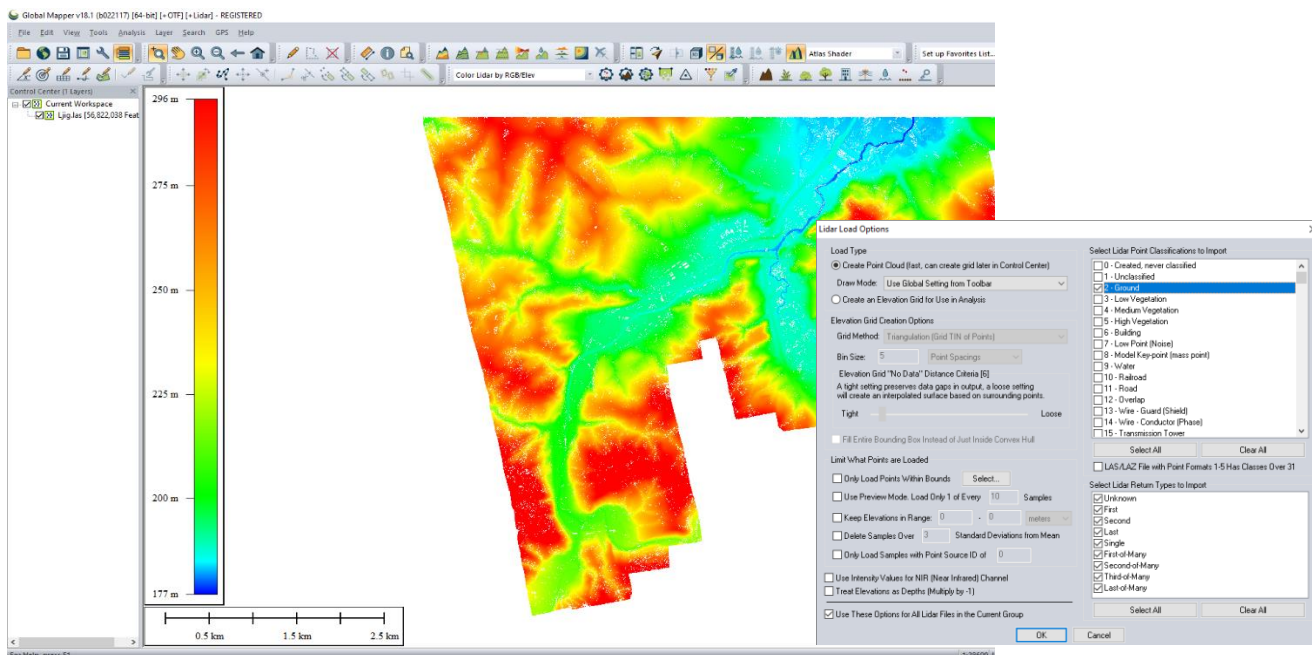
Почетак процеса обраде података почиње учитавањем снимљених и прикупљених тачака. Датотеке облака тачака записују се у формату *.las*, док се подаци трајекторија налазе у формату *.trj*. Трајекторије лета омогућавају информације о позицији и положају ласерског скенера за сваку тачку током прикупљања података у оквиру GPS и INS. Када се унесу трајекторије и тачке потребно је повезати сваку тачку са одговарајућом линијом лета. На тај начин свака тачка добија своје податке настанка и времена.

б) Класификација облака тачака

Облак тачака представља скуп недефинисаних тачака на основу којих је тешко препознати објекте на терену. Зато се мора извршити класификација тачака, која се обавља у два корака. У првом, тачке се разврставају у складу са интензитетом рефлексије сигнала и њиховом висином, односно на категорије тачака које припадају површи Земље, оне које су испод и изнад површи Земље, и на тачке објеката и вегетације. У другом кораку, врши се детаљна класификација тачака.

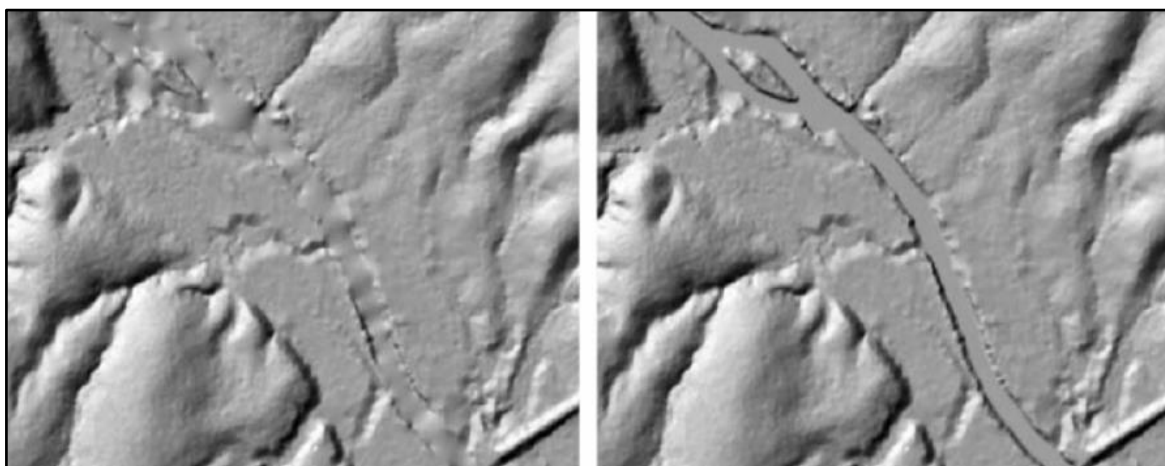
Постоји неколико алгоритама за класификацију облака тачака. Они се заснивају углавном на геометријским разликама 3Д тачака, односно тачака које се разликују од осталих карактеристика на површи тла, као што су насеља, објекти, вегетација, одређене наслагe на терену и томе слично. Према (Rashidi and Rastiveis, 2018) један од критеријума који се може применити јесте нагиб између тачака и информације о надморској висини за откривање тачака које нису на самој површи Земље.

Слабо класификоване тачке називају се *noise* тачке, па су дефинисани нови параметри класификације. Ови параметри дефинишу висински интервал где све тачке ван датог интервала припадају *noise* тачкама. Тачке се издвајају у засебну класу и притом могу остати у оквиру облака тачака или бити потпуно избрисане. Класификација тачака је обављена у софтверу *Global Mapper* (Слика 64).



Слика 64. Global Mapper окружење, прозор за класификацију облака тачака

Приликом класификације и обраде ласерских података, креирају се и издвајају структурне линије (*breaklines*). Структурне линије представљају помоћ у формирању и визуализацији рељефа. Важне су за хидрографско - хидролошку анализу ДМВ (Слика 65).



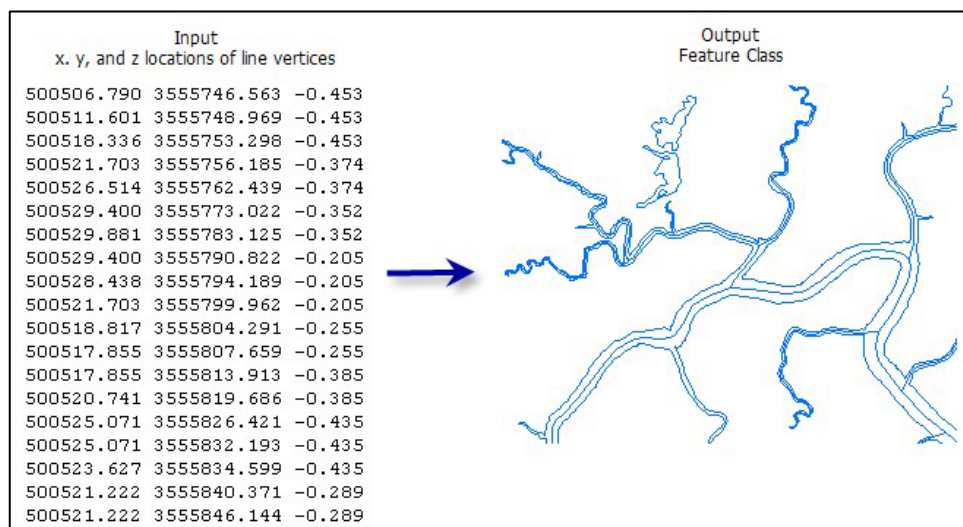
Слика 65. Приказ ДМВ без и са структурним линијама (<https://desktop.arcgis.com/en/>)

ц) Генерисање ДМВ из облака тачака

Имајући у виду циљ и карактер истраживања у раду, односно генерисање ДМВ за подручје дела слива реке Љиг и специфичне анализе, из базе ВГИ преузет је сет података (*LAS dataset*) за истраживачко подручје. *LAS* је стандардни формат којим се означавају подаци добијених ласерским авио снимањем терена.

Први корак у генерисању ДМВ јесте да се креира база геоподатака (*File Geodatabase*) у потпрограму *ArcCatalog* у оквиру којег се направи *Feature Dataset*. Наиме, *Feature Dataset* представља колекцију повезаних *Feature Class* (објектних класа) ентитета као и њихову просторну и тематску повезаност. Притом *Feature Class* представља хомогену колекцију карактеристичних елемената, који имају исту просторну презентацију.

Из *LAS dataset* генеришемо ДМВ у ТИН структури. Ово се остварује помоћу алата *LAS Dataset To TIN*. За учитавање облака тачака коришћени су и други алати за геопроецирање. Ови алати су доступни у групи алата за 3Д анализу и конверзије у оквиру *ArcGIS*-а. На наредној слици 66 приказано је како изгледа учитавање 3Д података из фајлова формата *ASCII* који податке чувају као скуп *XYZ* вредности, помоћу алата *ASCII 3D To Feature Class*.



Слика 66. Илустрација функције алатке *ASCII 3D To Feature Class* (<https://pro.arcgis.com/en/>)

За растеризацију ДМВ модела користи се функција *Terrain To Raster* која омогућава опције за интерполацију, величину излазне ћелије растера и одређивање пирамидалног нивоа. Интерполација представља процедуру за предвиђање вредности ћелије на местима у узорку који се обрађује и где постоји мањак тачака. То предвиђање се врши на основу познатих вредности у окружењу и може се вршити на различите начине: *IDW*, *Natural Neighbors*, *Linear Interpolation*. У раду је коришћена метода *IDW*.

Дигитални модел висина настао из облака тачака омогућава детекцију водних тела као и веома квалитетну хидрографско - хидролошку анализу. За ове потребе, генерисани су ДМВ просторне резолуције 0,5 m и просторне резолуције 10 m (Прилози 5 и 6). Поред ових, генерисани су и ДМВ променљиве величине ГРИД-а (1 m, 2 m, 5 m) и хибридне структуре (ГРИД/ТИН) за потребе истраживања везаних за морфологију речних корита (Прилог 7).

6.5. Издвајање водних тела из сателитских снимака

За издвајање геометрије водних тела из сателитских снимака изабрана је област Власинског језера. У раду су коришћени бесплатно доступни сателитски снимци са *Sentinel-2* платформе. Платформа и производи су детаљно описани у поглављу 5.2.1. У складу са квалитетом и просторном резолуцијом сателитских снимака приказане су могућности појединих индекса и алгоритама (у процесу сегментације и класификације) за издвајање обалне линије Власинског језера, те указано на могућност праћење просторне и временске варијабилности исте.

У експерименту је примењен *NDWI* индекс за откривање водних тела, утврђивање линије између копна и воде (обална линија) и праћење промена нивоа воде на Власинском језеру (сезонско колебање нивоа водног огледала). Индексом *NDWI* се ефикасно издвајају водна тела из сателитских снимака. Међутим, постоје и одређене слабости код примене индекса. Оне се огледају, пре свега, у погрешној детекцији водних тела на делу земљишта

које је изграђено или под инфраструктуром објеката. Ово представља посебан изазов при анализи насељених места. Израз за рачунање NDWI индекса је:

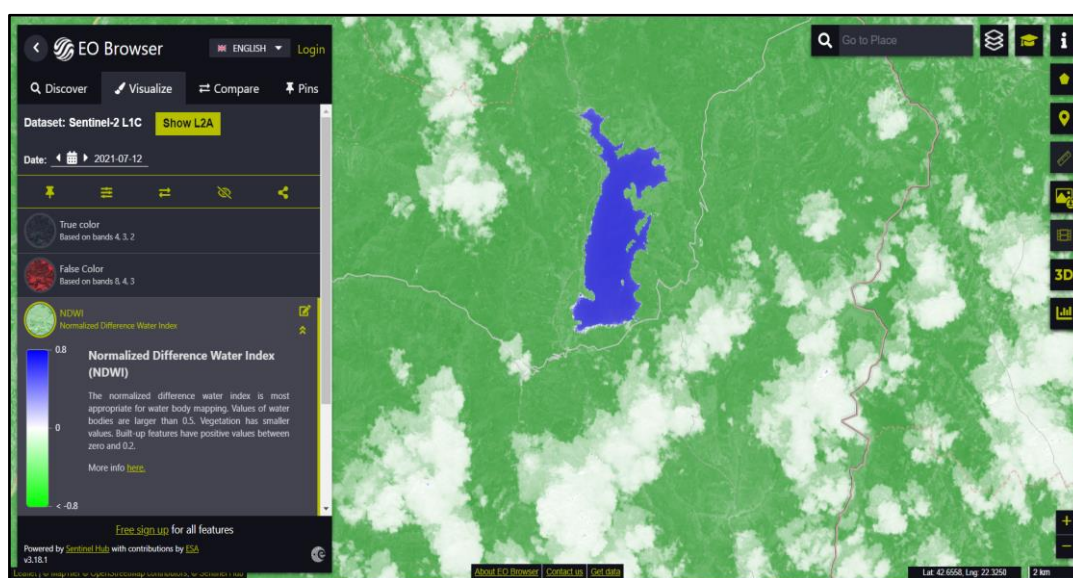
$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

Када су у питању сателитски снимци са платформе *Sentinel 2*, израз је следећи:

$$NDWI = (Band 3 - Band 8) / (Band 3 + Band 8)$$

Овај израз се примењује на сваки пиксел снимка користећи рефлектујућа својства воде у *NIR* и *Green* спектралном каналу, односно израчунавању нових вредности пиксела. Вредности пиксела су у опсегу од -1 до 1 и та вредност представља одговарајући садржај воде у делу који представља дати пиксел. При том вредности пиксела водних тела су веће од 0,5. Када је у питању вегетација, пиксели имају много мање вредности, што омогућава њено лакше раздвајање од водних тела. Изграђени делови земљишта имају позитивне вредности, односно између нуле и 0,2 (NDWI, 2021).

За реализацију практичног дела рада, уз предходну ауторизацију са *Copernicus Open Access Hub*-а, преузети су подаци нивоа L2A. Они се односе на површинске рефлексије у картографској геометрији (Слика 67).



Слика 67. Приказ нивоа L2A на *Open Access Hub*-у

Овај производ подразумева сателитске снимке у *GeoTIFF* формату који су обрађени и припремљени за примену и даљу анализу. Преузети су и коришћени подаци са следећим ознакама:

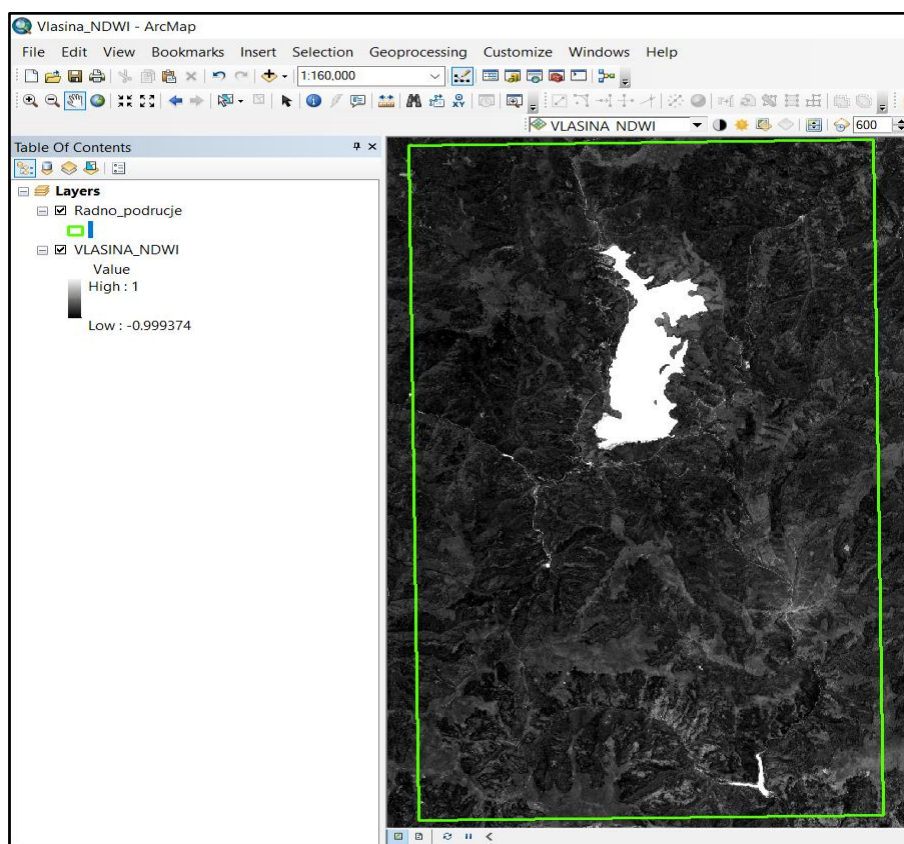
- 2021-01-01-00_00_2021-01-01-23_59_Sentinel-2_L2A_NDWI.tiff;
- 2021-04-11-00_00_2021-04-11-23_59_Sentinel-2_L2A_NDWI.tiff;
- 2021-07-12-00_00_2021-07-12-23_59_Sentinel-2_L2A_NDWI.tiff;
- 2021-10-05-00_00_2021-10-05-23_59_Sentinel-2_L2A_NDWI.tiff.

Мултиспектрална и све друге анализе су реализоване у софтверском окружењу *ArcGIS*. Поред одређених теоријских сазнања, важан сегмент у овом истраживању се односио на постојање репозиторијума прилагођених скрипти и објашњених различитих индекса које су коришћене у раду са методама даљинске детекције.

За потребе практичног дела рада и истраживања, поред снимака нивоа - L2A, анализирани су и сателитски снимци нивоа - L1C. Ови сателитски снимци су геореференцирани у координатном систему, односно у UTM картографској пројекцији и елипсоиду WGS84. Такође, снимци су радиометријски и геометријски кориговани, укључујући и орторектификацију. Преузети су са исте платформе, а сцене које су коришћене у раду имају следеће ознаке:

- LIC_T34TFN_A022756_20210715T093036;
- LIC_T34TFN_A033166_20211028T093345.

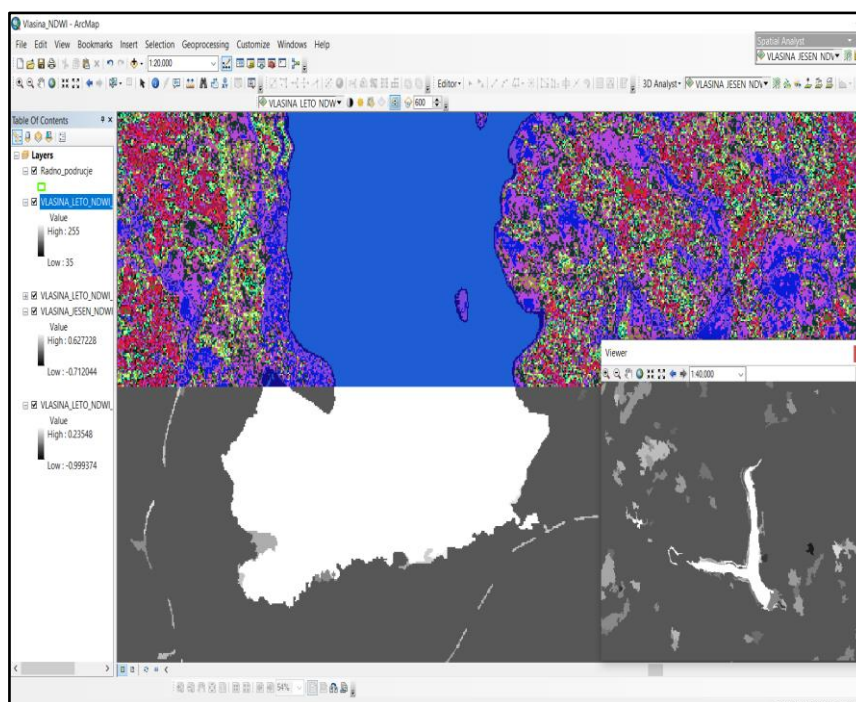
У софтверском окружењу *ArcGIS*, путем функције *Raster Calculator* израчунава се NDWI индекс. Након примене алата и одређеног процесирања, добија се „NDWI растер” (индексиран растер) за подручје Власинског језера и околине (Слика 68).



Слика 68. Приказ резултата функције *Raster Calculator*

На добијеном „NDWI растеру”, просторне резолуције 10 m, јасно се уочавају водна тела Власинског и Лисинског језера. Поред ова два водна тела, хидрографску мрежу чине потоци и реке. Они нису јасно издвојени рачунањем NDWI индекса због просторне резолуције.

Ради визуализације и даље анализе, „NDWI растер” треба класификовати. Алата за сегментацију и класификацију пружају приступ издвајању карактеристика из сателитских снимака. Изабрана је класификациона метода ОБА. Ова метода је слична традиционалном процесу класификације заснованом на пикселима. Уместо класификације пиксела, процес класификује сегменте, који се могу сматрати „супер” пикселима. Сваки сегмент, или „супер” пиксел, представљен је скупом атрибута које користе алати класификатора за добијање класификованог растера (Слика 69).



Слика 69. Приказ различитих фаза класификација „NDWI растера”

Даљом класификацијом овог растера одређене су границе између копна и издвојених водних тела. Упоредном анализом више „NDWI растера” праћено је померање обалне линије. Праћење обалне линије је могуће ускладити са планом снимања *Sentinel-2* платформе, од месечних и сезонских до годишњих мониторинга.

Након извршене сегментације и класификације „NDWI растер”, граничне вредности за приказ водних тела и других појава на снимку, одговарају различитим опсезима, што је приказано у табели 13.

Табела 13. Вредности класификованих опсега за истраживачко подручје

Опис класификованог опсега	Вредности класификованих опсега	
	Сет података	
	L1C_T34TFN_A022756_20210715T093036	L1C_T34TFN_A033166_20211028T093345
Водена површина	0,44 - 1	0,37 - 1
Поплава, влажност	0 - 0,44	0 - 0,37
Умерена суша, неводене површине	-0,31 - 0	-0,39 - 0
Суша, неводене површине	-1 - -0,31	-1 - -0,39

Резултати прорачуна NDWI индекса и класификације добијеног растера за подручје Власинског језера и околине за сцена сателитског снимања на дан 15.07.2021. године и 28.10.2021. године, приказани су у Прилогу 8.

7. АНАЛИЗА И ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

Након обављених експерименталних истраживања, а на основу добијених резултата извршена је провера тачности генерисаних ДМВ. Добијени ДМВ, заједно са *Copernicus* - овим ДМВ резолуције 30 m (*CopDEM30*) коришћени су за бројне анализе и поређења, за оба радна подручја, за поједино радно подручје или за поједини део радног подручја:

- Упоредне графичке анализе појединих дигиталних модела висина и друга поређења генерисаних ДМВ међусобно и са *CopDEM30*;
- Рачунање морфолошких параметара на основу ДМВ;
- Детектовање и издвајање водних тела;
- Одређивање смера отицања воде;
- Подела подручја на дренажне басене;
- Утврђивање сталних и повремених токова;
- Израда хидрографске мреже и сливних подручја;
- Анализа добијених хидрографских мрежа;
- Утврђивање положајне тачности добијених сталних и повремених токова;
- Анализа добијених дренажних басена са различитих ДМВ;
- Уздужни профили речног тока (за реку Јерму);
- Попречни профили речног тока (за реку Јерму).

Генерисани ДМВ из ласерског снимања различите величине ГРИД-а (1 m, 2 m, 5 m) и хибридне структуре (ГРИД/ТИН) анализирани су за део корита реке Љиг, на месту ушћа реке Драгобиљ у реку Љиг. Указано је на конкретне предности и слабости формираних ДМВ у различитим структурама.

Применом технологије даљинске детекције и методама класификације, издвојена су водна тела са сателитских снимака *Sentinel-2* платформе, обављено је утврђивање границе између копна и воде и праћена је промена нивоа воде на Власинском језеру.

Свеукупно реализована је:

- Анализа висинске представе терена;
- Хидрографска - хидролошка анализа и утврђивање параметара;
- Анализа резултата добијених даљинском детекцијом.

7.1. Анализа висинске представе терена

На основу дигиталне висинске представе терена, односно ДМВ, кроз алгоритамску анализу морфометријских параметара рељефних облика, могуће су бројне анализе терена. То подразумева да се ради о „моделу” у којем је површ копна и воде егзактно математички дефинисана и тиме омогућава добијање вредности функционала површи (нагиб и експозиција) у свим тачкама терена. На дефинисаним ДМВ, коришћењем ГИС технологије, обављене су следеће анализе:

- Оцена квалитета висинске представе терена (стандардна девијација, средња вредност, минимална и максимална вредност);
- Визуелни прегледа генерисаних ДМВ из ласерског скенирања;
- Одређивање карактеристика ДМВ (нагиб, експозиција, детаљност, видљивост);
- Графичко и аналитичко поређење различитих ДМВ;
- Анализа добијених ДМВ речног корита реке Љиг.

Када се посматра само визуелна страна ДМВ, посебна предност анализе је у доживљају реалног простора, у осећају треће димензије и прегледности терена. Такође, могуће је зумирати и анализирати детаље геоморфологије терена и рељефа, оцењивати позиције изворишта површинских вода и анализе водних тела од интереса. Све то омогућава ефикаснији и потпунији увид у геопростор. Предности наведеног начина анализе висинске представе терена је садржајна и очигледна, пре свега у мултифункционалном приступу, брзини и објективности добијених информација.

7.1.1. Оцена квалитета висинске представе терена

Квалитет висинске представе терена зависи, углавном, од начина како су прикупљени подаци (ласерским снимањем, радарском техником, даљинском детекцијом), али и од метода обраде, интерполације и начина приказа.

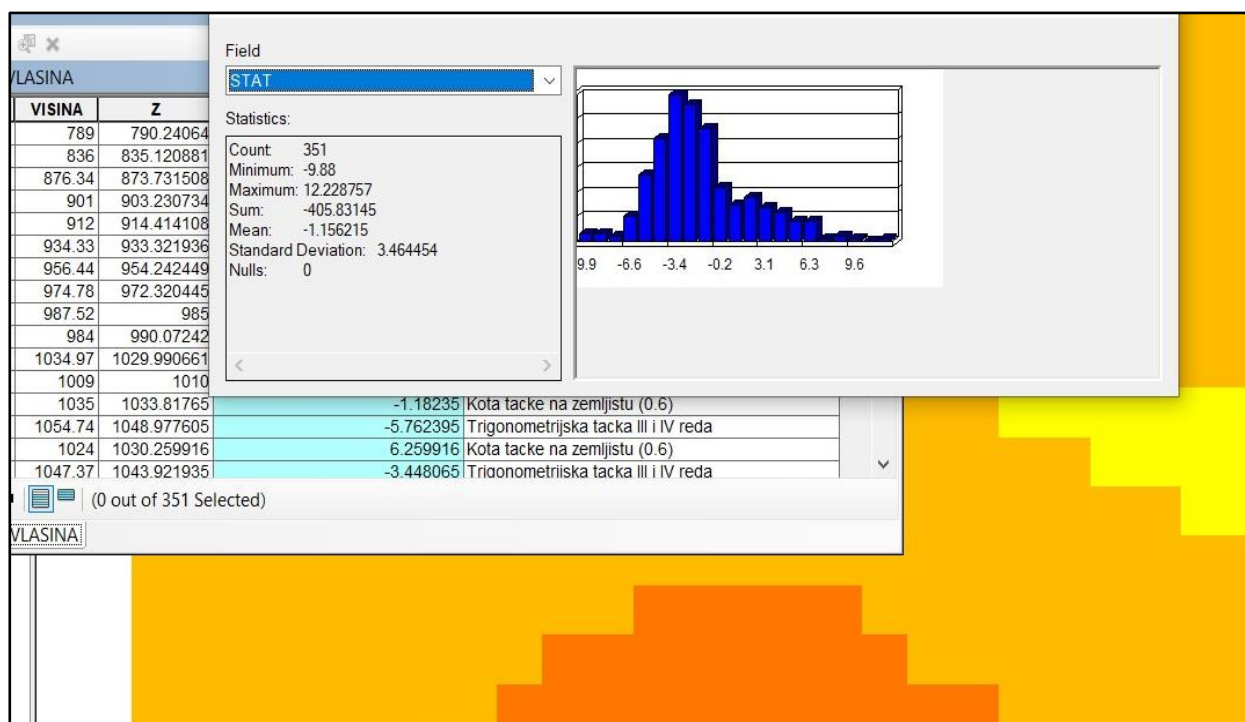
Оцена тачности висинске представе терена је обављена на основу генерисаних ДМВ за оба изабрана подручја истраживања. За подручје Власинског језера и околине генерисани су ДМВ из ЦГТБП25 издања ВГИ и података са платформе *Copernicus*. За подручје дела слива реке Љиг генерисани су ДМВ из „облака” тачака, добијених ласерским снимањем и на основу података са платформе *Copernicus*.

За радно подручје Власинско језеро и околину, генерисан је ДМВ у резолуцији 10 m, 25 m, и 100 m. Без обзира којом су методом подаци прикупљени и моделовани, подаци ДМВ су, као уосталом и сва мерења, оптерећени неизбежним грешкама. Статистичка анализа је изведена на основу 351 тачке са ДМВ које покривају радно подручје и вредностима референтних тачака из каталога тригонометријских тачака и кота. Резултати оцене тачности дати су у табели 14.

Табела 14. Оцена тачности ДМВ за подручје Власинског језера генерисаног из ЦГТБП25

Просторна резолуција ДМВ	Мин одступање (m)	Мах одступање (m)	Средња вредност одступања (m)	Стандардна девијација (СтД) (m)
<i>ДМВ 10 m</i>	-8,68	11,43	-1,07	3,18
<i>ДМВ 25 m</i>	-9,88	12,23	-1,16	3,46
<i>ДМВ 100 m</i>	-28,16	32,14	-3,35	10,41

На основу расположивих извора података тешко је са сигурношћу утврдити да ли је појава одређене аномалије на моделу висина последица грешака у мерењима или стварног облика површи терена. Имајући у виду добијене резултате и оцену тачности ДМВ за подручје Власинског језера и околине (Слика 70), може се сматрати да је ДМВ у резолуцији 25 m погодан за многе хидрографско - хидролошке анализе и управљање извориштима површинских вода. То је оправдано и прихватљиво код анализе већих предела, пре свега због односа квалитета ДМВ и количине геоподатака (брже процесирање)



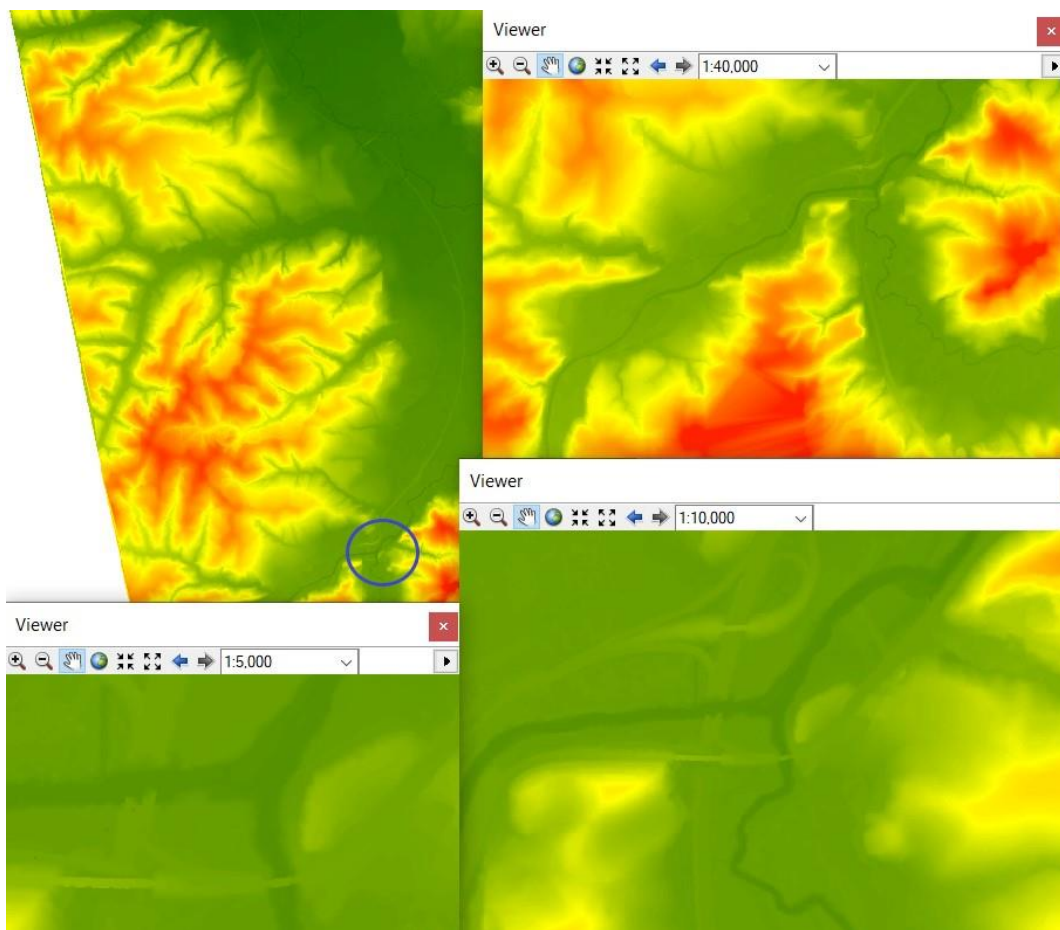
Слика 70. Оцена тачности ДМВ 25 m у софтверском окружењу ArcGIS

За радно подручје дела слива реке Љиг, генерисано је неколико ДМВ у различитим просторним резолуцијама, на основу LiDAR података. Откривање грешака у подацима ове врсте отежано је, пре свега, због чињенице да се ради о врло великој количини прикупљених података, па је и прикупљање значајнијег броја контролних мерења која ће указати на присуство грешака нереално. Уз то, сама површ терена по својим карактеристикама је релативно неправилног облика, па и то отежава откривање грешака. За ово подручје је изведена оцена тачности за ДМВ 0,5 m и ДМВ 10 m на основу 102 тачке које су прикупљене GPS технологијом (Прилог табела). Резултати оцене тачности дати су у табели 15.

Табела 15. Оцена тачности ДМВ за подручје Љиг генерисаног из LiDAR података

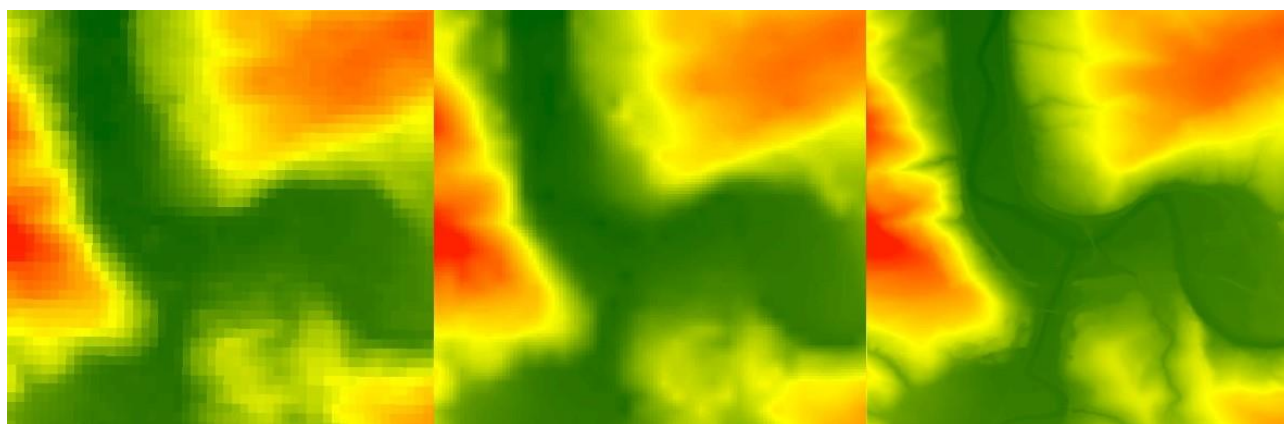
Просторна резолуција ДМВ	Мин одступање (m)	Мах одступање (m)	Средња вредност (m)	Стандардна девијација (СтД) (m)
ДМВ 0,5 m	-0,10	0,05	-0,04	0,04
ДМВ 10 m	-3,03	3,24	-0,85	1,98

На основу добијених резултата и упоредном анализом, може се сасвим сигурно констатовати да су ДМВ добијени из ласерског снимања далеко већег квалитета у односу на ДМВ добијене из ЦГТБП25. За детекцију мањих рељефних облика и одређивање геоморфометријских параметара веће прецизности, неопходно је генерисати ДМВ веома високе резолуције. Међутим, ДМВ веома високе резолуције повлачи са собом и пуно већу количину геоподатака, те је процесирање над подацима прилично захтевно и изискује велике хардверске ресурсе. На слици 71, приказан је ДМВ 0,5 m, са кога се могу квалитетније анализирати микрорељефни облици и учавати мањи речни токови.



Слика 71. Приказ ДМВ у резолуцији 0,5 m

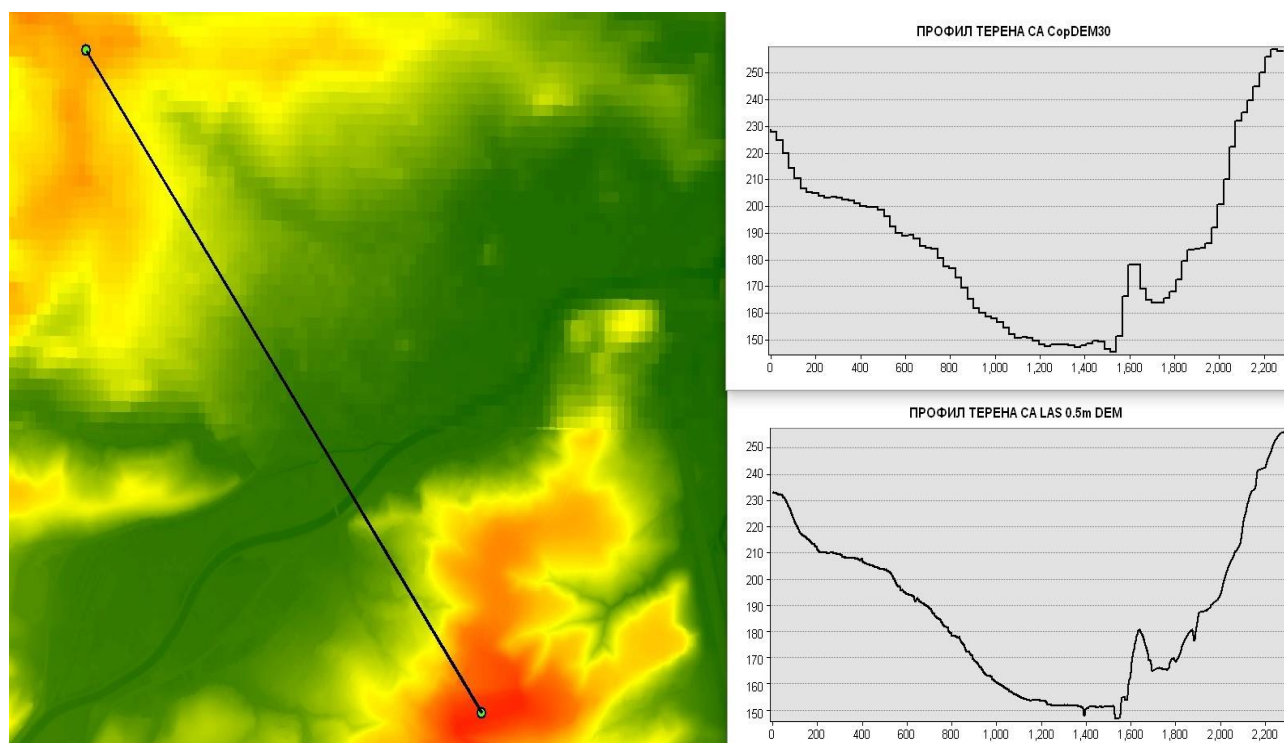
За истраживачко подручје дела слива реке Љиг, коришћен је и ДМВ добијен са платформе *Copernicus*. За контролу квалитета и оцену тачности *CopDEM30* на располагању су визуелна верификација и верификација применом аналитичких метода. Визуелна верификација је изведена прегледом *CopDEM30* генерисаног коришћењем прикупљених података на монитору рачунара и прегледом профила терена на критичним местима. За локацију ушћа реке Драгобиљ у реку Љиг, креирани су ДМВ на основу LiDAR снимања и *CopDEM30* података, где се уочавају разлике у детаљности и јасноћи приказа геоморфологије терена (Слика 72).



Слика 72. Упоредни приказ ДМВ на подручју ушћа (*CopDEM30*, ДМВ 10 m, ДМВ 0,5 m)

Поред визуелног прегледа ДМВ, обављена је и упоредна графичка анализа *CopDEM30* и генерисаног ДМВ из LiDAR података за радно подручје дела слива реке Љиг.

На слици 73, приказани су профили терена долине реке Љиг, код насеља Љиг, добијени са *CopDEM30* и ДМВ резолуције 0,5 m.



Слика 73. Профили терена са модела *CopDEM30* и ДМВ резолуције 0,5 m.

За разлику од визуелних метода контроле и верификације квалитета ДМВ, где је субјективни утицај неизбежан, аналитичка метода верификације података је далеко објективнија. Међутим, проблем код аналитичког поступка је што је обезбеђивање контролних тачака врло скупо, па је контрола у раду извршена на други начин. Наиме, обављено је читавање висина са *CopDEM30* и њихово поређење са вредностима висина референтних тачака. За референтне вредности су узете висине тачака ДМВ генерисаног у резолуцији 0,5 m. Применом аналитичких метода односно читавањем вредности, појављују се одређена одступања висина која локално осцилирају, али то је последица пре свега различитих резолуција ДМВ. Такође, могу се уочити разлике у детаљима графичког приказа профила и степена моделовања терена услед резолуције.

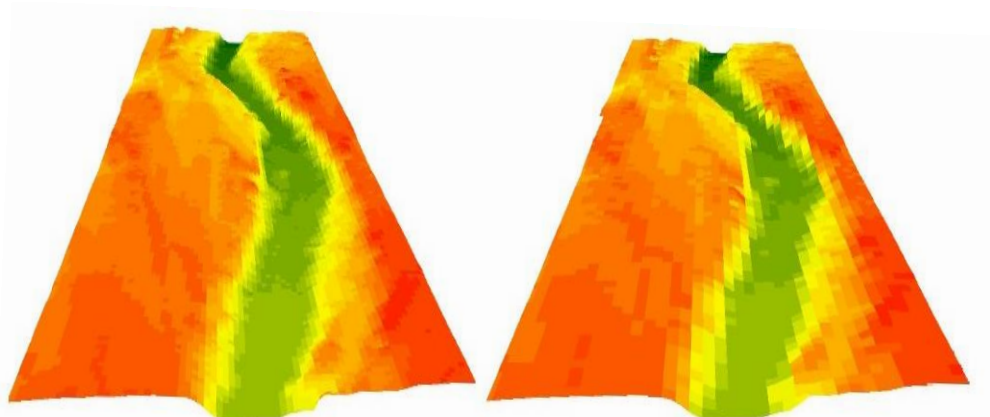
7.1.2. Анализа добијених ДМВ речног корита реке Љиг

Визуализацијом ДМВ могуће је сагледати терен који се односи на низијски и равничарски део, као и додатне геоморфолошке облике који се јављају у равничарским пределима (корита река, узвишења, удубљења, вртаче, брежуљци, хумке, итд.). Повезивањем са претходно ускладиштеним подацима, могу се сагледати карактеристике, величина и значај свих ових облика. Такође, могуће је утврдити рашчлањеност терена и које се природне препреке јављају, те одредити њихов хидролошки значај.

За корито реке Љиг обављена је анализа генерисаних ДМВ у различитим резолуцијама и структурама. Генерисани су ДМВ у различите величине ГРИД-а (1 m, 2 m, 5 m). Поред тога урађени су модели у ТИН и хибридној структури података.

Прво је анализиран однос нагиба рељефа на две морфолошки различите целине (површина од 2 km²) на моделима веће (1 m) и мање (5 m) просторне резолуције. Посматран је равничарски терен у долини реке Љиг и само корито реке (Слика 74). Затим су израчунате

вредности нагиба са два ДМВ различите резолуције и упоређивани су добијени резултати. Генерално се показало се да је у случају равнице у долини слива реке Љиг, одступање у нагибима између два ДМВ (веће и мање резолуције) скоро занемарљиво (мање од 2°). Међутим, у случају обалних страна самог корита реке Љиг, модел резолуције 5 m показао је највећу вредност нагиба од 39° , а модел резолуције 1 m од чак 61° , што је разлика од близу 50%. Ово указује на потребу коришћења ДМВ веома високе просторне резолуције при анализи морфологије корита река за потребе планирања и пројектовања пасивних мера заштите од вода.

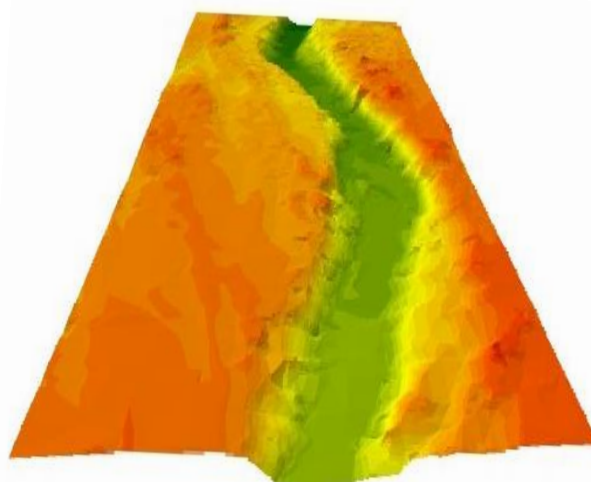


а)

б)

Слика 74. Приказ ДМВ у ГРИД структури: а) Резолуција 1 m; б) Резолуција 5 m.

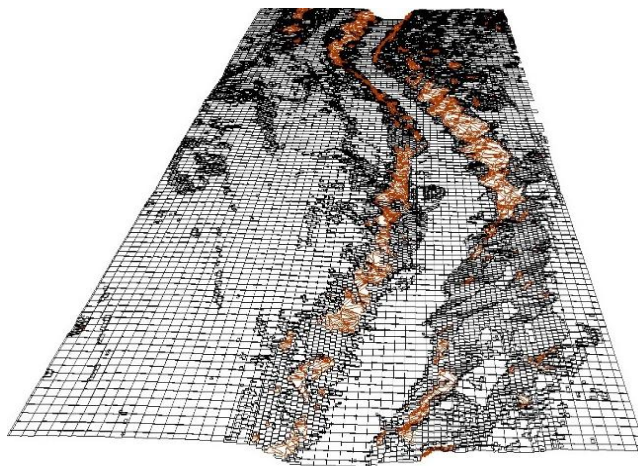
На слици 75, приказан је дигитални модел висина за исто подручје у ТИН структури. Притом, површ терена представљена је троугловима (тачке троуглова су познатих висина) међусобно повезаних у континуитету. Овај ДМВ апроксимује стваран свет на веома реалистичан начин, али основни недостатак код моделовања површи на овај начин, поред потребе за већим капацитетима са техничко - хардверске стране, су и компликовани алгоритми за обраду и процесирање података.



Слика 75. Приказ дела корита реке Љиг у ТИН структури

Хибридни ДМВ је у овом раду настао кроз интеграцију ГРИД и ТИН структуре података. Наиме, хибридна структура података користи предности и ГРИД и ТИН

структуре. Обично се целокупно подручје које покрива ДМВ дели на хијерархијски ГРИД променљиве величине, а унутар појединих елемената мреже, ако је потребно, креира се локална триангулација. Основни критеријум за формирање хијерархијског ГРИД-а и локалну триангулацију у овом раду је био угао нагиба терена. Површи са углом нагиба од 0° - 5° представљен је ГРИД - ом просторне резолуције 2 m. Површи са угловима нагиба од 5° - 20° ГРИД - ом просторне резолуције 1 m, а површи са углом нагиба већим од 20° представљене су ТИН структуром података (Слика 76). На овај начин, структура података се ефикасније прилагођава карактеристикама терена, са врло малом редундантношћу података.



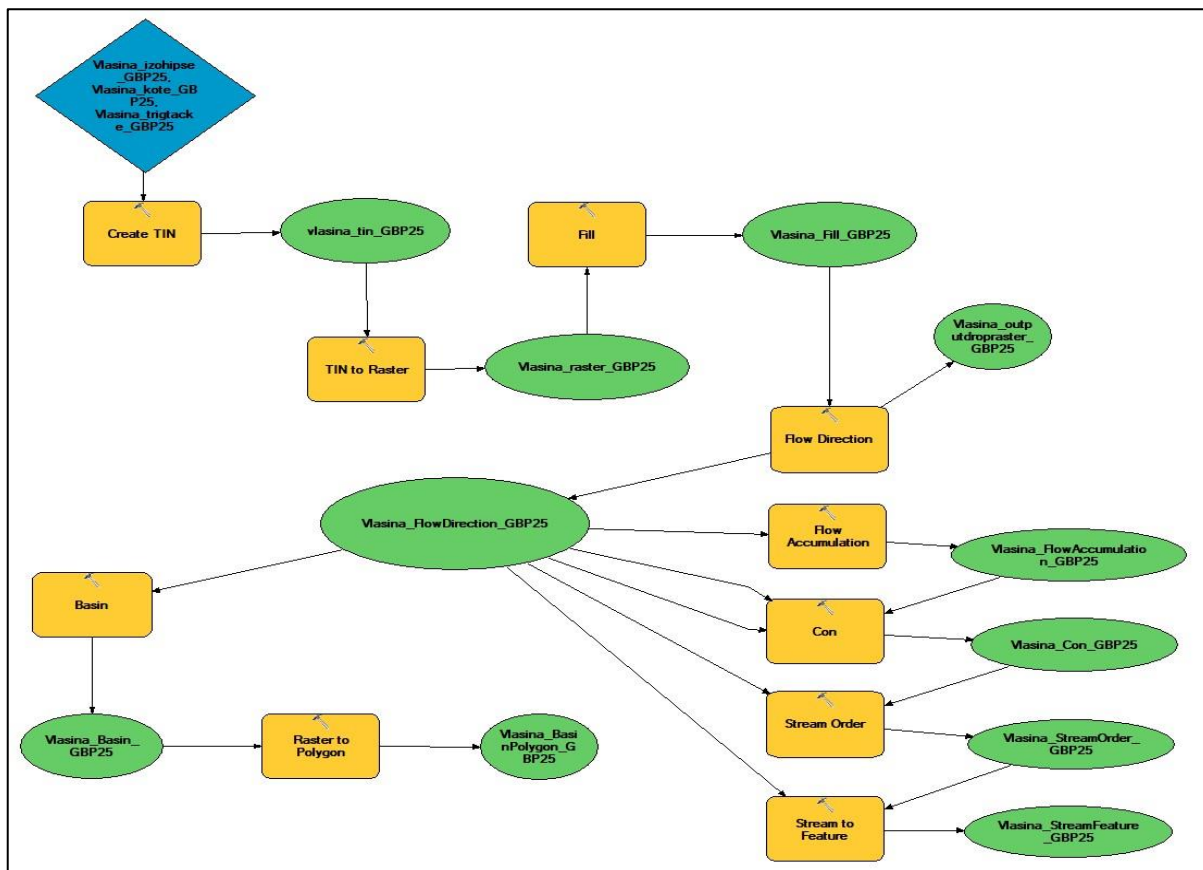
Слика 76. Приказ ДМВ у хибридној структури

Формирањем хибридног ДМВ стварају се повољнији услови за презентацију и анализу просторног и природног изгледа рељефа. Када се анализира визуелна страна хибридног ДМВ, предност је у томе што пружа реалнији приказ простора (терена). Квантитативна анализа рељефа, као кључна компонента хидролошке процене, омогућава знатно брже, једноставније и тачније одрђивање положаја изворишта површинских вода. Такође, алгоритамском анализом морфометријских параметара, постиже се квалитативно бољи начин уочавања просторних односа.

Преко генерисаних ДМВ-а могу се поставити растерске слике и друге подлоге, као што су аерофото снимци, сателитски снимци итд. Наиме, примена ГИС технологије омогућава интегрисан приказ рељефа и хидрографије, симулирањем њиховог природног изгледа заједно са свим или изабраним варијаблама на терену. На тај начин добија се прегледни блок - дијаграм који илуструје стварни изглед терена, карактеристике и облике рељефа уз истовремени приказ хидролошких односа. Исте могућности су отворене за све друге геопросторне податке (вегетација, објекти, путеви и друго).

7.2. Хидрографско - хидролошка анализа и утврђивање параметара

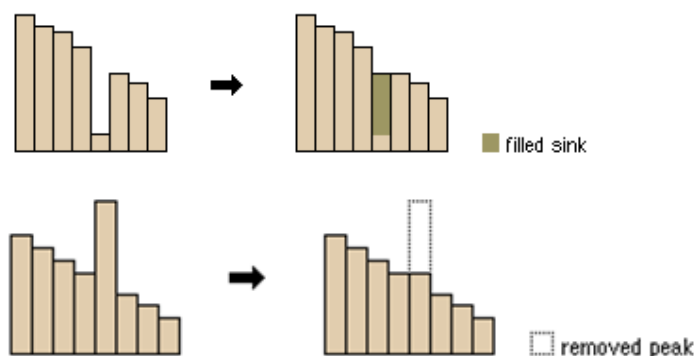
У циљу унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода, креирани су модели процеса за добијање појединих хидрографских параметара, неопходних за хидролошке анализе. На слици 77 приказана је процедура израде хидрографске мреже и сливних подручја Власинског језера и околине, односно процедуре и процеси над ДМВ које ће резултирати добијањем параметара за потребе хидрографско - хидролошких анализа. Конкретан дијаграм модел процеса се односи на ДМВ који је добијен из ЦГТБП25 просторне резолуције 25 m. У даљем тексту ће сваки корак овог процеса бити детаљно описан. За све генерисане ДМВ у раду, израђен је овакав модел процеса. Након тога, обављена је упоредна анализа и дискусија добијених резултата.



Слика 77. Модел процеса за хидрографско - хидролошке потребе и анализе

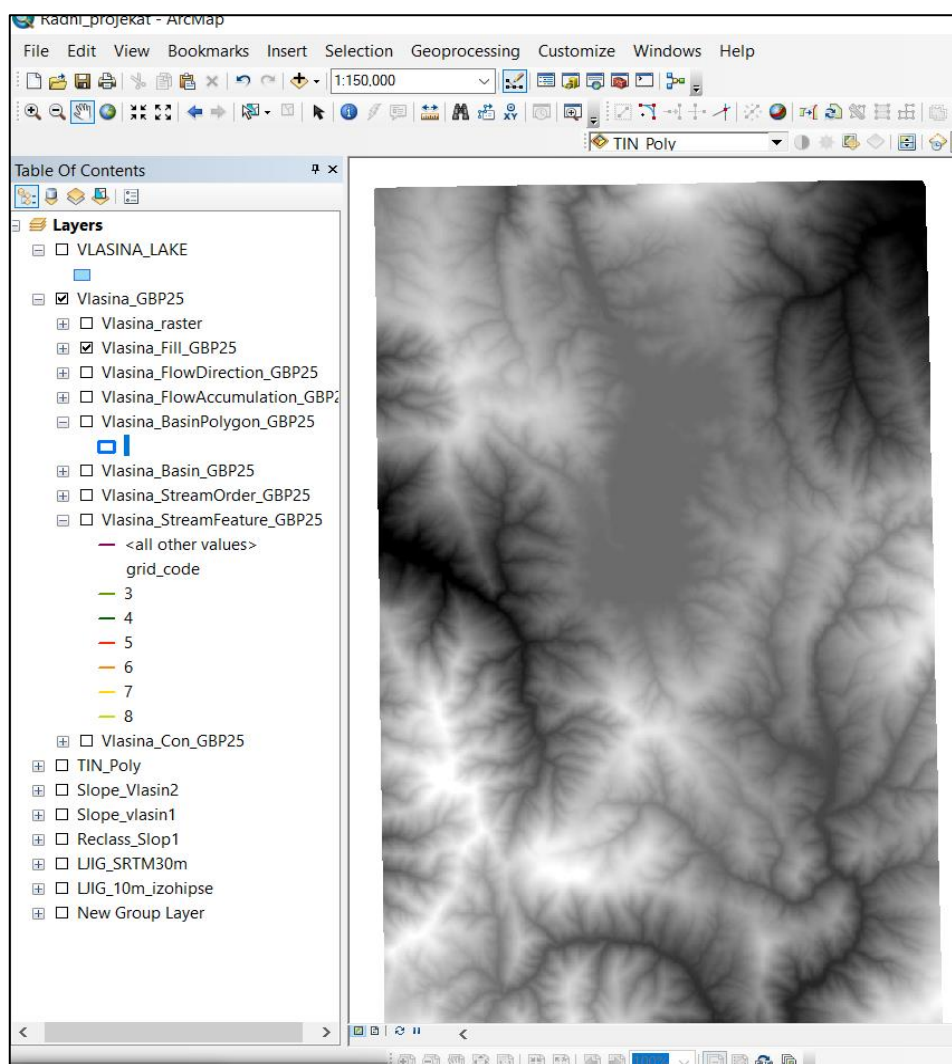
Дигитални модел висина *Vlasina_raster_GBP25* је генерисан из ЦГТБП25. Претпоставка је да генерисање није савршено, тј. да садржи одређене грешке које могу утицати на хидрографско - хидролошку анализу веће тачности. Зато их је потребно на самом почетку детектовати и отклонити. То је постигнуто коришћењем функције *Fill*, која служи за уклањање привидних удубљења и врхова. Привидна (псеудо) удубљења (*sinks*) или врхови (*peaks*) могу да буду последица подешавања различитих корисничко - дефинисаних параметара, као што су релативно мала резолуција или неадекватан метод интерполације на одређеној локацији.

На слици 78 приказан је принцип рада ове функције, односно попуњавање удубљења и брисање врхова када је то у функцији побољшања модела. У случају да ова функција није коришћена, вода би остала „заробљена” у неким деловима модела растер-а, и не би могао да се прикаже њен природни ток.



Слика 78. Принцип рада функција *Fill* (Извор: Šiljeg et al., 2018)

Након отклањања детектованих „недостатака“ улазних података и одређеног процесирања, добија се растер погодан за даљу употребу (Слика 79).



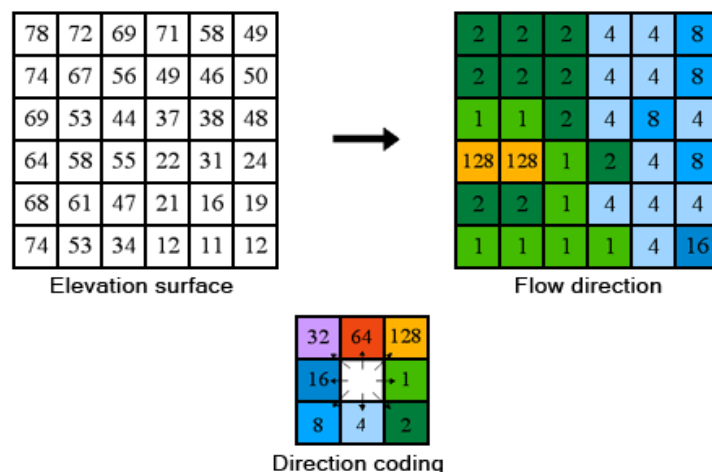
Слика 79. Изглед *Vlasina_Fill_GBP25* растера

Висинска представа терена и управљање извориштима површинских вода засновано на примени ГИС технологије, знатно убрзава процес хидрографско - хидролошке анализе и одређивање различитих параметара у животној средини. Предност ДМВ при анализи терена није само у уштеди средстава и времена, већ и у могућности да се хидрографија и рељеф (терен) посматрају интегрално и диференцијално, што представља претпоставку за доношење квалитетних одлука при управљању и заштити вода.

Због целовитог сагледавања изабраних подручја, примењена је метода вишекритеријумских анализа, при чему се рачунају морфометријски параметри терена, класификују се с обзиром на одлике изворишта површинских вода и на крају приказују у виду табела, графикона и тематских карата. Коришћене вредности морфометријских обележја у хидролошким анализама терена односе се на одређивање смера отицања токова, поделу подручја на дренажне басене, формирање акумулација, утврђивање сталних и повремених токова, нагиб рељефа, визуализацију вертикалне рашчлањености и хоризонталних помака токова. Наведени параметри представљају основ хидролошке анализе терена, те су сврстани у групу примарних чиниоца.

7.2.1. Одређивање смера отицања воде

Одређивање смера отицања воде је један од најважнијих параметара при хидролошкој анализи неког подручја. На основу њега ћемо добити информације о водосливницама. У ГИС-а овај параметар се добија анализом ДМВ. Након побољшања ДМВ и уклањања грешака функцијом *Fill*, може се користити добијени растер *Vlasina_Fill_GBP25* као улазни податак за одређивање смера отицања воде. Смер отицања воде се рачуна коришћењем функције *Flow Direction* (Слика 80).

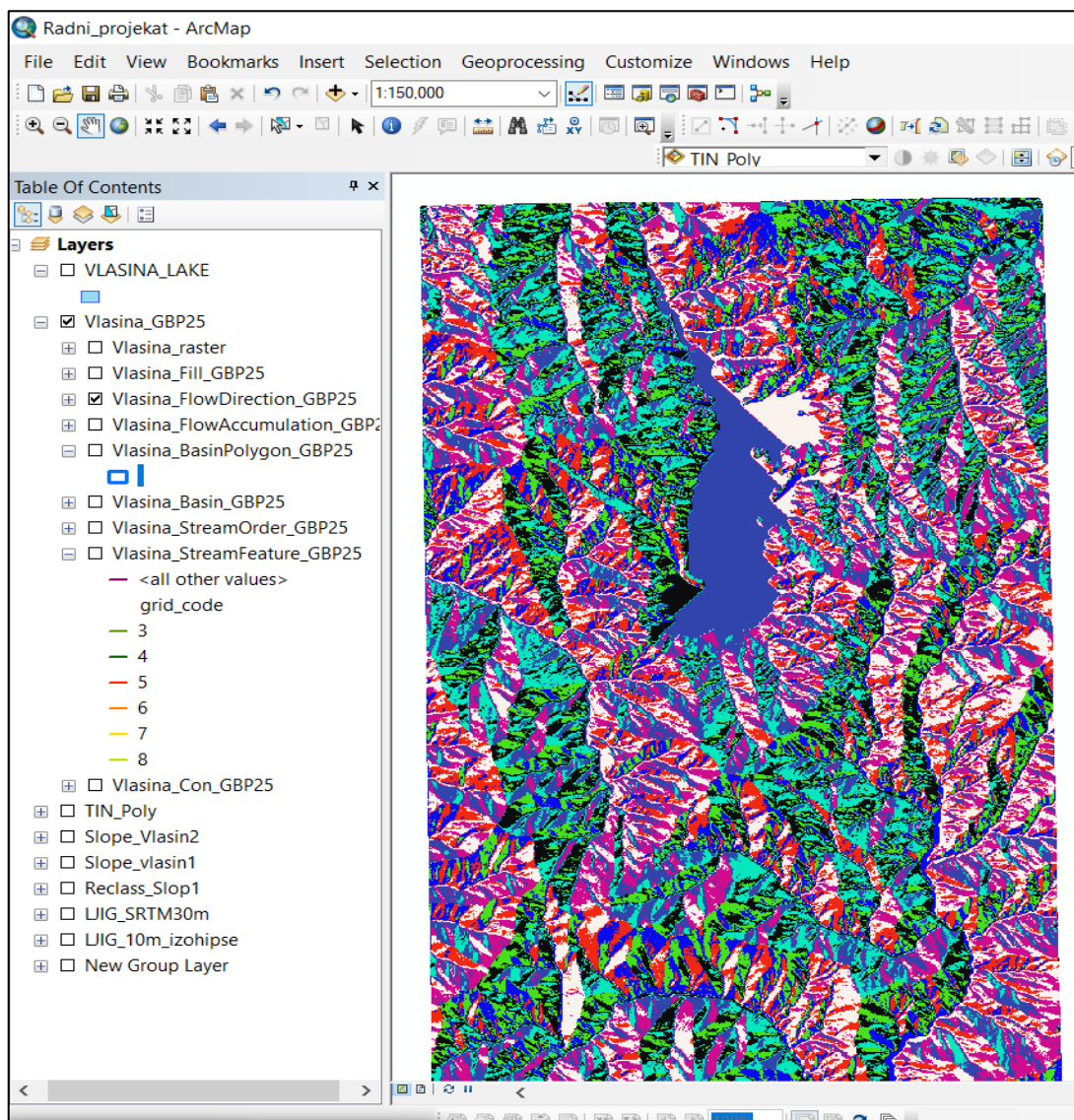


Слика 80. Принцип одређивања смера отицања воде из пиксела (Извор: Šiljeg et al., 2018)

За сваки пиксел се одређује смер отицања од могућих осам смерова (север, запад, југ, исток, северо-запад, северо-исток, југо-запад и југо-исток) одређених вредностима осам околних пиксела од централног пиксела. Алгоритам се заснива на методу најстрмијег пада како би се одредио смер, односно у који околни пиксел се слива вода из посматраног дела.

Промена вредности висина између пиксела се рачуна једноставним одузимањем z вредности пиксела, а удаљеност се рачуна од њиховог средишта. На пример, ако је величина пиксела 1 m, онда је удаљеност до ортогоналних пиксела 1 m, а до дијагоналних 1,41 m (односно корен из 2). Сваки од околних пиксела је кодиран вредностима: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 или 128, у зависности од смера отицања у односу на посматрани пиксел. Када се утврди најстрмији пад, посматрани пиксел добија вредност кода који носи пиксел у смеру најстрмијег пада и поступак се понавља за сваки пиксел појединачно.

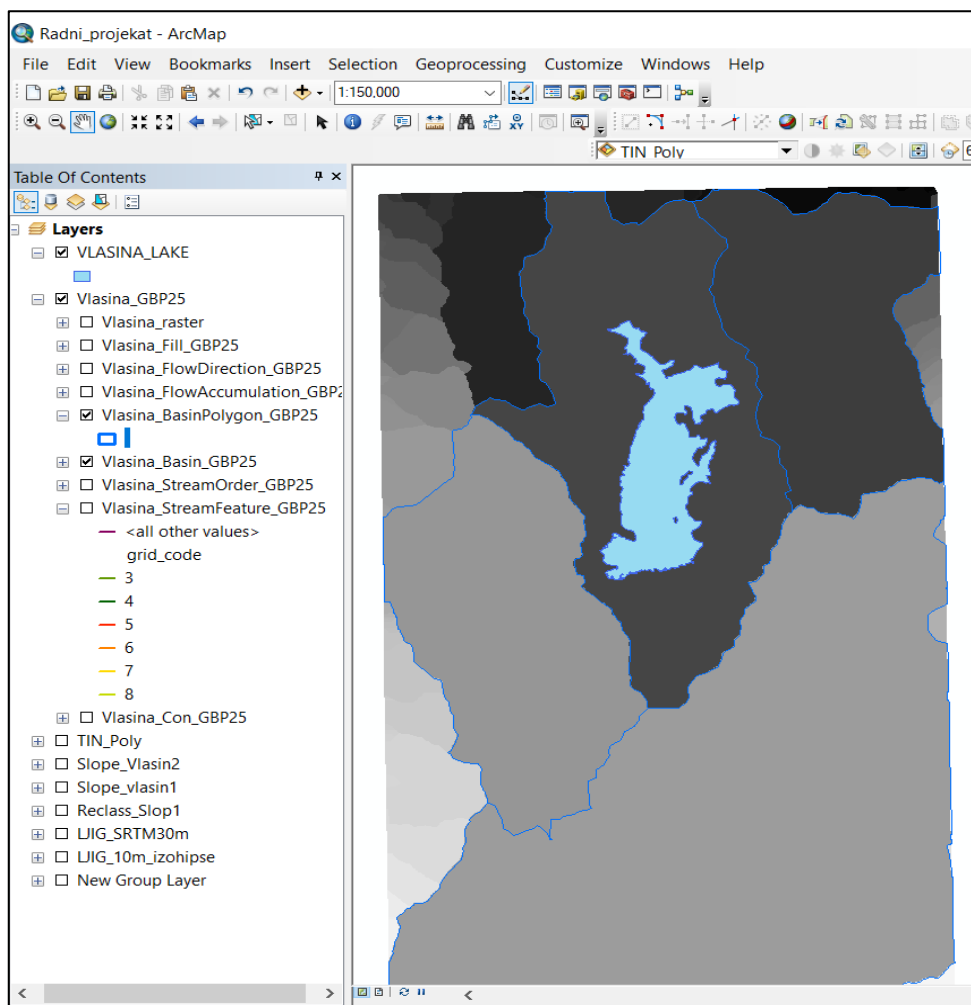
Као крајњи резултат добија се кодирани растер који уместо вредности висина за сваки пиксел садржи информације о смеру отицања воде са сваког пиксела (Слика 81). Ради боље прегледности групе пиксела са истим вредностима кодова су обележене истим бојама.



Слика 81. Резултат прорачуна отицања воде - Vlasina_FlowDirection_GBP25

7.2.2. Подела подручја на дренажне басене

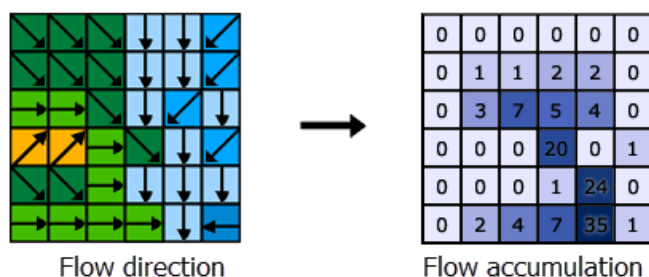
У даљој хидрографско - хидролошкој анализи истраживачко подручје Власинског језера и околине подељено је на сливна подручја. Подела је обављена у ГИС-у применом функције *Basin*. Улазни подаци су *Vlasina_FlowDirection_GBP25*, односно кодирани растер који уместо вредности висина за сваки пиксел садржи информације о смеру отицања воде са сваког пиксела. На основу овога, рачунају се површине дренажних басена, односно површине терена са којих се вода слива у исти ток. Након изведених процедура, добијен је резултат *Vlasina_Basin_GBP25*. Резултати могу бити представљени у векторском и у растерском облику. За даља истраживања у овом раду издвојени су полигони од интереса (границе дренажних басена) у векторском облику (*Vlasina_BasinPolygon_GBP25*) и на слици 82 приказани су плавом бојом.



Слика 82. Подела подручја на дренажне басене

7.2.3. Формирање акумулације воде

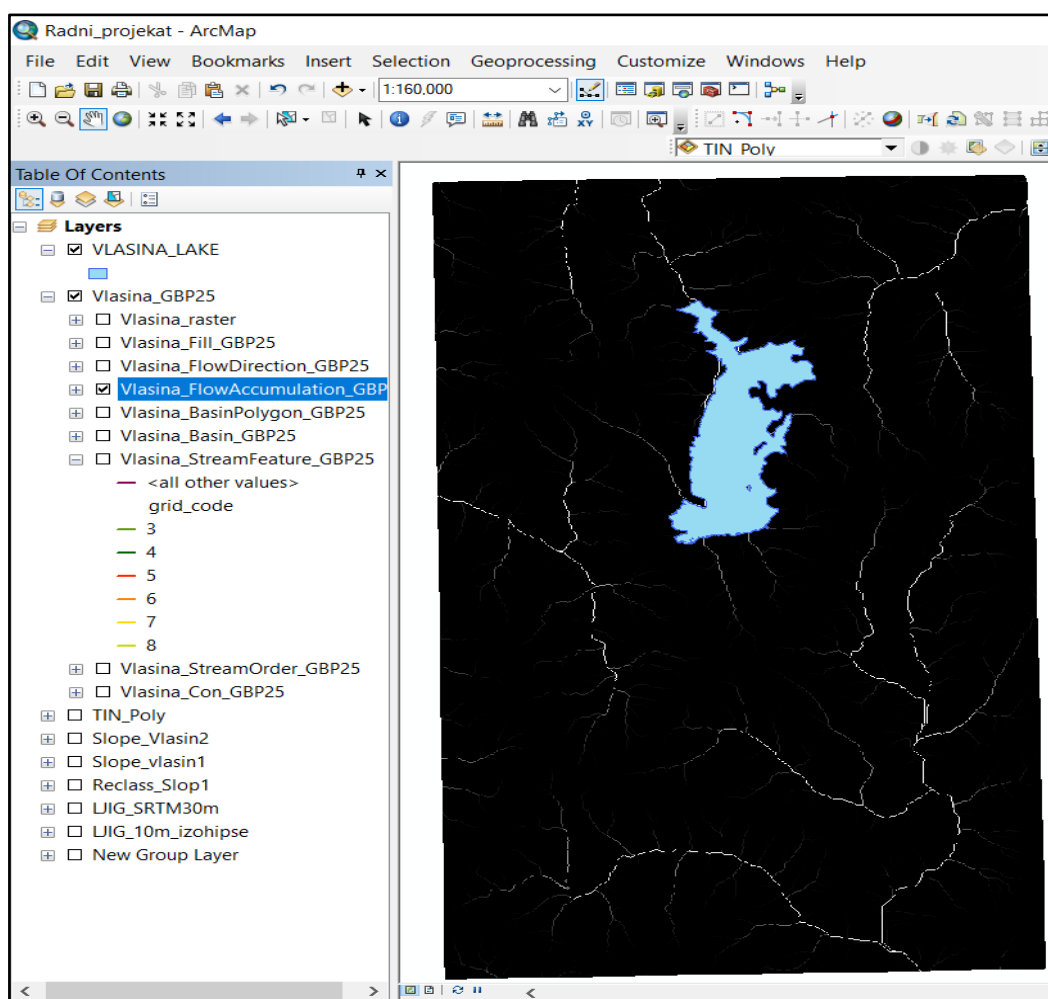
Посебно је интересантна појава формирања акумулације воде и њено одређивање. Наиме, након одређивања смера отицања воде, релативно лако су идентификовани пиксели на којима долази до акумулације воде, коришћењем функције *Flow accumulation*. Улазни податак је кодирани растер *Vlasina_FlowDirection_GBP25*, који уместо вредности висина за сваки пиксел садржи информације о смеру отицања воде. Као резултат, добија се растер у којем сваки пиксел има вредност која показује са колико околних пиксела се вода слива у посматрани пиксел (Слика 83).



Слика 83. Принцип одређивања акумулације воде у пикселима (Извор: Šiljeg et al., 2018)

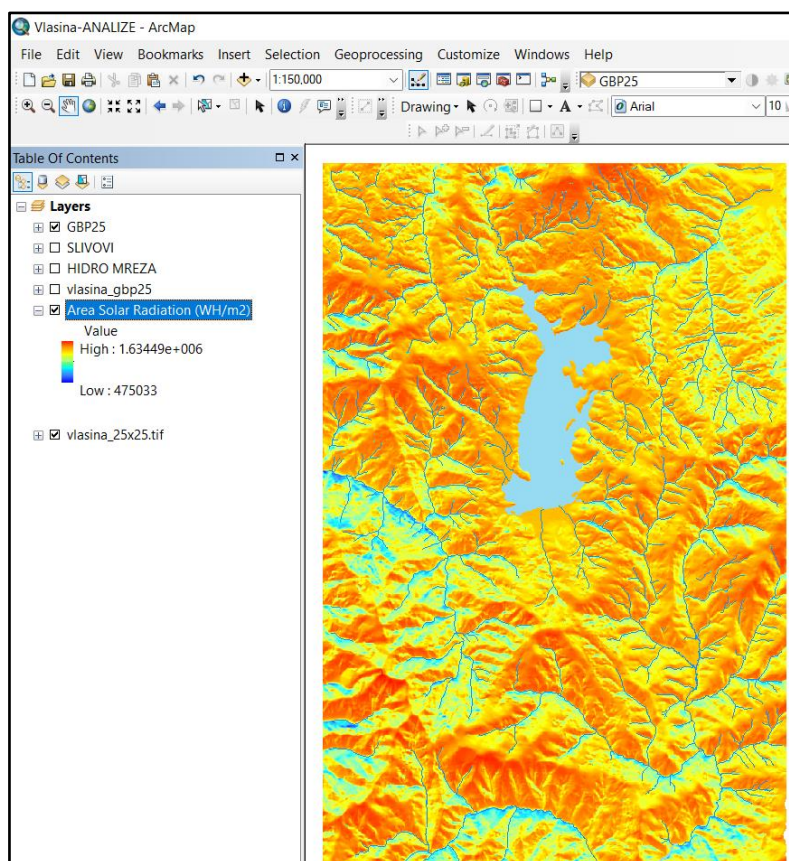
Пиксели са вишим вредностима указују на подручја са већом акумулацијом и формирање речних токова, док пиксели са нижим вредностима указују на сливање воде са

тих подручја. Пиксели са вредношћу једнакој нули могу да послуже за идентификацију гребена (Слика 84).



Слика 84. Резултат функције *Flow accumulation*

Приликом хидролошке анализе терена улога оријентације падина (и, уопште, земљишта) у односу на стране света, има посебан значај када нам је позната северна оријентација која укључује дуже задржавање снега и ледника у односу на остале стране света. Наиме, географским дефинисањем положаја ледника и анализом оријентације падина у односу на стране света, могуће је одредити падине које су мање изложене сунчевој радијацији и тиме изложене каснијем отопљавању снега и леда (Слика 85), јер су заклоњене или окренуте бочно у односу на сунчеву енергију и светлост. На тај начин, подручје Власинског језера и околине се може вишеслојно диференцирати на делове који су оријентисани према странама света, односно према отапањима у другој половини године, као и потенцијална агрегација и поплава водом нижих делова (равнице). Тиме се на основу ДМВ остварују нове могућности хидрографско - хидролошких анализа изворишта површинских вода и предузимањем потенцијалних мера заштите.



Слика 85. Количина сунчеве радијације за 2022. годину израчуната у ArcGIS - у

На пример, може се одредити укупна површина падина које изложене ранијем и падина које су изложене каснијем отопљавању и на основу тога извршити одговарајуће предикције и друге анализе.

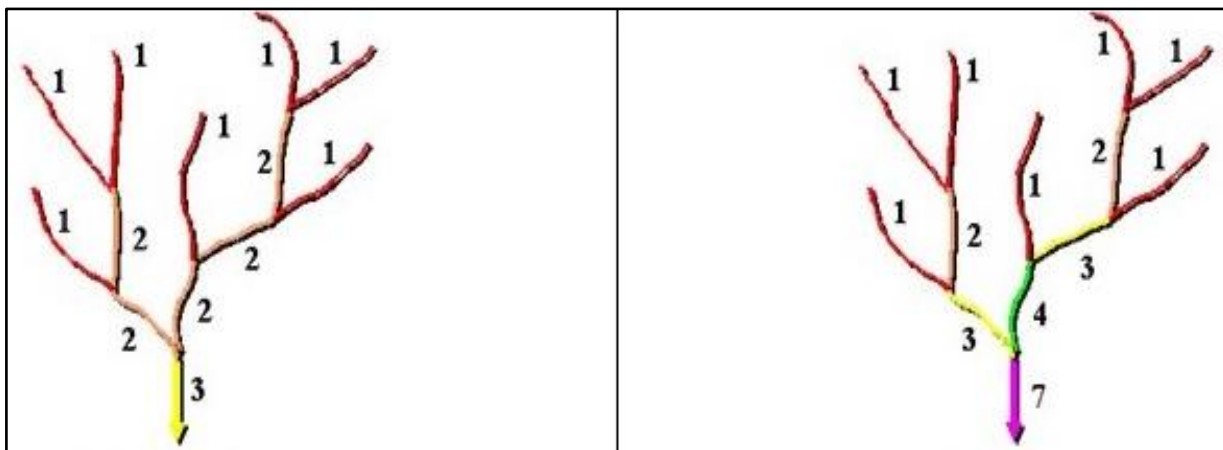
7.2.4. Утврђивање сталних и повремених токова

Утврђивање сталних и повремених токова је једна од важнијих активности код управљања изворишта површинских вода. За утврђивање и формирање дренажне мреже подручја, у ГИС-у је коришћен кодирани растер *Flow accumulation*.

Вредност пиксела у растеру *Flow accumulation* представља број узводних пиксела са којих се вода слива у тај пиксел. Да би се избегло оптерећење самог приказа и најмањим водосливницама које воду добијају из само неколико околних пиксела, у раду је коришћена функција *Con*. Тиме је одређена гранична вредност, односно број пиксела који сливањем у поједини пиксел, формирају сегменте водотокова. У циљу идентификовања и приказивања што гушће мреже водотокова узима се мања вредност. На овај начин пиксели формирају мрежу сталних и повремених токова.

Такође, обављена је класификација формираних токова путем функције *Stream Order*. Класификација токова је обављена на основу броја притока. Притом, токови високог реда имају већи број притока па је и сам проток воде већи.

Постоје две методе приказа формиране дренажне мреже, *Strahler stream ordering method* и *Shreve stream ordering method* (Слика 86). Токови који имају највише притока, класификовани су као токови вишег реда и то су токови са најснажнијим струјањем на датом подручју. У раду је коришћен *Strahler* метод идентификације и класификације токова.

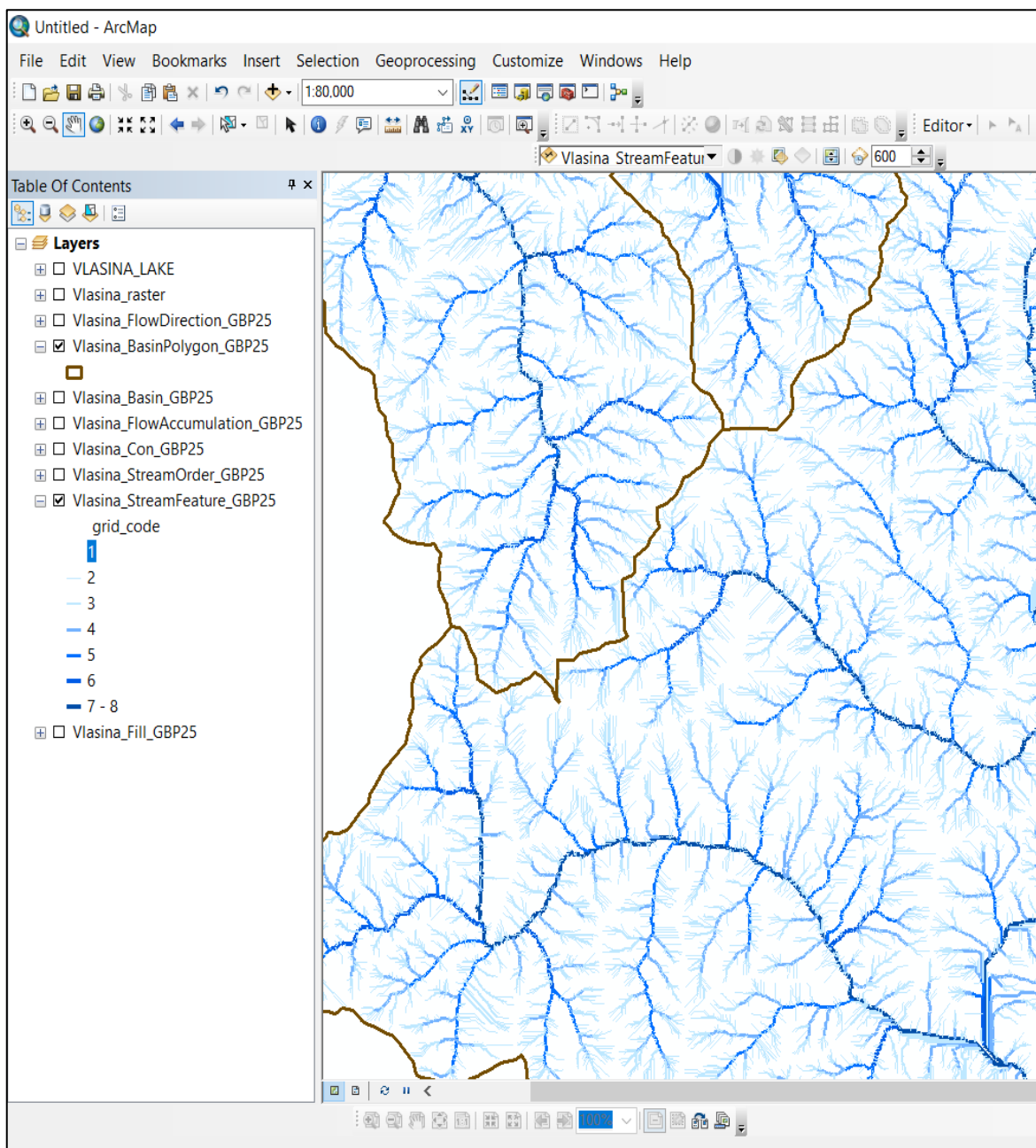


Слика 86. Strahler метод и Shreve метод

Класификацијом се хијерархијски додељују бројчане вредности. Ова вредност се у поступку визуализације може користити као параметар за ширину приликом приказа самог тока. Тиме се сегменти токова са високим вредностима могу исцртавати дебљим линијама.

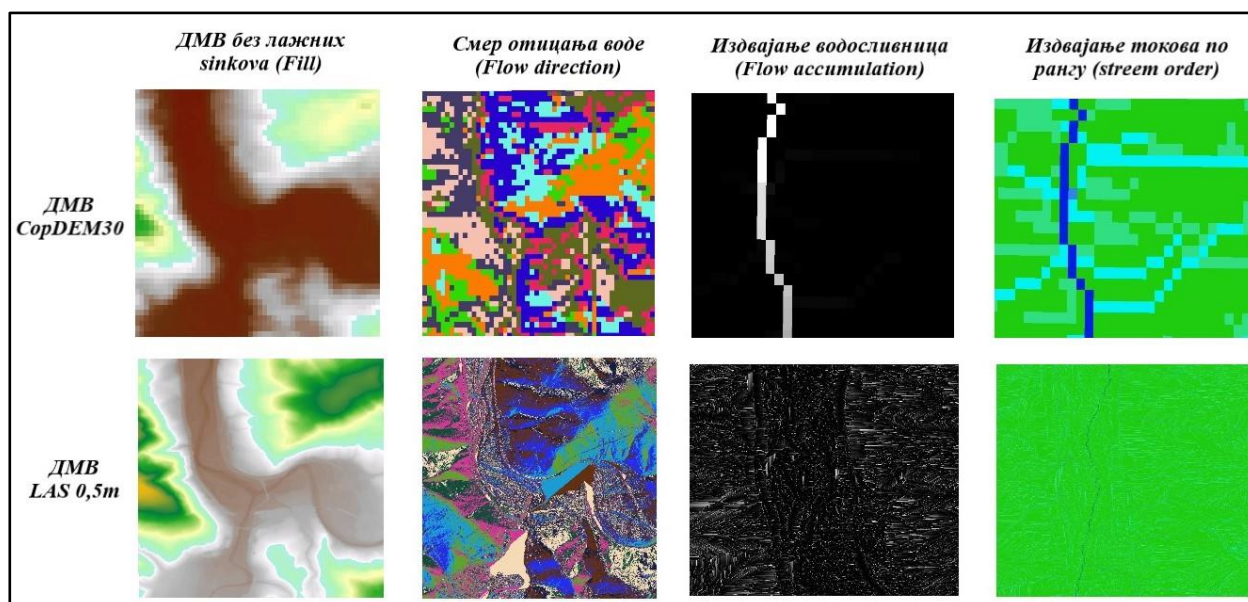
У раду су речни токови представљени као векторски линијски елементи. Токови су представљени различитим бојама и дебљином како би визуализација била адекватнија. Такође, поред саме визуализације, векторски подаци су погоднији код различитих геопросторних анализа.

Као резултат, подручја са највећом „акумулацијом” су представљена тамно плавим линијама и ту је извесно формиран речни ток. Тање линије, представљене светлијом нијансом плаве боје, односе се на водосливнице дуж којих вода површински отиче након атмосферских падавина (Слика 87). Због прегледности изузети „токови” ранга 1 и 2 из самог приказа.



Слика 87. Приказ класификованих водотокова

Добијање хидрографских параметара са ДМВ и хидролошке анализе су поновљене за све генерисане ДМВ у овом раду како за подручје Власинског језера и околине тако и за део слива реке Љиг. За подручје слива реке Љиг је највећи изазов био хардверско-софтверске природе. Наиме, процеси и процедуре за добијање хидрографских параметара и утврђивање сталних и повремених токова са ДМВ веома високих резолуција захтева велике хардверске капацитете. Подручје слива реке Љиг је стога подељено на мања подручја, интересантна за истраживања у овом раду. На слици 88, приказан је поступак од уклањања „недостатака” са почетног ДМВ до хијерархијског издвајања речних токова за подручје дела слива реке Љиг.



Слика 88. Процес извођења акумулације протока и издавања токова по рангу

У раду је коришћен и *CopDEM30* за анализу оба радна подручја. Избор резолуције ДМВ у директној је вези са потребама и степеном управљања и заштите изворишта површинских вода. У том смислу, генерисани ДМВ високе резолуције на основу LiDAR података за подручје дела слива реке Љиг, даје најбоље резултате при одређивању хидрографских параметара и у хидролошкој анализи. Са претходне слике се нпр. јасно види разлика у детаљности и броју издвојених водосливница. Као што се може видети, величина ћелије генерисаног ДМВ са просторном резолуцијом 0,5 m, значајно повећава бројност изведених водосливница и још важније, повећава положајну тачности водотокова.

Управљање извориштима површинских вода засновано на примени ГИС технологије и ДМВ веома високе резолуције битно побољшава хидрографско - хидролошке анализе.

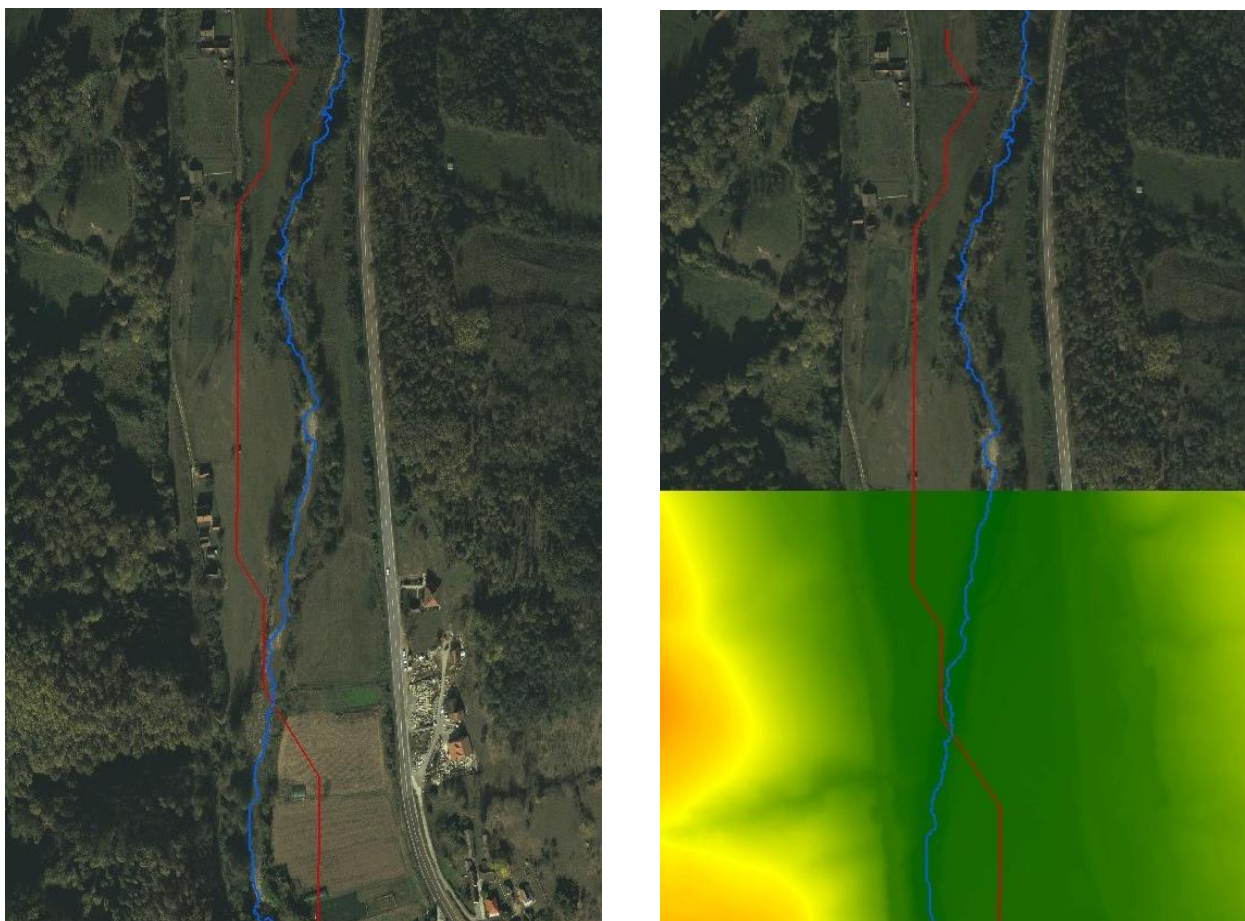
7.2.5. Анализа положајне тачности изведених токова реке Љиг и Качер

У наставку се приказују поређења положаја референтних речних токова, са добијеним резултатима на основу генерисаних ДМВ. Тиме ће се извршити поређење и видети да ли су и у којој мери идентификовани речни токови на основу генерисаних ДМВ, сагласни са стварним положајем тока, у смислу положајне тачности.

За ово подручје генерисан је ДМВ просторне резолуције 0,5 m (са кога се јасно уочава речни ток Љиг) и вршено је поређење са добијеним хидрографским параметрима из сета података *CopDEM30*. Јасно се уочавају предности које са собом носе ДМВ израђени из ласерског скенирања, високе просторне резолуције. Добијени токови воде за ово подручје истраживања представљени су на следећи начин:

- Токови из ДМВ 0,5 m - плава боја;
- Токови из ДМВ *CopDEM30* – црвена боја.

Река Љиг има готово савршену просторну представу, добијену генерисањем ДМВ 0,5 m. Као референтна подлога за ово истраживачко подручје, коришћен је дигитални ортофото снимак (ДОФ) из 2018. године (Слика 89). Резултат генерисаног ДМВ овако високе резолуције резултира и могућношћу издавања речних токова, са великом положајном тачношћу.



Слика 89. Река Љиг узводно од насеља Љиг

На наредним сликама је приказ установљене разлике у положајној представи реке Љиг која је добијена са различитих ДМВ. Одступање речног тока Љиг од осе референтног речног тока на појединим местима у долинском делу слива прелази 25 m. У конкретном случају приказаном на слици 90, одступање је близу 19 m.



Слика 90. Река Љиг у доњем делу свог тока

Река Качер, која је десна притока реке Љиг, такође показује велику положајну тачност када се посматра ток добијен из ДМВ 0,5 m. Издвојен ток ове реке предходно описаним процедурама се на референтној подлози (ДОФ 2018) показује као веома тачно представљен елемент хидрографске мреже. На другој страни, речни ток Качер добијен из

сета података *CopDEM30* у овом случају показује велико одступање од референтне положајне представе. На конкретном примеру то одступање је веће од 60 m (Слика 91).



Слика 91. Река Качер и њена положајна представа добијена са различитих ДМВ

Може се рећи да се ДМВ израђени у високој просторној резолуцији показују као веома корисни и неопходни у хидролошким истраживањима, као и за хидрауличко моделовање. Могућност добијања речних токова у кабинетским условима, са њиховом високом полагајном тачношћу, омогућава даља прецизнија хидролошка и хидрауличка моделовања. Доносиоцима одлука (Министарства, Дирекција за воду, Сектор за ванредне ситуације итд.), ДМВ високе просторне резолуције, би представљао изузетан инструмент за доносење одлука, посебно у кризним ситуацијама (временским непогодама, спречавању или ублажавању поплавног таласа, итд) када је важно да се делује брзо. Овако висока просторна резолуција је неопходна пре свега у равничарским пределима.

7.2.6. Анализа резултата за подручје Власинског језера и околине

За ово радно подручје добијена је хидрографска мрежа из генерисаних ДМВ различите просторне резолуције на основу ЦГТБП25 (Прилог 9). Анализом добијених хидрографских мрежа, за даља истраживања одабрана је хидрографска мрежа добијена из

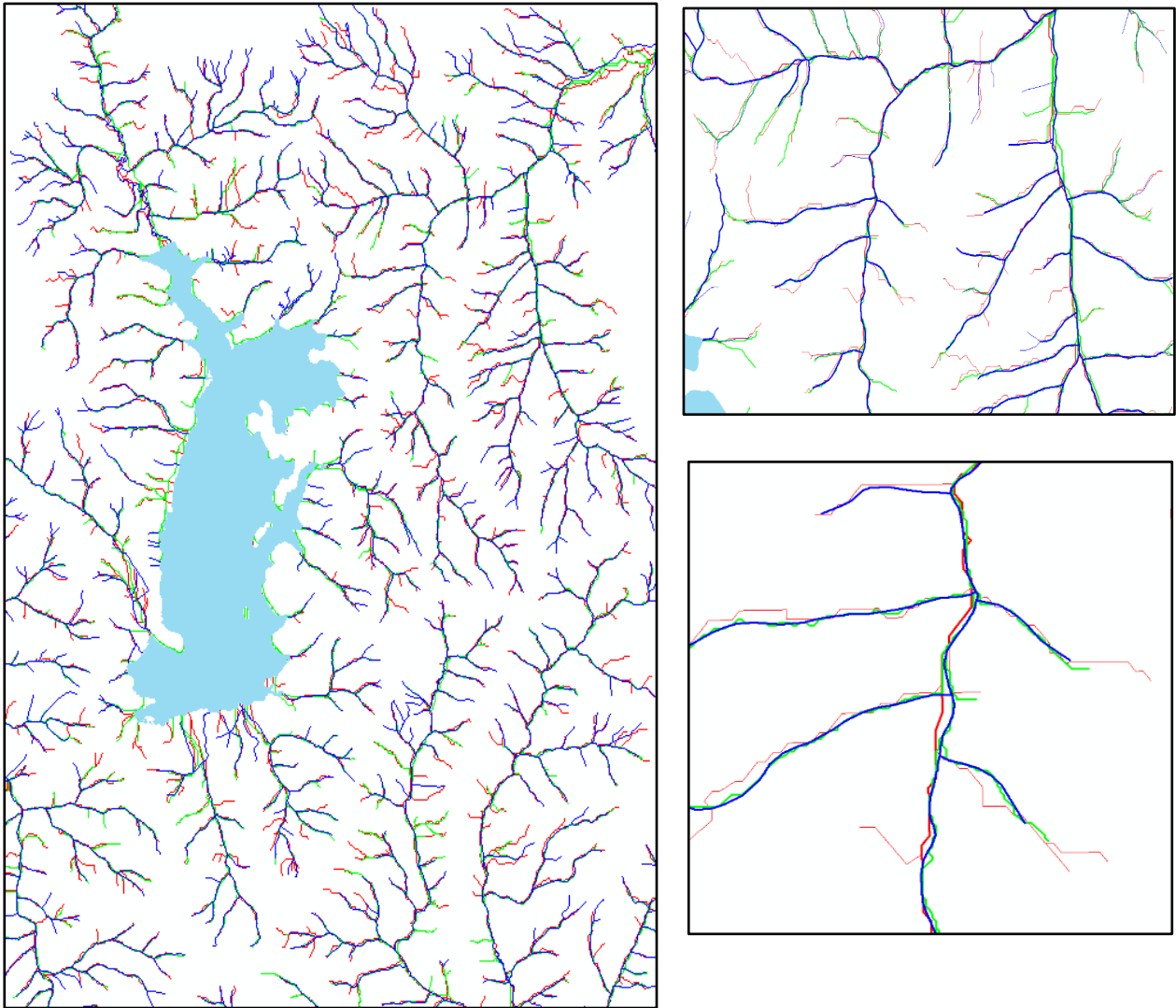
ДМВ 25 м. Добијена је и хидрографска мрежа из ДМВ који се односи на сет података *SopDEM*-а (Прилог 4). За упоредну анализу положајне тачности добијених речних мрежа као референтна хидрографска мрежа коришћена је речна мрежа из базе ЦГТБП25 ВГИ-а. Она је усаглашена за дигиталним ортофото снимком и као таква представља референтну основу у наредној упоредној анализи због своје велике положајне тачности (Слика 92).



Слика 92. Референтна хидрографска мрежа из ЦГТБП25 за подручје Власине (река Јерма)

Након обављених процедура израде хидрографске мреже и издвајања сливова река, добијени су скупови података занимљиви са аспекта упоредне анализе (Слика 93). Добијена хидрографска мрежа за ово подручје истраживања, представљена је на следећи начин:

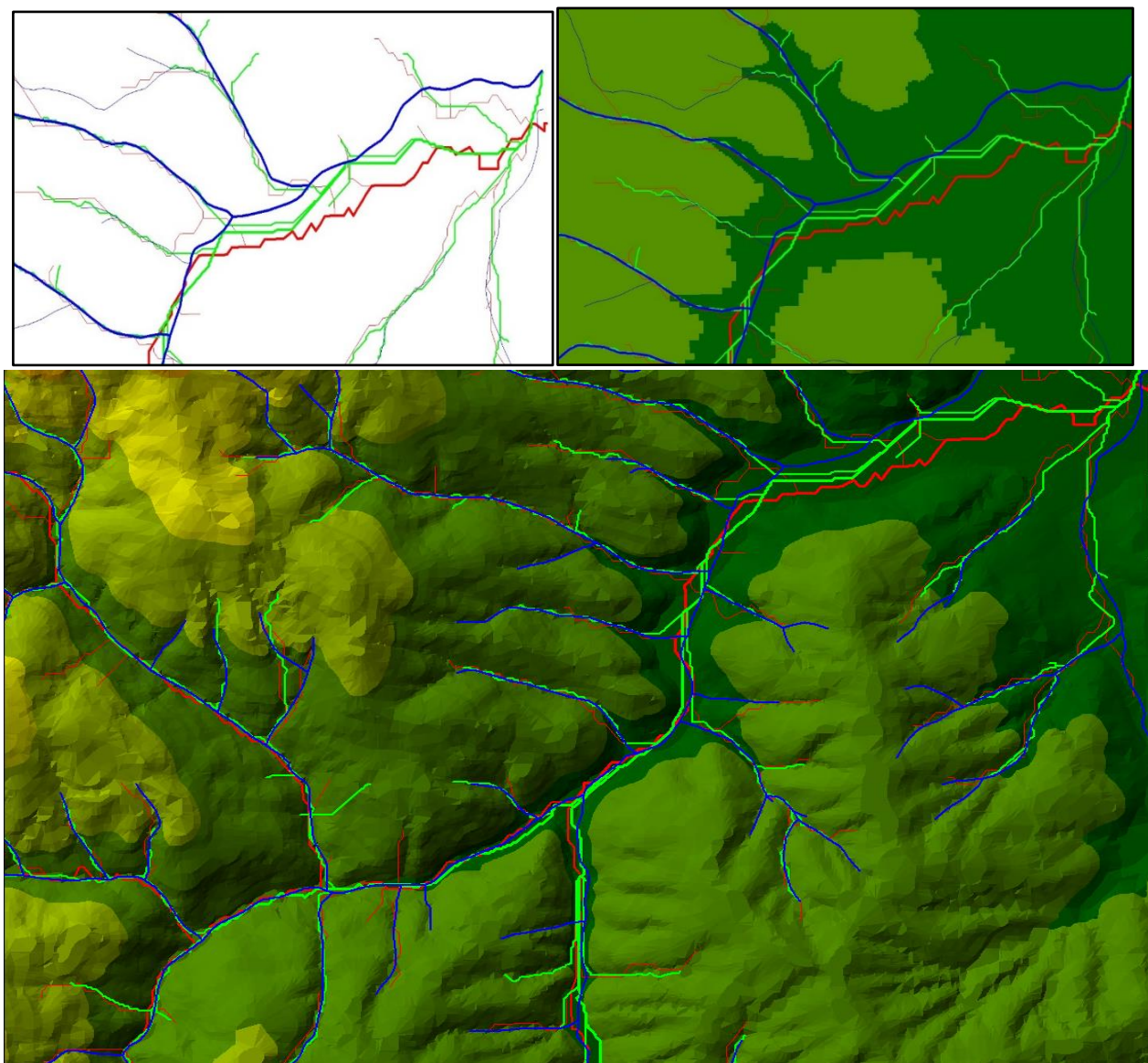
- Референтни речни токови - плава боја;
- Токови из ЦГТБП25 - зелена боја;
- Токови из *SopDEM30* - црвена боја.



Слика 93. Добијена хидрографска мрежа за подручје Власинско језеро и околина

Приказани су сви токови, мањи потоци и реке. Нешто већи проблем се јавља у равничарским и мочварним деловима где добијени токови више одступају од референтног речног тока.

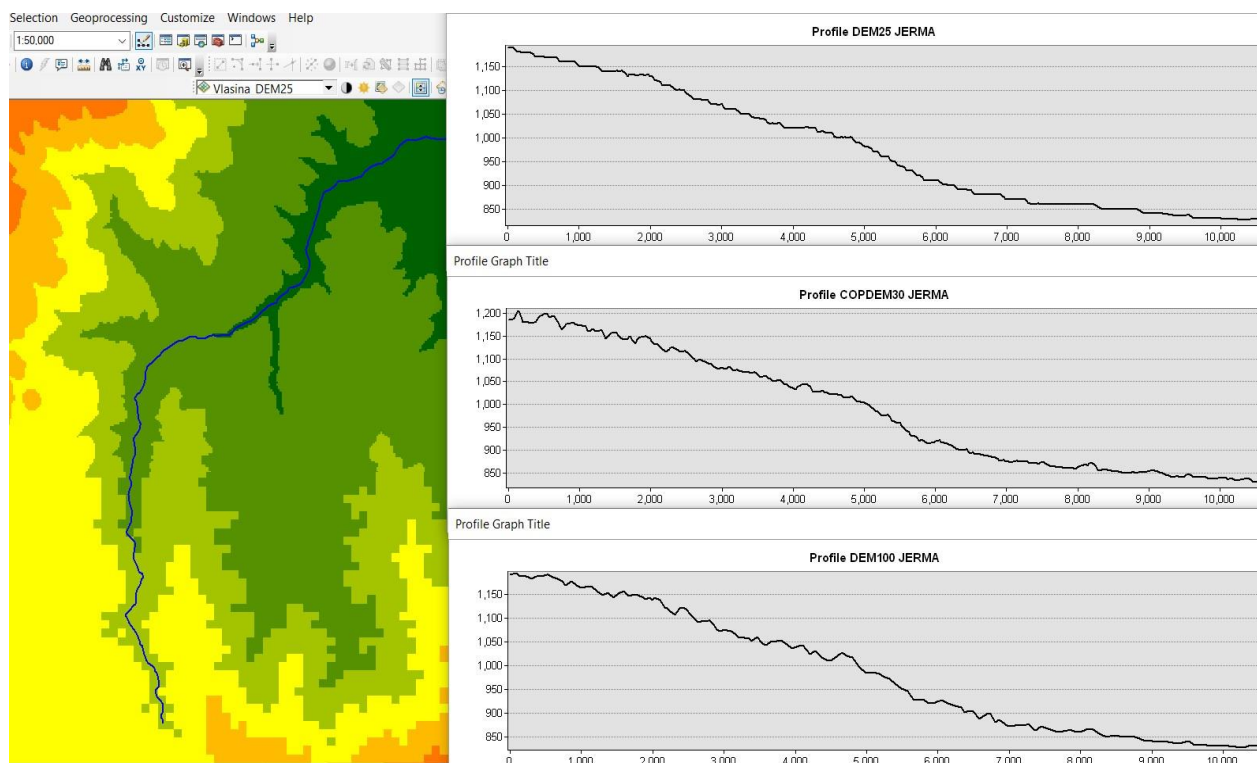
За детаљнију анализу и визуализацију положајне представе речних токова, добијених на основу анализе ДМВ различитих резолуција и извора података, узета је река Јерма. Она је посебно интересантна са аспекта хидролошких и геоморфометријских карактеристика терена. Изворишне саставнице Јерме налазе се источно од Власинског језера. То су Вучја и Грубина река и састају се код места Клисура. Вучја река има релативно већи пад корита и мање меандрира у односу на Грубину реку. За упоредну анализу узет је ток Вучје реке и даље сам ток Јерме са осталим притокама. Низводно од места Клисура, долина Јерме се постепено шири и прелази у Суходолско поље. Токови и притоке Јерме углавном добро прате правац геоморфолошких долина. Међутим, низводно, а посебно у Суходолском пољу, јављају се већа одступања приказаних токова добијених из различитих ДМВ, у односу на стварни речни ток (Слика 94).



Слика 94. Анализа положајне представе добијених токова – пример реке Јерме

Хидрографска мрежа реке Јерме (добијена са ДМВ 25m) одступа од референтног положаја због детаљности изворних података (еквидистанција). Положајна одступања хидрографске мреже реке Јерме (добијена из *CopDEM30*), јављају се како због грубље резолуције тако и због нешто слабије усклађености модела са топографском стварношћу.

Наредне анализе се односе на уздужне и попречне профиле реке Јерме. За потребе овог рада а у оквирима радног подручја узет је део реке Јерме у укупној дужини од 10,7 km узводно од њене најниже коте, те направљен њен уздужни профил на различитим ДМВ (Слика 95).



Слика 95. Уздужни профили реке Јерме

Уздужни профили приказују сам пад тока реке као и угао нагиба терена дуж тока. У табели 16. су са профила добијене информације о *min/max/avg* вредностима надморске висине/угла нагиба терена. По потреби параметри висине/угла нагиба се могу очитати за сваку тачку профила речног тока. Угао нагиба је битан параметар при процени отицаја, односно брзини одводњавања терена (нпр. након интензивних и обилних падавинама) затим за сагледавање ерозивних процеса у сливу, транспорт седимената итд. На примерима генерисаних ДМВ, вредности добијене са различитих ДМВ, а за уздужни профил реке Јерме показује одређене разлике. Највећа одступања се примећују код вредности максималног нагиба терена. За потпуније и прецизније анализе посматраног речног тока, потребан је ДМВ веома високе резолуције.

Табела 16. Попречни профили на основу ДМВ

ДМВ	Назив тока	Дужина тока (km)	Z_Min (m)	Z_Max (m)	Z_Mean (m)	Min_Slope (°)	Max_Slope (°)	Avg_Slope (°)
ДМВ 25	Јерма	10,74	820,19	1.190,21	972,98	0	37,87	4,67
Сор DEM30	Јерма	10,74	840,00	1.201,26	993,77	0	45,58	5,55
ДМВ 100	Јерма	10,74	827,71	1.192,66	981,23	0	25,83	7,29

Са друге стране, попречни профили могу се користити за одређивање капацитета корита, односно може се анализирати морфологија самих корита реке и окружења (Прилог 10). На основу тога се могу вршити процене отицаја воде при великим и интензивним падавинама и картирати подручја која су у опасности од поплава. Број и размак ових профила зависи од случаја до случаја и дефинише се на основу геометријских и геоморфолошких карактеристика долина и потребе хидролошких анализа и прогноза. Поседовањем ДМВ високе резолуције, анализе и процене добијају још више на квалитету.

Анализом добијених дренажних басена са различитих ДМВ на подручју Власине, може се видети да границе развођа показују одређена непоклапања а највеће су разлике на развођу река Врле, Божичке и Власине. Развође обележено црном бојом представља развође добијено из ДМВ 25 m. Црвеном бојом је обележено развође са ДМВ *SopDEM30*, а плавом развође са ДМВ просторне резолуције 100 m. Слив Лисинског језера, односно Божичке реке, показује највећа одступања у смислу површине слива (Слика 96).



Слика 96. Развођа и сливови - упоредни преглед

Одређивање границе сливова (вододелница) је једна од најзначајнијих функција коју условљава рељеф терена. При сагледавању терена (Zhilin et al., 2005; Li et al., 2005) могу се издвојити одређене класе: до 2° нагиба земљиште је углавном равничарско; $2-6^\circ$ нагиба земљиште је брдовито; $6-25^\circ$ нагиба земљиште је планинско и преко 25° нагиба земљиште је јако стрмовито. На основу тога могуће је добити одговоре на следећа питања:

- Да ли је анализирани терен сложен и у којој варијанти;
- Које су основна подручја речних сливова и њихов значај (вододелнице, превоји, правац протезања водосливница, корита и речни токови, сужења долина);
- Које су основне геоморфолошке целине (котлине) и њихов значај;
- Који су заравњени делови и њихов утицај, итд.

Анализа површине сливова на подручју Власинског језера и околине, нам показује да се у зависности од просторне резолуције ДМВ јављају разлике у површини истих (Табела 17). На пример, добијене површине са ДМВ25 и ДМВ100 релативно се мало разликују, и то првенствено због детаљности и резолуције ГРИД-а. Међутим, површине сливова добијених на основу *SopDEM30*, разликују се нешто више у односу на ДМВ добијених из ЦГТБП25.

Табела 17. Површине сливова на основу ДМВ за подручје Власинског језера и околине

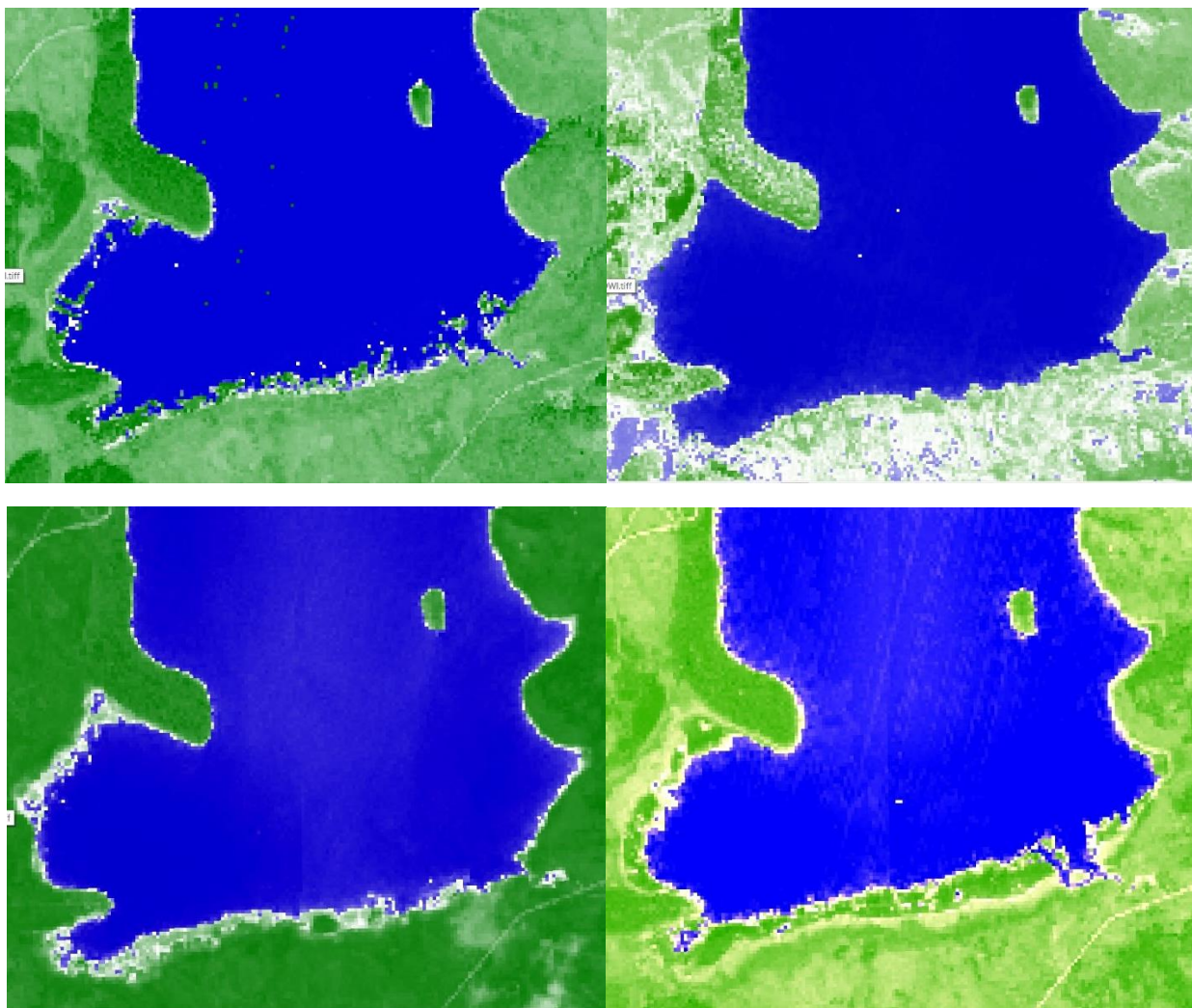
Слив	ДМВ 25 m	<i>CopDEM30</i>	ДМВ 100 m
Слив Божичке реке	163,477 km ²	166,151 km ²	162,751 km ²
Слив Власине	79,952 km ²	79,325 km ²	79,902 km ²
Слив Врле	57,570 km ²	57,357 km ²	57,367 km ²
Слив Јерме	48,724 km ²	48,885 km ²	48,696 km ²

На основу анализе добијених резултата сливова и уочених разлика површина, може се сматрати да су ДМВ генерисани из ЦГТБП25 квалитетнији из разлога прецизнијег описивања терена и геоморфолошких облика. Разлике добијених површина, нарочито код слива Божичке реке, резултат су мање усклађености *CopDEM30* са топографском стварношћу на датом подручју.

7.3. Анализа резултата добијених даљинском детекцијом

Методама даљинске детекције анализирани су *Sentinel* сателитски снимци са платформе *Copernicus*, за подручје Власинског језера и околине. Циљ је детектовање водних тела, одређивање њиховог облика и положаја као и праћење обалних линија. Просторна резолуција сателитских снимака *Sentinel* у зависности од спектралног бенда варира између 10 и 30 m. Имајући у виду просторну резолуцију расположивих снимака, одређивање положаја и утврђивање облика речних токова није била изводљива. Речни токови су ширине углавном испод 5 m и већим делом теку кроз шумовите пределе. За њихово детектовање потребни су сателитски снимци просторне резолуције испод 2 m. Детектована је и одређена обална линија Власинског и Лисинског језера. Власинско језеро представља значајно извориште површинских вода. Његово детектовање је посебно интересантно за даље истраживање и анализу са аспекта праћења стања нивоа воде. За анализу су коришћени сателитски снимци нивоа L2A.

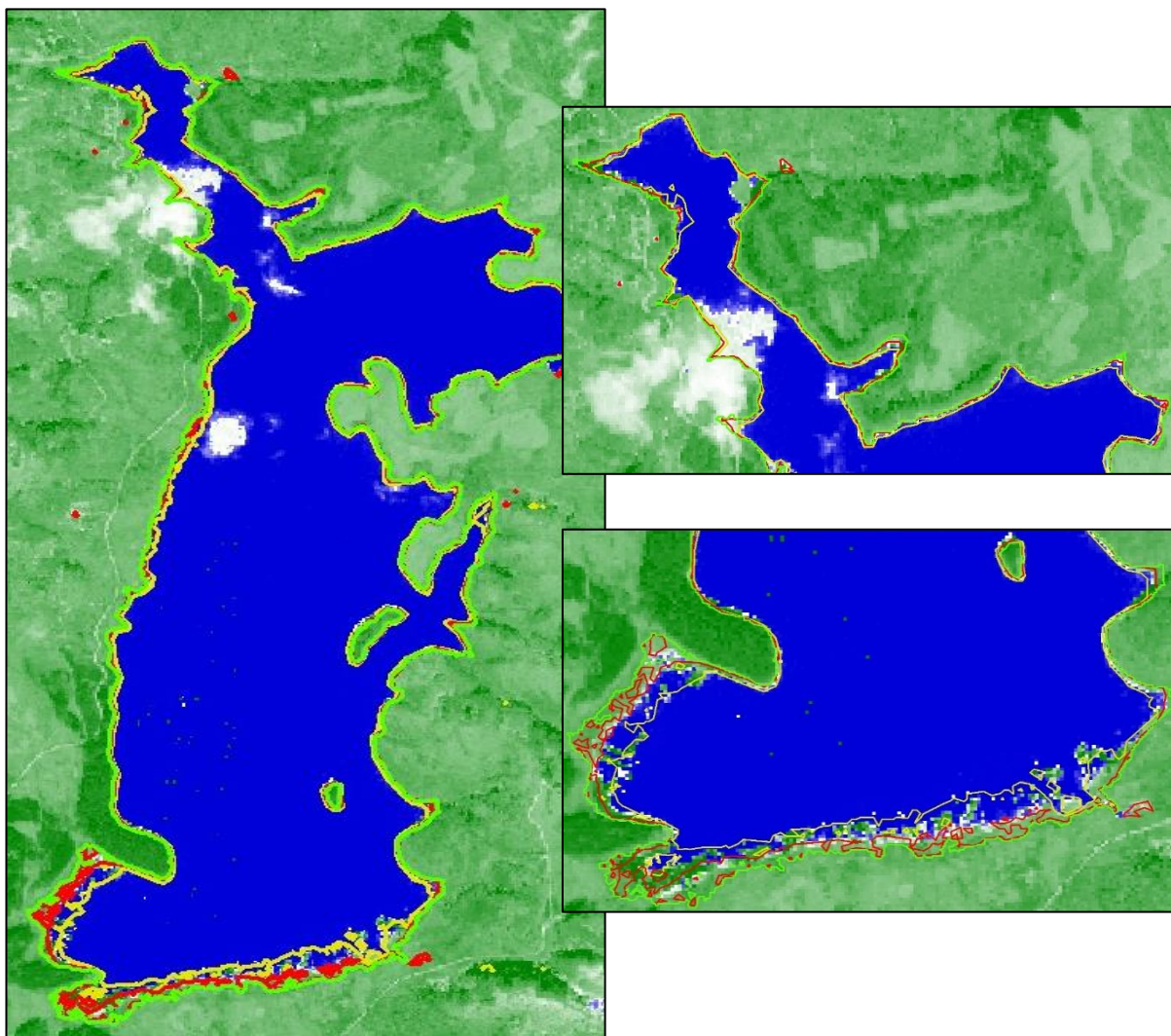
Коришћени NDWI индекс је служио на издвајање водног тела и одређивање обалне линије Власинског језера. Уз помоћ овог индекса, праћено је хоризонтално померање исте. Померање обалне линије је израженије у јужном делу. Наиме, обална линија Власинског језера, због релативно мале висинске разлике између приобалног дела и језера, има честу „динамику” хоризонталног простирања и положаја. Стога, приобално земљиште је под сталним влажењем и временом се претворило у мочварно тло (Слика 97).



Слика 97. NDWI индекс - део Власинског језера

Применом ГИС технологије, односно, даљинске детекције и методама класификације водних тела на основу сателитских снимака, утврђена је обална линија Власинског језера. Она је одређена у датом временском тренутку. Међутим, утврђивање и њено праћење треба спроводити периодично. Разлог су, пре свега, како сезонска колебања услед метеоролошких услова тако и услед коришћења воде за потребе хидроцентрала из система Врла.

На слици 98, приказан је резултат индекса NDWI са сателитског снимка *Sentinel-2* од 1.1.2021. године. Притом зелена линија представља обалну линију језера добијену из NDWI индекса са сателитског снимка од 11.4.2021. године. Црвена линија представља обалну линију језера добијену из NDWI индекса са сателитског снимка од 17.7.2021. године. Жута линија представља обалну линију језера добијену из NDWI индекса са сателитског снимка од 05.10.2021. године. Обрађивани снимци су због упоредивости бирани по два основна критеријума. Први је покривеност снимка облацима, која у овом случају не прелази 3%. Други критеријум је избор сателитских снимака за сва четири годишња доба.



Слика 98. Сезонско колебање обалне линије на Власинском језеру

Савремене ГИС технологије се намећу као неизоставан избор у функцији управљања извориштима површинских вода. Међутим, треба још једном нагласити да су у овом раду коришћени бесплатно доступни сателитски снимци и да њихова просторна резолуција ограничава прецизнија истраживања. Сателитски снимци просторне резолуције испод 1 m, пружају много веће могућности и перформансе за детекцију мањих речних токова и изворишта површинских вода. Такође, треба имати у виду да мултиспектралне анализе пружају детаљније испитивање и одређивање параметара квалитета воде, али за то су потребни сложенији алгоритми уз неопходна теренска мерења и узорковања (*In situ*), односно накнадне обраде и валидације резултата поређења.

8. ЗАКЉУЧАК

Адекватно управљање и заштита водних ресурса је од виталног значаја за развој једног друштва, заштиту здравља људи и очување животне средине у целини. Проблеми у управљању и заштити вода у нашој земљи, а поготову инциденти (поплаве) које се догађају периодично, указују да је процес управљања водним ресурсима, а посебно превенција и заштита изворишта површинских вода кључна и као таква мора бити схваћена озбиљније.

За решавање рањивости наведених проблема постоје бројне методе и технологије. Анализом постојећег стања код нас, дошло се до закључка о потреби интегралног управљања водним ресурсима (извориштима површинских вода), на читавој територији Републике Србије. Интегрално управљање водама између осталог, подразумева укључивање разноврсних база геоподатака у водни информациони систем, односно међусобну хармонизацију и интеграцију географских информација.

Анализом искустава развијених земаља у региону, за заштиту водних ресурса наглашава се примена ГИС технологије као и повећано учешће јавности. На нивоу ЕУ дефинисана је WFD и INSPIRE директива. Овиме сектор управљања водама као и саме процедуре за прикупљање и обраду просторних података од интереса, по принципу интероперабилности и координације законодавних, техничких, институционалних и административних активности долазе у склад. Закључак је да се интегрално управљање у сектору вода постиже првенствено имплементацијом наведених директива, ISO стандарда о географским информацијама и већом јавном доступношћу података.

Према томе, обе директиве су добра смерница за учешће и бољу примену ГИС технологије за заштиту вода у Републици Србији. Сам приступ и концепт унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода код нас, сагледан је кроз три аспекта који се међусобно коинцидирају. То су трендови информационих технологија за прикупљање и обраду великих скупова података (*big data*), методе дигиталног моделовања терена и принципи напредних хиролошких и геоморфолошких анализа.

Трендови информационих технологија и њихова примена у овом раду имају посебну тежину. Наиме, основна идеја предложеног концепта подразумева ГИС/3Д решења у функцији унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода. Генерално, решења су операционализована кроз две кључне фазе у раду (теоријска и практична фаза). Основни циљ прве фазе је теоријско сагледавање и концептуално структурирање решења проблема. Док се у другој фази практично реализују и проверавају идејна решења, односно верификују резултати истраживања.

Методологија рада у оквиру прве фазе истраживања, подразумева описивање садржаја основног скупа и организацију података о простору. Такође, описана је математичка основа и референтни координатни систем, структура и садржај положајне и висинске представе терена. С аспекта овог рада посебно је наглашен значај генерисања ДМВ и његова примена у хидрографско - хидролошким анализама. У контексту овога, неизбежно се намеће доступност и моделовање података о извориштима површинских вода. То се пре свега односи на коришћење ГИС технологије у циљу извођења бржих, прецизнијих и комплекснијих анализа за широки спектар потреба.

Основни циљ у практичном делу је био израда ДМВ и упоредна анализа квалитета, базирајући се на локални територијални оквир, односно на Власинско језеро и део слива реке Љиг. Целокупан процес је сагледан из опште перспективе због технолошких немогућности да се сагледају поступци на глобалном нивоу. Са друге стране, целокупан

процес израде ДМВ на основу ласерских података на националном нивоу још увек траје, па у тренутку истраживања и писања рада не постоји за Власинско језеро и околину. Из тог разлога у практичном делу рада за подручје Власинско језеро и околину коришћени су основни извори података *Copernicus* и ЦГТБП25 издање ВГИ. Друго подручје се односи на део слива реке Љиг у региону западне Србије, а основни извори података за ово подручје су *CopDEM30* и подаци добијени LiDAR снимањем.

У циљу постизања моделовања висинске представе терена високог квалитета и у сагласности са концептом управљања извориштима површинских вода, потребна је не само примена нових технологија и процесирање података, већ инкорпорација пратећих стандарда географских информација, нових сазнања и стечених искустава у раду. За изабрана географска подручја генерисани су ДМВ у различитим структурама (ТИН, ГРИД, хибридна структура) и различитим резолуцијама, због потреба анализе и верификације оптималних решења. Анализа погодности различитих ДМВ који су препознати као потенцијалне могућности за напредне и изазовне геоморфолошке и хидрографско - хидролошке анализе, такође захтева дефинисање релевантног спектра критеријума. С тим у вези, дефинисање и генерисање ДМВ на основу LiDAR снимања, представља један од циљева унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода, док су ДМВ из ЦГТБП25 и *CopDEM30* коришћени за упоредну анализу и верификацију.

У процесу анализе квалитета и валидације, идентификовани су параметри који имају значајну улогу у процесу избора података и генерисање ДМВ, а на основу расположивих сазнања у овом тренутку, релевантне националне законске регулативе, директива Европске уније и референце из области истраживања. При том један од начина коришћења ДМВ подразумева геоморфолошку анализу, односно добијање информација о конфигурацији терена и рељефу, као што је то било и до сада, али прецизније и садржајније. Треба напоменути да избор резолуције треба да буде у корелацији са сложености терена и карактеристикама хидрографије, јер коришћење ДМВ високе резолуције за велика подручја, са практичне и визуелно - графичке стране није увек оправдано. Напредни, али модернији начин геопросторне анализе заснива се на ГИС технологији, где се првенствено обављају геоморфолошке, хидрографске - хидролошке анализе и на крају се могу добијати информације у облику картирања изворишта површинских вода „који су или веома слични традиционалним картографским приказима, или представљају њихову супституцију”.

Овај рад по свом садржају и структури, односно уочавању и дефинисању слабих страна досадашњег начина приказа и употребе висинске представе терена и пројектовање потпуно нових решења на том пољу, представља посебан допринос у географско - хидрографским истраживањима. Добијени резултати као и понуђена решења за хидрографско - хидролошку анализу последица су истраживачког рада обављеног уз примену научних метода, пре свега анализе и синтезе како у теоријском тако и у практичном приступу. Како је први пут код нас истражен и примењен ДМВ у функцији унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода у ГИС окружењу, у закључку се износе основне одлике предложеног концепта и резултати истраживања:

- Утврђена је погодност и квалитет (прецизност) података добијених LiDAR снимањем, у односу на остале расположиве изворе података;
- Конципиран је ДМВ, који, с једне стране, одговара стварној висинској представи терена, а са друге, задовољава услове савременог начина коришћења информација о управљању извориштима површинских вода (ГИС технологија);
- Организација података је флексибилна и даје основу за глобално решавање проблема управљања и заштите изворишта површинских вода (структура података, координатни систем, картографска пројекција, контрола квалитета);

- „Промовише холистички концепт интегралног управљања водним ресурсима и животне средине”, односно висинску представу терена и ГИС технологију као основу за мониторинг, анализу и планирање активности са геоморфолошког и хидролошког становишта;
- Хидрографско - хидролошка анализа и употреба података умногоме је квалитетнија (прецизност података, детаљност информација, разноврсност употребе, рационалност чувања и ажурирања података);
- Предложени концепт и методе могу бити од веће користи за развој хидролошких и еколошки одрживих ланаца управљања водама у различитим географским подручјима, као и за унапређење политике заштите изворишта површинских вода;
- Развијени методолошки оквир може наћи своју примену у компанијама које имплементирају принципе хидрографске симбиозе у развој ГИС система и еколошки одрживих ланаца снабдевања водом, а нарочито у малим и средњим регионима;
- Истраживачки оквир представљен у дисертацији може послужити као полазна основа за даља истраживања и развој могућности за управљање и заштиту изворишта површинских вода, пре свега, од стране учесника у систему водопривреде.

Апсолутна контрола и заштита водних ресурса не постоји, али је потребно предузимати мере и поступке како би се развијала концепција интегралног управљања и заштите. Уз бројне мере као што су уређење изворишта и речних токова, акумулација воде, доградња и реконструкција објеката за одбрану од поплаве, ту су и израде ДМВ. Гледано на овај начин, процена и управљање водним ресурсима се унапређује. Примена ГИС-а је посебно вредан пажње у овом раду. Наиме, у ГИС окружењу су коришћени бројни системи и технологије дигиталног моделовања терена за анализу смера отицања и акумулисања вода, дренажних басена и речних сливова, хидрографске мреже и канала, речних корита итд. Пет пододељака који следе илуструју неке од начина на које је ГИС коришћен у функцији унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода.

Прво и најважније, ГИС пружа могућности за ефикасан развој и примену ДМВ код управљања и заштите изворишта површинских вода. Ови модели узимају у обзир и предвиђају вредности проучаваних феномена у било којој тачки унутар слива водотока. Ово је веома важно са становишта управљања и заштите изворишта површинских вода, јер омогућава корисницима, на пример, да идентификују локацију изворишта вода и могућих извора загађења.

Друго, ГИС омогућава корисницима да ефикасније анализирају прикупљене податке о водама и укључују нивое геоморфолошких ефеката поделом читавих сливова водотокова на мање под - сливове. На овај начин, користе се дискретни приступи широм слива водотока како би се избегло померање локације и/или повећање величине проблема анализе низводно.

Треће, ГИС ефикасно подржава ДМВ код процене геоморфолошких параметара терена. У зависности од раположивих извора података и области истраживања (притока, водоток, слив, басен, регион) могу се користити и векторски и растерски системи. Концепти ДМВ у хибридној структури података, показали су веће могућности просторне анализе и визуализације речних корита. Они се могу користити за побољшање процене/одређивања хидролошких параметара, планирања пасивних и активних система у одбрани од поплава итд..

Четврто, ГИС трансформише прикупљене податке о простору у моделе погодне за хидрографско - хидролошку анализу и симулацију. Показало се нпр., како се ДМВ може

користити за одређивање отицања воде и места акумулисања исте. Резултати откривања повремених и сталних токова указују нпр. на доступност воде на терену.

Пето, ГИС омогућава интеграцију великих скупова података о геопростору са општим циљем да се прати стање у области вода и побољшају хидрографско - хидролошке анализе, чиме би се унапредиле и политике/планови управљања водним ресурсима.

У Републици Србији употреба ДМВ за управљање и заштиту вода и околине није довољно коришћена. Примену ДМВ и ГИС технологију треба озбиљније узети у обзир, уврстити их под обавезан систем за моделовање и анализу хидрографских података. На тај начин би се верније пратиле промене везане за изворишта површинских вода те опасности од потенцијалног загађивања и девастације.

Управо у томе се и огледа један од доприноса овог истраживања, који омогућава дубље и детаљније сагледавање феномена управљања и заштите изворишта површинских вода. Предложени концепт и примена ГИС-а кроз 3Д решења пружа добру основу за управљање водама у различитим географским подручјима. Уз помоћ предложеног концепта, могуће је направити детаљну анализу радних процеса и поступака, и на основу тога предложити мере побољшања које треба предузети како би се повећао учинак у водопривредним системима.

Као коначан закључак може се констатовати да је у потпуности потврђена полазна хипотеза да се применом ГИС-а могу унапредити одређене активности и успоставити свеобухватнији систем одрживог управљања и заштите изворишта површинских вода. Могућности ГИС-а применом ДМВ високе резолуције се мултиплицирају и постају ефикасна решења не само надлежним државним органима, већ и широком кругу корисника.

Литература

- Annoni, A., Luzet, C., Gubler, E., Ihde, J. (2003): Map projection for Europe, Institute for Environment and Sustainability, European Commission.
- Aoyama, T. (2016): Extraction of marine debris in the Sea of Japan using high-spatial resolution satellite images, SPIE Remote Sensing of the Oceans and Inland Waters: Techniques, Applications, and Challenges. SPIE.
- Asal, F. F. (2016): Evaluating the effects of reduction in LiDAR data on the visual and statistical characteristics of the created Digital Elevation Models., Proceedings of the 2016 XXIII ISPRS Congress, Prague: ISPRS.
- Avdan, Z. Y., Kaplan, G., Goncu, S., Avdan, U. (2019): Monitoring the Water Quality of Small Water Bodies Using High-Resolution Remote Sensing Data, ISPRS Int. J. Geo-Inf., 8(12), doi:10.3390/ijgi8120553
- Banković, R., Tatomirović, S., Radojčić, S. (2014): Koncept razvoja geoportala Vojnogeografskog instituta, Sinteza 2014 - Impact of the Internet on Business Activities in Serbia and Worldwide, doi:10.15308/sinteza-2014-801-804.
- Barron, C., Neis, P., Zipf, A. (2014): Comprehensive Framework for Intrinsic OpenStreetMap Quality Analysis, Transactions in GIS, 877-895.
- Baumann, K., Döllner, J., Hinrichs, K., Kersting, O. (2000): A Hybrid, Hierarchical Data Structure for Real-Time Terrain Visualization, Münster, Germany.
- Behnamian, A, Banks, S.N., White, L., Brisco, B. (2017): Semi-Automated Surface Water Detection with Synthetic Aperture Radar Data: A Wetland Case Study, Remote Sensing.
- Bill, R., Fritsch, D. (1991): Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Wichmann, Karlsruhe.
- Biljecki, Z. (2007): Concept and Implementation of Croatian Topographic Information System, Institute for Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Mathematics and Geoinformation of the University of Technology, Vienna.
- Blaschke, T. (2010): Object based image analysis for remote sensing, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 65, Issue 1, 2-16, doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004.
- Blaschke, T., Lang, S., Lorup, E.J., Strobl, J., Zeil, P. (2000): Object-Oriented Image Processing in an Integrated GIS/Remote Sensing Environment and Perspectives for Environmental Applications, Environ. Inf. Plan. Politics Public, 555-570.
- Bodoque, J. M., Guardiola-Albert, C., Aroca-Jimenez, E., Eguibar, M., Martinez-Chenollet, M. L. al. (2016): Flood Damage Analysis: First Floor Elevation Uncertainty Resulting from LiDAR-Derived Digital Surface Models, Remote Sensing.
- Borisov, M. (2006): Razvoj GIS, Monografija, Zadužbina Andrejević, Beograd.

- Борисов, М. (2011): Методологија и технологија моделовања и структурирања података о простору, Геодетска служба, 114, 40 - 47, УДК: [004.652 : 007.5] : [711.1 : 528.93].
- BorISOV, M., Petrović, V. (2013): Kartografija, knjiga, Evropski univerzitet, Brčko.
- Борисов, М., Секуловић, Д., Банковић, Р. (2005): Дигитални модели терена и њихова примена у војсци, Научни скуп одбрамбене технологије у функцији мира, 684-688, Београд.
- Brivio, P. A, Colombo, R., Maggi, M., Tomasoni, R. (2002): Integration of remote sensing data and GIS for accurate mapping of flooded areas, International journal of remote sensing, 429-44.
- Chakrapani, G. J. (2005): Factors controlling variations in river sediment loads, Current Science, 569- 575.
- Chen, J., Li, C., Li, Z., Gold, C. (2001): A Voronoi-based 9-intersection model for spatial relations, International Journal of Geographical Information Science, 201-220.
- Chul, K., Kim, H., Namet, J. (2015): Classification of Potential Water Bodies Using Landsat 8 OLI and a Combination of Two Boosted Random Forest Classifiers, Sensor.
- Цвијетиновић, Ж. (2005): Развој методологије и технолошких поступака за формирање дигиталног модела терена за територију државе, докторска дисертација, Грађевински факултет Универзитета у Београду.
- Ćirić, M., Nikolić, N., Krizmanić J., Gavrilović, B., Pantelić, A., Petrović, M V. (2018): Diatom diversity and ecological status of the Lasovačka and Lenovačka streams near Zaječar: consideration of WFD implementation in Serbia, Archives of Biological Sciences.
- Danson, E. (2006): Understanding lidar bathymetry for shallow waters and coastal mapping, FIG XXIII International Congress, Munich.
- Dare, P. M. (2005): Shadow Analysis in High-Resolution Satellite Imagery of Urban Areas, Photogrammetry Engineering Remote Sensing, 169-177.
- Ding, X. Y. (2005): The Application of eCognition in Land Use Projects, Geomat. Spat. Inf. Technol, 116-120.
- Dogan, H. M., Polat, F., Buhan, E., Kiliç, O.M., Yilmaz, D., Buhan, S.D. (2016): Modeling and Mapping Temperature, Secchi Depth, and Chlorophyll-a Distributions of Zinav Lake by Using GIS and Landsat-7 ETM+ Imagery, J. Agric. Fac. Gaziosmanpasa Univ., 33, 55-60.
- Dokmanović, P., Jemcov, I., Milanović, S., Hajdin, B. (2003): Hydrogeological risk factors of dam and reservoir construction-case example Bogovina, Materials and geoenvironment, 50/1, 105-108.
- Dokmanović, P., Nikić, Z., (2015): Analiza (ne)održivosti aktuelne strategije vodosnabdevanja u Srbiji, Tehnika – rudarstvo, geologija i metalurgija.

- Dokmanović, P., Petrović, D. (2010): Aktuelni parametri za ocenu održivosti akumulacije „Rovni“, Zbornik radova 39. Konferencije o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda „Voda 2010“, 53-58, Srpsko društvo za zaštitu voda.
- Dokmanović, P., Stevanović, Z. (2009): Značaj resursa podzemnih voda za prostorno planiranje u Srbiji, Zbornik radova 38. Konferencije o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda „Voda 2009“, 35-40, Srpsko društvo za zaštitu voda, Zlatibor.
- Donchyts, G, Schellekens, J., Winsemius, H., Eisemann, E., Van de Giesen, N. (2016): A 30 m Resolution Surface Water Mask Including Estimation of Positional and Thematic Differences Using Landsat 8, SRTM and OpenStreetMap: A Case Study in the Murray-Darling Basin Australia, Remote Sensing.
- Дробњак, С. (2016): Оцена квалитета дигиталних топографских карата, докторска дисертација, Грађевински факултет, Универзитет у Београду.
- Дукић, Д., Гавриловић, Љ., (1989): Водни ресурси СР Србије – њихово иско-ришћавање и заштита, Гласник СГД, св. LXIX, бр.1, Београд.
- Duro, D. C., Franklin, S.E., Dube, M.G. (2012): A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery, Remote Sensing of Environment, 259-272.
- Đereg, N., Marković, P. (2016): Mogućnosti Srbije za dostizanje standarda EU u oblasti upravljanja vodama, Beograd: Evropski pokret u Srbiji.
- Eckel, M., Albuquerque, J., Herfort, B., Zipf, A., Leiner, R., Wolff, R., Jacobs, C. (2016): Leveraging OpenStreetMap to support flood risk management in municipalities: A prototype decision support system, ISCRAM 2016 Conference. Rio de Janeiro.
- Egenhofer, M. J., Herring, J. (1991): Categorizing binary topological relationships between regions, lines, and points in geographic databases, Technical Report. Maine: University of Maine.
- Feliks, R., (1974): Zaštita čovekove sredine u materijalno pravnim aktima SFRJ, APND, бр. 2, Beograd.
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., Proud, S.R. (2014): Automated Water Extraction Index: A New Technique for Surface Water Mapping Using Landsat Imagery, Remote Sensing of Environment, 23-35.
- Finlayson, P. D., Montgomery, R. D. (2003): Modeling Large-Scale Fluvial Erosion in Geographic Information Systems, Geomorphology 53(1), 147-164, DOI: 10.1016/S0169-555X(02)00351-3.
- Frančula, N. (2000): Digitalna kartografija, Geodetski fakultet, Zagreb.
- Gao, B. (1996): NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, Remote Sensing of Environment. doi:10.1016/S0034-4257(96)00067-3.

- Гавриловић, Љ., Михајловић, Б., Макаров, С., Милинчић, М. (2011): Изворишта површинских вода у пограничном простору Србије према Македонији - заштита и валоризација у функцији водоснабдевања, Зборник радова, бр. 59, стр. 77-108. Географски факултет, Београд.
- Girres, J. F., Touya, T. (2010): Elements of quality assessment of French OpenStreetMap data, *Transactions in GIS*.
- Gray, P. C., Fleishman, A.B., Klein, D.J. McKown, M.W., Bezy, V.S., Lohmann, K.J., Johnston, D.W. (2018): A Convolutional Neural Network for Detecting Sea Turtles in Drone Imagery, *Methods in Ecology and Evolution*.
- Grilj, T., Cunder, M., Kogovšek, P., Kregar, M., Štravs, L. (2015): eVode, Atlas voda in LiDAR - Novi javno dostopni in brezplačni sistemi za dostop do podatkov s področja upravljanja z vodami, *Urbani izziv, posebna izdaja, številka 5*.
- Grilj, T., Ribnikar, M., Vaupotč, J. (2017): Vzpostavitev vodnega katastra v Sloveniji 15 let po uveljavitvi zakona o vodah, *Aktualni projekti s področja upravljanja z vodami in urejanje voda*, 28. Mišičev Vodarski Dan.
- Groot, R., McLaughlin, J. (2000): *Geospatial data infrastructure. Concepts, cases and good practice*, Oxford University press, Oxford.
- Guenther, G. C., Cunningham, A.G., LaRocque, P.E., Reid, D.J. (2000): Meeting the accuracy challenge in airborne lidar bathymetry, *EARSeL SIG-Workshop LIDAR*, Dresden.
- Ha NT, T., Thao NT, P., Koike, K., Nhuan, M.T. (2017): Selecting the Best Band Ratio to Estimate Chlorophyll-a Concentration in a Tropical Freshwater Lake Using Sentinel 2A Images from a Case Study of Lake Ba Be (Northern Vietnam), *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 6, doi:10.3390/ijgi6090290.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. (2016): Deep Residual Learning for Image Recognition, *IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
- Hofle, B., Vetter, M., Pfeifer, N., Mandlburger, G., Stötter, J. (2009): Water surface mapping from airborne laser scanning using signal intensity and elevation data, *Earth Surf. Process. Landforms*, 1635-1649.
- Hossain, M.A., Chan, C. (2015): Open data adoption in Australian government agencies: an exploratory study, *Australasian Conference on Information Systems*. Adelaide.
- Howard, G., Jamie, B. (2003): *Domestic water quantity, service level and health*, World Health Organization.
- Huang, S., Jinggang, L., Mei, X. (2012): Water Surface Variations Monitoring and Flood Hazard Analysis in Dongting Lake Area Using Long-Term Terra/MODIS Data Time Series, *Natural Hazards*, 93-100.
- Hunker, H. L., Erich W. (1964): *Zimmermann's Introduction to World Resources*, Harper & Row, New York.

- Hwang, K., M. Chen. (2017): *Big-Data Analytics for Cloud, IoT and Cognitive Learning*, Chichester, UK: John Willey and Sons.
- Isikdogan, F., Bovik J. C., Passalacqua P. (2017): *Surface Water Mapping by Deep Learning*, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing.
- Jakovljević, G. (2020): *Multidimensional model of use remote sensing data and geospatial services in water management according to INSPIRE and WFD specification*, Ph.D. THESIS, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad.
- Jakovljević, G., Govedarica, M. (2019): *Water Body Extraction and Flood Risk Assessment Using Lidar and Open Data, Climate Change Adaptation in Eastern Europe*. Springer, Cham, 93-111.
- Jakovljević, G., Govedarica M., Alvarez Taboada F. (2019): *Remote Sensing Data in Mapping Plastic at Surface Water Bodies*, FIG Working Week 2019 Geospatial Information for A Smarter Life and Environmental Resilience, Hanoi: FIG.
- Jemcov, I., Dokmanović, P. (2007): *Krstne izdani u neposrednom slivu V. Morave i mogućnosti vodosnabdevanja*, *Voda i sanitarna tehnika*, 6/2007., 51-60, Udruženje za tehnologiju voda i sanitarni inženjering, Beograd.
- Jensen, J. R. (2007): *Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective*, Prentice Hall, ISBN 0-13-188950-8.
- Jovanović, V. (1983): *Matematička kartografija*, Knjiga, Vojnogeografski institut, Beograd.
- Kaplan, G., Avdan, U. (2017a): *Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery*. *Eur. J. Remote Sens.*, 50, 137–143.
- Kaplan, G., Avdan, U. (2017b): *Water extraction technique in mountainous areas from satellite images*. *J. Appl. Remote Sens.*, 11, 046002.
- Kemp, K. (2008): *Encyclopedia of Geographic Information Science*, SAGE Publications, Inc. doi: 10.4135/9781412953962.
- Kooi, M., Reisser, J., Slat, B., Ferrari, F.F., Schmid, M.S., Cunsolo, S., Brambini, R., Noble, K., Sirks, L.A., Linders, T.E.W., Schoeneich-Argent, R.I., Koelmans, A.A. (2016): *The effect of particle properties on the depth profile of buoyant plastics in the ocean*, *Scientific Reports* 6 (33882), 1-10, DOI: [10.1038/srep33882](https://doi.org/10.1038/srep33882).
- Komatina, M., Nikić, Z. (2009): *Podzemne vode zapadnosrbijanskog karsta i mogućnosti dopunskog vodosnabdevanja opština u uzvodnom delu sliva reke Zapadne Morave*, Saopštenje za javnu raspravu o studiji uticaja na životnu sredinu brane i akumulacije Svračkovo na Rzavu, Arilje.
- Копаран, С., Кос, А., Privette, C., Sawyer, C. (2018): *In situ water quality measurements using an unmanned aerial vehicle (UAV) system.*, *Water*, 10, doi:10.3390/w10030264.
- Ковачевић - Мајкић, Ј., Радовановић, М. (2006): *Хидролошке одлике општине Љиг*, Зборник радова, Географски институт „Јован Цвијић” САНУ, Београд.

- Kuhn, W. (2005): Introduction to spatial data infrastructures, Presentation held on March 14 2005. Available from <http://www.docstoc.com/docs/2697206/>.
- Кукрика, М. (2000): Географски информациони системи, Књига, Географски факултет, Београд.
- Laney, D. (2001): 3D Data Manafement: Controlling Data Volume, Valocity and Variety, Stamford: Meta Group Inc.
- Leščešen, I., Pantelić, M., Dolinaj, D. (2019): Morphological Characteristics of Lake Vlasina (South-East Serbia), *Water Research and Management*, Vol. 9, No. 3-4, 37-41.
- Li, Z., Zhu, Q., Gold, C. (2005): *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*, New York: CRC Press.
- Liao, H-Y., Wen, T-H. (2020): Extracting urban water bodies from high-resolution radar images: Measuring the urban surface morphology to control for radar's double-bounce effect, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*.
- Liu, J, Zhang, Y., Yuan, D., Song, X. (2015): Empirical Estimation of Total Nitrogen and Total Phosphorus Concentration of Urban Water Bodies in China Using High Resolution IKONOS Multispectral Imagery, *Water* (2015): 6551-6573.
- Mandanici, E., Bitelli, G. (2016): Preliminary Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 Imagery for a Combined Use, *Remote Sensing*.
- Marz, N., Warren, J. (2014): *Big data - Principles and best practices of scalable realtime data systems*, Manning.
- McFeeters, S. (1996): The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *Int. J. Remote Sens*, 17, 1425–1432.
- McFeeters, S. (2013): Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach, *Remote Sensing*, 5 (7), 3544–3561.
- Милановић, М., Љешевић, М. (2009): Теледетекционе методе истраживања животне средине, Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд.
- Милинчић, А. М. (2009): Изворишта површинских вода Србије - еколошка ограничења и ревитализација насеља, Географски факултет, Београд.
- Милинчић, М., Михајловић, Б., Шабић, Д., Ђурчић, Н. (2012): Погранични планински простор источне Србије у функцији изворишта површинских вода, *J. Geogr. Inst. Svijic* 62, 11-29, doi: 10.2298/IJGI1201011M.
- Milinić, M., Đorđević, T. (2011): Management of Spring Zones of Surface Water: The Prevention of Ecological Risks on the Example of Serbia and South Eastern Europe, *Understanding and Managing Threats to the Environment in South Eastern Europe*, NAPSC, vol. 2, 225-249.

- Milinčić, M., Vujadinović, S., Ćurčić, N., Šabić, D. (2013): Effects of geocological factors on vegetation of the Gruža basin, Arch. of Bio. Sci., 65, 121-131, doi: 10.2298/ABS1301121M.
- Milinčić, M., Souliotis, L., Mihajlović, Lj., Požar, T. (2014) : Geografija i nauka o životnoj sredini, Zbornik radova - Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu, 62, 1-14, doi: 10.5937/zrgfub1462001M.
- Miller, C. L., LaFlamme, R.A. (1958): The Digital Terrain Model - Theory & Application, Society's 24th Annual Meeting, Washington D. C., USA.
- Minchew, B, Jones, C.E., Holt, B. (2012): Polarimetric Analysis of Backscatter From the Deepwater Horizon Oil Spill Using L-Band Synthetic Aperture Radar, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.
- Mooney, P., Corcoran, P., Winstanley, A.C. (2010): Towards Quality Metrics for OpenStreetMap, In Proceedings of the 18th SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information, New York.
- Nikić, Z., Vasiljević, M. (2002): Prilog prognozi kvaliteta vode u akumulaciji „Rovni” sa aspekta sadržaja fosfora u reci Jablanici, Zbornik radova: Zaštita voda 2002, Vrnjačka Banja, 415-420.
- Николић, Д., (1991): Кривични законик Кнежевине Србије из 1860, Градина, Ниш.
- Nyimili, P., Hande, D., Dursun, S., Turan, E. (2016): Structure from Motion (SfM) - Approaches and Applications, in Structure from Motion (SfM) - Approaches and Applications, Antalya.
- Ogashawara, I., Moreno-Madriñán, M. (2014): Improving inland water quality monitoring through remote sensing techniques. ISPRS Int. J. Geo-Inf., 3, 1234–1255.
- Oštir, K., Mulahusić, A. (2014): Daljinska istraživanja, udžbenik, Gradjevinski fakultet, Sarajevo.
- Pavelsky, T. M., Smith, L.C. (2008): RivWidth: A Software Tool for the Calculation of River Width From Remote Sensed Imagery, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters.
- Павловић, А. (2014): Продукција дигиталне топографске карте размера 1:25000 у окружењу централне геотопографске базе података, мастер рад, Географски факултет, Универзитета у Београду.
- Павковић, П. (2016): Систематизација мултисциплинарног модела геопростора у војне сврхе, докторска дисертација, Универзитет одбране, Војна академија, Београд.
- Peterca, M., Radošević, N., Milisavljević, S., Racetin, F. (1974): Kartografija, Vojnogeografski institut, Beograd.
- Petrović, V., Zlatanović, D., Borisov, M., Đurđevac Ignjatović, L. (2016): Concepts of 3D terrain modeling and geomorphometric analysis in mininig, Mining and Metallurgy Engineering Bor.

- Politi, E., Prairie, Y.T. (2018): The potential of Earth Observation in modelling nutrient loading and water quality in lakes of southern Québec, Canada., *Aquat. Sci.*, 80, doi:10.1007/s00027-017-0559-7.
- Rashidi, P. Rastiveis, H. (2018): Extraction of ground points from LiDAR data based on slope and progressive window thresholding, *Earth Observation and Geomatics Engineering* 2(1), 36-44.
- Rokni, K., Ahmad, A., Solaimani, K., Hazini, S. (2015): A New Approach for Surface Water Change Detection: Integration of Pixel Level Image Fusion and Image Classification Techniques, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 226-234.
- Santoro, M., Wegmüller, U., Lamarche, C., Bontemps, S., Defourny, P., Arino, O. (2015): Strengths and Weaknesses of Multi-Year Envisat ASAR Backscatter Measurements to Map Permanent Open Water Bodies at Global Scale, *Remote Sensing Environment*, 185-201.
- Sehira, S., Singh, J., Singh, H. (2014): Assessing the Topologic Consistency of Crowdsourced OpenStreetMap Data, *Human Computation*, 267-282.
- Секуловић, Д., Дробњак, С. (2011): Примена савремених технологија у процесу израде геопросторне базе података у резолуцији 1:25.000 (ГБП25), Зборник радова Међународног научно стручног скупа „Архитектура и урбанизам, грађевинарство, геодезија – јуче, данас, сутра”, стр. 755–766, Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевински факултет.
- Секуловић, Д., Татомировић, С., Дробњак, С., Гаљак, Н. (2021): Географски информациони системи о водама Србије, *Гласник HERALD*, Бр. 24, Географско друштво Републике Српске, DOI:10.7251/HER2024155S.
- Servigne, S., Ubeda, T., Puricelli, A., Laurini, R. (2000): A Methodology for Spatial Consistency Improvement of Geographic Databases *GeoInformatica*, 7-34.
- Симић, Р. (2020): Дигитално моделовање терена засновано на савременом фотограметријском премеру, Факултет техничких наука, Нови Сад.
- Stanković, S., Zlatković, S., Šabić, D., Milinčić, M., Vujadinović, S., Knežević-Vukčević, J. (2012): Geographical and biological analysis of the water quality of moravica spring in the sokobanjska moravica drainage basin, Serbia, *Arch. Biol. Sci., Belgrade*, 64, 59-64, doi:10.2298/abs1201059s.
- Stefan, S, Matgenb, P., Hollausa, M., Wagnera, W. (2015): Flood detection from multi-temporal SAR data using harmonic analysis and change detection, *International Journal Appl. Earth Observation Geoinformation*, 15-24.
- Стојковић, С., Ђурђић, С., Анђелковић, Г. (2015): Примена вишекритеријумске анализе и ГИС-а у развоју екотуризма (студија случаја: подунавље, Србија), *Гласник Српског географског друштва, Универзитет у Београду – Географски факултет, Београд*.

- Stumpf, R. P., Holderied, K., Sinclair, M. (2003): Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types, *Limnology and Oceanography*, 547-556.
- Swan, B., Griffin, R. (2019): A LiDAR - optical data fusion approach for identifying and measuring small stream impoundments and dams, *Transactions in GIS*.
- Šiljeg, A., Barada, M., Marić, I. (2018): Digitalno modeliranje reljefa, udžbenik, Sveučilište u Zadru.
- Šotić, A., Veljković, N. (2018): Water quality information system - satellite assisted monitoring, *Voda i Sanitarna Tehnika*, br. 47, str 45-50.
- Tatomirović, S., Sekulović, D., Drobnjak, S. (2020): Integracija Informacionih Sistema o Vodama Srbije, In book: *Analiza stanja i ispravnosti površinskih voda u Srbiji*, Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Univerzitet „Union - Nikola Tesla”, Beograd, str 69-93.
- Tzimas, A., Romas, E., Pechlivanidis, I.G., Pimentel, R., Schenk, K., Boultadakis, G., Giardino, C., Bresciani, M., Cross, K., Jenkins, S., Latorre, C. (2017): Space assisted water quality forecasting platform for optimized decision making in water supply services, 15th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece.
- Verpoorter, C., Kutser, T., Tranvik, L. (2012): Automated Mapping of Water Bodies Using Landsat Multispectral Data, *Limnology and Oceanography: Methods*, 1037–1050.
- Verpoorter, C., Kutser, T., Seekell, D.A., Tranvik, L.J. (2014): A Global Inventory of Lakes Based on High - Resolution Satellite Imagery, *Geophysical Research Letters*, 6392–6402.
- Worrall, L. (1991): *Spatial Analysis and Spatial Policy Using Geographic Information Systems*, Belhaven Press, London.
- Wu, T., Li, J., Li, T., Sivakumar, B., Zhang, G., Wang, G. (2019): High-efficient extraction of drainage networks from digital elevation models constrained by enhanced flow enforcement from known river maps, *Geomorphology*, 184-201.
- Yan, K., Di Baldassarre, G., Solomatine, D.P., Schumann, G.J.P. (2015): A review of low-cost space-borne data for flood modelling: topography, flood extent and water level, *Hydrological Processes*, 3368-3387.
- Yan, W. Y., Shaker, A., LaRocque, P.E. (2019): Scan Line Intensity-Elevation Ratio (SLIER), An Airborne LiDAR Ratio Index for Automatic Water Surface Mapping, *Remote Sensing*.
- Zeiler, M. (2000): *Modeling Our World*, ESRI.
- Zlatković, S., Šabić, D., Milinčić, M., Knežević-Vukčević, J., Stanković, S. (2010): Geographical and biological analysis of the water quality of Bovan Lake, Serbia, *Arch. of Bio.Sci.*, 62, 1083-1089, doi:10.2298/ABS1004083Z.
- Zhilin, L., Qing, Z., Christofer, G. (2005): *Digital Terrain Modeling*, CRC PRESS, USA.

Zhou, X., Koch, T., Kurz, F., Fraundorfer, F., Reinartz, P. (2017): Automatic UAV Image Geo-Registration by Matching UAV Images to Georeferenced Image Data, Remote Sensing, vol. 9, no. 4.

*

Устав Републике Србије („Сл. гласник РС”, бр. 98/2006 и 115/2021).

Закон о водама. (2018): Закон о водама („Сл. гласник РС”, бр. 30/2010, број 93/2012, 101/2016, 95/2018 и 95/2018).

Закон о заштити животне средине („Сл. гласник РС”, бр. 135/04, 36/09 36/2009-115 (др. закон), 72/2009-164 (др. закон), 43/2011-88 (УС), 14/2016-3, 76/2018-3, 95/2018-267 (др. закон)).

Закон о НИГП. (2018): Закон о националној инфраструктури геопросторних података („Сл. гласник РС”, бр. 27/2018).

Правилник о параметрима еколошког и хемијског статуса површинских вода и параметрима хемијског и квантитативног статуса подземних вода („Сл. гласник РС”, бр. 110-00-00191/2011-07).

Правилник о утврђивању водних тела површинских и подземних вода („Сл. гласник РС”, бр. 110-00-299/2010-07).

Правилник о одређивању водних јединица и њихових граница („Сл. гласник РС”, бр. 110-00-100/2017-07).

Правилник о референтним условима за типове површинских вода („Сл. гласник РС”, бр. 110-00-195/2010-05).

Правилник о одређивању граница подсливова („Сл. гласник РС”, бр. 011-00-205/2011-07).

Правилник о садржини и начину вођења водног информационог система, методологији, структури, категоријама и нивоима сакупљања података, као и о садржини података о којима се обавештава јавност („Сл. гласник РС”, бр. 011-00-206/2011-07).

Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање („Сл. гласник РС”, бр. 110-4924/2011-2).

Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање („Сл. гласник РС”, бр. 110-3320/2012-1).

Уредба о класификацији вода („Службени гласник СРС”, број 5 од 3. фебруара 1968.).

Уредба о спроведбеним правилима за метаподатке НИГП („Сл. гласник РС”, бр. 110-6705/2019-1).

**

Институт „Јарослав Черни“. (2001): Водопривредна основа Републике Србије, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Република Србија.

Сл. Гласник РС. (2017): Стратегија управљања водама на територији Републике Србије до 2034. године („Сл. гласник РС”, бр. 3/2017), Република Србија.

АЗЖС РС. (2015): Статус површинских вода Србије, Министарство пољопривреде и заштите животне средине, Агенција за заштиту животне средине, Република Србија.

МСП РС. (2017): Proces EU integracija i regionalna saradnja, Министарство спољних послова Републике Србије, Република Србија.

ППРС. (2021): Просторни план Републике Србије од 2021. до 2035. године, Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре, Република Србија.

ППППН. (2019): Просторни план подручја посебне намене предела изузетних одлика „ВЛАСИНА”, Београд, Република Србија.

ППО. (2008): Просторни план општине Љиг, Географском институту „Јован Цвијић” САНУ, Београд, Република Србија.

ППО. (2012): Просторни план општине Сурдулица, Универзитет у Београду, Архитектонски факултет, Београд, Република Србија.

Оперативни план за одбрану од поплава. (2018): Оперативни план за одбрану од поплава за воде II реда општине Љиг за 2018. годину, Општина Љиг, Република Србија.

ТК100 – лист 633 Власотинце, Војногеографски институт „Генерал Стеван Бошковић”.

ТК100 – лист 479 Лазаревац, Војногеографски институт „Генерал Стеван Бошковић”.

DIGITALGLOBE. (2020): Remote Sensing Technology Trends and Agriculture.

EEA. (2018): European waters Assessment of status and pressures, European Environment Agency.

ЕРС. (2000): Water Framework Directive (WFD) 2000/60/EC, European Parliament and the Council of the European Union.

ЕРС. (2007): Infrastructure for Spatial Information in the European Community - INSPIRE Directive, 2007/2/EZ, European Parliament and the Council of the European Union.

ESA. (2020): Copernicus DEM Copernicus Digital Elevation Model, Product Handbook, European Space Agency.

- ESA. (2021): Copernicus Global Digital Elevation Model. Distributed by OpenTopography, Sinergise, doi:10.5069/G9028PQB.
- EUC. (2011): NDWI: Normalized Difference Water Index. Version 1. DESERT Action - LMNH Unit.
- IBM. (2020): Big data: Big challenge or Big opportunity, Приступ 12.7.2021., <https://www.ibm.com/watson/infographic/discovery/big-data-challenge-opportunity/>.
- IGIF. (2020): Integrated Geospatial Information Framework: A strategic guid to develop and strengthen national geospatial inforamtion management, <https://ggim.un.org/meetings/GGIM-committee/8th-Session/documents/Part%201-IGIF-Overarching-Strategic-Framework-24July2020.pdf>.
- INSPIRE. (2014): D2.8.I.8. Data Specification on Hydrography - Technical Guidelines.
- ISO/TC211. (2001a): ISO/DIS 19103, Geographic information - Conceptual shema language.
- ISO/TC211. (2001b): ISO/FDIS 19107, Geographic information - Spatial shema.
- ISO/TC211. (2001c): ISO/FDIS 19110, Geographic information - Methodology for feature cataloguing.
- ISO/TC211. (2002a): ISO/DIS 19115, Geographic information - Metadata.
- ISO/TC211. (2002b): ISO/DIS 19118, Geographic information - Encoding.
- ISO/TC211. (2002c): ISO/FDIS 19108, Geographic information - Temporal shema.
- ISO/TC211. (2002d): ISO/DIS 19109, Geographic information - Rules for application schema.
- NDWI. (2021): Seninel Hub, Sinergise Ltd. n.d. Приступ 5.10.2021., <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ndwi/>.
- PLASTICS EUROPE. (2021): Plastics Europe. Приступ 14.10.2021., https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Pla_stics_the_facts2021_14102021.pdf.
- UNGA. (2019): Resolution 64/292. The human right to water and sanitation, Приступ 12.06.2021, United Nations General Assembly, <https://undocs.org/pdf?symbol=en/a/res/64/292>.
- UN GGIM. (2020): Future trends in geospatial information management: the five to ten years vision.
- UNEP. (2016): A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment, Nairobi, Kenya, United Nations Environment Programme.
- UNEP. (2020): The state of plastic, United Nations Environment Program.

- UNESCO. (2017): Is wastewater the new black gold? Launch of the United Nations World Water Development Report, UNWP.
- UNICEF. (2019): Topic: Water and sanitation: Drinking-water, Приступ 12.07.2021., <https://data.unicef.org/topic/water-and-sanitation/drinking-water/>.
- UNSD. (1992): Agenda 21. Rio de Janerio, United Nations Sustainable Development.
- UN-WATER. (2020): Water and Climate Change, United Nations World Water Development, Report Paris: UNESCO.
- WDI. (2014): World Development Indicators, http://datatopics.worldbank.org/worlddevelopmentindicators/themes/environment.html#water-and-sanitation_1.
- WISE GIS. (2016): Guidance on the reporting of spatial data to WISE.
- WWAP. (2015): The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World, United Nations World Water Assessment Programme, Paris: UNESCO.

Интернет извори:

1. <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/> (приступљено 10. мај 2021).
2. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Introducing_Sentinel-2 (приступљено 2. јун 2021).
3. <https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2> (2. приступљено јун 2021).
4. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/acquisition-plans> (приступљено 2. јун 2021).
5. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument> (приступљено 2. јун 2021).
6. <http://www.srbijavode.rs/web/web-gis-portal.html> (приступљено 4. јул 2021).
7. <http://geosrbija.rs> (приступљено 4. јул 2021).
8. <http://sepa.gov.rs> (приступљено 4. јул 2021).
9. <https://www.aboutcivil.org/Principal-method-of-Terrestrial-Photogrammetry.html> (приступљено 6. јул 2021).
10. <https://gisgeography.com> (приступљено 1. август 2021).
11. <http://www.arso.gov.si/vode/podatki/amp> (приступљено 5. август 2021).
12. http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso&culture=en-US (приступљено 5. август 2021).

13. <http://www.evode.gov.si> (приступљено 7. август 2021).
14. <http://www.evode.gov.si/index.php?id=126> (приступљено 7. август 2021).
15. <https://gis.arso.gov.si/portal/home/> (приступљено 10. август 2021).
16. http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (приступљено 10. август 2021).
17. <http://gisportal.gov.si/portal/apps/webappviewer/indeks.html?id=11785b60acdf4f59917f33aac8556a6> (приступљено 15. август 2021).
18. <http://gis.arso.gov.si/related/help/index4.html> (приступљено 15. август 2021).
19. <http://www.space-o.eu/> (приступљено 2. септембар 2021).
20. <https://www.eomap.com/services/water-quality/> (приступљено 2. септембар 2021).
21. <https://www.geosrbija.rs/> (приступљено 2. септембар 2021).
22. <https://geoportal.srbijavode.rs/visios/JavniPortal> (приступљено 2. септембар 2021).
23. <https://www.sepa.gov.rs/> (приступљено 10. септембар 2021).
24. <https://gisgeography.com/obia-object-based-image-analysis-geobia/> (приступљено 10. септембар 2021).
25. <https://www.rgz.gov.rs/proizvodi/topografski-proizvodi/osnovni-topografski-model/hidrografija> (приступљено 10. септембар 2021).
26. [https://www.srbija.pod.lupom.com/Vlasinsko_jezero - Najveći biser jugoistočne Srbije](https://www.srbija.pod.lupom.com/Vlasinsko_jezero_-_Najveći_biser_jugoistočne_Srbije) (приступљено 10. септембар 2021).
27. <https://geosrbija.rs/lat/o-nama-lat/> (приступљено 8. октобар 2021).
28. <https://gisgeography.com/what-is-arcgis/> (приступљено 8. октобар 2021).
29. <https://www.ogc.org/> (приступљено 8. октобар 2021).
30. <https://leafletjs.com/> (приступљено 8. октобар 2021).
31. <https://www.w3.org/TR/xml/> (приступљено 10. октобар 2021).
32. <https://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/> (приступљено 1. децембар 2021).
33. http://www.geospace.co.za/wpcontent/uploads/2017/10/Leica_MissionPro_Product_Desc_en.pdf (приступљено 1. децембар 2021).
34. <https://www.gim-international.com/content/article/lidar-flight-planning> (приступљено 1. децембра 2021).

35. <https://www.slideshare.net/modusrobotics/lidar-flight-planning> (приступљено 1. децембра 2021).
36. <https://www.newport.com/n/lidar> (приступљено 3. децембра 2021).
37. <http://www.opanak.net/vlasinsko-jezero/> (приступљено 5. децембра 2021).
38. <https://news.satnews.com/2021/02/15/japanese-space-startup-synspectives-first-sar-image/> (приступљено 5. децембра 2021).
39. <https://www.fieldbee.com/de/was-ist-der-unterschied-zwischen-gnss-und-gps-empfaengern/> (приступљено 5. децембра 2021).
40. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/breaklines-insurface-modeling.htm> (приступљено 7. децембра 2021).
41. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/lidar-solutionscreating-raster-dems-and-dsms-from-large-lidar-point-collections.htm> (приступљено 7. децембра 2021).
42. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/las-dataset/incorporating-breaklines-with-lidar.htm> (приступљено 8. децембра 2021).
43. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/feature-class-basics.htm> (приступљено 8. децембра 2021).
44. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/ascii-3d-to-feature-class.htm> (приступљено 10. децембра 2021).
45. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/raster-to-tin.htm> (приступљено 10. децембра 2021).
46. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/3d-analyst-toolbox/how-raster-to-tin-works.htm> (приступљено 10. децембра 2021).
47. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/> (приступљено 10. децембра 2021).
48. https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/news/-/asset_publisher/xR9e/content/copernicus-dem-30-metre-dataset-now-freely-available (приступљено 14. децембра 2021).
49. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (приступљено 14. децембра 2021).
50. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2008/04/Sentinel-2 (приступљено 14. децембра 2021).
51. <https://.vgi.mod.gov.rs> (приступљено 24. децембар 2021).
52. <https://geoportal.vgi.mod.gov.rs/> (приступљено 10. јануар 2022).

Списак табела

- Табела 1. Воде које настају на територији републике Србије (домаће воде)*
- Табела 2. Становништво прикључено на системе јавног водоснабдевања 2012. године*
- Табела 3. Објекти за заштиту од вода на водотоцима I реда*
- Табела 4. Структура условног обухвата и категорије насеља по групама изворишта површинских вода у Републици Србији*
- Табела 5. Акумулације у функцији водоснабдевања становништва Републике Србије*
- Табела 6. Потенцијалне и планиране акумулације у Републици Србији*
- Табела 7. Однос резолуције и хоризонталног растојања висинских тачака ДМВ*
- Табела 8. Спектрални снимци са сателитске платформе Sentinel-2*
- Табела 9. Постојеће акумулације*
- Табела 10. Хидролошка мрежа реке Љиг*
- Табела 11. Оцена тачности генерисаног ДМВ за територију Републике Србије*
- Табела 12. Границе истраживачких подручја (Decimal Degrees)*
- Табела 13. Вредности класификованих опсега за истраживачко подручје*
- Табела 14. Оцена тачности ДМВ за подручје Власинског језера генерисаног из ЦГТБП25*
- Табела 15. Оцена тачности ДМВ за подручје Љиг генерисаног из LiDAR података*
- Табела 16. Попречни профили на основу ДМВ*
- Табела 17. Површине сливова на основу ДМВ за подручје Власинског језера и околине*

Списак слика

- Слика 1.** Шема надлежности у области управљања и заштите вода у Републици Србији
- Слика 2.** Издвојена водна тела на територији Републике Србије
- Слика 3.** Прегледна карта обухвата К.О. према категоријама изворишта површинских вода Републике Србије
- Слика 4.** Теме геоподатака организоване по групама
- Слика 5.** Приказ теме *Хидрографија* на порталу
- Слика 6.** Блок шема продукције ТК25/IV у ВГИ
- Слика 7.** Приказ просторних података у ВИС
- Слика 8.** Мрежа Регионалних центара квалитета вода у Републици Србији
- Слика 9.** Приказ управљања водама према WFD
- Слика 10.** Основни пакети теме *Хидрографија* – апликационе шеме
- Слика 11.** Основна класа пакета *Hydro-base*
- Слика 12.** Елементи мрежног модела
- Слика 13.** Преглед апликационе шеме *Hydro-Network*
- Слика 14.** Елементи *Хидрографије* и сродни објекти
- Слика 15.** Web портал **еВоде**
- Слика 16.** Тренутни подаци са мерних станица
- Слика 17.** Геопортали са архивским подацима о води
- Слика 18.** ДМР Републике Словеније
- Слика 19.** Карта могућих поплавних подручја у Републици Словенији
- Слика 20.** Атлас вода - разноврсност тематских целина
- Слика 21.** Атлас околја - разноврсност тематских целина
- Слика 22.** Концепт Space-O платформе
- Слика 23.** Дијаграм тока рада за праћење квалитета воде на SPACE-O платформи
- Слика 24.** Индикатор Хлорофил-а
- Слика 25.** Индикатор мутноћа
- Слика 26.** Индикатор дубина продирања светлости
- Слика 27.** Индикатор НАВ
- Слика 28.** Индекс TSI
- Слика 29.** Аерофотограметријско снимање терена
- Слика 30.** Категоризација UAV према конструкцији
- Слика 31.** Сателитска платформа *Sentinel-2*
- Слика 32.** LiDAR систем
- Слика 33.** SAR систем
- Слика 34.** GNSS систем
- Слика 35.** Структурне компоненте ГИС-а
- Слика 36.** Сегментација према концепту OBIA

- Слика 37.** Класификација према концепту OВIA
- Слика 38.** ДМВ у ГРИД структури
- Слика 39.** Модификације ДМВ у ГРИД структури
- Слика 40.** ДМВ у ТИН структури
- Слика 41.** ДМВ у хибридној структури података
- Слика 42.** Геодетски датум (елипсоид) и геодетске тачке
- Слика 43.** Криволинијски (географски) и праволинијски (правоугли) координатни системи
- Слика 44.** Пресликавање површи елипсоида у раван картографске пројекције
- Слика 45.** Мултиспектрална камера са сателита *Sentinel-2*
- Слика 46.** Производ нивоа L1C *Sentinel-2* мисије
- Слика 47.** Тополошки појмови и односи
- Слика 48.** Визуелна инспекција екстраковане речне мреже
- Слика 49.** Република Србија са означеним радним подручјима
- Слика 50.** Подручје Власинског језера и околина
- Слика 51.** Брана на Власинском језеру
- Слика 52.** Систем „Власина” – пример проширења граница изворишта површинских вода и међусливног трансфера водних ресурса
- Слика 53.** Батиметрија Власинског језера
- Слика 54.** Средња месечна температура ваздуха и количина падавина на Власини за период 1968-2019.
- Слика 55.** Подручје слива реке Љиг
- Слика 56.** Приказ начелног распореда опреме за *LiDAR* снимање
- Слика 57.** Визуелно поређење *Copernicus* DEM модела
- Слика 58.** Области слива реке Колубаре снимљени *LiDAR* технологијом
- Слика 59.** Скуп преузетих података из ЦГТБП25
- Слика 60.** Дијаграм израде ДМВ и базе ЦГТБП25
- Слика 61.** Власинско језеро и околина ДМВ добијен из ЦГТБП25 у ТИН структури
- Слика 62.** Упоредна визуализација ТИН/ГРИД
- Слика 63.** 3Д приказ ДМВ за оба истраживачка подручја у *CopDEM30*
- Слика 64.** *Global Mapper* окружење, прозор за класификацију облака тачака
- Слика 65.** Приказ ДМВ без и са структурним линијама
- Слика 66.** Илустрација функције алатке ASCII 3D To Feature Class
- Слика 67.** Приказ нивоа L2A на *Open Access Hub-у*
- Слика 68.** Приказ резулата функције *Raster Calculator*
- Слика 69.** Приказ различитих фаза класификација „NDWI растера”
- Слика 70.** Оцена тачности ДМВ 25 m у софтверском окружењу *ArcGIS*
- Слика 71.** Приказ ДМВ у резолуцији 0,5 m
- Слика 72.** Упоредни приказ ДМВ на подручју ушћа (*CopDEM30*, ДМВ 10 m, ДМВ 0,5 m)
- Слика 73.** Профили терена са модела *CopDEM30* и ДМВ резолуције 0,5 m.
- Слика 74.** Приказ ДМВ у ГРИД структури: а) Резолуција 1 m; б) Резолуција 5 m.

- Слика 75.** Приказ дела корита реке Љиг у ТИН структури
- Слика 76.** Приказ ДМВ у хибридној структури
- Слика 77.** Модел процеса за хидрографско - хидролошке потребе и анализе
- Слика 78.** Принцип рада функција *Fill*
- Слика 79.** Изглед *Vlasina_Fill_GBP25* растера
- Слика 80.** Принцип одређивања смера отицања воде из пиксела
- Слика 81.** Резултат прорачуна отицања воде - *Vlasina_FlowDirection_GBP25*
- Слика 82.** Подела подручја на дренажне басене
- Слика 83.** Принцип одређивања акумулације воде у пикселима
- Слика 84.** Резултат функције *Flow accumulation*
- Слика 85.** Количина сунчеве радијације за 2022. годину израчуната у *ArcGIS* - у
- Слика 86.** Strahler метод и Shreve метод
- Слика 87.** Приказ класификованих водотокова
- Слика 88.** Процес извођења акумулације протока и издвајање токова по рангу
- Слика 89.** Река Љиг узводно од насеља Љиг
- Слика 90.** Река Љиг у доњем делу свог тока
- Слика 91.** Река Качер и њена положајна представа добијена са различитих ДМВ
- Слика 92.** Референтна хидрографска мрежа из ЦГТБП25 за подручје Власине (река Јерма)
- Слика 93.** Добијена хидрографска мрежа за подручје Власинско језеро и околина
- Слика 94.** Анализа положајне представе добијених токова – пример реке Јерме
- Слика 95.** Уздужни профили реке Јерме
- Слика 96.** Развођа и сливови - упоредни преглед
- Слика 97.** NDWI индекс - део Власинског језера
- Слика 98.** Сезонско колебање обалне линије на Власинском језеру

Биографија аутора

Владимир (Мирко) Петровић је рођен 12. јануара 1985. године у Београду. Основну школу и Земунску гимназију (природно-математички смер) завршио је у Београду. Студије просторног планирања на Географском факултету Универзитета у Београду, уписао је школске 2004/2005. године, као редован студент. Дипломирао је маја 2011. године, под менторством проф. др Милана Кукрике, са просечном оценом 8,70 (осам и 70/100) у току студија и оценом 10 (десет) на дипломском раду, са темом „*Значај географског информационог система у имплементацији Београдског урбанистичког информационог система*”. Мастер академске студије на Географском факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Геопросторне основе животне средине, уписао је школске 2011/2012. године. Положио је све испите са просечном оценом 10 (десет). Завршни мастер рад под називом „*Природни и антропогени утицаји на промену квалитета воде у Грлишкој хидроакумулацији*” код проф. др Мирољуба Милинчића је одбранио септембра 2013. године са оценом 10 (десет). Докторске студије уписао је школске 2014/15. године на Географском факултету, Универзитета у Београду, у области Геонаука.

Географским информационим системима и картографијом се бави од 2006. године. За време студија био је ангажован у ИНФОТЕАМ д.о.о., а као спољни сарадник учествовао је у изради Педолошког информационог система (ПИС) за општину Врање током 2008. године. Прва практична искуства из области просторног планирања стекао је још у току основних студија, кроз праксе и волонтирања у ЈУГИНУС-у (2009) и Урбанистичком заводу Београда (2010). Након дипломирања, запошљава се у Републичком геодетском заводу - Сектор за топографију и картографију. Време проведено у РГЗ-у користи за даље усавршавање у области географских информационих система и картографије. У Научној установи Институт за хемију, технологији и металургију (НУ ИХТМ), Универзитета у Београду, у Центру за екологију и техноекономику, запослио се у октобру 2011. године.

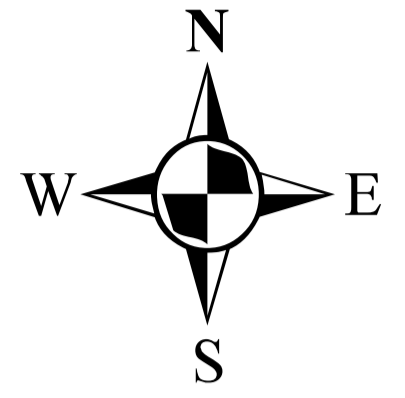
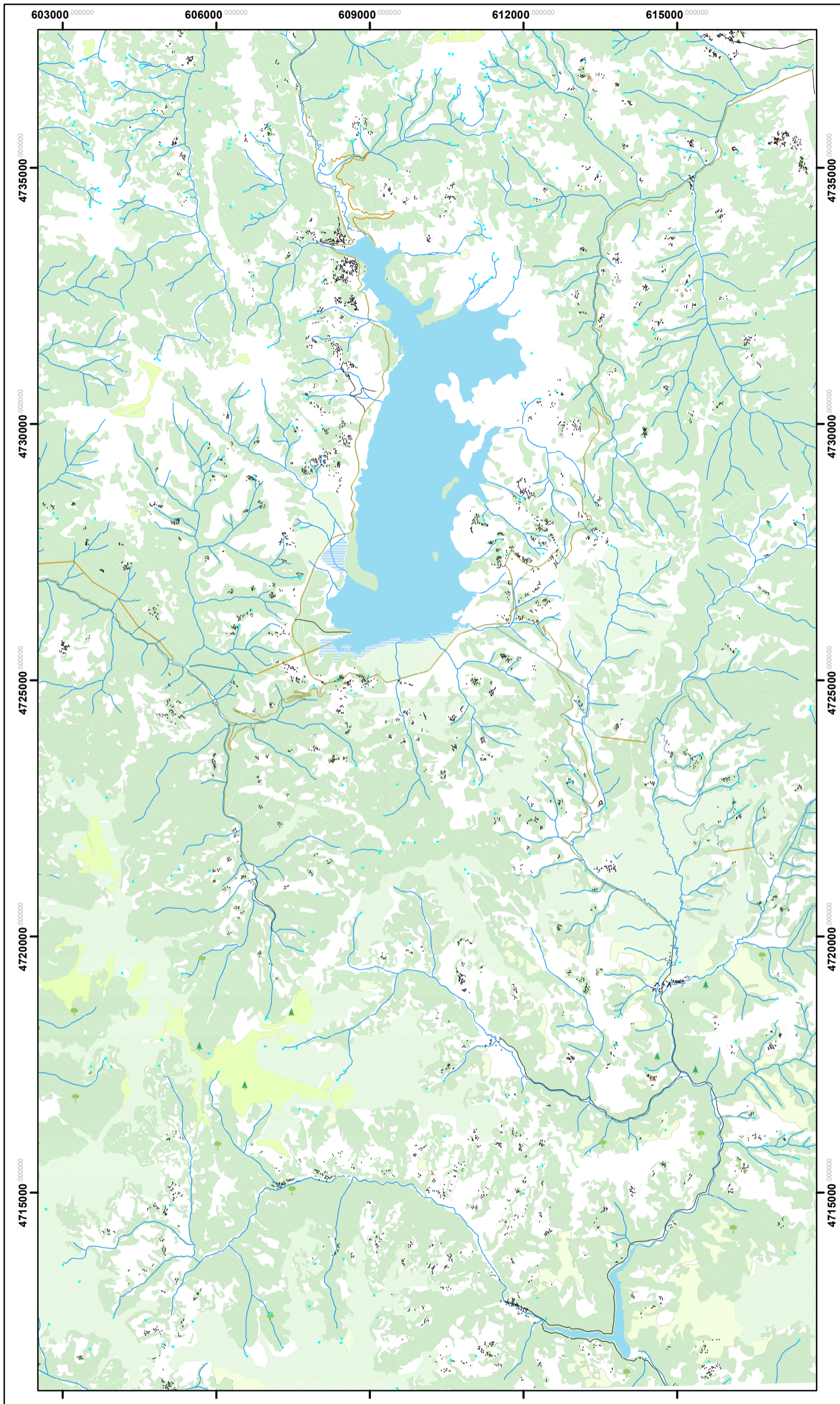
Од када се бави научно-истраживачком делатношћу, Владимир Петровић, мастер географ – за област животне средине је објавио 45 научних, стручних и научно-популарних радова са значајним истраживачким и научним доприносом у области геонаука. Публиковани радови показују знатну научноистраживачку ширину приказаних резултата.

Један део радова се бави облашћу заштите животне средине и стањем квалитета водних ресурса, затим поступцима уклањања појединих елемената из воде за пиће и еколошким статусом акумулација воде за пиће. Други део радова се односи на методе и технике за прикупљање и обраду геопросторних података (топографске и тематске карте, сателитски снимци, 3Д модели терена), а посебно анализом и применом ГИС система при доношењу одлука у геопростору, управљању водним ресурсима и сагледавању животне средине. Такође, део радова се односи на картографију, картографске пројекције и њихову примену у изради географских карата у државној картографији.

Владимир Петровић, мастер географ – за област животне средине, члан је Српског географског друштва. Течно говори, чита и пише енглески језик.

Ожењен је супругом Милицом и има две ћерке, Илину и Тилију.

Власинско језеро и околина представљени слојевима из ЦГТБП25



Легенда :

Хидролошке појаве

- Речна мрежа
- Језеро
- Извори

Хидро објекти

- Цев за воду, надземна
- Канал подземног система за наводњавање
- Тунел за воду покривени канал

Насеља и саобраћај

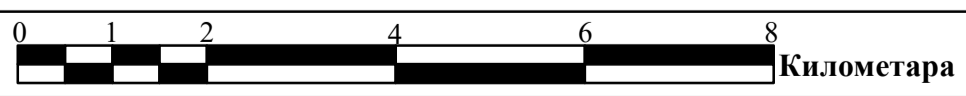
- Куће и објекти
- Асфалтни пут 6m
- Асфалтни пут 3m до 6m

Вегетација

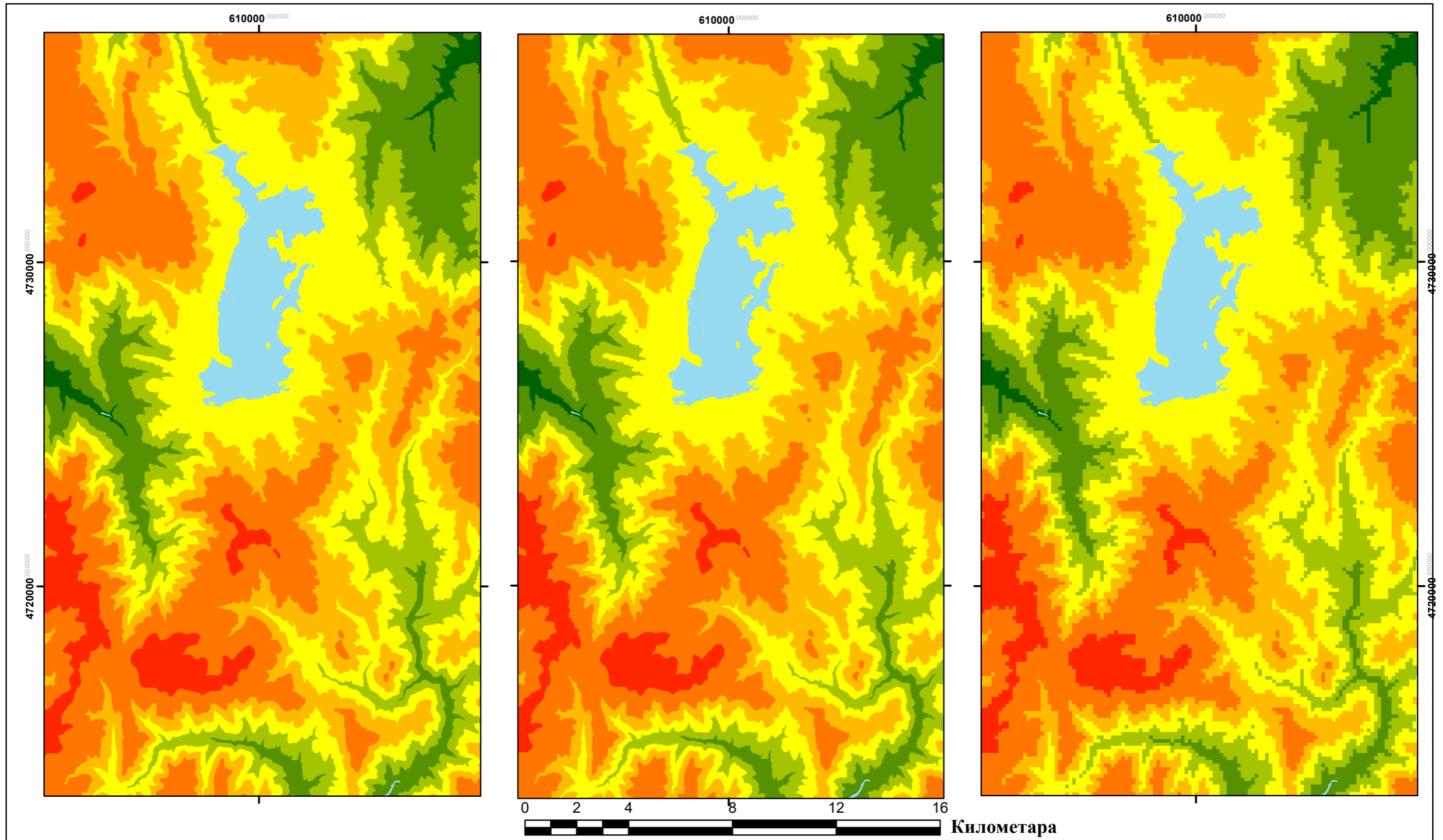
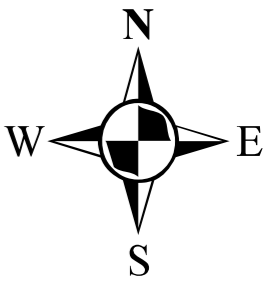
- Ливада - пашњак
- Младе саднице
- Шума
- Воћњак
- Жбуње
- Мочварно тло
- Знак за зимзелену шуму
- Знак за листопадну шуму

Аутор : Владимир М. Петровић

ПРИЛОГ 1



Генерисани ДМВ са различитим просторним резолуцијама (10m , 25m и 100m) из ЦГТБП25





Легенда :


 Језеро


**Висинска представа
терена**


 700 - 900


 900 - 1,100

 1,100 - 1,200

 1,200 - 1,300

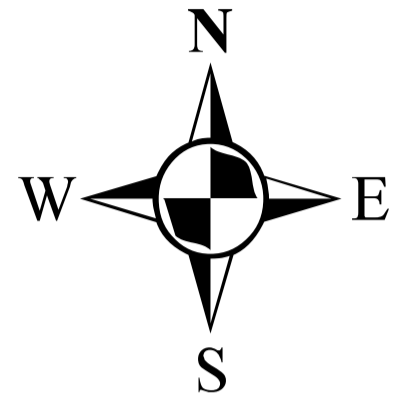
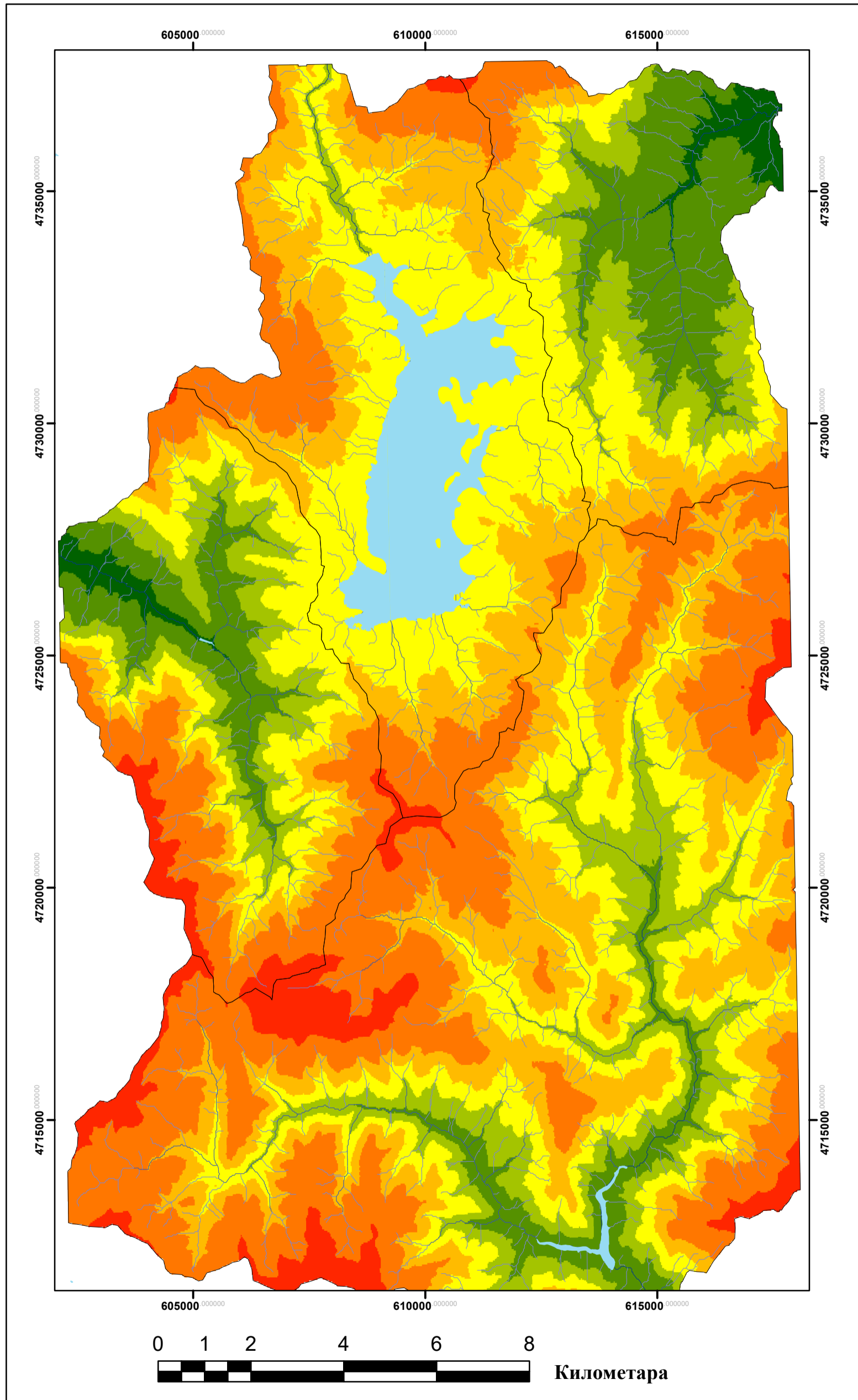
 1,300 - 1,400

 1,400 - 1,600

 1,600 - 1,865

Километара

Приказ хидролошке мреже и вододелница добијене за подручје Власинског језера и околине из SorDEM30



Легенда :

Хидролошке појаве

- Речна мрежа
- Језеро
- Водосливница

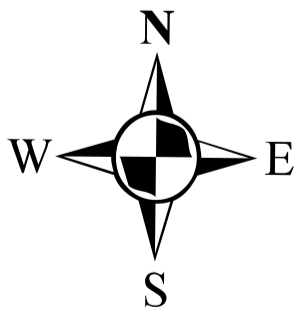
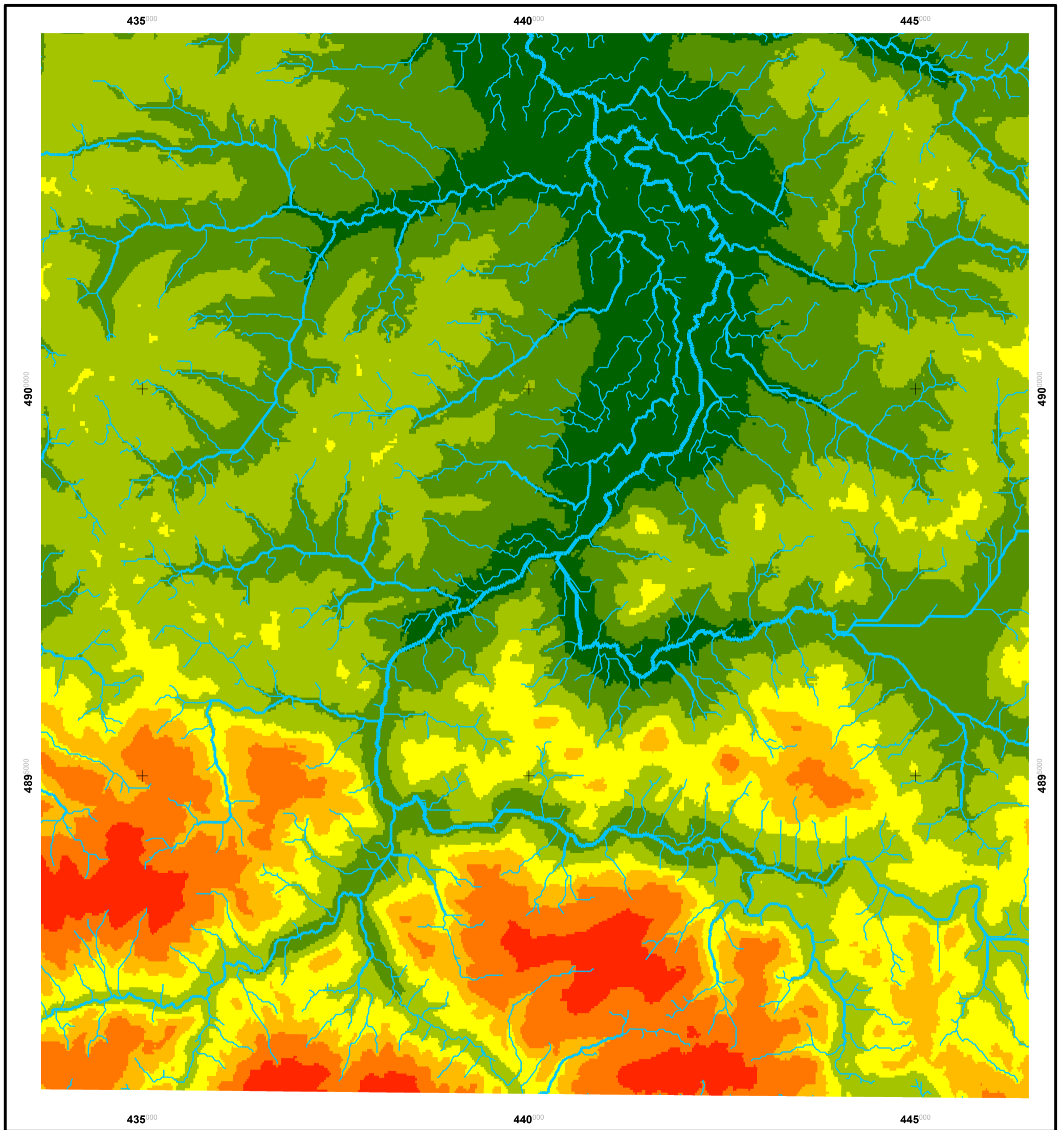
Висинска представа терена

- 700 - 900
- 900 - 1,100
- 1,100 - 1,200
- 1,200 - 1,300
- 1,300 - 1,400
- 1,400 - 1,600
- 1,600 - 1,865

Аутор : Владимир М. Петровић











ПРИЛОГ 3

Приказ хидролошке мреже добијене за подручје дела слива реке Љиг из SorDEM30



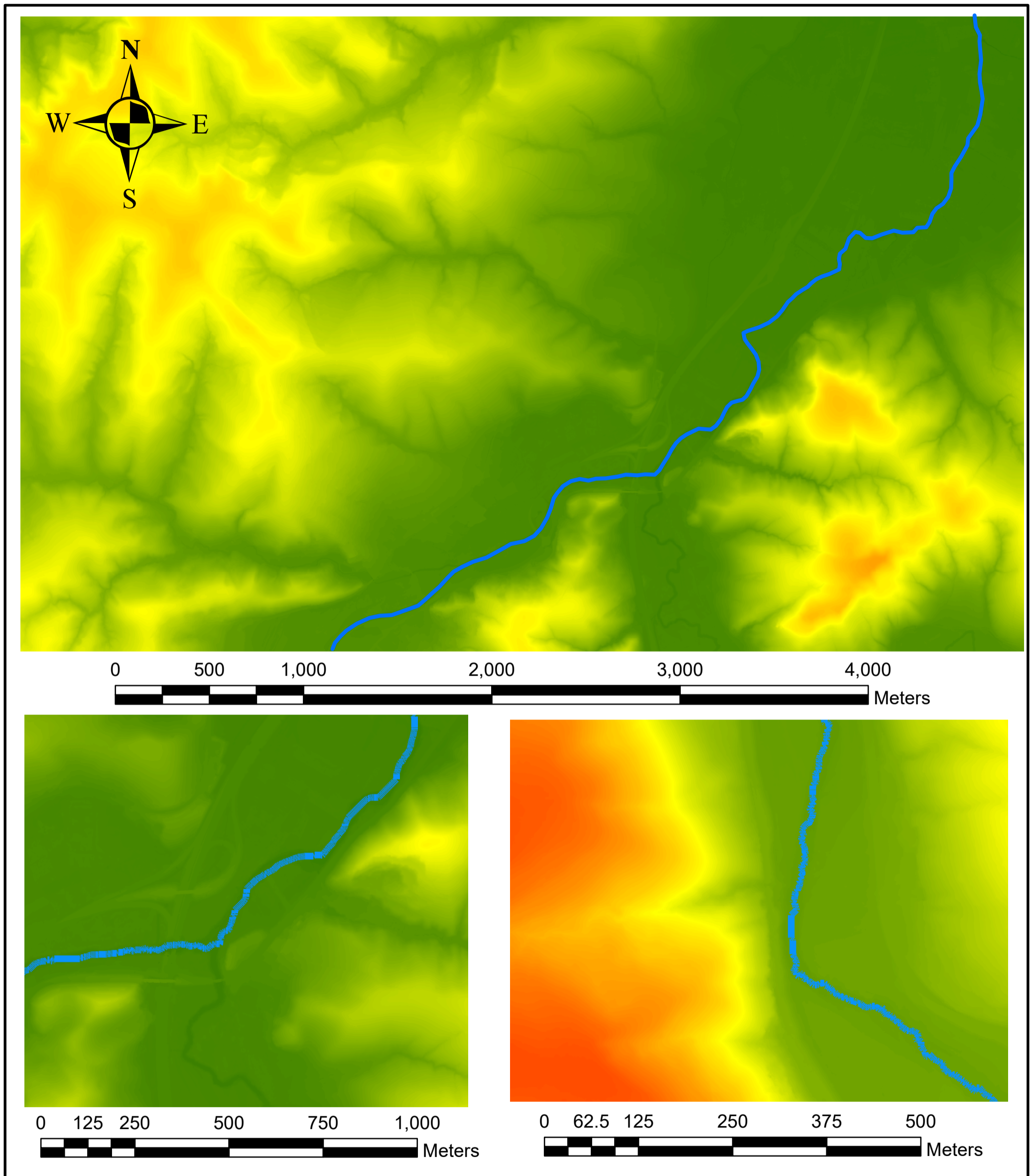
Километара

Легенда:

Висинска представа терена		Речна мрежа
	117 - 150	 3; 4
	150 - 200	 5; 6
	200 - 250	 7; 8
	250 - 300	
	300 - 350	
	350 - 450	
	450 - 642	

Аутор: Владимир М. Петровић
ПРИЛОГ 4

Приказ ДМВ генерисаног из ласерског снимања резолуције 0,5 m за подручје дела слива реке Љиг



Легенда:

— Река Љиг

Висинска
представа
терена

Value



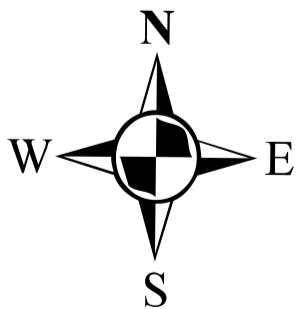
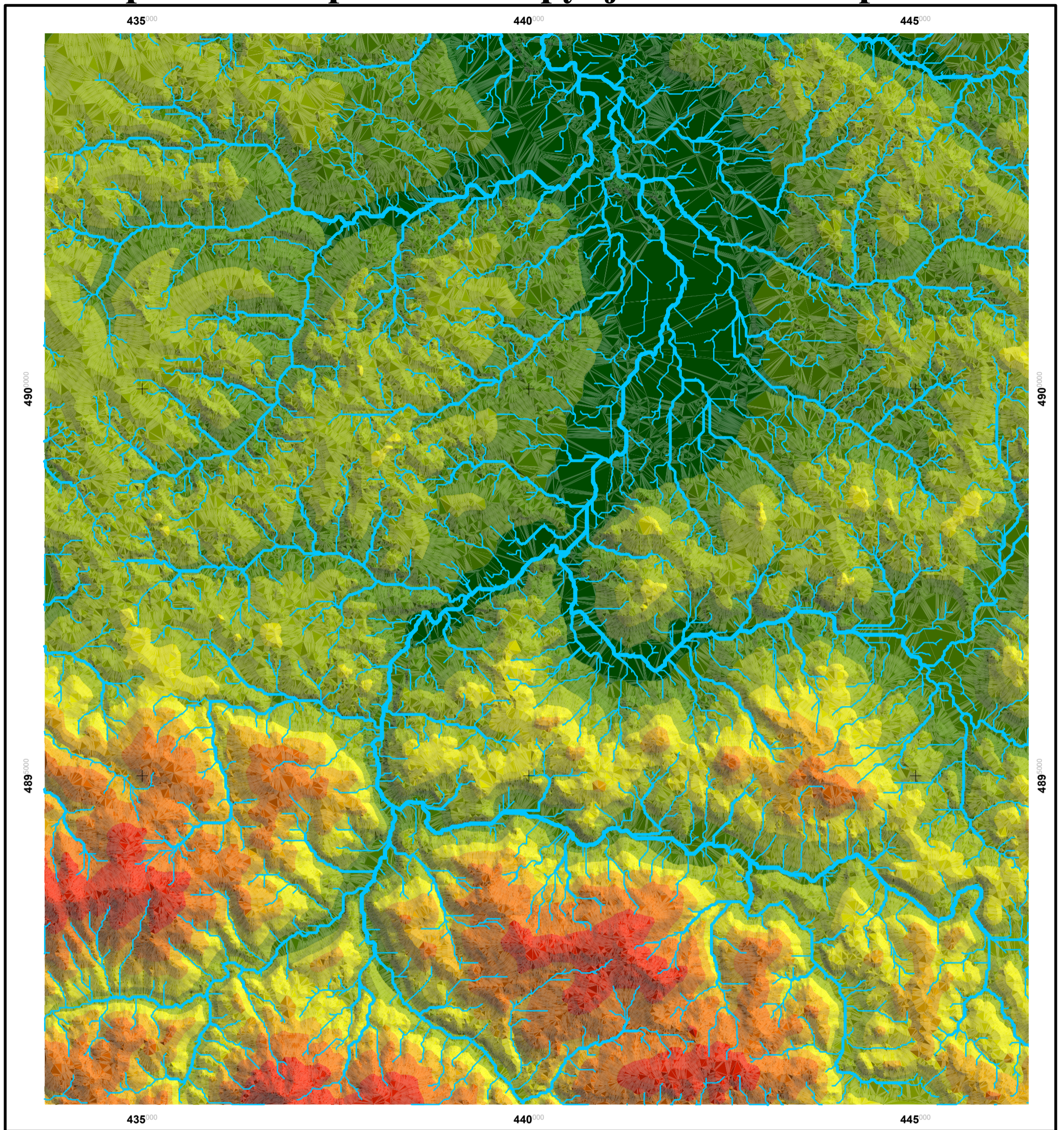
High : 378.5

Low : 157.355

Аутор: Владимир М. Петровић

ПРИЛОГ 5

Приказ генерисаног ДМВ резолуције 10 m и хидролошка мрежа за подручје дела слива реке Љиг



Легенда:

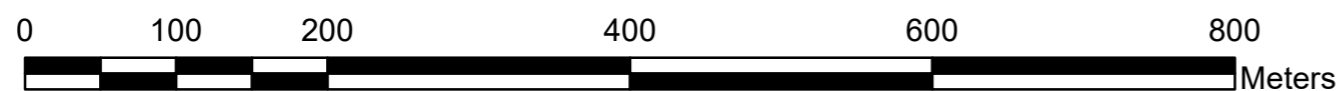
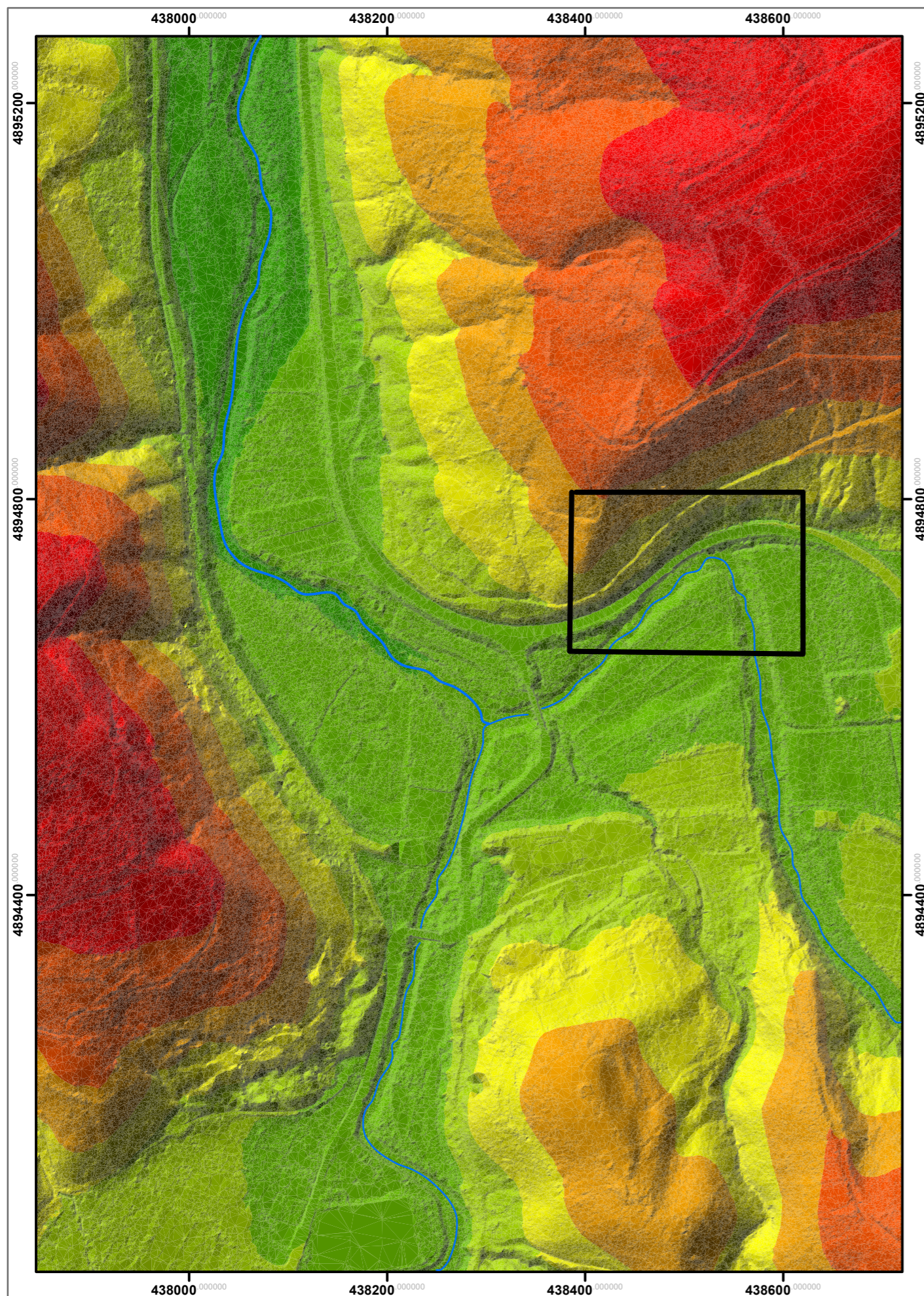
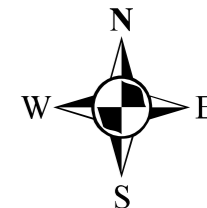
Висинска представа терена		Речна мрежа	
	117 - 150		4; 5
	150 - 200		6; 7
	200 - 250		8; 9
	250 - 300		
	300 - 350		
	350 - 450		
	450 - 642		



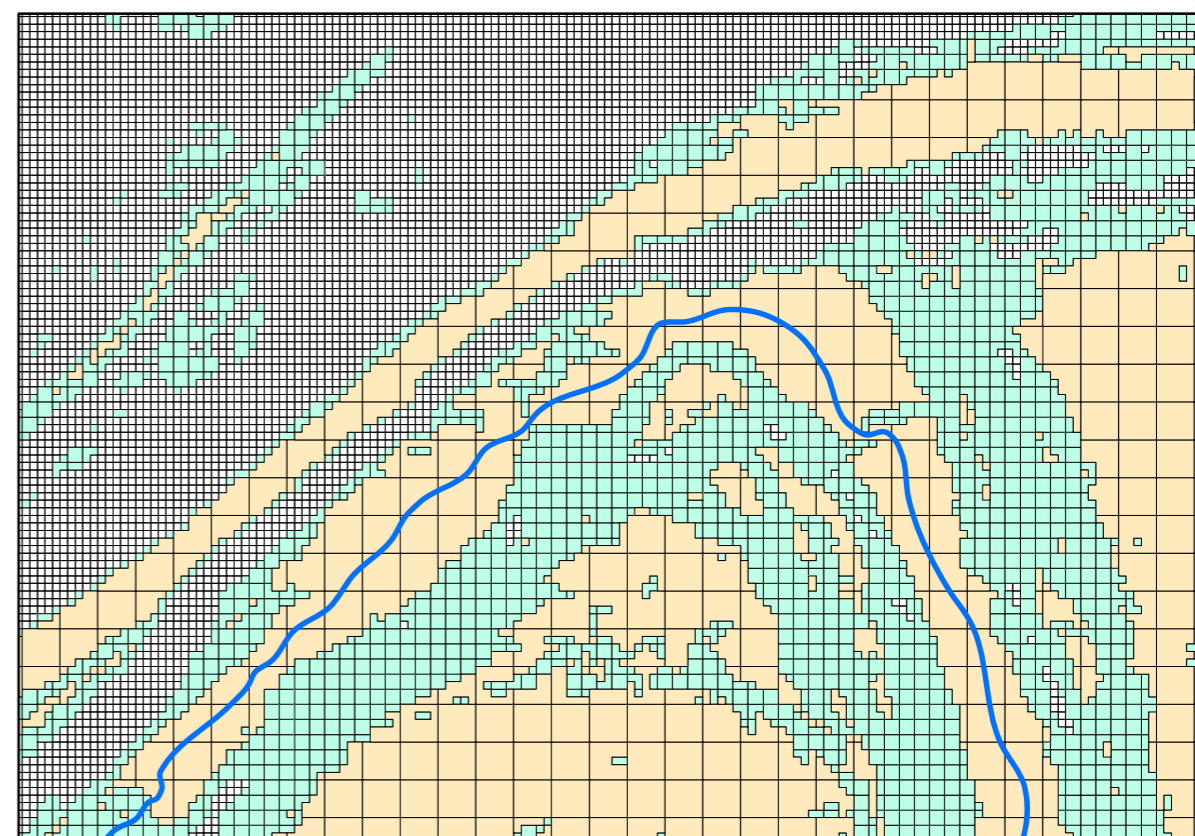
Километара

Аутор: Владимир М. Петровић
ПРИЛОГ 6

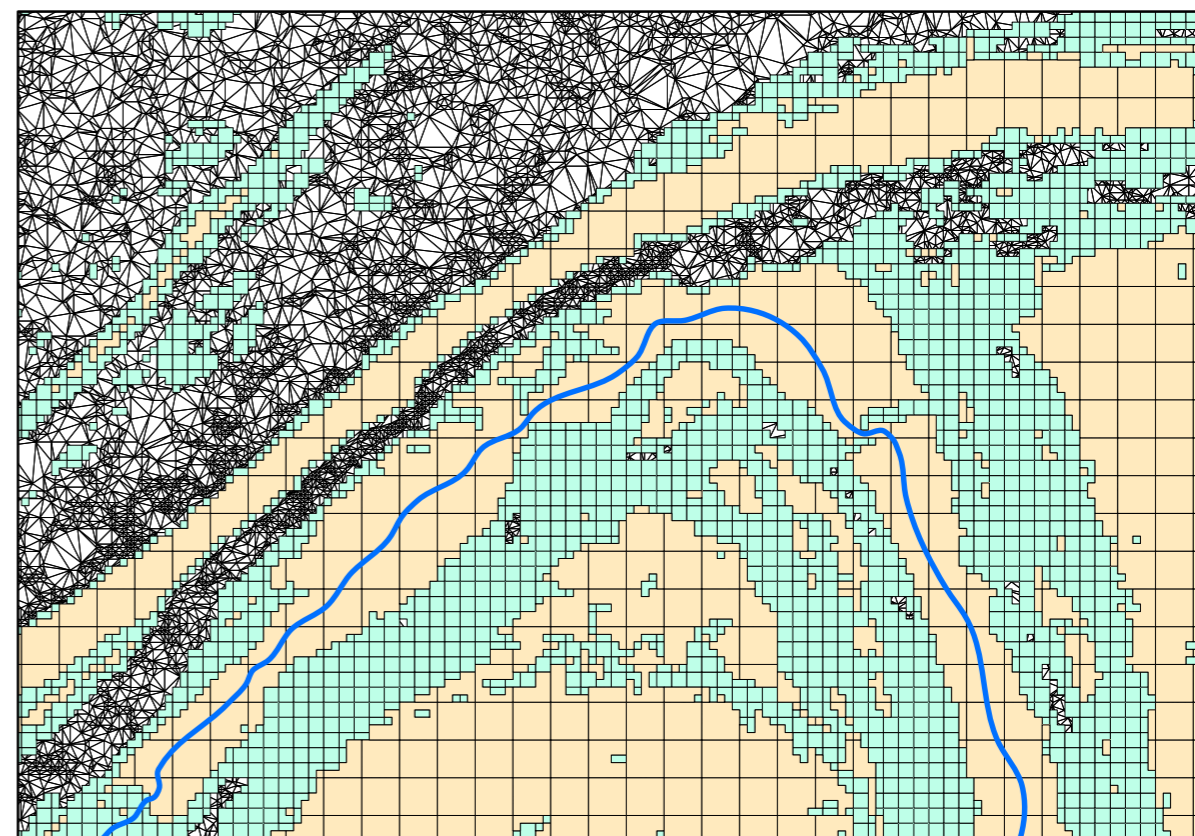
Приказ ДМВ генерисаног из ласерског снимања



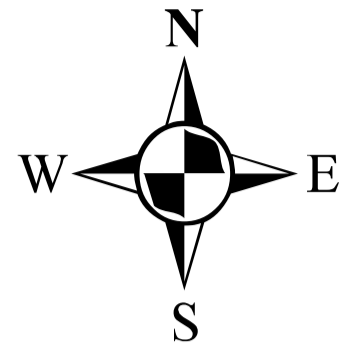
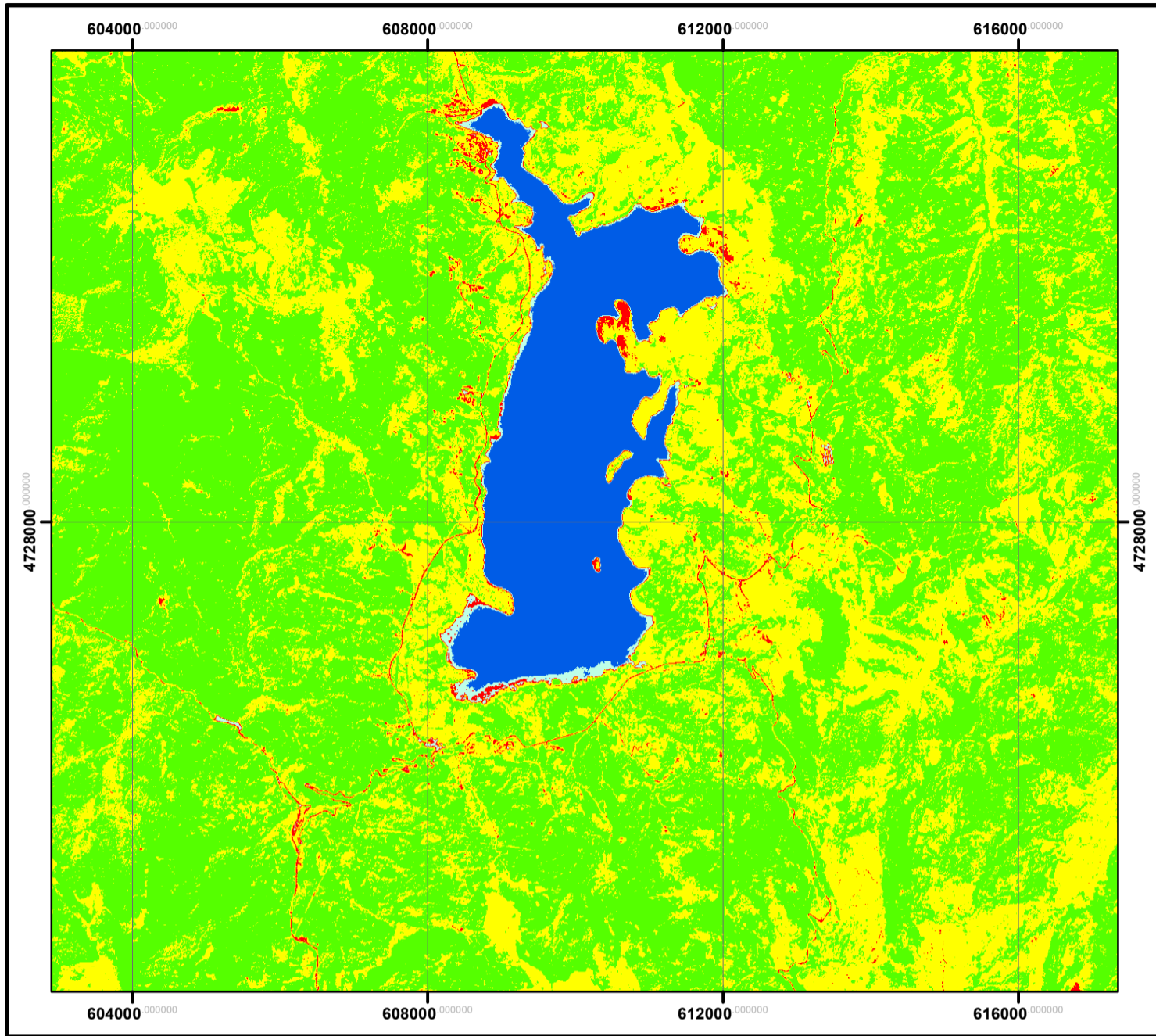
ГРИД структура ДМВ
(променљива величина ГРИД-а)



Хибридна структура ДМВ
(ГРИД/ТИН)

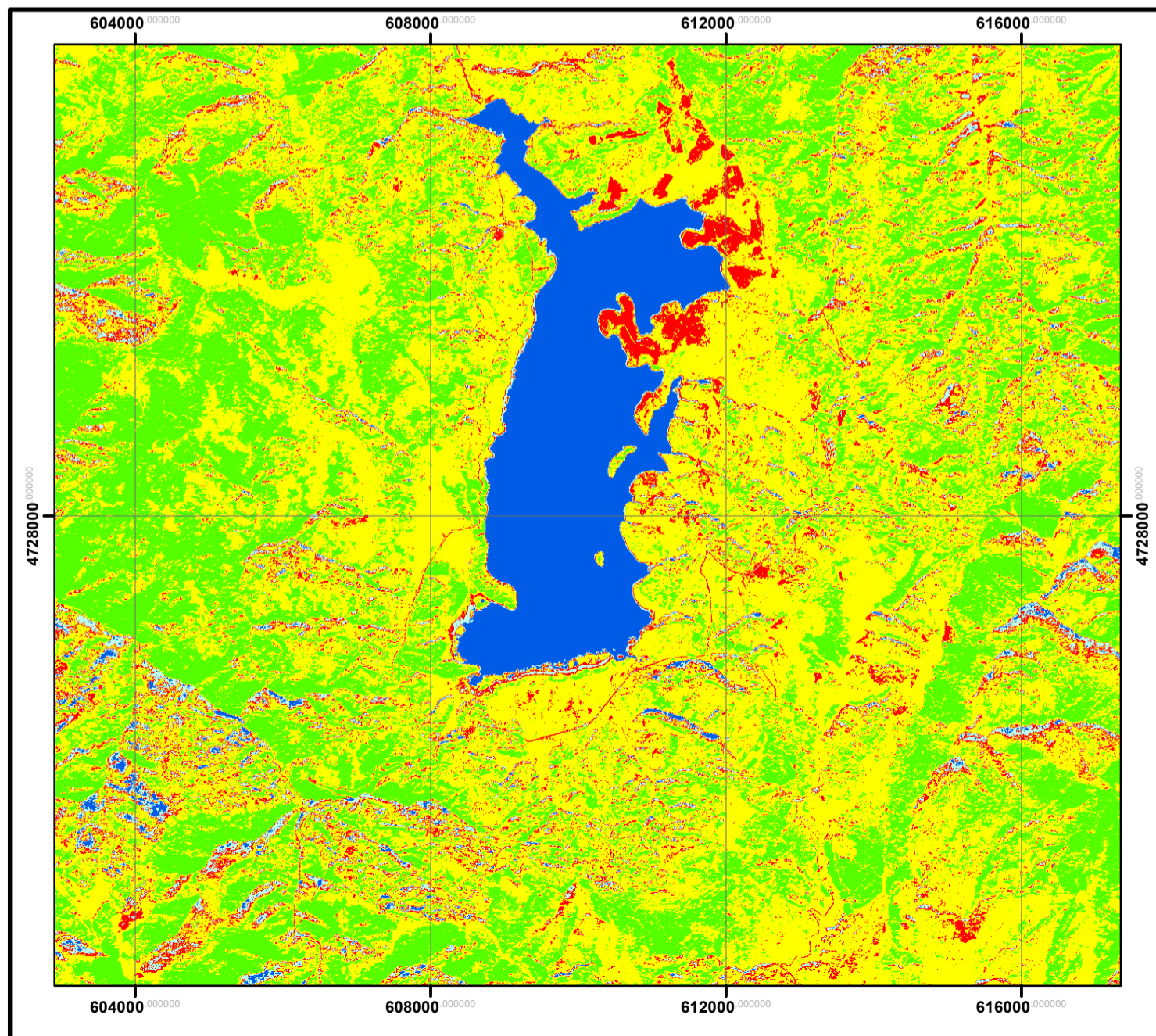
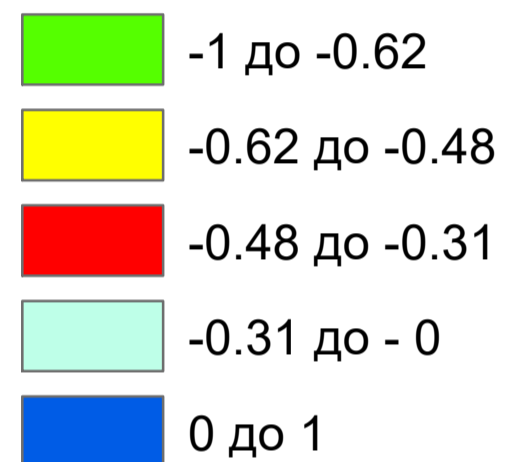


Приказ NDWI индекса и издвојена водна тела Власинско језеро и околина (15.07.2021 и 28.10.2021)

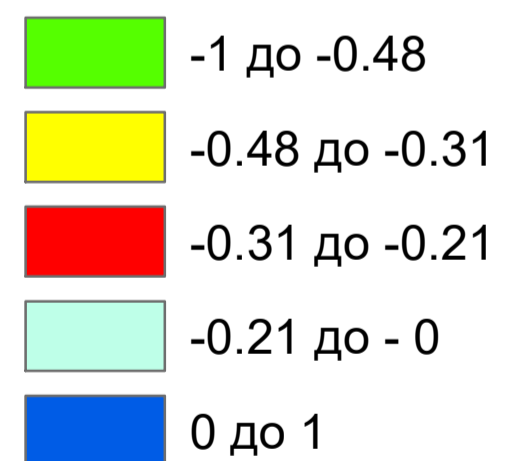


Легенда:

NDWI индекс лето



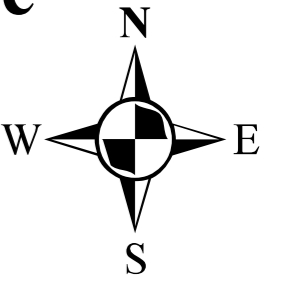
NDWI индекс јесен



Километара

Аутор :
Владимир М. Петровић
ПРИЛОГ 8

Речна мрежа генерисана са ДМВ различите просторне резолуције (ЦГТБП 10 m , 25 m и 100 m) и издвојени сливови



Легенда :



Језеро



Сливно подручје

ВЛАСИНА ДМВ 10 m
хидрографска мрежа

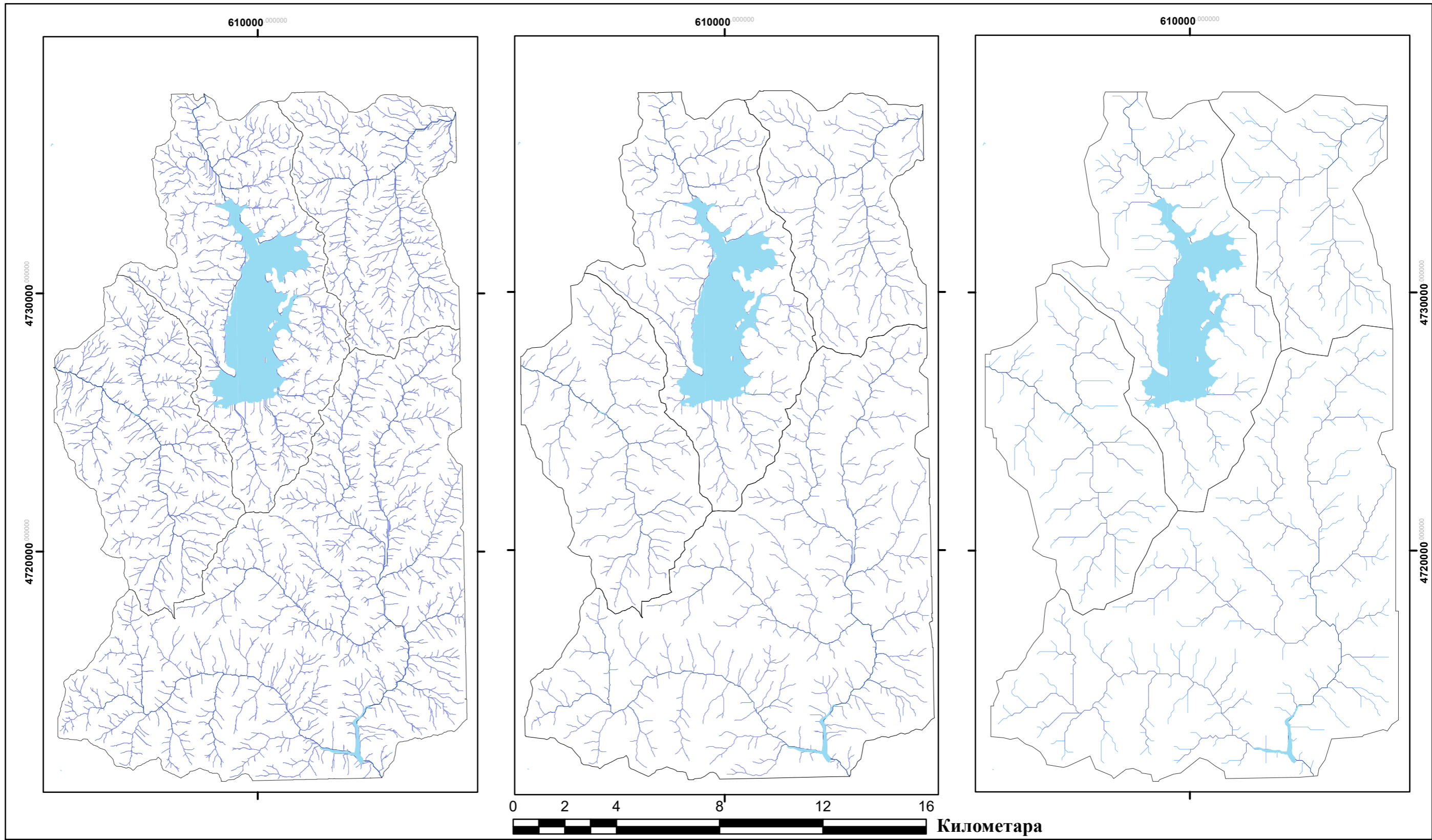
1; 2; 3 7; 8
4; 5; 6 9

ВЛАСИНА ДМВ 25 m
хидрографска мрежа

1; 2; 3 6; 7
4; 5 8

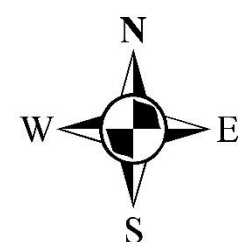
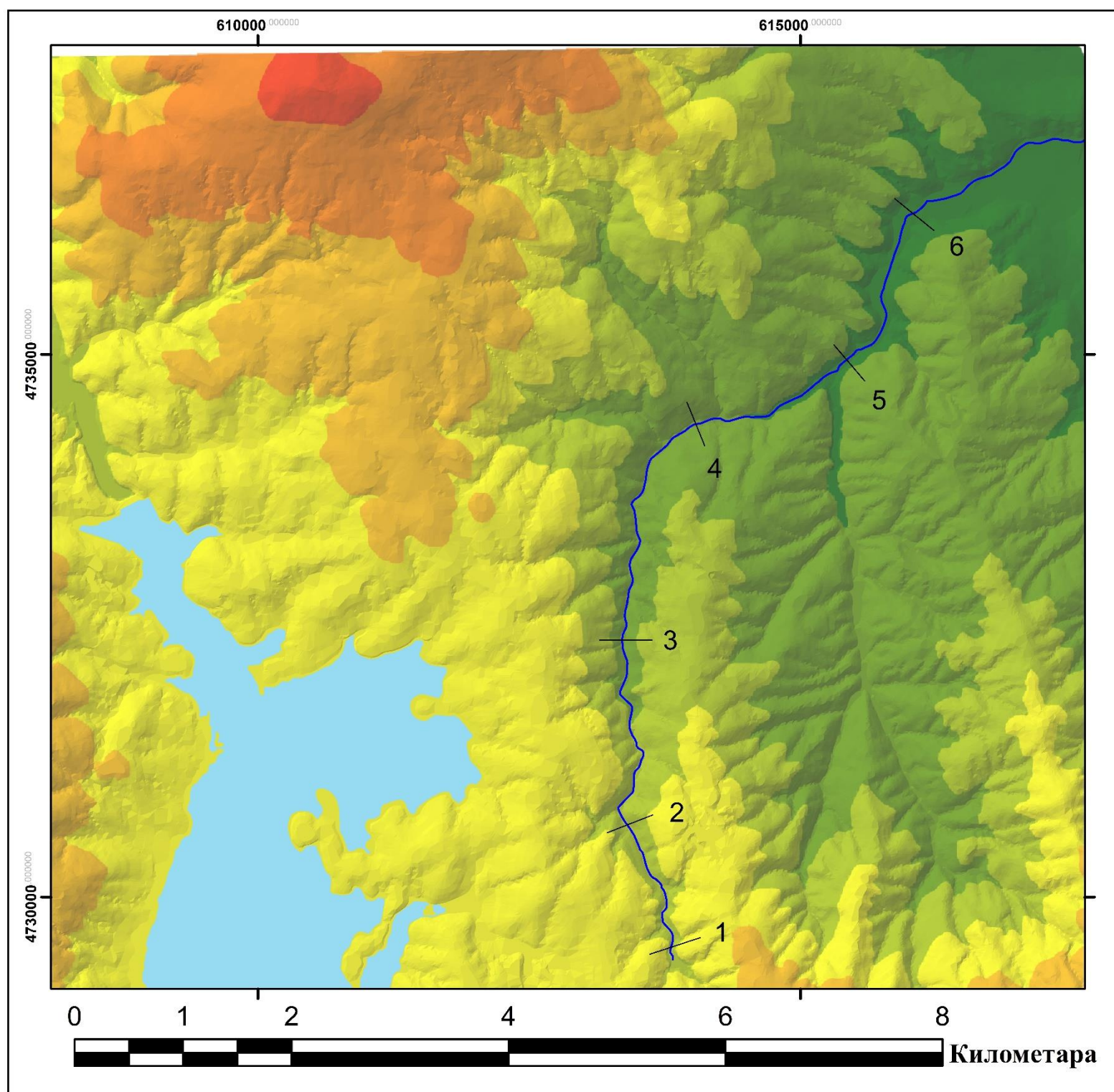
ВЛАСИНА ДМВ 100 m
хидрографска мрежа

1; 2; 3 6; 7
4; 5 8






Аутор : Владимир М. Петровић
ПРИЛОГ 9

Попречни профили на реки Јерми ДМВ из ЦГТБП25










Легенда :

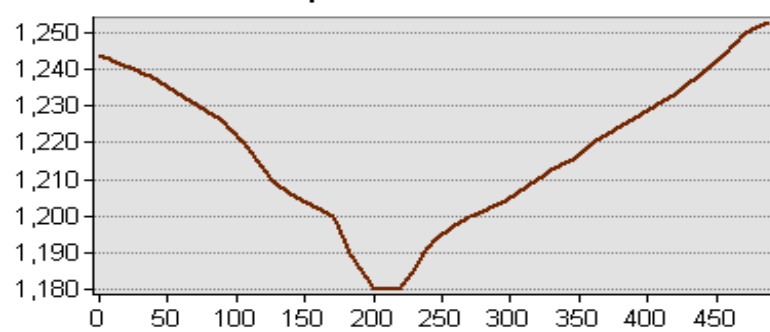
Хидролошке појаве

-  Јерма
-  Власинско језеро
-  Попречни профили

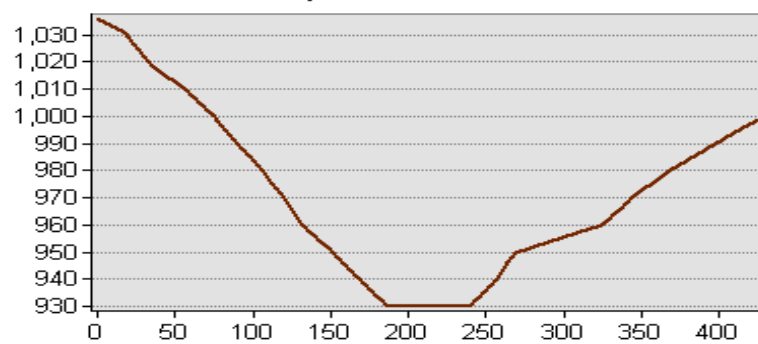
Висинска представа терена

-  700 - 900
-  900 - 1,100
-  1,100 - 1,200
-  1,200 - 1,300
-  1,300 - 1,400
-  1,400 - 1,600
-  1,600 - 1,865

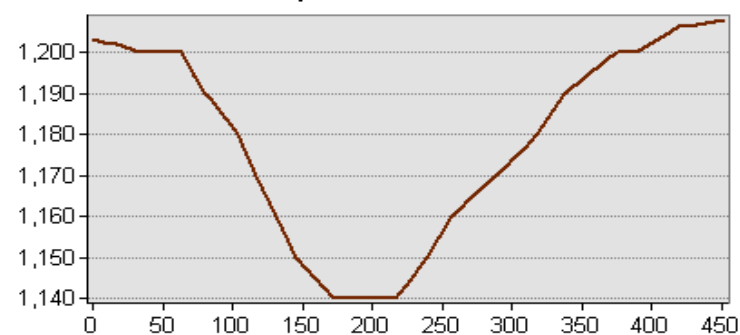
Попречни Профил 1



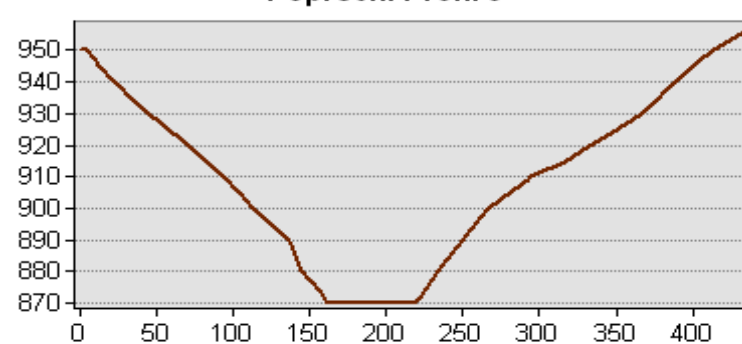
Попречни Профил 4



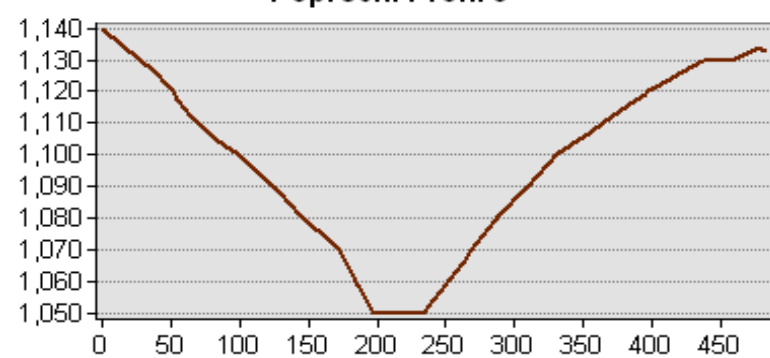
Попречни Профил 2



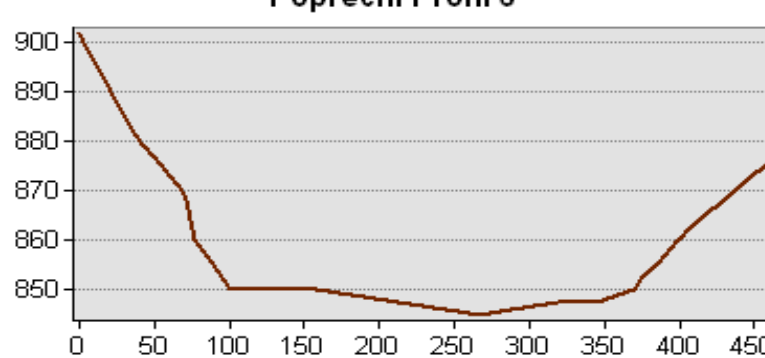
Попречни Профил 5



Попречни Профил 3



Попречни Профил 6



Координате(x,y,z) за контролне тачке у елипсоидним висинама на подручју слива реке Љиг WGS84/UTM34N

Контролна тачка редни број	ID БРОЈ ТАЧКЕ У СИСТЕМУ ВГИ	X (m)	Y (m)	Z (елипсоидна висина) контролне тачке	Z (елипсоидна висина) измерена са ДМВ 10m	РАЗЛИКА КОНТРОЛНА И МОДЕЛ Z	std	min	max	Z (елипсоидна висина) измерена са ДМВ 0.5 m	РАЗЛИКА КОНТРОЛНА И МОДЕЛ Z	std	min	max
1	6020101	441149.7	4905174.6	178.944	178.103	-0.841	1.98	-3.03	3.24	178.881	-0.063	0.04	-0.10	0.05
2	6020102	441151.4	4905174.6	178.939	178.135	-0.804				178.853	-0.086			
3	6020103	441153.4	4905174.6	178.934	178.171	-0.763				178.861	-0.073			
4	6020104	441155.0	4905174.6	178.927	178.202	-0.725				178.851	-0.076			
5	6020105	441157.0	4905174.6	178.940	178.237	-0.703				178.880	-0.060			
6	6020201	441149.7	4905172.9	178.867	178.078	-0.789				178.811	-0.056			
7	6020202	441151.4	4905172.8	178.868	178.109	-0.759				178.828	-0.040			
8	6020203	441153.3	4905172.7	178.857	178.143	-0.714				178.773	-0.084			
9	6020204	441155.1	4905172.8	178.860	178.177	-0.683				178.778	-0.082			
10	6020205	441156.8	4905172.9	178.870	178.211	-0.659				178.795	-0.075			
11	6020301	441149.7	4905171.1	178.883	178.052	-0.831				178.789	-0.094			
12	6020302	441151.6	4905171.1	178.884	178.089	-0.795				178.845	-0.039			
13	6020303	441153.3	4905171.0	178.885	178.119	-0.766				178.796	-0.089			
14	6020304	441155.1	4905171.0	178.883	178.153	-0.730				178.798	-0.085			
15	6020305	441156.8	4905171.0	178.897	178.185	-0.712				178.867	-0.030			
16	6020401	441149.6	4905169.3	178.815	178.026	-0.789				178.782	-0.033			
17	6020402	441151.5	4905169.2	178.832	178.060	-0.772				178.783	-0.049			
18	6020403	441153.2	4905169.2	178.821	178.090	-0.731				178.782	-0.039			
19	6020404	441155.1	4905169.2	178.829	178.126	-0.703				178.748	-0.081			
20	6020405	441156.8	4905169.2	178.844	178.159	-0.685				178.748	-0.096			
21	6020501	441149.6	4905167.5	178.838	178.000	-0.838				178.802	-0.036			
22	6020502	441151.6	4905167.5	178.834	178.036	-0.798				178.800	-0.034			
23	6020503	441153.2	4905167.4	178.791	178.065	-0.726				178.779	-0.012			
24	6020504	441155.1	4905167.3	178.802	178.099	-0.703				178.738	-0.064			
25	6020505	441156.9	4905167.4	178.820	178.134	-0.686				178.784	-0.036			
26	6030101	439291.3	4897940.9	203.035	200.000	-3.035				202.980	-0.055			
27	6030102	439292.4	4897939.4	203.031	200.000	-3.031				202.971	-0.060			
28	6030103	439293.5	4897938.0	203.023	200.000	-3.023				202.985	-0.038			
29	6030104	439294.5	4897936.6	203.006	200.000	-3.006				202.986	-0.020			
30	6030105	439295.7	4897935.2	202.994	200.000	-2.994				202.944	-0.050			

31	6030106	439296.7	4897933.8	202.952	200.000	-2.952				202.927	-0.025			
32	6030107	439297.8	4897932.3	202.944	200.000	-2.944				202.910	-0.034			
33	6030108	439299.0	4897930.9	202.947	200.000	-2.947				202.889	-0.058			
34	6030109	439300.0	4897929.4	202.937	200.000	-2.937				202.894	-0.043			
35	6030201	439292.7	4897942.0	202.924	200.000	-2.924				202.895	-0.029			
36	6030202	439293.9	4897940.6	202.913	200.000	-2.913				202.859	-0.054			
37	6030203	439294.9	4897939.2	202.913	200.000	-2.913				202.877	-0.036			
38	6030204	439296.0	4897937.7	202.918	200.000	-2.918				202.942	0.024			
39	6030205	439297.2	4897936.2	202.894	200.000	-2.894				202.799	-0.095			
40	6030206	439298.3	4897934.8	202.849	200.000	-2.849				202.873	0.024			
41	6030207	439299.1	4897933.8	202.836	200.000	-2.836				202.813	-0.023			
42	6030208	439300.4	4897932.0	202.813	200.000	-2.813				202.780	-0.033			
43	6030209	439301.5	4897930.6	202.812	200.000	-2.812				202.743	-0.069			
44	6030301	439294.1	4897943.1	202.897	200.000	-2.897				202.832	-0.065			
45	6030302	439295.2	4897941.7	202.892	200.000	-2.892				202.833	-0.059			
46	6030303	439296.3	4897940.3	202.863	200.000	-2.863				202.783	-0.080			
47	6030304	439297.4	4897938.8	202.866	200.000	-2.866				202.912	0.046			
48	6030305	439298.5	4897937.4	202.934	200.000	-2.934				202.891	-0.043			
49	6030306	439299.6	4897935.9	202.920	200.000	-2.920				202.879	-0.041			
50	6030307	439300.7	4897934.6	202.876	200.000	-2.876				202.787	-0.089			
51	6030308	439301.8	4897933.1	202.870	200.000	-2.870				202.787	-0.084			
52	6030309	439303.0	4897931.7	202.774	200.000	-2.774				202.743	-0.031			
53	6040101	442550.0	4896800.9	194.423	192.614	-1.809				194.330	-0.093			
54	6040102	442548.2	4896800.4	194.395	192.593	-1.802				194.361	-0.034			
55	6040103	442546.4	4896800.1	194.359	192.607	-1.752				194.327	-0.032			
56	6040104	442544.4	4896799.0	194.323	192.578	-1.745				194.301	-0.022			
57	6040105	442543.0	4896798.9	194.300	192.569	-1.731				194.268	-0.032			
58	6040106	442541.1	4896798.4	194.285	192.544	-1.741				194.236	-0.049			
59	6040107	442539.3	4896798.1	194.280	192.525	-1.755				194.216	-0.064			
60	6040108	442537.5	4896797.8	194.283	192.509	-1.774				194.251	-0.032			
61	6040109	442535.9	4896797.5	194.282	192.492	-1.790				194.234	-0.048			
62	6040110	442533.7	4896797.2	194.230	192.479	-1.751				194.262	0.032			
63	6040111	442532.1	4896796.9	194.222	192.463	-1.759				194.244	0.022			
64	6040112	442530.4	4896796.6	194.218	192.461	-1.757				194.255	0.037			
65	6040113	442528.9	4896796.1	194.222	192.463	-1.759				194.269	0.047			
66	6040114	442526.8	4896795.7	194.208	192.461	-1.747				194.250	0.042			
67	6040115	442525.3	4896795.5	194.207	192.461	-1.746				194.192	-0.015			
68	6040116	442523.6	4896795.2	194.201	192.453	-1.748				194.224	0.023			

69	6040117	442522.0	4896794.8	194.198	192.445	-1.753				194.160	-0.038			
70	6040118	442520.1	4896794.4	194.195	192.397	-1.798				194.210	0.015			
71	6040119	442518.2	4896794.1	194.195	192.341	-1.854				194.223	0.028			
72	6040120	442516.6	4896793.9	194.180	192.300	-1.880				194.154	-0.026			
73	6040121	442514.4	4896793.4	194.185	192.234	-1.951				194.226	0.041			
74	6040122	442512.8	4896793.0	194.208	192.182	-2.026				194.243	0.035			
75	6040123	442510.8	4896792.5	194.242	192.119	-2.123				194.267	0.025			
76	6040124	442509.5	4896792.1	194.266	192.073	-2.193				194.231	-0.035			
77	6040125	442507.9	4896791.7	194.291	192.022	-2.269				194.237	-0.054			
78	6050101	438106.3	4894038.7	215.161	218.400	3.239				215.072	-0.089			
79	6050102	438106.9	4894040.4	215.116	218.287	3.171				215.047	-0.069			
80	6050103	438107.6	4894042.1	215.079	218.163	3.084				215.016	-0.063			
81	6050104	438108.2	4894043.8	215.032	218.038	3.006				214.980	-0.052			
82	6050105	438108.8	4894045.6	214.979	217.911	2.932				215.008	0.029			
83	6050106	438109.4	4894047.3	214.930	217.794	2.864				214.958	0.028			
84	6050107	438110.0	4894049.0	214.886	217.675	2.789				214.791	-0.095			
85	6050108	438110.6	4894050.7	214.841	217.551	2.710				214.864	0.023			
86	6050109	438111.2	4894052.2	214.805	217.441	2.636				214.843	0.038			
87	6050110	438111.7	4894054.1	214.748	217.309	2.561				214.679	-0.069			
88	6050111	438112.3	4894055.9	214.695	217.187	2.492				214.728	0.033			
89	6050112	438112.9	4894057.4	214.648	217.075	2.427				214.687	0.039			
90	6050113	438113.5	4894059.2	214.678	216.951	2.273				214.593	-0.085			
91	6050114	438114.1	4894060.9	214.620	216.831	2.211				214.550	-0.070			
92	6050115	438114.8	4894062.6	214.605	216.706	2.101				214.572	-0.033			
93	6050116	438115.3	4894064.3	214.577	216.586	2.009				214.516	-0.061			
94	6050117	438115.9	4894066.0	214.535	216.467	1.932				214.501	-0.034			
95	6050118	438116.4	4894067.6	214.494	216.353	1.859				214.460	-0.034			
96	6050119	438117.1	4894069.3	214.458	216.232	1.774				214.426	-0.032			
97	6050120	438117.7	4894071.1	214.403	216.105	1.702				214.359	-0.044			
98	6050121	438118.3	4894072.7	214.362	215.992	1.630				214.304	-0.058			
99	6050122	438118.9	4894074.5	214.329	215.866	1.537				214.285	-0.044			
100	6050123	438119.4	4894076.2	214.296	215.746	1.450				214.253	-0.043			
101	6050124	438120.1	4894077.9	214.277	215.625	1.348				214.228	-0.049			
102	6050125	438120.6	4894079.6	214.235	215.502	1.267				214.199	-0.036			

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: **Владимир М. Петровић**

Број индекса: **12/2014**

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

**„Географски информациони системи у функцији унапређења управљања и
заштите изворишта површинских вода”**

- 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 ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: **Владимир М. Петровић**

Број индекса: **12/2014**

Студијски програм: **Геонауке**

Наслов рада: **„Географски информациони системи у функцији унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода”**

Ментор: **Проф. Др Мирољуб Милинчић**

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

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

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

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

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

„Географски информациони системи у функцији унапређења управљања и заштите изворишта површинских вода”

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао 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.

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

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

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

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

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

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

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

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