



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET



GEOPROSTORNA ANALIZA U FUNKCIJI PLANSKOG RAZVOJA NAVODNJAVANJA U AP VOJVODINI

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentori:
prof. dr Dragoslav Pavić
prof. dr Atila Bezdán

Kandidat:
Mirjana Radulović

Novi Sad, 2025. godine

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

OBRAZAC – 5a

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA¹

| | |
|---|--|
| Vrsta rada: | Doktorska disertacija |
| Ime i prezime autora: | Mirjana Radulović |
| Mentor (titula, ime, prezime, zvanje, institucija): | 1. dr Dragoslav Pavić, redovni profesor, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu 2. dr Atila Bezdán, vanredni profesor, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu |
| Naslov rada: | Geoprostorna analiza u funkciji planskog razvoja navodnjavanja u AP Vojvodini |
| Jezik i pismo rada: | Srpski (latinica) |
| Fizički opis rada: | Uneti broj: Stranica <u>171</u> Poglavlja <u>12</u> Referenci <u>206</u> Karata <u>55</u> Tabela <u>37</u> Slika <u>13</u> Grafikona <u>23</u> Priloga <u>8</u> |
| Naučna oblast: | Geonauke |
| Uža naučna oblast (naučna disciplina): | Fizička geografija, geoinformatika |
| Ključne reči / predmetna odrednica: | Navodnjavanje, geoprostorna analiza, vodoprivreda, poljoprivreda |
| Apstrakt na jeziku rada: | Predmet ove doktorske disertacije predstavlja sveobuhvatno istraživanje mogućnosti i dometa primene geoprostorne analize kao metodološkog pristupa u procesu planskog razvoja navodnjavanja na teritoriji AP Vojvodine. Istraživanje se temelji na uspostavljanju integrisanog pristupa koji kombinuje prostorne podatke, analitičke metode i metode veštačke inteligencije kako bi se unapredilo planiranje i donošenje odluka u oblasti navodnjavanja. Implementacijom naprednog algoritma mašinskog učenja omogućena je precizna detekcija i monitoring prostorne distribucije sistema za navodnjavanje na teritoriji AP Vojvodine, što daje jasan uvid o trenutnom stepenu zastupljenosti navodnjavane poljoprivrede. Integracijom i analitičkom obradom heterogenih geoprostornih podataka, primenom naprednih GIS tehnologija i multikriterijumskih sistema za podršku odlučivanju, kreirane su prostorne i tematske karte koje identifikuju potencijalne lokacije za razvoj navodnjavanja u regionu. Time je predložen planski razvoj navodnjavanja sa nekoliko aspekata, uključujući korišćenje različitih izvora vode, strateška ulaganja u izgradnju novih sistema, kao i unapređenje postojeće infrastrukture. Dalje, problem je detaljno razrađen na lokalnom nivou, odnosno opštini Titel, gde je urađena i procena zona potencijala podzemnih voda. Ispitivanjem i |

¹ Autor doktorske disertacije potpisao je i priložio sledeće Obrasce:

56 – Izjava o autorstvu;

5b – Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije dokorskog rada i dozvola za objavljivanje ličnih podataka;

5r – Izjava o korišćenju.

Ove Izjave se čuvaju u štampanom i elektronskom obliku i ne koriče se sa radom.

| | |
|--|--|
| | dokazivanjem mogućnosti primene predložene metodologije na opštini koja je takođe poljoprivrednog karaktera, postigla se sigurnost u apliciranju iste na nivou pokrajine, gde su geomorfološke, geološke i pedološke karakteristike veoma slične. Kroz ovakvu detaljnu analizu pružene su informacije i metodološke smernice za sistematsko planiranje razvoja sistema za navodnjavanje i poljoprivredne proizvodnje, kao i efikasno korišćenje vodnih resursa u AP Vojvodini. |
| Datum prihvatanja teme od strane nadležnog veća: | 30.09.2021. |
| Datum odbrane: (Popunjavanje naknadno institucija) | |
| Članovi komisije: (titula, ime, prezime, zvanje, institucija) | <p>Predsednik: dr Minučer Mesaroš, vanredni profesor, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu</p> <p>Mentor: dr Dragoslav Pavić, redovni profesor, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu</p> <p>Član: dr Dragan Dolinaj, redovni profesor, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu</p> <p>Član: dr Boško Blagojević, vanredni profesor, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu</p> <p>Član: dr Gordan Mimić, viši naučni saradnik, Institut BioSens – Istraživačko-razvojni institut za informacione tehnologije biosistema, Univerzitet u Novom Sadu</p> |
| Napomena: | |

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCES**

KEY WORD DOCUMENTATION²

| | |
|--|--|
| Document type: | Doctoral dissertation |
| Author: | Mirjana Radulović |
| Supervisor (title, first name, last name, position, institution) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Dr Dragoslav Pavić, Full professor, Faculty of Sciences 2. Dr Atila Bezdan, Associate professor, Faculty of Agriculture |
| Thesis title in English: | Geospatial analysis for the planned development of irrigation in the Vojvodina province |
| Language and script: | Serbian (Latin) |
| Physical description: | Number of: Pages <u>171</u> Chapters <u>12</u> References <u>206</u> Figures <u>55</u> Tables <u>37</u> Illustrations <u>13</u> Graphs <u>23</u> Appendices <u>8</u> |
| Scientific field: | Geosciences |
| Scientific subfield (scientific discipline): | Physical geography, geoinformatics |
| Subject, Key words: | Irrigation, geospatial analysis, water management, agriculture |
| Abstract in English: | <p>The subject of this doctoral dissertation represents a comprehensive investigation into the possibilities and scope of applying geospatial analysis as a methodological approach in the planned development of irrigation systems in AP Vojvodina. The research is based on establishing an integrated approach that combines spatial data, analytical methods, and artificial intelligence techniques to enhance planning and decision-making in the field of irrigation. By implementing an advanced machine learning algorithm, precise detection and monitoring of the spatial distribution of irrigation systems in the territory of Vojvodina were enabled, providing a clear insight into the current extent of irrigated agriculture. Through the integration and analytical processing of heterogeneous geospatial data, using advanced GIS technologies and multi-criteria decision support systems, spatial and thematic maps were created to identify potential locations for irrigation development in the region. This approach has proposed planned irrigation development from several aspects, including the use of various water sources, strategic investments in building new systems, and improvement of existing infrastructure. Furthermore, the problem was down scaled at the local level, in the municipality of Titel, where an assessment of groundwater potential zones was conducted. By testing and proving the applicability of the proposed methodology in a municipality, which</p> |

² The author of the doctoral dissertation has signed the following Statements:

56 – Statement on the authorship,

5B – Statement that the printed and e-version of the doctoral dissertation are identical and authorization to use personal data,

5r – Copyright statement.

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

| | |
|--|--|
| | is typically agricultural, confidence was gained in applying the same methodology at the provincial level, where geomorphological, geological, and pedological characteristics are very similar. Through such detailed analysis, information and methodological guidelines were provided for systematic planning of irrigation system development and agricultural production, as well as efficient use of water resources in AP Vojvodina. |
| Date of endorsement by the scientific board: | 30.09.2021. |
| Date of defence: (Filled in by the institution) | |
| Thesis defence board: (title, first name, last name, position, institution) | <p>Chair: Dr Minučer Mesaroš, associate professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Mentor: Dr Dragoslav Pavić, full professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Member: Dr Dragan Dolinaj, full professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Member: Dr Boško Blagojević, associate professor, Faculty of Agriculture, University of Novi Sad</p> <p>Member: Dr Gordan Mimić, senior research associate, Institute BioSense - Institute for research and development of information technology in biosystems</p> |
| Note: | |

PREDGOVOR

Geografiju sam zavolela u osnovnoj školi. Čista ljubav, bez preteranog razmišljanja o karijernim mogućnostima, povela me je da upišem studije ovog predmeta i posvetim se učenju onoga što istinski volim. Iz toga sam, naravno, nastavila i doktorske studije koje su još iz tih dečijih dana bile želja. Uistinu, nisam nikad razmišljala o *hidrologiji* kao takvoj, ali me je kroz studije, a i kroz život, uvek nešto vuklo ka vodi, istraživanju i onog vidljivog i nevidljivog dela nje. U želji da izbegnem bavljenjem naukom radi nauke, a iskoristim „hidrološki potencijal“, odlučila sam da se posvetim nečemu što će imati stvarnu vrednost – *navodnjavanju*. Tada krećem na jedno novo *planinarenje*.

E sad... zašto sam morala da pomenem planinarenje. Morala sam jer planinarenje je moj stil života i on se prožimao i kroz ovaj naučni put. Kako?

Biti na doktorskim studijama je, na mnogo načina, poput planinarenja. Sve počinje s ambicioznim ciljem – vrhom koji se čini dalekim, ali dostižnim. Međutim, iza svakog veličanstvenog vrha krije se strma staza koja zahteva ne samo dobru pripremu, već i neograničene zalihe strpljenja, upornosti i vere u sebe. Put do ovog naučnog vrha bio je praćen mnogim olujama koje su me vraćale korak-dva nazad, a nekad i na početak. Sad, kad se osvrnem, shvatam da se sve to zapravo pretvaralo u neka nova iskustva i izazove koji su me dalje gurali da nastavim. Ova disertacija predstavlja kulminaciju višegodišnjeg rada, istraživanja i učenja, ali i ličnog razvoja.

Na ovom naučnom usponu imala sam sreću da imam prave saputnike. Zahvalnost koju želim da im izrazim nije samo formalnost, već trenutak da se osvrnem na njihov doprinos ovom istraživanju.

Najpre bih želela da se zahvalim svojim mentorima, prof. dr Dragoslavu Paviću i prof. dr Atili Bezdanu koji su mi svojom stručnošću pomogli na ovom istraživačkom putu. Profesoru Dragoslavu Paviću, sada po treći put u ulozi mentora, dugujem veliku zahvalnost na podršci, posvećenosti i strpljenju koje mi je pružao ne samo prilikom izrade doktorske disertacije, nego i u drugim aspektima profesionalnog razvoja. Profesoru Atili Bezdanu sam zahvalna na izdvojenom vremenu, konstruktivnim komentarima, kritičkim sugestijama i stručnom usmeravanju koji su bili veoma važni za bavljenje ovakvom temom iz perspektive geografije.

Zahvalnost dugujem i profesoru dr Bošku Blagojeviću, čiji su nesebični angažman, stručni saveti i pronicljive sugestije značajno unapredile suštinu doktorske disertacije.

Želja za bavljenjem naukom odvela me je u Institut BioSens, a mukotrpne priče o hidrologiji i njenom značaju u poljoprivredi je morao neko da sluša i najzad pristane i dopusti da istražujem i tu sferu. Stoga, zahvaljujem dr Oskaru Marku koji je prepoznao moju želju za radom u nauci i bavljenjem ovom temom i pružio podršku u realizaciji iste. Dr Sanji Brdar zahvaljujem na dragocnim savetima koje mi je davala prilikom pisanja prvog kompleksnijeg naučnog rada na ovu temu. Veliko hvala dr Gordanu Mimiću što je uvek bio spreman da me sasluša, motiviše i pomogne da vratim fokus onda kad je bilo najpotrebnije.

CIT-ovci, bez vašeg truda i pomoći na terenima gde smo zajedno prikupljali podatke prelazeći stotine kilometara po suncu, kiši, vetru, zaglavljivali se u blatu i kupali se ispod

sistema za navodnjavanje, ova disertacija ne bi bila ovakva kakva danas jeste. Hvala vam što ste slušali svako moje neiscrpno „obeleži navodnjavanu parcelu“!

Koliko je ovaj rad rezultat mog truda, toliko je i rezultat truda mojih prijatelja.

Mojim kumovima i prijateljima, Mariji i Srđanu, dugujem mnogo više od par rečenica jer bez njihove podrške sve bi ovo bilo mnogo teže. Oni su me ohrabрили na putu do ostvarenja mojih ciljeva i bili oslonac kada mi je bilo najteže. Hvala vam što ste imali beskrajno strpljenja, neograničeno vremena da me saslušate, na tone reči da me savetujete i neiscrpan resurs vere u mene! Njihovi mališani, Aki i Selka, su mi pružili neophodan osmeh koji je bio inspiracija za dalju istraživačku avanturu.

Planinarenje je moj veliki hobi, a da on ne ostane zapostavljen trudili su se moji „hajking badiji“ Tijana, Dušan i Olja. Hvala vam što ste me podsećali koliko je važno uživati, biti u dodiru sa prirodom, biti svoj na svome. Svaki odlazak u planinu bio je novi izvor energije za nastavak ovog naučnog planinarenja.

Nastasija, hvala ti što si pisala jednačine, crtala funkcije i objašnjavala mi programiranje na papiru, što si bila prijatelj i podrška u mojim prvim istraživačkim koracima. U daljim koracima učestvovala je Milja kojoj sam zahvalna jer je bila ne samo moj saputnik na mnogim poslovnim putovanjima, nego i na ovom mom ličnom „naučnom“ putovanju. Najbolje ideje su se rađale uz dobru muziku, čašu vina i sir i „Prijatelje“.

Hvala neformalnoj organizaciji prijatelja „Nacionalni savet Rusina“ na svim ozbiljnim i neozbiljnim savetima, trenucima opuštanja uz dobru zabavu i ukusnu hranu, koji su me odvlačili od posla, ali punili baterije za nastavak.

I na kraju, veliku i posebnu zahvalnost dugujem svojim roditeljima - Mili i Gorici, i bratu Marku. Vi ste od početka podržavali sve moje ideje i želje, davali savete, imali razumevanje i strpljenje. Hvala vam što ste uvek verovali u mene i moj rad i onda kad sam sama sumnjala u sebe. Ova disertacija je i vaše delo, jer bez vaše podrške ne bih bila ovde gde sam danas!

Radulović i saputnici. (2025). Da bismo se popeli na Mont Everest dugačak je spisak planina na koje se treba ispenjati, spustiti i ne odustati!

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| UVOD | 12 |
| PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA | 17 |
| GEOGRAFSKI POLOŽAJ, GRANICE I VELIČINA VOJVODINE | 21 |
| FIZIČKO-GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE VOJVODINE | 22 |
| GEOMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE | 22 |
| KLIMATSKE KARAKTERISTIKE..... | 26 |
| HIDROLOŠKE KARAKTERISTIKE | 29 |
| Podzemne vode..... | 29 |
| Površinske vode..... | 32 |
| PEDOLOŠKE KARAKTERISTIKE | 35 |
| RAZVOJ I IZGRADNJA SISTEMA ZA NAVODNJAVANJE U VOJVODINI | 41 |
| ISTORIJAT NAVODNJAVANJA | 41 |
| IZGRADNJA HIDROSISTEMA DUNAV-TISA-DUNAV | 42 |
| AKUMULACIJE U VOJVODINI I MOGUĆNOST NJIHOVOG KORIŠĆENJA ZA NAVODNJAVANJE | 45 |
| TRENUTNO STANJE NAVODNJAVANJA | 46 |
| Projekat „Razvoj navodnjavanja u poljoprivredi Srbije” – Abu Dabi fond | 47 |
| Dvonamenski sistemi i njihova uloga u unapređenju poljoprivrede | 49 |
| PODACI | 52 |
| PODACI SA TERENA..... | 52 |
| SENTINEL-2 SATELITSKI PODACI | 55 |
| KARTE KLASIFIKACIJE KULTURA ZA VOJVODINU | 59 |
| DRUGI GEOPROSTORNI PODACI | 61 |
| METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA | 63 |
| MAŠINSKO UČENJE: DEFINICIJA I KONCEPT..... | 63 |
| Klasifikacija..... | 64 |
| Generisanje karata verovatnoće navodnjavanja | 68 |
| Validacija modela i dobijenih karata navodnjavanih površina..... | 69 |
| VIŠEKRITERIJUMSKO ODLUČIVANJE: DEFINICIJA I KONCEPT | 72 |
| Teorijski okviri Analitičkog Hijerarhijskog Procesu (AHP) | 72 |
| Prioritizacija – metod sopstvenih vrednosti i mere konzistentnosti..... | 74 |
| Metode objedinjavanja individualnih ocena u grupne odluke | 75 |

| | |
|---|-----|
| Modifikacija AHP metode primenom fazi logike – FAHP | 76 |
| Postavka eksperimenata..... | 78 |
| Priprema podataka u GIS okruženju | 78 |
| Postavka eksperimenta za određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje | 78 |
| Postavka eksperimenta za određivanje zona potencijala podzemnih voda..... | 80 |
| REZULTATI | 84 |
| KLASIFIKACIJA NAVODNJAVANIH I NENAVODNJAVANIH POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA U VOJVODINI | 84 |
| Performanse modela klasifikacije..... | 84 |
| Prostorna evaluacija modela | 86 |
| Prostorna distribucija navodnjavanih površina u Vojvodini | 87 |
| Poređenje rezultata klasifikacije sa Nacionalnom statistikom | 90 |
| ODREĐIVANJE POTENCIJALNIH LOKACIJA ZA NAVODNJAVANJE U VOJVODINI | 92 |
| Rezultati individualnog vrednovanja indikatora..... | 92 |
| GIS analiza indikatora | 95 |
| Potencijalne lokacije za navodnjavanje u Vojvodini..... | 104 |
| ODREĐIVANJE ZONA POTENCIJALA PODZEMNIH VODA I MOGUĆNOST NJIHOVOG KORIŠĆENJA NA PRIMERU OPŠTINE TITEL | 110 |
| Geografske karakteristike opštine Titel..... | 110 |
| Rezultati vrednovanja indikatora..... | 111 |
| GIS analiza indikatora | 113 |
| Potencijal podzemnih voda u opštini Titel | 123 |
| DISKUSIJA | 125 |
| PRECIZNOST KLASIFIKACIJE U RAZLIČITIM VREMENSKIM USLOVIMA | 125 |
| GEOGRAFSKI PRISTUP ANALIZI PROBLEMA RAZLIKOVANJA NAVODNJAVANIH I NENAVODNJAVANIH PARCELA | 126 |
| ANALIZA POGODNIH LOKALITETA ZA NAVODNJAVANJE | 128 |
| ANALIZA ZONA POTENCIJALA PODZEMNIH VODA U OPŠTINI TITEL | 134 |
| ODRŽIVA POLJOPRIVREDA U OPŠTINI TITEL – RAZVOJ NAVODNJAVANJA I MOGUĆNOST KORIŠĆENJA PODZEMNIH VODA | 137 |
| ZAKLJUČAK | 141 |
| LITERATURA I IZVORI | 143 |
| PRILOZI | 158 |
| BIOGRAFIJA | 166 |

REZIME

Predmet ove doktorske disertacije predstavlja sveobuhvatno istraživanje mogućnosti i dometa primene geoprostorne analize kao metodološkog pristupa u procesu planskog razvoja navodnjavanja na teritoriji AP Vojvodine. Istraživanje se temelji na uspostavljanju integrisanog pristupa koji kombinuje prostorne podatke, analitičke metode i metode veštačke inteligencije kako bi se unapredilo planiranje i donošenje odluka u oblasti navodnjavanja. Implementacijom naprednog algoritma mašinskog učenja omogućena je precizna detekcija i monitoring prostorne distribucije sistema za navodnjavanje na teritoriji AP Vojvodine, što daje jasan uvid o trenutnom stepenu zastupljenosti navodnjavane poljoprivrede. Integracijom i analitičkom obradom heterogenih geoprostornih podataka, primenom naprednih GIS tehnologija i multikriterijumskih sistema za podršku odlučivanju, kreirane su prostorne i tematske karte koje identifikuju potencijalne lokacije za razvoj navodnjavanja u regionu. Time je predložen planski razvoj navodnjavanja sa nekoliko aspekata, uključujući korišćenje različitih izvora vode, strateška ulaganja u izgradnju novih sistema, kao i unapređenje postojeće infrastrukture. Dalje, problem je detaljno razrađen na lokalnom nivou, odnosno opštini Titel, gde je urađena i procena zona potencijala podzemnih voda. Ispitivanjem i dokazivanjem mogućnosti primene predložene metodologije na opštini koja je takođe poljoprivrednog karaktera, postigla se sigurnost u apliciranju iste na nivou pokrajine, gde su geomorfološke, geološke i pedološke karakteristike veoma slične. Kroz ovakvu detaljnu analizu pružene su informacije i metodološke smernice za sistematsko planiranje razvoja sistema za navodnjavanje i poljoprivredne proizvodnje, kao i efikasno korišćenje vodnih resursa u AP Vojvodini.

ABSTRACT

The subject of this doctoral dissertation represents a comprehensive investigation into the possibilities and scope of applying geospatial analysis as a methodological approach in the planned development of irrigation systems in AP Vojvodina. The research is based on establishing an integrated approach that combines spatial data, analytical methods, and artificial intelligence techniques to enhance planning and decision-making in the field of irrigation. By implementing an advanced machine learning algorithm, precise detection and monitoring of the spatial distribution of irrigation systems in the territory of Vojvodina were enabled, providing a clear insight into the current extent of irrigated agriculture. Through the integration and analytical processing of heterogeneous geospatial data, using advanced GIS technologies and multi-criteria decision support systems, spatial and thematic maps were created to identify potential locations for irrigation development in the region. This approach has proposed planned irrigation development from several aspects, including the use of various water sources, strategic investments in building new systems, and improvement of existing infrastructure. Furthermore, the problem was down scaled at the local level, in the municipality of Titel, where an assessment of groundwater potential zones was conducted. By testing and

proving the applicability of the proposed methodology in a municipality, which is typically agricultural, confidence was gained in applying the same methodology at the provincial level, where geomorphological, geological, and pedological characteristics are very similar. Through such detailed analysis, information and methodological guidelines were provided for systematic planning of irrigation system development and agricultural production, as well as efficient use of water resources in AP Vojvodina.

UVOD

Nedostatak vodnih resursa i porast potražnje za proizvodnjom hrane na globalnom nivou izazivaju sve veću pažnju u svetu. Procene FAO (Gitz, 2016) su da će do 2050. godine biti potrebno podići proizvodnju hrane za 60% kako bi se zadovoljile svetske potrebe što se mora postići uz očuvanje i unapređenje prirodnih resursa. Usled globalnog zagrevanja, 80% svetskog stanovništva se suočava sa nestašicom vode (Bruinsma, 2017). Pružajući bolje uslove za rast i veći prinos useva, navodnjavanje ima ključnu ulogu kada je u pitanju ispunjavanje svetske potrebe za hranom.



Slika 1. Sistem za navodnjavanje u Banatu

Izvor: autor

Navodnjavanje predstavlja jednu od hidromelioracionih mera za poboljšanje fizičkih osobina zemljišta kojom se veštačkim putem dovodi voda u sušnim periodima godine. Cilj je da se obezbede dovoljne količine vode biljkama u kritičnom periodu rasta kako bi prinosi na kraju sezone bili zadovoljavajući. Pored toga što biljke dobijaju dovoljnu količinu vode, navodnjavanjem se regulišu i vazdušni, toplotni, mineralni i mikrobiološki režim zemljišta. Ova praksa se koristi kako bi se osigurali optimalni uslovi za rast i razvoj useva, poboljšali prinosi, te smanjili rizici od suše ili nedostatka vlage. Navodnjavanje može biti ključno u održavanju produktivnosti poljoprivrednih zemljišta i podržavanju različitih sistema uzgoja biljaka, uključujući intenzivnu poljoprivredu. U sušnim predelima predstavlja neophodnu meru kako bi se osigurala poljoprivredna proizvodnja, dok se u vlažnim zonama primenjuje kako bi

se zadovoljila prekomerna potražnja useva čiji ciklus rasta može biti neusaglašen sa padavinama. Tako navodnjavana poljoprivreda omogućava 40% globalne proizvodnje hrane sa samo 20% ukupne obrađene zemlje (Wada et al., 2013; Wu et al., 2022). U mnogim regionima sveta voda se koristi neefikasno što dovodi do prekomernog iscrpljivanja vodonosnih slojeva, smanjenja i presušivanja rečnih tokova, kao i zagađenja mnogih izvora (Topcu, 2011). Nedostatak vodnih resursa predstavlja izuzetno bitan faktor kada je reč o ekonomskom razvoju jedne države, uzimajući u obzir da je navodnjavanje jedna od glavnih mera unapređenja poljoprivredne proizvodnje (Kljaić et al., 2011). Da bi se na adekvatan način suočili sa novonastalom situacijom, neophodno je razviti strategije prilagođavanja koje bi omogućile pristup vodnim resursima za celokupno stanovništvo, ali i unapredile poljoprivrednu proizvodnju.

S obzirom na to, a iz perspektive održive poljoprivrede, istraživanja su sve više okrenuta ka tome kako postići dobit kroz održivo navodnjavanje, a ne kroz ostvarenje maksimalnih prinosa na račun neravnomernog i nekontrolisanog iskorišćavanja vodnih resursa. Ovim se dolazi i do toga da navodnjavanje treba da omogući prelazak na useve koji obezbeđuju veće prinose i veće prihode što pozitivno utiče na bruto poljoprivredni proizvod zemlje. Time bi se smanjio rizik od nestašice voda, optimizovala bi se i povećala efikasnost korišćenja vodnih resursa na ekonomski isplativim usevima što sve ide u prilog prilagođavanju klimatskim promenama koje imaju veliki uticaj na poljoprivrednu proizvodnju širom sveta. S obzirom na značajnu ulogu navodnjavanja u proizvodnji hrane, imperativ je dati prioritet planiranju optimalnog korišćenja vode za navodnjavanje (Schaldach et al., 2012).

Kao glavni poljoprivredni region u Srbiji, Vojvodina je prekrivena sa 75% poljoprivrednog zemljišta gde ujedno postoji veliki potencijal iskoristivosti voda za navodnjavanje (Blagojević et al., 2016). Sa prosečnom količinom padavina od 600 mm, kao i njihovom neravnomernom vremenskom i prostornom raspodelom, poljoprivreda u ovom regionu iz godine u godinu trpi negativne posledice suše. Tokom vegetacionog perioda zemljištu i usevima nedostaje u proseku 100 do 300 mm vode (EEA, 2017; Kurnik et al., 2015). Procenjuje se da je, zahvaljujući izgrađenoj infrastrukturi i dostupnosti vode, moguće navodnjavati više od 50% obradivog zemljišta u Pokrajini (JVP „Vode Vojvodine”, 2023). Međutim, prema anketi strukture poljoprivrednih gazdinstava iz 2018. godine, svega 4,8% obradivog zemljišta u Vojvodini je pod zalivnim sistemima. S obzirom na sve češće prirodne nepogode poput suše i ekstremnih padavina, ovaj poljoprivredni region će se u budućnosti sve više suočavati sa klimatskim promenama, a time i potrebom za učestalijom primenom navodnjavanja. Kako bi se povećala poljoprivredna proizvodnja pod navodnjavanjem, ali i istovremeno vodilo računa o održivom korišćenju vodnih resursa, neophodno je razviti pametne strategije navodnjavanja.

Razvoj dobre strategije za navodnjavanje zahteva holistički pristup i uzimanje u obzir različitih faktora kako bi se osiguralo održivo korišćenje vodnih resursa i maksimizirala poljoprivredna produktivnost. Kreiranje strategije zahteva obzirne pristupe koji su izgrađeni na rigoroznoj proceni potreba i potencijala. Podzemne vode su jedan od najvažnijih prirodnih resursa za pouzdano i održivo snabdevanje vodom u svetu. Da bi se razumelo korišćenje ovog vodnog resursa, potrebno je analizirati osnovne karakteristike podzemnih voda, ali u mnogim slučajevima merenja na terenu nisu dostupna ili su nepotpuna. Takođe, analize pogodnosti

lokaliteta za navodnjavanje zahtevaju velike baze geoprostornih podataka kako bi se na što kvalitetniji način generisali dobri rezultati koji dalje mogu da posluže donosiocima odluka. Pojavom digitalne tehnologije, koja uključuje moćne računare i mogućnost integracije savremenih metoda u geografski informacioni sistem (GIS), moguće je raditi na složenijim i naprednijim istraživanjima kao što je detekcija navodnjavanja, određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje, ali i određivanje zona potencijala podzemnih voda u bilo kom regionu u svetu (Danbara & Zewdie, 2022; Das, 2017; Paul et al., 2020). Ove tehnološke prednosti su zamenile tradicionalno prikupljanje podataka i omogućile lakši i jeftiniji pristup istim (Gumma & Pavelic, 2013). Koristeći GIS tehnike moguće je rukovati velikim bazama podataka koje su ključne za stvaranje adekvatnog sistema za proces donošenja odluka u različitim oblastima (Jha et al., 2007; Nampak et al., 2014).

Određivanje potencijala poljoprivrednih površina može voditi donosiocima odluka u planiranju ulaganja u razvoj navodnjavanja. Razumevanje prostorne distribucije parcela koje se navodnjavaju, planiranje potencijalnih lokacija za navodnjavanje i određivanje potencijala iskoristivosti vodnih resursa mogu značajno doprineti razvoju strategije navodnjavanja i to na nekoliko načina:

1. **Identifikacija trendova i mogućnosti:** Analizom postojećih navodnjavanih površina mogu se identifikovati trendovi u korišćenju vodnih resursa i pronaći lokacije koje su manje pokrivene navodnjavanom poljoprivredom. Ovo može pružiti uvid u područja koja su opterećena ili nedovoljno korišćena, što može biti korisno za preraspodelu resursa i optimizaciju postojećih kapaciteta za navodnjavanje;
2. **Procena potencijala za navodnjavanje:** Planiranje potencijalnih lokacija za navodnjavanje može se temeljiti na analizi različitih faktora koji utiču na mogućnost razvoja navodnjavanja. Identifikacija novih područja s visokim potencijalom za navodnjavanje može omogućiti proširenje poljoprivredne proizvodnje, kao i diverzifikaciju kultura (Hagos et al., 2022; Li & Chen, 2020; Paul et al., 2020);
3. **Očuvanje podzemnih voda:** Određivanje zona potencijala podzemnih voda i pravilno upravljanje ovim dragocenim resursom pomaže u njegovom očuvanju, sprečavajući njegovo iscrpljivanje i zagađenje;
4. **Optimizacija infrastrukturnih resursa:** Detekcija parcela koje se već navodnjavaju i planiranje novih lokacija može pomoći u optimizaciji korišćenja vodnih resursa na taj način što bi se već postojeći sistemi mogli deliti, odnosno ista infrastruktura koristiti za nekoliko susednih parcela (Smith et al., 2018);
5. **Smanjenje rizika od suše:** Planiranje potencijalnih lokacija na različitim geografskim područjima može osigurati dovoljnu proizvodnju hrane u uslovima kad su neki regionii više pogođeni ekstremnim vremenskim prilikama kao što je suša.

Ova doktorska disertacija sastoji se iz tri glavna istraživanja:

1. Detekcije navodnjavanih površina na teritoriji Vojvodine;
2. Procene potencijalnih lokacija za navodnjavanje na teritoriji Vojvodine;
3. Određivanje zona potencijala podzemnih voda – studija slučaja opštine Titel.

S obzirom na to da je teritorija Vojvodine pretežno poljoprivrednog karaktera, jasno je zašto je ona izabrana kao istraživana teritorija. S druge strane, određivanje zona potencijala podzemnih voda urađena je samo na slučaju opštine Titel kako bi se ispitale mogućnosti primene predložene metodologije na opštini koja takođe ima veliki procenat poljoprivrednog zemljišta. Dokazivanjem mogućnosti primene predložene metodologije postiže se sigurnost u apliciranju iste na veću teritoriju, odnosno Vojvodinu gde su geomorfološke, geološke i pedološke karakteristike veoma slične. Osim toga, ispitana je mogućnost ovakvog istraživanja čak i u slučajevima gde nema dostupnih terenskih merenja, gde se ceo proces generisanja efikasnih rezultata za donosiocima odluka može uspešno obaviti koristeći mali skup podataka koji se sastoji samo od prikupljenih fizičko geografskih podataka.

Uzimajući u obzir prethodno rečeno, kartiranje navodnjavanih površina, određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje kao i određivanje zona potencijala podzemnih voda doprineće pametnom donošenju odluka o investicijama i finansiranju razvoja navodnjavanja. Takođe, doprinos će se ogledati i u poboljšanju produktivnosti i povećanju otpornosti poljoprivrede kroz efikasno korišćenje vodnih resursa i održivi razvoj navodnjavanja. Ovakvim planskim radom doprinosi se Ciljevima održivog razvoja 2 i 6 (eng. *Sustainable Goal Developments – SGD*). Pored toga, razvoj navodnjavanja predstavlja ključnu strategiju u prilagođavanju poljoprivrede klimatskim promenama, što je usklađeno sa ciljevima SGD 13 (FAO, n.d.).

Cilj doktorske disertacije je da istraži kako geoprostorna analiza može biti korisna u procesu planskog razvoja navodnjavanja u Vojvodini. Kroz ovu analizu fokus je na razvoju metode za godišnji monitoring navodnjavanja, identifikaciji optimalnih lokacija za izgradnju novih sistema i određivanju zona potencijala podzemnih voda, a samim tim i proceni potencijala za povećanje poljoprivredne proizvodnje pod navodnjavanjem. Kroz analizu prostornih podataka, pružaju se informacije i smernice koje podržavaju održivu poljoprivrednu proizvodnju, pomažu u povećanju prinosa i unapređuju upravljanja vodnim resursima, doprinoseći tako efikasnijem korišćenju vode i ostvarivanju ciljeva zaštite životne sredine.

Zadatak doktorske disertacije je da holistički pristupi problemu upravljanja navodnjavanim površinama u Vojvodini omogućavajući dublje razumevanje uloge geoprostorne analize u strateškom planiranju navodnjavanja koje je efikasno, održivo i prilagođeno specifičnim potrebama i uslovima lokalne zajednice.

Na osnovu prethodno iznetog, izdvojeno je nekoliko polaznih hipoteza istraživanja:

- » *Hipoteza 1* – Daljinska detekcija, kao vid geoprostorne analize, može se uspešno koristiti za monitoring navodnjavanih površina pod usevima kukuruza, soje i šećerne repe na području AP Vojvodine;
- » *Hipoteza 2* – Daljinska detekcija i metode mašinskog učenja mogu se uspešno primeniti za identifikovanje navodnjavanih površina na različitim tipovima zemljišta;
- » *Hipoteza 3* – Identifikovanje različitih sistema za navodnjavanje postiže se primenom daljinske detekcije;
- » *Hipoteza 4* – Najpreciznija metoda klasifikovanja navodnjavanih i nenavodnjavanih površina je metoda mašinskog učenja – slučajna šuma (eng. *Random Forest*);

- » *Hipoteza 5* – Geoprostorna analiza uspešno se koristi za određivanje pogodnih lokacija za navodnjavanje kombinovanjem različitih geoprostornih podataka;
- » *Hipoteza 6* – Poznavanje prostorne distribucije navodnjavanih površina može značajno da doprinese optimizaciji i planskom razvoju navodnjavanja u AP Vojvodini i sprovođenju ciljeva definisanih nacionalnom strategijom navodnjavanja.

Izradom doktorske disertacije biće napravljena baza podataka i karte navodnjavanih površina u Vojvodini, algoritam za detekciju navodnjavanih površina, karta potencijalnih lokacija za navodnjavanje u Vojvodini, karta zona potencijala podzemnih voda u opštini Titel, kao i detaljne karte geoprostornih karakteristika Vojvodine. Očekivano je da rezultati disertacije budu od velikog značaja za donošenje odluka o načinu upravljanja i korišćenja sistema za navodnjavanje, kao i budućem planiranju upravljanja vodnim resursima.

PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Planiranje razvoja navodnjavanja obuhvata niz koraka i strategija kako bi se osiguralo optimalno korišćenje vodnih resursa za poljoprivredu. To uključuje detektovanje postojećih sistema, analizu potreba, istraživanje vodnih resursa, planiranje održivosti i tome slično. S obzirom na to da je navodnjavanje jedna od važnijih tema kad je u pitanju proizvodnja hrane u svetu, mnoga istraživanja do sada bavila su se različitim pitanjima na ovu temu. Napredne tehnologije daljinske detekcije i mašinskog učenja omogućile su širok spektar prikupljanja informacija o navodnjavanju koje dalje mogu da se koriste za planiranje i pravljenje strategija u vodoprivredi i poljoprivredi (Ozdogan et al., 2010). Pored toga, ovakve informacije imaju veliku ulogu u razumevanju uticaja klime na promenu i obim navodnjavanja u različitim regionima sveta (Wang et al., 2023).

Korišćenje podataka daljinske detekcije za kartiranje navodnjavanih površina datira još od 1970-tih kada je počelo masovno korišćenje satelitskih podataka sa Landsat-1 satelita (Hoffman et al., 1975). Prva istraživanja bila su fokusirana na vizuelnu analizu, dok je danas dostupan veliki broj metoda za rešavanje ovog problema. Prva digitalna karta navodnjavanih površina na globalnom nivou generisana je u rezoluciji od 0.5°. Nakon toga, generisan je globalni skup podataka o navodnjavanim parcelama prikupljanjem statističkih podataka iz različitih izvora kako bi procenio razvoj navodnjavanih područja između 1900. i 2005. godine (Massari et al., 2021; Siebert et al., 2015).

Sa lansiranjem većeg broja satelita javila se i ekspanzija u istraživanjima, ne samo na ovu temu nego i šire. Optički sateliti omogućili su kontinuirano praćenje različitih stanja i promena kod biljaka. Time su stvorene mogućnosti i za istraživanja u oblasti poljoprivrede i navodnjavanja. Podaci sa optičkih senzora uključuju satelite kao što su Landsat, MODIS (Spektroradiometar za snimanje umerene rezolucije), AVHRR (Napredni radiometar veoma visoke rezolucije), MERIS (Spektrometar srednje rezolucije) i SPOT (Satelit za posmatranje zemlje). Mnoga istraživanja koristila su podatke sa ovih satelita zajedno sa drugim izvorima kako bi radili monitoring navodnjavanih površina širom sveta (Ozdogan et al., 2010). Tako se jedno od istraživanja bavilo razvojem metodologije koja je zasnovana na korišćenju klimatskih i poljoprivrednih podataka sa MODIS satelita kako bi detektovale navodnjavane površine u SAD i objasnile promene u obimu navodnjavanja u toj državi (Ozdogan & Gutman, 2008). Zatim su uzimani podaci sa MODIS satelita kako bi bio izračunat vegetacioni indeks NDVI (eng. *Normalized Difference Vegetation Index*) koji je dalje korišćen za kartiranje navodnjavanih površina u južnoj Indiji i Avganistanu (Biggs et al., 2006; Shahriar Pervez et al., 2014). Kombinacija optičkih i termalnih slika sa Landsat satelita korisne su kad je u pitanju kartiranje navodnjavanja za neki određen istorijski period. Pa tako su u jednom istraživanju ovi podaci korišćeni za praćenje navodnjavanih površina tokom perioda od 27 godina (Sharma et al., 2018). Slično tome, Landsat slike korišćene su tokom tri decenije da bi se izračunali različiti indeksi vegetacije i kartirale navodnjavane površine na godišnjem nivou širom američkih visokih ravnica (Deines et al., 2019). Koristeći vremensku seriju NDVI indeksa sa MODIS satelita jedno od istraživanja bavilo se praćenjem navodnjavanih površina u Indiji u periodu od 2000. do 2015. godine (Ambika et al., 2016).

Međutim, i pored mnogih mogućnosti koje nude ovi sateliti, veliki problem predstavlja spektralna, prostorna i vremenska distribucija snimaka što je neophodno kako bi se obezbedilo konstantno praćenje razvoja navodnjavanja, ali i detektovalo njihovo postojanje na što većoj rezoluciji. Zbog toga, u poslednjih nekoliko godina mnoga istraživanja (Bousbih et al., 2018; Ferrant et al., 2017; Graf et al., 2020; Pageot et al., 2020; Tang et al., 2021; Vogels et al., 2019) baziraju se na upotrebi Sentinel-2 satelita koji ima visoku prostornu i vremensku rezoluciju i kao takav ima veoma važnu ulogu u prevazilaženju navedenih problema. Sentinel-2 optičke slike visoke rezolucije daju prednost u spektralnim transformacijama koje mogu razlikovati spektralni odgovor između navodnjavanih i nenavodnjavanih kultura. Shodno tome, indeksi vegetacije pružaju direktnu korist kao ulazne karakteristike u algoritmu klasifikacije (Ozdogan et al., 2010). Brojne nedavne studije su koristile vremenske serije podataka sa Sentinel-2 satelita za kartiranje navodnjavanih useva širom sveta.

Pored optičkih, mnoga istraživanja koriste radarske satelitske snimke (ASCAT, SMOS, Sentinel-1) za procenu vlažnosti zemljišta kao važnog faktora u praksi navodnjavanja. Njihova prednost je u tome što dostupnost snimaka ne zavisi od vremenskih uslova. Oblačnost ne predstavlja prepreku u njihovom korišćenju kao što je to slučaj sa optičkim satelitima. Mikrotalasi su veoma osetljivi na sadržaj vlage u zemljištu i zbog toga radarski podaci imaju potencijal da prate promene u vlažnosti zemljišta kao rezultat navodnjavanja. Jedno od prvih istraživanja bavilo se upoređivanjem distribucije vlage u zemljištu modelovanog skupa podataka koji ne uključuje informacije o navodnjavanju i produkte o vlažnosti zemljišta sa satelita (Kumar et al., 2015). Pretpostavka je bila da je odziv vlažnog zemljišta jasno uočljiv na satelitskim snimcima što omogućava detektovanje navodnjavanja. U ovom radu dokazano je da postoji mogućnost detektovanja navodnjavanih površina u nekim određenim regionima, ali da prostorna neusklađenost podataka, kao i uticaj fizičko-geografskih karakteristika same regije mogu da utiču na preciznost u detektovanju navodnjavanja. Neka istraživanja razmatrala su dve različite prostorne skale za analizu radarskih podataka (Bazzi et al., 2019). Autori ovog istraživanja koristili su poređenje odziva na parceli i gridu rezolucije 10x10 km kako bi napravili razliku između parcela koje se prihranjuju isključivo kišom i parcela koje dobijaju veštačku prihranu vodom, odnosno koje se navodnjavaju. Kroz različite tehnike, kao što su analiza glavnih komponenti i talasna transformacija, postigli su relativno visoku tačnost za identifikaciju navodnjavanih površina na katalonskom lokalitetu u Španiji (Bazzi et al., 2019).

U poslednje vreme, radarski podaci se u velikoj meri kombinuju sa optičkim slikama kako bi se postigla što veća preciznost u detekciji navodnjavanih površina. Kombinacija podataka sa Sentinel-1 i Sentinel-2 satelita korišćena je u nekoliko istraživanja kako bi se pratio sadržaj vode u zemljištu koji predstavlja dodatni faktor za kartiranje navodnjavanih površina (Bousbih et al., 2018; El Hajj et al., 2017). Neka istraživanja su pored pomenutih podataka koristila i podatke o padavinama kako bi klasifikovali useve koji se navodnjavaju u jugozapadnoj Francuskoj (Pageot et al., 2020).

Različite prakse i tehnike navodnjavanja kao što su kap po kap, prskanje, tifoni, kao i prostorno-vremensko planiranje navodnjavanja, čine praćenje navodnjavanih površina prilično komplikovanim (Bégué et al., 2018). Kompleksnost razlikovanja navodnjavanih poljoprivrednih površina od nenavodnjavanih varira u različitim klimatskim zonama. Dosadašnja istraživanja bila su fokusirana na veoma pogođene, sušne klimatske zone (Ambika

et al., 2016; Attarzadeh & Amini, 2019; Oliphant et al., 2019). Na primer, Gao i saradnici (Gao et al., 2018) koristili su vremenske serije radarskih podataka Sentinel-1 satelita za kartiranje navodnjavanih useva, navodnjavanog drveća i nenavodnjavanih polja poljoprivrednog zemljišta u Urgelu, Katalonija (Španija). Autori su postigli ukupnu tačnost od 81%, ali ukazuju na to da u regionu sa karakteristikama vlažnije klime, informacija o vlažnosti zemljišta može imati manji značaj kad je u pitanju razlikovanje navodnjavanih i nenavodnjavanih parcela i samim tim će model biti manje robustan. Isti metodološki pristup testiran je na vremenskoj seriji podataka o vlažnosti zemljišta procenjenoj sa Sentinel-1 satelita. Ovaj eksperiment urađen je na teritoriji centralnog Tunisa i postignuta je zadovoljavajuća tačnost (Bousbih et al., 2018).

Kada je reč o samoj metodologiji klasifikovanja navodnjavanih površina, istraživanja teže ka sve većoj preciznosti uz lakše generisanje rezultata koristeći različite metode veštačke inteligencije. Potreba za korišćenjem vremenske serije podataka koji zauzimaju dosta memorije, ali i kompjuterskih resursa, uslovlila je korišćenje automatizovanih metoda koje mogu kompjuterski da iznesu ovakve radnje. Upravo mašinsko učenje ima tu moć i zbog toga počinje masovno da se koristi u klasifikaciji iskoristivosti zemljišta gde spada i navodnjavano zemljište. Pa tako koristeći algoritam mašinskog učenja metod potpornih vektora i podatke o NDVI sa Kineskog HJ-1A/B satelita na rezoluciji od 30 metara, klasifikovane su navodnjavane i nenavodnjavane površine u provinciji Shanxi u Kini (Jin et al., 2016). Neka istraživanja koristila su metodu slučajnih šuma koja je primenjena nad skupom satelitskih i hidrometeoroloških podataka za praćenje dinamike navodnjavanja letnjih useva u basenu Mari-Darling u Australiji (Peña-Arancibia et al., 2014). Ista metodologija korišćena za detekciju navodnjavanih površina u Indiji (Ferrant et al., 2017).

Na osnovu pregleda literature jasno je da se mnoga istraživanja bave detekcijom navodnjavanih poljoprivrednih površina koristeći satelitske, hidrološke, klimatološke i druge podatke i primenjujući različite metode veštačke inteligencije. Kreiranje baze prostorne distribucije navodnjavanih površina predstavlja prvi korak u daljem planiranju navodnjavanja, odnosno daljoj proceni potreba, ulaganja i mogućnosti za navodnjavanje i u drugim delovima neke regije. Stoga su se mnoga istraživanja dave bavila procenom potencijalnih lokacija za navodnjavanje.

Od kada je FAO, 1985. godine izradio *Uputstvo za evaluaciju zemljišta za navodnjavanu poljoprivredu*, počele su da se koriste mnoge metode kako bi se uradila procena pogodnosti zemljišta za navodnjavanje. Većina dosadašnjih istraživanja u svetu bazirala se na korišćenju višekriterijumske analize za ovu problematiku koristeći različite fizičko-geografske i socio-ekonomske faktore (Akpoti et al., 2022). Mnoga istraživanja koriste različite faktore predložene od strane FAO. Neka od njih kombinovali su biofizičke i socio-ekonomske procene kako bi odredili potencijal za navodnjavanje (You et al., 2011). Zatim, korišćena je višekriterijumska analiza za kartiranje geoprostorne mogućnosti za korišćenje solarnih fotonaponskih pumpi za navodnjavanje u Etiopiji kombinovanjem solarne radijacije, dostupne vode za navodnjavanje i povezanosti sa tržištem (Schmitter et al., 2018). Druga istraživanja koristila su podatke kao što su karakteristike zemljišta i nagib terena kako bi se uradila analiza pogodnosti zemljišta za navodnjavanje upotrebom različitih sistema (površinsko navodnjavanje i navodnjavanje prskalicama) u dolini reke Gang (Ayalew, 2014). Kombinacija

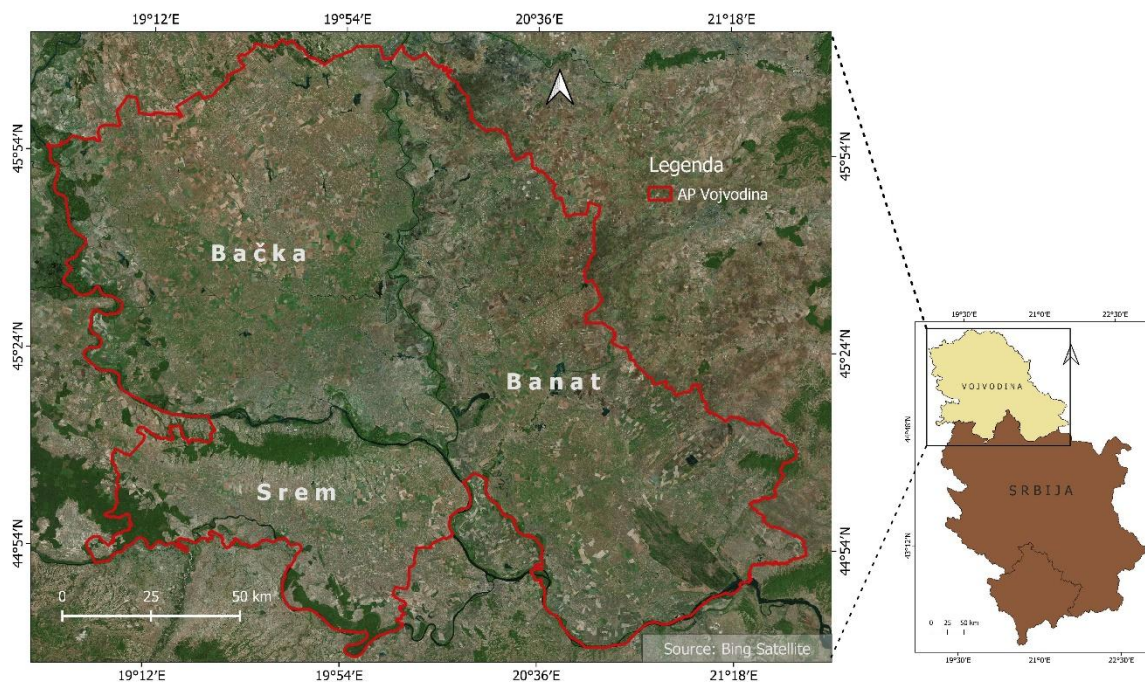
GIS-a i višekriterijumske evaluacije (eng. *Multi-Criteria Evaluation*) primenjena je za procenu pogodnosti zemljišta za površinsko navodnjavanje kao i navodnjavanje iz plitkih podzemnih voda u Gani (Worqlul et al., 2019).

Kada je reč o istraživanjima na teritoriji Srbije, odnosno istraživanoj teritoriji Vojvodine, koja ima veliki potencijal za razvoj navodnjavane poljoprivrede, malo istraživanja je rađeno na ovu temu. U publikaciji „Meliorativna pedologija” (Miljković, 2005) priložena je karta pogodnosti zemljišta za navodnjavanje u Vojvodini, ali se ona bazira isključivo na fizičkim i hemijskim karakteristikama zemljišta, dok drugi kriterijumi nisu uzeti u obzir. Prema nekim dosadašnjim istraživanjima, neophodno je uzeti više kriterijuma za ocenjivanje samog lokaliteta za navodnjavanje, a ne samo karakteristike zemljišta (Purnell, 1979). U svom istraživanju Kljajić i saradnici (Kljajić et al., 2011) predlažu korišćenje strukture stanovništva i karakteristike zemljišta kako bi se razvoj navodnjavanja prilagodio konkretnim uslovima na ovim prostorima. Pored toga postoji veliki broj kriterijuma koje treba uzeti u razmatranje pri donošenju odluka u vezi sa određivanjem lokacija za investiranje u sisteme za navodnjavanje. Gledano sa metodološke strane, dosadašnja istraživanja vezana za teritoriju Vojvodine bavila su se upotrebom Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) za donošenje odluka o pogodnim lokacijama za navodnjavanje koristeći različite setove geoprostornih podataka. U ovim istraživanjima urađena je procena pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje na mikro (Srđević et al., 2010) i makro (Bezdan et al., 2019; Blagojević et al., 2016) nivou. U istraživanju Blagojević i saradnici (Blagojević et al., 2016) koriste 16 kriterijuma za određivanje pogodnih lokacija za navodnjavanje u Vojvodini kombinujući GIS i AHP u grupnom kontekstu.

S obzirom na to da poljoprivredna proizvodnja poslednjih godina vrši sve veći pritisak na iskoristivost podzemnih voda u svrhu navodnjavanja, mnoga istraživanja okrenuta su upravo ka ispitivanju mogućnosti njihove iskoristivosti i određivanju zona potencijala podzemnih voda (ZPPV) (Ibrahim-Bathis & Ahmed, 2016; Konkul et al., 2014). Koristeći faktore koji kontrolišu pojavu, poreklo i kretanje podzemnih voda kao što su geološki sastav, geomorfološke karakteristike – reljef, nagib terena, zemljište, način korišćenja zemljišta, gustina drenaže, intenzitet padavina, antropogeni faktori, itd., istraživači mogu lako da odrede zone potencijala podzemnih voda (Arulbalaji et al., 2019; Ganapuram et al., 2009; Preeja et al., 2011). Za određivanje PZPV i njihovo mapiranje do sada su korišćene različite metode. Neka istraživanja su primenjivala višekriterijumsko odlučivanje (MCDM) (Arulbalaji et al., 2019; Machiwal et al., 2011; Magesh et al., 2012), logističku regresiju (Ghorbani Nejad et al., 2016), funkciju dokaznog uverenja (Mogaji et al., 2015), neuronske mreže (Lee et al., 2012), tehnike mašinskog učenja kao što je metoda slučajne šume i maksimalne entropije (Rahmati et al., 2016) i mnogo drugih. Kao i kod određivanja potencijalnih lokacija za navodnjavanje, AHP proces se često koristi za razgraničenje PZPV, posebno zbog mogućnosti integracije u GIS (Benjmel et al., 2020; Razandi et al., 2015).

GEOGRAFSKI POLOŽAJ, GRANICE I VELIČINA VOJVODINE

Autonomna pokrajina Vojvodina se nalazi u južnom delu Panonske nizije odnosno u severnom delu Republike Srbije (karta 1). Geografske koordinate ovog prostora su od φ N 44°38' do φ N 46°10' i od λ E 18°10' do λ E 21°15'. Obuhvata površinu od 21 506 km², što je 24,3% državne teritorije. Na prostoru Vojvodine nalaze se tri regije: Bačka, Banat i Srem.



Karta 1. Geografski položaj Vojvodine

Administrativnu granicu pokrajine na severu čini granica sa Mađarskom, dok je na istoku to granica sa Rumunijom. Zapadnu granicu sa Hrvatskom čini reka Dunav, dok granicu prema Bosni i Hercegovini čini reka Sava. Njen geografski položaj omogućava lako povezivanje sa evropskim tržištem što olakšava izvoz poljoprivrednih proizvoda kao i drugih dobara.

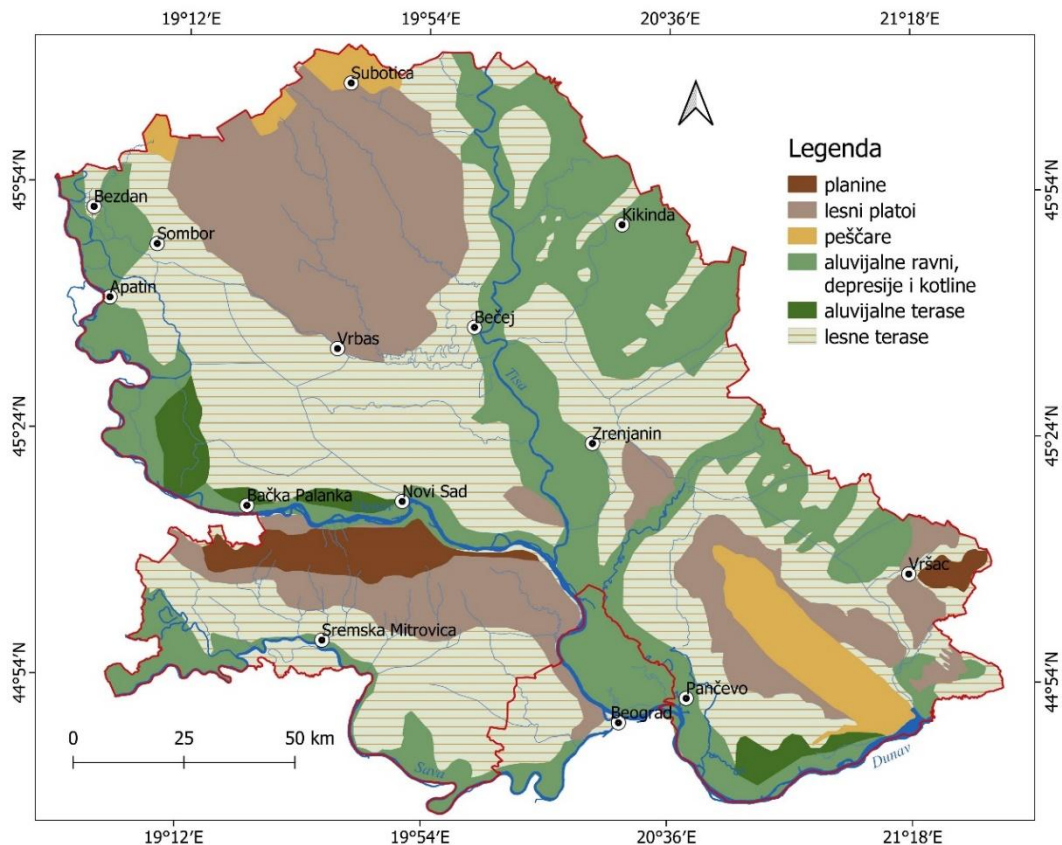
FIZIČKO-GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE VOJVODINE

Fizičko-geografske karakteristike nekog prostora, kao što su reljef, klima, vode i zemljište, imaju ključnu ulogu u oblikovanju potreba i strategija za navodnjavanje. Razumevanje ovih karakteristika omogućava preciznije planiranje i efikasnije upravljanje vodnim resursima u poljoprivrednoj proizvodnji. Iz tog razloga će u ovom poglavlju biti predstavljeni glavni aspekti fizičko-geografskih karakteristika istraživane teritorije koji su od značaja za temu disertacije.

GEOMORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Geomorfološke odlike neke regije, u ovom istraživanju Vojvodine, predstavljaju važan faktor kada je u pitanju planiranje navodnjavanja. Visinski odnosi i nagib terena određuju pravce oticanja vode, što utiče na njenu raspodelu na poljoprivrednim površinama. Dakle, reljef određuje obrasce dreniranja vode. Poznavanje ovih obrazaca omogućava primenu adekvatne tehnologije i poljoprivredne prakse kako bi se sprečila potencijalna erozija ili zadržavanje viška vode na parcelama. Pored toga, reljefne odlike nekog terena utiču i na samo prisustvo površinskih i podzemnih voda (Worqlul et al., 2017). Zbog svega navedenog, neophodno je dobro poznavati geomorfološke karakteristike nekog terena kako bi se na pravilan način planiralo postavljanje i korišćenje sistema za navodnjavanje. Uzimajući to u obzir, u nastavku će biti reči o glavnim geomorfološkim jedinicama u Vojvodini.

Vojvodina je smeštena u južnom delu Panonskog basena i predstavlja pretežno nizijsko područje sa dve ostrvske planine Fruškom gorom i Vršačkim planinama. Izuzimajući navede dve niske planine, najveća nadmorska visina je na severu i severozapadu Subotičko-horgoške peščare, dok se visine prema istoku, jugu i zapadu postepeno smanjuju. Na krajnjem jugoistočnom delu Vojvodine, na ušću Nere u Dunav, nalazi najniža tačka istraživanog područja (Davidović i sar., 2003; Davidović i sar., 2005; Bugarski i sar., 1998). Pored ostrvskih planina, u Vojvodini se mogu izdvojiti sledeće reljefne jedinice: peščare, lesne zaravni, lesna terasa, depresije i kotline i aluvijalne ravni reka (karta 2).



Karta 2. Geomorfološke celine u Vojvodini

Izvor: prema Bukurovu, 1972

Dve pomenute **planine**, Fruška gora (Crveni Čot, 539 m a.v) i Vršacke planine (Gudurički vrh, 641 m a.v. – najviši vrh Vojvodine), zauzimaju površinu od oko 4% teritorije Vojvodine. *Fruška gora* se nalazi u jugozapadnom delu Vojvodine i pruža pravcem zapad-istok u dužini od oko 78 km, obuhvatajući površinu od oko 500 km². Planina se ističe naglašenom asimetrijom, što je posebno vidljivo duž poprečnog profila Ruma–Iriški Venac–Sremska Kamenica. Ovde se jasno uočava da je severna padina znatno strmija u poređenju s južnom. *Vršacke planine* su smeštene u jugoistočnom delu istraživanog područja i zauzimaju relativno malu površinu od 172 km². Poprečni presek Vršackih planina ukazuje na asimetričnost gde južne padine karakteriše stepenasto spuštanje, dok je severna strana strmija. Pored najvišeg, ovde se nalazi još nekoliko poznatijih vrhova kao što su Vršacka kula (399 m a.v), Vršacki vrh (488 m a.v) i Donji Vršišor (463 m a.v) (Bukurov, 1984; Davidović i sar., 2003).

Kada su u pitanju **peščare** u Vojvodini radi se o mlađim naslagama peska koji se nekada slobodno kretao, dok je on danas prekriven vegetacijom. Ističu se dve peščare: Subotičko-horgoška i Banatska ili Deliblatska peščara. *Subotičko-horgoška peščara* se prostire na severu Vojvodine, odnosno severu Bačke i zahvata površinu od 192,2 km². Reljef peščare ima zatalasani karakter i odlikuje se ispresecanim dinskim sistemima i međudinskim depresijama čija se relativna visinska razlika kreće i do 17 m. Najviši delovi se nalaze u severnom i severozapadnom delu peščare. Na samoj granici sa Mađarskom nalazi se vrh Đombe, koji sa

svojih 140 m nadmorske visine predstavlja najvišu tačku Bačke. Idući ka istoku, jugu i zapadu, teren se postepeno snižava. Granica Subotičke peščare na jugu nije precizno određena nego predstavlja područje postepenog prelaska peska u les Bačke lesne zaravni duž linije od Horgoša preko Kereša, Ludoškog jezera, Paličkog jezera do Subotice i Kelebijskog jezera (Bukurov, 1975; Davidović i sar., 2005). *Deliblatska peščara* smeštena je u južnom delu Banata, između naselja Samoš na severu i Deliblato na jugu. Ona je elipsastog oblika čija duža osa ima pravac jugoistok-severozapad u dužini od 35 km, dok joj širina dostiže oko 15 km u pravcu severoistok-jugozapad. Peščaru površine oko 300 km² karakteriše dinski i međudinski reljef. Njena apsolutna visina kreće se od 70 m u jugoistočnom delu do preko 190 m u centralnim i severozapadnim oblastima (Bukurov, 1984; Davidović i sar., 2003).

Lesne zaravni u Vojvodini nastale su tokom pliocena i predstavljaju elemente eolskog reljefa u čijem sastavu preovlađuje tipski les kao pogodan supstrat za nastanak plodnog zemljišta koje je od izuzetnog značaja za poljoprivredu. U granicama istraživanog područja može se izdvojiti pet lesnih zaravni: Bačka lesna zaravan, Titelski breg, Sremski lesni plato, Banatska lesna zaravan i Tamiški lesni plato (Bukurov, 1975; Rodić, Pavlović, 1994). Ovi oblici reljefa zauzimaju oko 28% teritorije Vojvodine. *Bačka lesna zaravan* je najprostranija zaravan u Vojvodini i odlikuje je ispresecanost rečnim tokovima kao što su Krivaja, Čik, Veliki do, Široki do i drugi. Nastala je navejavanjem lesa i ima površinu od 2 800 km². Njene apsolutne visine opadaju od severozapadnog dela (125 m kod Subotice) ka jugoistočnom delu (86 m kod Srbobrana). Severna granica nije jasna jer zaravan postepeno prelazi u Subotičku peščaru, dok južnu granicu predstavljaju odseci prema lesnoj terasi visine 10–30 m (Bukurov, 1975; Davidović i sar., 2005). Na jugoistoku Bačke, na desnoj obali Tise pri njenom ušću u Dunav, nalazi se *Titelski breg*. Njegova površina iznosi 94 km², a karakteriše ga pojava predolice, dolina i drugih geomorfoloških oblika. Njegova apsolutna visina se kreće od 111 m severoistočno od Vilova, do 130 m kod Pajićevog salaša. Najveća visina odseka nalazi se na severoistočnoj i istočnoj strani gde dostiže 52 m, dok je na južnoj strani prema Titelu i titelskoj terasi visina odseka 30 m. Sam plato je izrazito poljoprivrednog karaktera (Bukurov, 1953; Davidović i sar., 2005). *Banatska lesna zaravan* se prostire u jugoistočnom delu Vojvodine, između Deliblatske peščare i niže lesne terase na površini od oko 1 000 km². Orijentisana je pravcem severozapad-jugoistok. Najveća širina joj je 20 km, dok se nadmorska visina kreće od 100 m do 150 m (Bukurov, 1984; Davidović i sar., 2003). Severno od reke Tamiš nalazi se *Tamiški lesni plato* koji ima veoma malu površinu, svega 26 km². Njegove nadmorske visine kreću se od 99 m u južnom do 81 m u severnom delu (Bukurov, 1984; Davidović i sar., 2003). *Sremska lesna zaravan* se nalazi u severnom Sremu i okružuje Frušku goru sa juga. Njena površina iznosi 1 175 km², a apsolutna visina se kreće od 100 m do 140 m (Bugarski i sar., 1998).

Lesna terasa³ je sastavljena od pretaloženog, barskog i suvozemnog lesa, nastala eolskom akumulacijom i fluvijalnim erozivno-akumulativnim radom. Ova reljefna celina zauzima

³ Različiti termini koriste se za opisivanje ovog geomorfološkog člana, uključujući: varoška terasa (Bukurov, 1950); lesna terasa, druga terasa, diluvijalna terasa (Bukurov, 1975); gornjopleistocenska terasa (Marković, 2000) i viša rečna terasa pokrivena lesom (Koščal et al., 2005). Ovi termini odražavaju različite pristupe klasifikaciji, zasnovane na geološkom sastavu (lesna terasa), morfogenezi (viša rečna terasa), visinskim odnosima (druga terasa), vremenu nastanka (diluvijalna, gornjopleistocenska) ili značaju za ljudske aktivnosti (varoška terasa). U ovom radu koristiće se termin *lesna terasa*.

velike površine u Vojvodini, s tim što ona u Bačkoj i Sremu ima kontinuirano rasprostranjenje, dok je u Banatu ispresecana dolinama Zlatice, Galacke i Begeja. Tako se *lesna terasa u Banatu* od severa ka jugu deli na manje celine: Krstursko-sirišku (82–83 m a.v), Novokneževačku (84–88 m a.v), Novobečejsko-zrenjaninsku (78–83 m a.v) i Pančevačku (75–88 m a.v) terasu (Bukurov, 1984; Davidović et al., 2003). *Lesna terasa u Bačkoj* se prostire na velikoj površini i ona sa istočne (81–86 m a.v), južne (82–90 m a.v) i zapadne (90–100 m a.v) strane opkoljava Srednju bačku lesnu zaravan (Bukurov, 1975; Davidović i sar., 2005). *Sremska lesna terasa* zahvata najveći deo južnog i nešto manji deo srednjeg Srema. Nju ka severu i istoku okružuje Sremska lesna zaravan, a sa južne strane aluvijalna ravan reke Save. U celini posmatrano, nagnuta je od severa ka jugu, a njene apsolutna visine se kreću u rasponu 80–90 m. Iako su sve navedene lesne terase nastale u isto vreme i delovanjem istog agensa, terasa u Sremu se po svojim visinskim razlikama i većim nagibima značajno razlikuje od lesne terase u Bačkoj i Banatu.

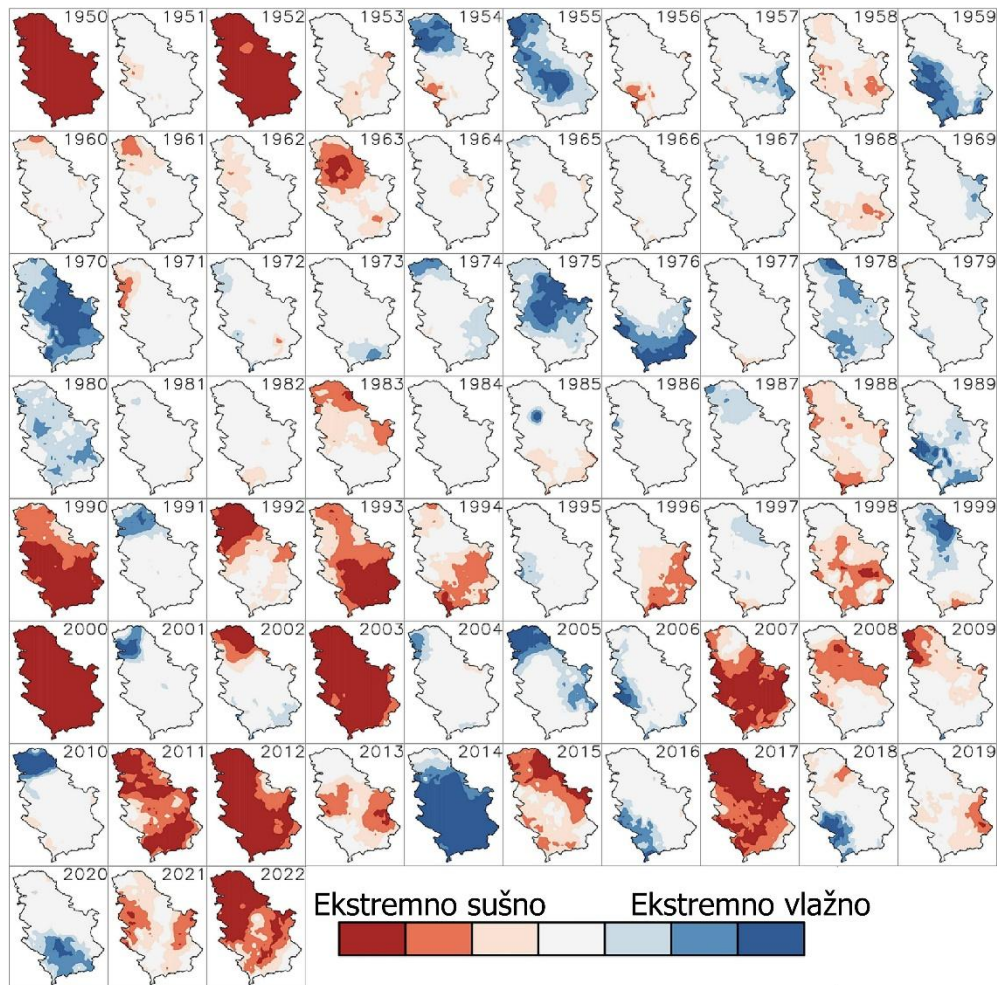
Takođe, veoma niski delovi u Vojvodini su *depresije i kotline* koje su najviše rasprostranjene u Banatu. Tu se izdvajaju Alibunarska depresija, Ilandžanska depresija kao i Belocrkvanska i Kaluđerovačka kotlina. *Alibunarska depresija* se nalazi u okolini Alibunara po čemu je i dobila ime. Ima elipsast oblik čija duža strana elipse ima pravac pružanja jugozapad-severoistok. Apsolutne visine ove depresije iznose 75–78 m. U predelu depresije izdvajaju se četiri morfološka elementa: severoistočna i jugoistočna strana oboda, jezersko-lesna terasa i sekundarne depresije (Vlajkovačka depresija, Vatinska depresija, Velikosredištanska depresija, Potporanjska depresija, Itebejska depresija). Severozapadno od Alibunarskog rita nalazi se *Ilandžanska depresija* koja, takođe, u širem smislu predstavlja deo Alibunarske depresije a nalazi se velikim delom u atarima Ilandže i Dobrice. Njene apsolutne visine kreću se kao i kod Alibunarske depresije, 75–78 m. *Belocrkvanska kotlina* nalazi se između Vršačkih planina na severu, Banatskih na istoku, Lokve na jugu u Rumuniji i Banatskog peska na zapadu. Kotlina ima kružni oblik i sa tri strane je opkoljena planinama, dok je na zapadu otvorena prema Panonskoj niziji. *Kaluđerovačka kotlina* predstavlja sekundarnu kotlinu Belocrkvanske kotline. Manji zapadni delovi ove kotline nalaze se u Vojvodini, dok su istočni na prostoru Rumunije (Bukurov, 1984; Davidović i sar., 2003).

Aluvijalne ravni predstavljaju generalno najniže oblike reljefa u Vojvodini i izgrađene su od aluvijalnih nanosa velikih reka Dunava, Tise i Save, kao i manjih vodotokova kao što su Begej, Tamiš, Nera i drugi. Promenljive su širine i generalno su nagnute ka i niz vodotokove koji su ih formirali svojim erozivno-akumulativnim radom. Aluvijalna ravan Dunava specifična je po tome što u velikom delu ima dve visinske stepenice, nižu inundacionu ravan i višu aluvijalnu terasu koja se javlja sa određenim prekidima. Posmatrajući aluvijalne ravni najvećih vodotokova u Vojvodini, može se konstatovati da se prema karakteru nanosa razlikuju peskovita aluvijalna ravan Dunava čije se apsolutne visine kreću od 66 m do 86 m, aluvijalna ravan Tise sa apsolutnim visinama 76–82 m, pretežno izgrađena od aluvijalnog nanosa finog mehaničkog sastava i ilovasta aluvijalnu ravan Save sa apsolutnim visinama 71–83 m (Bukurov, 1975; Bukurov, 1984; Davidović i sar., 2003; Davidović i sar., 2005; Bugarski i sar., 1998). Prostrane aluvijalne ravni čine 30% površine Vojvodine i ključne su za razvoj poljoprivrede u Pokrajini. To se naročito odnosi na aluvijalne ravni velikih reka.

Na osnovu prethodne analize može se konstatovati da se Vojvodina u najvećem delu odlikuje specifičnim stepenastim reljefom za koji je svojstvena smena visinski različitih geomorfoloških jedinica. Poznavanje njegovih glavnih karakteristika, pre svega visine, zatim nagiba i prostiranja različitih reljefnih celina, od izuzetnog je značaja za efikasno planiranje sistema za navodnjavanje jer omogućava optimizaciju korišćenja vodenih resursa, izbor odgovarajućih lokacija za infrastrukturu, prevenciju problema sa drenažom i smanjenje rizika od prirodnih nepogoda.

KLIMATSKE KARAKTERISTIKE

Klimatske karakteristike određenog geografskog prostora imaju veliki značaj kad je u pitanju primena navodnjavanja kao mere od posebnog značaja u borbi protiv negativnih efekata recentnih klimatskih promena. Prema izveštaju Svetske meteorološke organizacije, dekada od 2011. do 2020. godine je bila najtoplija zabeležena od početka instrumentalnih merenja tokom koje je srednja globalna temperatura bila $1,10 \pm 0,12^{\circ}\text{C}$ iznad proseka u poređenju sa periodom od 1850. do 1900. godine (World Meteorological Organization, 2024). Prema istraživanju Đurđevića i saradnika (Djurđević et al., 2024) ekstremno sušni periodi u Srbiji javljali su se početkom 1950-ih i posle 2000. godine. Takođe, rezultati ovog istraživanja ukazuju i na sve veću učestalost pojave suše i veće površine zahvaćene ovom nepogodom u poslednjih nekoliko decenija (slika 2).



Slika 2. Avgustovske suše u Srbiji u periodu od 1950. do 2022. godine

Izvor: Đurđević et al., 2024

Prema slici 2, uočljivo je da u prvoj polovini razmatranog perioda avgustovske suše nisu bile tako česta pojava u Srbiji. Naime, zabeležene su samo tokom četiri godine i to 1950, 1952, 1963. i 1983. godine. Međutim, poslednja decenija prošlog, a posebno početak ovog veka, obeležena je drastičnim promenama kad je u pitanju pojava suše. Naime, avgustovske suše u Srbiji javljaju se znatno češće, čak u šest godina, dok su u Vojvodini one još učestalije. Ovaj obrazac ukazuje na značajnu promenu u klimatskim uslovima u Srbiji tokom poslednjih decenija, sa potencijalno ozbiljnim implikacijama za budućnost (Đurđević et al., 2024). Ovakve promene u klimi naročito mogu biti problem na teritoriji Vojvodine gde je poljoprivreda najintenzivnija.

S obzirom na to da se porast temperature vazduha nastavlja, projektuje se da će to imati uticaj na veću potrošnju vode, što za posledicu može imati njenu smanjenu dostupnost za navodnjavanje. Neke projekcije predviđaju da će do 2100. godine temperatura vazduha na globalnom nivou porasti za 4°C, a godišnja količina padavina pasti za 20% (Bradley et al., 2006; Mostafa et al., 2021). Kako bi se stekla jasnija slika o stanju klime u istraživanom području, u nastavku će biti dat prikaz recentnih klimatskih prilika u Vojvodini.

Klima Vojvodine može se opisati kao umereno-kontinentalna uslovljena prvenstveno geografskim položajem same regije. Istraživano područje, koje leži u Panonskoj niziji, je najvećim delom okruženo planinskim masivima koji bitno utiču na formiranje klimatskih uslova. Veća otvorenost ka severu i zapadu uslovljava jači uticaj vazdušnih strujanja iz ovih pravaca stvarajući nešto kontinentalnije odlike klime nego što bi one trebale biti prema opštem geografskom položaju regiona. Zbog toga, zime su ovde okarakterisane kao hladne, a leta topla i vlažna (Gavrilov et al., 2019; Hrnjak et al., 2014; Malinovic-Milicevic et al., 2018). S obzirom da su temperatura vazduha i padavine, kao klimatski elementi, ključni za temu disertacije, u nastavku će biti dato detaljno objašnjenje njihovih karakteristika na području Vojvodine.

Temperatura vazduha, kao jedan od osnovnih klimatskih elemenata, ima veliki uticaj na druge elemente kao što su padavine, količina i brzina isparavanja kao i na vlažnost vazduha. Uzimajući to u obzir, ona igra veliku ulogu kada je u pitanju primena navodnjavanja. Visoke temperature utiču na veći intenzitet i brzinu isparavanja vode sa površine zemlje i biljaka što samim tim dovodi do češće potrebe za navodnjavanjem kako bi se nadoknadio gubitak vode. Visoke temperature utiču i na samu efikasnost sistema jer isparavanje može biti veliko sa sistema za raspršivanje gde voda nema dovoljno vremena da dođe do korena biljke (Martin et al., 2007; Otoropez, 1980).

S obzirom na to da rastojanje između najsevernije i najjužnije tačke na teritoriji Vojvodine iznosi dva stepena geografske širine, a reljef ne karakterišu velike visinske razlike, u ovom regionu se ne javljaju izrazitije temperaturne razlike između njegovih pojedinih oblasti. Prosečna godišnja temperatura je oko 11°C, dok se prosečne letnje temperature kreću između 21°C i 23°C, a zimske su oko -2°C. Analiza srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura vazduha u Vojvodini pokazala je da značajni pozitivni trendovi dominiraju tokom godine, naročito prolećnih i letnjih meseci (Gavrilov et al., 2016). Takođe, pokazano je da je porast temperatura evidentan u Vojvodini sa trendom varijabilnosti od 0,4 do 1,8 °C (Gavrilov et al., 2015).

Padavine su veoma značajne kada je u pitanju rast i razvoj biljaka. Njihov izostanak u ključnim periodima u toku sezone kao i neravnomerna raspodela mogu da dovedu do stresa kod biljaka, a samim tim i smanjenja prinosa. Pored količine, za razvoj biljaka veoma je značajan i oblik i intenzitet padavina, kao i njihova prostorna i vremenska raspodela (Mihailović i sar., 2004). Režim padavina se ogleda u izraženoj varijabilnosti kako prostorno tako i vremenski. Region Vojvodine ima odlike podunavskog režima raspodele koji karakteriše izraženo neravnomerna raspodela padavina po mesecima (Katić & Dunđerov, 1972). Prosečna godišnja količina padavina iznosi 606 mm, sa najvećim količinama u junu, a najmanjim u februaru. Najmanja prosečna godišnja količina padavina od oko 540 mm zabeležena je na severu pokrajine, dok su najveće prosečne vrednosti od 660 mm zabeležene na jugozapadu Vojvodine (Gavrilov et al., 2015, 2016; Tošić et al., 2014). Prema istraživanju Tošić i saradnici (Tošić et al., 2014), u periodu od 1946. do 2006. godine, zimske, prolećne i jesenje padavine su se kretale između 120 i 160 mm, dok su letnje padavine varirale od 180 mm u severnoj Vojvodini do 220 mm u jugoistočnim i jugozapadnim delovima regiona. Istraživanje Malinović-Milićević i saradnici (Malinovic-Milicevic et al., 2018) ukazuju na povećanje količine padavina u kratkim vremenskim intervalima. Ovakav trend neravnomerne raspodele u Vojvodini ne pogoduje rastu i razvoju biljaka u vegetacionoj sezoni. Pored toga, ovo područje

pogađaju i sve učestalije suše što svakako ne pogoduje biljkama te sve govori da ovakvi vremenski uslovi ukazuju na veću potrebu za primenom navodnjavanja.

Prema prethodno rečenom, zaključuje se da toplija klima može ubrzati isparavanje vode sa površine zemljišta i povećati transpiraciju biljaka, što povećava potrebu za navodnjavanjem kako bi se nadoknadila izgubljena vlaga. Navodnjavanje u ovakvim uslovima neophodno je kako bi se održao optimalan nivo vlage u zemljištu za rast i razvoj useva. Takođe, raspodela padavina tokom godine igra ključnu ulogu u planiranju navodnjavanja. Ako su padavine neujednačene ili nedovoljne, kao što je često slučaj u sušnijim letnjim mesecima, navodnjavanje postaje neophodno kako bi se osiguralo adekvatno snabdevanje biljaka vodom i sprečilo sušenje useva. S obzirom na ove okolnosti, prilagođavanje sistema za navodnjavanje aktuelnim klimatskim uslovima i optimizacija prakse upravljanja vodnim resursima u regionu mogu igrati ključnu ulogu u povećanju efikasnosti korišćenja vode u poljoprivredi. To može uključivati upotrebu tehnologija za navodnjavanje koje omogućavaju preciznu i efikasnu distribuciju vode prema potrebama biljaka, kao i planiranje rasporeda navodnjavanja u skladu sa sezonskim promenama u klimi.

HIDROLOŠKE KARAKTERISTIKE

Hidrološke karakteristike veoma su važne kad je u pitanju primena navodnjavanja na istraživanoj teritoriji. Bogata hidrografska mreža površinskih, ali i podzemnih voda ključni su za snabdevanje vodom za navodnjavanje. Poznavanje njihove lokacije, kao i količine dostupne vode, pomaže u planiranju i upravljanju sistemima za navodnjavanje. Zbog toga će u nastavku biti dat detaljan opis podzemnih i površinskih izvora vode koji se koriste ili bi mogli da se koriste za navodnjavanje u Vojvodini.

Podzemne vode

Podzemne vode predstavljaju jedan od najvažnijih prirodnih resursa prikupljenih u podzemnim geološkim strukturama (Fitts, 2002). To je najveći dostupni resurs slatke vode na Zemlji koji prvenstveno služi za potrebe domaćinstva, industrije i poljoprivrede (Manap et al., 2013; Nampak et al., 2014). Prema FAO (FAO, 2003), podzemne vode predstavljaju 26% globalnih obnovljivih slatkovodnih resursa. Zbog drastičnog rasta stanovništva, ali i globalnog uticaja klimatskih promena, kao i povećane učestalosti suše (Varghese et al., 2021), potražnja za resursima podzemnih voda drastično je porasla u poslednjih nekoliko decenija. Poslednjih godina sve veća poljoprivredna proizvodnja vrši pritisak na resurse podzemnih voda za potrebe navodnjavanja, posebno u aridnim i semiaridnim regionima. Dalje, to uzrokuje probleme kao što su smanjenje nivoa podzemnih voda, zagađenje vode od poljoprivrede i degradacija kvaliteta vode (Ibrahim-Bathis & Ahmed, 2016; Konkul et al., 2014).

Prema članu 72 Zakona o vodama ("Sl. glasnik RS", br. 30/2010, 93/2012, 101/2016, 95/2018 i 95/2018 - dr. zakon) „*Podzemne vode sa kvalitetom pogodnim za piće i vode sa javnih izvora koriste se samo za: snabdevanje vodom stanovništva, sanitarno-higijenske potrebe, napajanje stoke, za potrebe industrije koja zahteva visokokvalitetnu vodu (prehrambena, farmaceutska i drugo) i potrebe malih potrošača (ispod 1 l/s)*“. Međutim,

prema članu 82 Zakona „Podzemne vode prve izdani mogu se koristiti za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta ukoliko su ispunjeni sledeći uslovi: 1) da se tim korišćenjem ne uskraćuje pravo na korišćenje vode za prioritetne namene iz člana 71 stav 5 ovog zakona; 2) da ne postoji mogućnost zahvata iz površinskih voda i 3) da postoji dobra raspoloživost resursa podzemnih voda“. S obzirom na to da potencijal korišćenja podzemnih voda za navodnjavanje ipak postoji, a poštujući odredbe zakona, neophodno je dati kratak osvrt na stanje i rasprostranjenje podzemnih voda u Vojvodini čije geološke naslage obiluju vodom.

Posmatrano u celini, može se reći da je Srbija relativno bogata podzemnim vodama koje se nalaze u različitim tipovima izdani nejednako raspoređenim u njenim različitim delovima. Najveće rezerve se nalaze u neogenim i kvartarnim sedimentima intergranularne poroznosti, što je pre svega svojstveno za Vojvodinu, ali i u planinskim masivima izgrađenim od karstifikovanih karbonatnih stena. Prema istraživanju Instituta za vodoprivredu Jaroslav Černi, samo 30% obnovljivih rezervi podzemnih voda se koristi od ukupno procenjenih 67 m³/s. Međutim, važno je naglasiti da je intenzivno zahvatanje vode iz osnovnog vodonosnog kompleksa, koje premašuje stopu obnavljanja, dovelo do znatnog opadanja pijeometrijskog nivoa u nekim regionima u Srbiji među kojima su i delovi Vojvodine (Polomčić i sar., 2011). Generalno, podzemne vode su jedan od najvažnijih prirodnih resursa u Vojvodini. Poznavanje njihovog režima i kapaciteta veoma je važno za temu ovog istraživanja.

Podzemne vode u Vojvodini su zastupljene u vidu zbijenih izdani, razbijenih izdani i nedovoljno istraženih i iskorišćenih dubinskih termomineralnih voda. Za temu ovog istraživanja posebno su važne izdani zbijenog tipa o kojima će biti više reči. Što se tiče **razbijenih izdani**, one imaju ograničenu zastupljenost. Naime, formirane su kao pukotinske i karstne izdani u preneogenim geološkim formacijama predstavljenim karbonatnim stenama, kristalastim škriljcima, serpentinitima, flišem i magmatskim stenama koje učestvuju u građi centralnih delova Fruške gore i Vršačkih planina. Njihov izvor prihranjivanja su atmosferske padavine od kojih zavisi i sama izdašnost izvora. Ovaj tip izdani nalazi se na velikim dubinama koje idu i do nekoliko stotina metara ispod zemlje (Dalmacija i sar., 2009; Marković, 1999; Bogdanović, Marković, 2005; Tomić, 1999a).

Zbijene izdani u Vojvodini formirane u sedimentima intergranularne poroznosti predstavljene su freatskom ili prvom izdani i arteškom izdani. *Freatska izdan*, odnosno izdan sa slobodnim nivoom, čini prvi, najplići vodonosni sloj formiran iznad prvog vodonepropusnog sloja u različitim vodonosnim sredinama do dubine od oko 60 m. Zahvaljujući povoljnim hidrogeološkim uslovima ova izdan se kontinuirano prostire u ravničarskom delu Vojvodine. U zavisnosti od sredine u kojoj je formirana može se podeliti na: izdan u aluvijalnim nanosima reka i u rečnim terasama; izdan u lesnim naslagama i eolskim peskovima i izdan u jezersko-barskim sedimentima holocena. Moćnost freatske izdani u Vojvodini je različita, a prvenstveno zavisi od geomorfološke celine u okviru koje je formirana i od dubine vodonepropusnog sloja. U prirodnim uslovima dubina slobodnog izdanskog nivoa u odnosu na topografsku površinu može da se kreće od 0 m do više desetina metara, a višegodišnje oscilacije nivoa mogu iznositi i do 10 m. Freatska izdan u Vojvodini se najvećim delom prihranjuje infiltracijom atmosferskih padavina, a zatim i iz reka, kanala i jezera (Stojić, 1995; Dalmacija i sar., 2009; Marković, 1996; Pavić, 2006; Marković, 1999; Bogdanović, Marković, 2005).

Za efikasnu poljoprivrednu proizvodnju, između ostalog, važno je poznavati glavne karakteristike vodnog režima freatske izdani. Prema dominantnim prirodnim i antropogenim činiocima u Vojvodini se mogu izdvojiti četiri tipa vodnog režima freatske izdani (Stojšić, 1994):

- » *klimatski tip* – zastupljen na lesnoj terasi, lesnim zaravnima i peščarama;
- » *hidrološki tip* – rasprostranjen u priobalnom pojasu reka, u njihovim aluvijalnim ravnima;
- » *klimatsko-hidrološki tip* – zastupljen u zonama sučeljavanja klimatskog i hidrološkog činioca, odnosno u širem pojasu aluvijalnih ravni, na aluvijalnoj terasi i na kontaktu različitih reljefni jedinica;
- » *klimatsko-antropogeni* i *hidrološko-antropogeni* – rasprostranjen u svim delovima istraživanog područja gde su izvršeni hidrotehnički radovi na slivovima i na vodotocima.

U najvećem delu Vojvodine zastupljen je *umereni tip* vodnog režima freatske izdani koji se odlikuje ujednačenošću, odnosno malim oscilacijama srednjih mesečnih vodostaja slobodnog izdanskog nivoa. Freatska izdan sa ovim tipom vodnog režima uglavnom se javlja u oblastima gde je zastupljen klimatski tip režima. *Varijabilni tip* vodnog režima sa naglašenijom varijabilnošću srednjih mesečnih vodostaja slobodnog izdanskog nivoa zastupljen je daleko manje i to uglavnom u zonama sa hidrološkim tipom režima, kao i po obodu lesnih zaravni i na značajnom delu neotektonskih depresija. *Jako varijabilni tip* vodnog režima freatske izdani ima malo rasprostranjenje i javlja se u centralnim delovima depresija (Marković, 1996; Pavić, 2006; Marković, 1999; Bogdanović, Marković, 2005).

S obzirom na dominantan uticaj klimatskog faktora na vodni režim freatske izdani, u najvećem delu Vojvodine maksimalni srednji mesečni vodostaji (minimalne srednje mesečne dubine u odnosu na topografsku površinu) slobodnog izdanskog nivoa u višegodišnjem proseku javljaju se tokom proleća, najčešće u aprilu i maju. Minimalni srednji mesečni vodostaji (maksimalne srednje mesečne dubine u odnosu na topografsku površinu) se uglavnom javljaju tokom jeseni, pre svega u oktobru i novembru. U priobalju većih površinskih hidroloških objekata, kao i u zonama jakog antropogenog uticaja, godišnji tok srednjih mesečnih vodostaja izdanskog nivoa po pravilu ima drugačije karakteristike (Marković, 1996; Marković, 1999; Bogdanović, Marković, 2005; Pavić, 2006; Pavić et al., 2006; Pavić et al., 2012).

Horizontalno kretanje freatske izdani, odnosno pravci njenog oticanja, posledica su različitih apsolutnih visina terena, tačnije apsolutnih visina slobodnog izdanskog nivoa. Freatske vode u Vojvodini se kreću prema najnižem terenu određenog prostora, najčešće prema rekama, kanalima i jezerima kao recipijentima (Marković, 1996; Marković, 1999; Bogdanović, Marković, 2005; Pavić, 2006).

Arteška izdan predstavlja zbijeni tip izdani sa nivoom izdanske vode pod pritiskom. U Vojvodini je formirana između vodonepropusnih slojeva u jezersko-barskim sedimentima plioceno-pleistocenske starosti predstavljenim pre svega peskovima različite granulacije i u manjoj meri šljunkovitim peskovima. Pojavljuje se u više arteških horizonata na dubini od oko 60 m do oko 400 m ispod površine terena koji su međusobno odvojeni slojevima čiste ili

peskovite gline ili glinovitih peskova. Izuzimajući Frušku goru i Vršачke planine, ovaj tip izdani razvijen je gotovo u celom ravničarskom delu Vojvodine. Arteška izdan najdublje zaleže u severoistočnom Banatu i u južnom Sremu, a najpliće po obodima Fruške gore i Vršачkih planina.

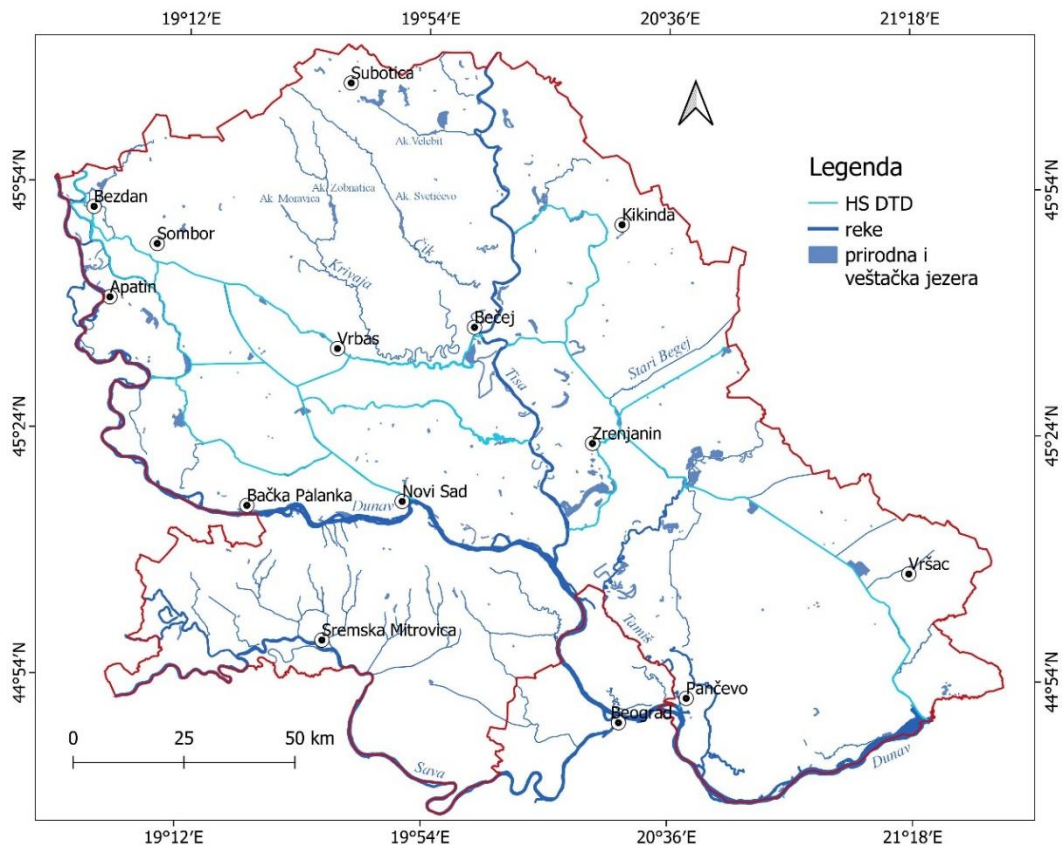
Prihranjivanje arteške izdani u Vojvodini je kompleksno. Vršī se preko izdanačke zone po obodu Fruške gore i Vršачkih planina, kao i šireg okruženja Panonskog basena, direktnom infiltracijom površinskih voda koje dotiču sa slivne površine i atmosferskih padavina koje se izluče na izdanačku površinu. Prihranjivanje prvog arteškog horizonta vrši se i delimičnom infiltracijom voda iz slobodne izdani, kao i vodom iz dubljih arteških horizonata što zavisi o pritiska i njihovih međusobnih odnosa. Promene u višegodišnjem režimu izdani zavise od meteoroloških i hidroloških uslova, ali su u velikoj meri izazvane i ljudskim aktivnostima koje se ogledaju kroz povećanu eksploataciju kvalitetne arteške vode.

Zahvatanje podzemnih voda iz arteške (i subarteške) izdani u Vojvodini vrši se putem bušenih bunara čija je dubinama uglavnom od 60 m do 160 m, dok su bunari sa dubinama preko 200 m daleko ređi. Najdublji arteški bunari u granicama istraživanog područja se nalaze u severoistočnom Banatu sa dubinom do 300 m, i u južnom Sremu gde dubina bunara dostiže čak 400 m. Izdašnost bunara kojima se zahvata arteška (i subarteška) izdan u Vojvodini uglavnom iznosi 10–20 l/s (Dalmacija i sar., 2009; Bogdanović, Marković, 2005; Tomić, 1999b).

Podzemne vode pružaju pouzdan izvor vode za navodnjavanje tokom cele godine, posebno tokom sušnih sezona ili perioda ograničene dostupnosti površinskih voda. Kada nastupe velike meteorološke suše, podzemne vode mogu da nadoknade nedostatak vode iz površinskih izvora koje su potrebne za navodnjavanja, čime se izbegava eventualna šteta u poljoprivredi. Njihova dostupnost veoma je važna za potrebe navodnjavanja, a samim tim i za održavanje poljoprivredne produktivnosti. S obzirom na to da se voda prirodno filtrira do dubljih slojeva, ovi rezervoari najčešće imaju bolji kvalitet vode nego što je to slučaj kod površinskih voda. S obzirom na navedene prednosti podzemnih voda, treba voditi računa o njihovom optimalnom korišćenju kako ne bi došlo do prekomernog crpljenja rezervoara. Ovo se naročito odnosi za teritoriju Vojvodine gde se korišćenje podzemnih voda u svrhu navodnjavanja mora vršiti u skladu sa zakonskim odredbama.

Površinske vode

Hidrografska mreža koju čine velike reke Dunav, Tisa i Sava, manji prirodni vodotokovi, gusta mreža kanala Hidrosistema Dunav–Tisa–Dunav, kao i prirodna i veštačka jezera čine razvijenu hidrografsku mrežu Vojvodine (karta 3).



Karta 3. Hidrografska karta Vojvodine

Izvor: prema Hidrografskoj karti Socijalističke Autonomne pokrajine Vojvodine razmere 1:100 000 (Vodoprivredna radna organizacija "DTD"- "Hidrosistem DTD"-Novi Sad)

Karakteristika površinske hidrografije Vojvodine je da reke imaju ravničarski karakter, što znači da imaju blag nagib, malu brzinu, meandrirajući tok sa povremenim visokim vodostajem i velikim proticajem, dok su jezerski baseni prisutni u manjem broju. S obzirom na to, ovaj region ima veoma veliki potencijal za korišćenje vodnih resursa u različite svrhe pri čemu navodnjavanju treba da pripadne vodeće mesto. Ovakva hidrografska mreža raspolaže dovoljnim količinama vode i u stanju je da zadovolji trenutne potrebe poljoprivrede za navodnjavanjem (Savić i sar., 2013).

Dunav je najveća reka koja dužinom od 350 km protiče kroz Vojvodinu i po njenom obodu. Širina njegovog rečnog toka na ovom sektoru kreće se od 380 m do 2 000 m, a dubina između 12 m i 22 m. Vodni režim Dunava menja se ulivanjem velikih reka kao što je Drava sa teritorije Hrvatske koja mu daje prosečno $653 \text{ m}^3/\text{s}$ vode, zatim Tisa $870 \text{ m}^3/\text{s}$ vode, Sava $1 685 \text{ m}^3/\text{s}$ i Velika Morava $250 \text{ m}^3/\text{s}$ vode. Od manjih pritoka ističu se Tamiš i Nera koje se ulivaju sa teritorije Vojvodine, kao i Mlava, Pek, Porečka reka i Timok kao desne pritoke Dunava (Bogdanović & Marković, 2005; Gavrilović & Dukić, 2002; Pavić et al., 2009). Najznačajnija reka u Sremu je *Sava* sa dužinom od 207 km kroz našu zemlju. Ona predstavlja desnu i najbogatiju vodom pritoku Dunava u koji se uliva kod Beograda. Njena širina se kreće u rasponu od 200 m do 780 m, dok je dubina od 18 m izmerena kod Sremske Mitrovice. Pored

Save kroz Srem teče i manja reka *Bosut* kao njena leva pritoka. Od većih pritoka na našoj teritoriji prima i reku Drinu i Kolubaru (Bogdanović & Marković, 2005). *Tisa* teče centralnim delom Vojvodine u dužini od 164 km predstavljajući tako prirodnu granicu između Bačke i Banata. U Dunav se uliva kod Starog Slankamena na njegovom 1 214,5 km. Tisa ima prosečnu širinu od 180 m do 250 m, dok je dubina vode obično između 9 m i 15 m. Pri najmanjim proticajima Tisom pored Sente protiče svega 150 m³/s, dok pri velikim proticajima na sektoru od Sente do Titela protiče više od 3 200 m³/s vode. U zavisnosti od vodostaja njene brzine se kreću od 0,5 m/s do 1,23 m/s (Gavrilović & Dukić, 2002). Najveća pritoka Tise u Srbiji je *Begej*. Ova reka zajedno sa Plovnim Begejom ima dužinu od 105 km. Pored Tise i Begeja u Banatu se izdvaja još i reka *Tamiš* čija dužina kroz Vojvodinu iznosi 118 km (Bogdanović & Marković, 2005).

U Vojvodini se pored reka nalaze i prirodna jezera kao što su Paličko i Ludaško jezero smešteno u severnom delu Vojvodine, jezero Rusanda kod Melenaca, jezera ribnjaka Ečka smeštena između Begeja i Tise, Carska bara kod Zrenjanina, Obedska bara u južnom Sremu. Pored prirodnih jezera, za potrebe navodnjavanja u Vojvodini izgrađena su i mnoge veštačke akumulacije kao što su Zobnatica, Moravica, Svetičevo, Panonija i mnoge akumulacije na južnim padinama Fruške gore (Borkovac, Ljukovo, Dobrodol i druge). Veliki značaj u hidrografiji Vojvodine ima i Hidrosistem Dunav–Tisa–Dunav (HS DTD) izgrađen za potrebe odvodnjavanja, navodnjavanja, snabdevanja vodom industrije, plovidbe, ribarstva i rekreacije. Ukupna dužina osnovne kanalske mreže iznosi 930 km (Gavrilović & Dukić, 2002), dok je detaljna kanalska mreža dugačka oko 20 000 km (JVP „Vode Vojvodine”, 2024) Više detalja u poglavlju *Izgradnja Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav*.

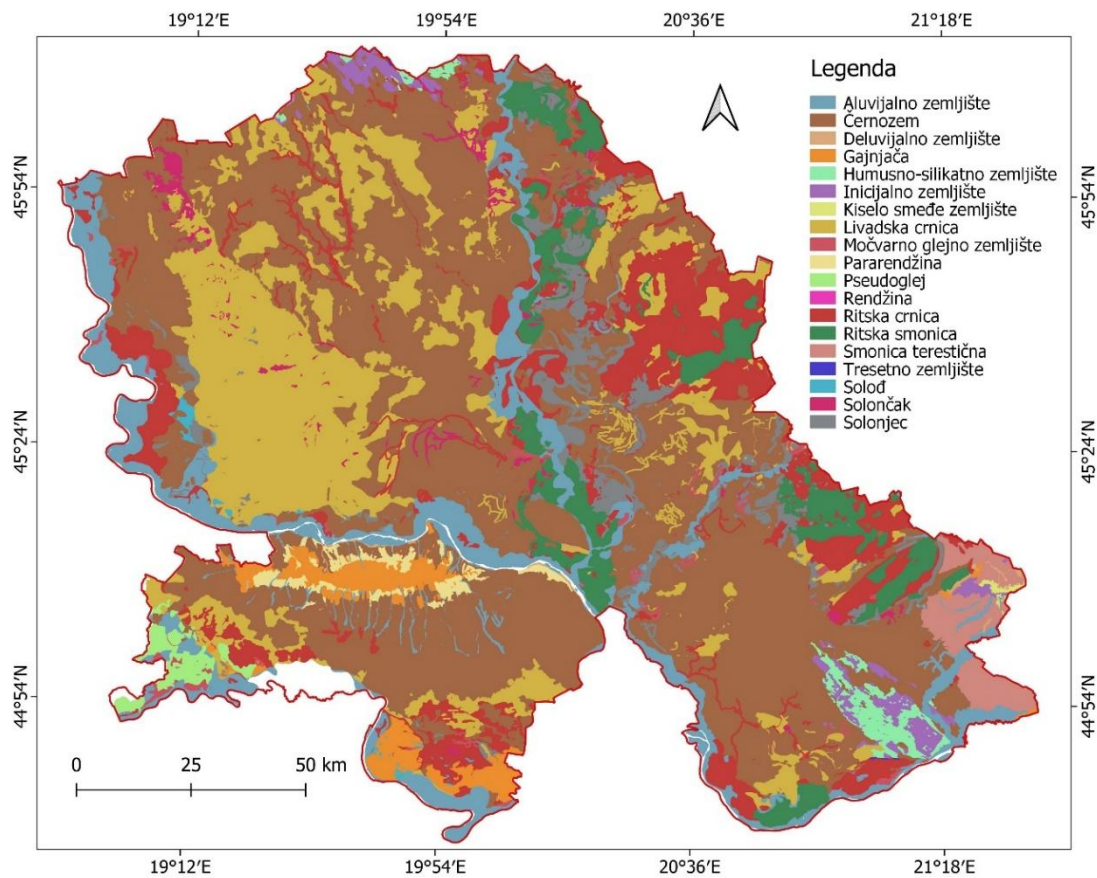
Površinske vode u Vojvodini imaju veoma važnu ulogu kad je u pitanju navodnjavanje. One se koriste i kao osnova za razvoj infrastrukture za navodnjavanje u Vojvodini. Velike reke – Dunav, Tisa i Sava imaju daleko veći potencijal za navodnjavanje u poređenju sa manjim prirodnim vodotokovima koji nisu dovoljna, a ni sigurna izvorišta vode za navodnjavanje. Oni najčešće predstavljaju vezu između regionalnih hidrosistema ili se na njima formiraju veštačke akumulacije koje mogu intenzivnije da se koriste u svrhu navodnjavanja. Primer takvih akumulacije su na severu Bačke i južnim padinama Fruške gore (Savić i sar., 2013). Ukoliko se uzme u obzir trenutni instalirani kapacitet za navodnjavanje, stanje i iskorišćenosti sistema, kao i potražnja za vodom, prethodno navedeni kapaciteti uglavnom mogu da obezbede dovoljne količine vode za trenutno navodnjavane površine. Ipak, njihov režim i vremenska raspodela proticaja tokom godine, odnosno u sezoni navodnjavanja, nisu uvek u skladu sa potrebama (Savić & Vranešević, 2011). Svakako, očuvanje i efikasno korišćenje ovih resursa su od suštinskog značaja za održivu poljoprivredu u regionu.

Na kraju je važno istaći da je poznavanje hidrografije područja ključno za efikasno planiranje, projektovanje i upravljanje sistemima za navodnjavanje, što dalje omogućava optimalno korišćenje vodnih resursa i povećava produktivnost poljoprivredne proizvodnje.

PEDOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Vojvodina predstavlja glavni poljoprivredni region u Srbiji gde 84% njene teritorije pripada obradivom zemljištu koje je veoma plodno i pogodno za poljoprivrednu proizvodnju.

Prema Živkoviću i saradnicima (1972), u Vojvodini postoji devetnaest tipova (karta 4) i više od četrdeset podtipova zemljišta sa različitim varijetetima čije je formiranje uslovljeno uticajem različitih pedogenetskih činilaca, pre svih klime i reljefa, a zatim i karakteristika matičnog supstrata, uticaja podzemnih i površinskih voda i organskog sveta.. Za potrebe ove disertacije biće ukratko predstavljeni najrasprostranjeniji tipovi zemljišta na teritoriji Vojvodine.



Karta 4. Tipovi zemljišta u Vojvodini

Izvor: Nejgebauer i sar., 1971

Najzastupljeniji tip zemljišta u Vojvodini je **černozem** sa oko 45% zastupljenosti. Formiran je na lesnim zaravnima (platoima) i lesnim terasama i u nešto manjoj meri na suvoj i ocednoj aluvijalnoj terasi Dunava. Karakteriše ga tamna boja i visok sadržaj humusa, što ga čini veoma plodnim i pogodnim za poljoprivrednu proizvodnju. Formira se na lesnim sedimentima i obično ima visok sadržaj kalcijum-karbonata (CaCO_3). Ovaj tip zemljišta poznat je po svojoj plodnosti i sposobnosti zadržavanja vlage, što ga čini idealnim za uzgajanje različitih useva. U Vojvodini, černozem zauzima značajan deo poljoprivrednih površina i

doprinosi visokim prinosima različitih useva, kao što su žitarice, uljarice, voće i povrće. Velika dubina aktivno-humusnog sloja omogućava primanje i akumuliranje velike količine padavina koja je neravnomerno raspoređena tokom godine u ovom regionu ili jednostavno izostaje kad je najpotrebnija za poljoprivrednu proizvodnju. Njegov pogodan mehanički sastav pri vlažnom stanju obrazuje idealnu strukturu koja doprinosi povećanju proizvodne vrednosti ovog tipa zemljišta. Černozem u Vojvodini se može podeliti na pet podtipova: černozem karbonatni (micelarni) na lesnom platou, černozem karbonatni (micelarni) na lesnoj terasi, černozem na peskovitom lesu, černozem različitog mehaničkog sastava na pesku i černozem na aluvijalnim nanosima (Nejgebauer i sar., 1971; Živković i sar., 1972).

Pored černozema ističe se i **livadska crnica** koja takođe zauzima velika prostranstva u Vojvodini (17,4% teritorije). Ona se takođe formira na lesnim sedimentima, ali se razlikuje od černozema po svojim karakteristikama. Livadska crnica obično ima deblji humusni sloj i visok sadržaj kalcijum-karbonata. Fizičke i vodno-vazdušne karakteristike livadske crnice su veoma povoljne što je izuzetno značajno naročito kad je u pitanju navodnjavanje. Ona pruža dobre mogućnosti za ispašu stoke. Rasprostranjena je u Bačkoj na lesnoj terasi i na lesnom platou, u dolinama Krivaje i Čika, dok je u Banatu ima na lesnoj terasi i javlja se u vidu ostrva u područjima černozema ili ritske crnice. U Sremu je zastupljena isključivo na lesnoj terasi. Kod livadske crnice se mogu izdvojiti dva podtipa: livadska crnica karbonatna na lesnom platou i livadska crnica karbonatna na lesnoj terasi (Nejgebauer i sar., 1971; Živković i sar., 1972).

Ritske crnice predstavljaju još jedan značajan tip zemljišta u Vojvodini. Ovaj tip zemljišta se razlikuje od černozema i livadske crnice po svom poreklu i karakteristikama. Ritske crnice se obično formiraju na aluvijalnim sedimentima, što ih čini drugačijim od prethodno pomenutih tipova zemljišta koji se formiraju na lesnim sedimentima. Nastale su prevlaživanjem zemljišta gde je nakon izumiranja hidrofilne vegetacije formiran humusni sloj znatne debljine. Karakteriše ih visok sadržaj gline i drugih minerala, što ih čini pogodnim za određene vrste useva i poljoprivredne aktivnosti. Različiti podtipovi i varijeteti ritske crnice zastupljeni su u inundacionim terenima pored Tise, Begeja, Tamiša i Dunava, duž Zlatice u dolini Kereša, u priobalju Paličkog i Ludaškog jezera i u manjim depresijama oko Subotičko-horgoške peščare. Takođe, zastupljena je u jugoistočnim, zapadnim i jugozapadnim delovima Srema. Ritska crnica u Vojvodini ima tri podtipa: ritska crnica na promenjenom lesu, ritska crnica na aluvijalnim nanosima različitog mehaničkog sastava i ritska crnica na pesku (Nejgebauer i sar., 1971; Živković i sar., 1972).

Aluvijalna zemljišta su veoma značajna u Vojvodini jer se nalaze oko Dunava, Tise i Save i njihovih pritoka kao i drugih površinskih vodotoka. Ova zemljišta se formiraju kao rezultat taloženja materijala koje donose reke tokom dužeg vremenskog perioda. Karakteriše ih visok sadržaj organske materije i minerala koji su doneti tokom procesa erozije i sedimentacije. Fizička i vodno-vazdušna svojstva ovog tipa zemljišta zavise od njegovog mehaničkog sastava. Podtipovi peskovito-ilovastog i ilovastog sastava imaju najpovoljnija fizička i vodno-vazdušna svojstva, dok ekstremno peskovita aluvijalna zemljišta imaju nepovoljna svojstva, što je slučaj i sa zabarenim aluvijalnim zemljištem i aluvijalnim zemljištem na ritskoj crnici. Kad je u pitanju proizvodna sposobnost ovog tipa zemljišta, ona su od izuzetnog značaja jer su po svojoj poljoprivrednoj vrednosti jedna od najplodnijih. Aluvijalno zemljište u Vojvodini deli se na pet podtipova: aluvijalno šljunkovito-peskovito zemljište, aluvijalno peskovito zemljište,

aluvijalno ilovasto zemljište, aluvijalno glinovito zemljište i aluvijalno zemljište na ritskoj crnici (Nejgebauer i sar., 1971; Živković sar., 1972).

Pored detaljnije opisanih najrasprostranjenijih tipova zemljišta, u Vojvodini su u manjoj meri rasprostranjena i *deluvijalna zemljišta* i *smonica terestična* koje se uz određene savremene agrotehničke mere mogu dovesti do visokoproduktivnih zemljišta. Zastupljena su još i *inicijalna zemljišta*, *ritska smonica*, *gajnjača* i *pseudoglej* koja nemaju visoku proizvodnu sposobnost te se koriste za vinograde, voćnjake i pašnjake. Među neplodnim zemljištima u Vojvodini izdvajaju se *slatine* (solođ, solončak i solonjec) (Nejgebauer i sar., 1971; Živković i sar., 1972).

Iako Vojvodina obiluje poljoprivrednim zemljištem, nije svaki tip zemljišta podjednako plodan i pogodan za gajenje ratarskih kultura. Proizvodne osobine zemljišta su veoma važne za uspešnost poljoprivredne proizvodnje. U nastavku je data tabela 1 proizvodnih klasa zemljišta u Vojvodini napravljena prema istraživanju Živkovića i saradnika (1972).

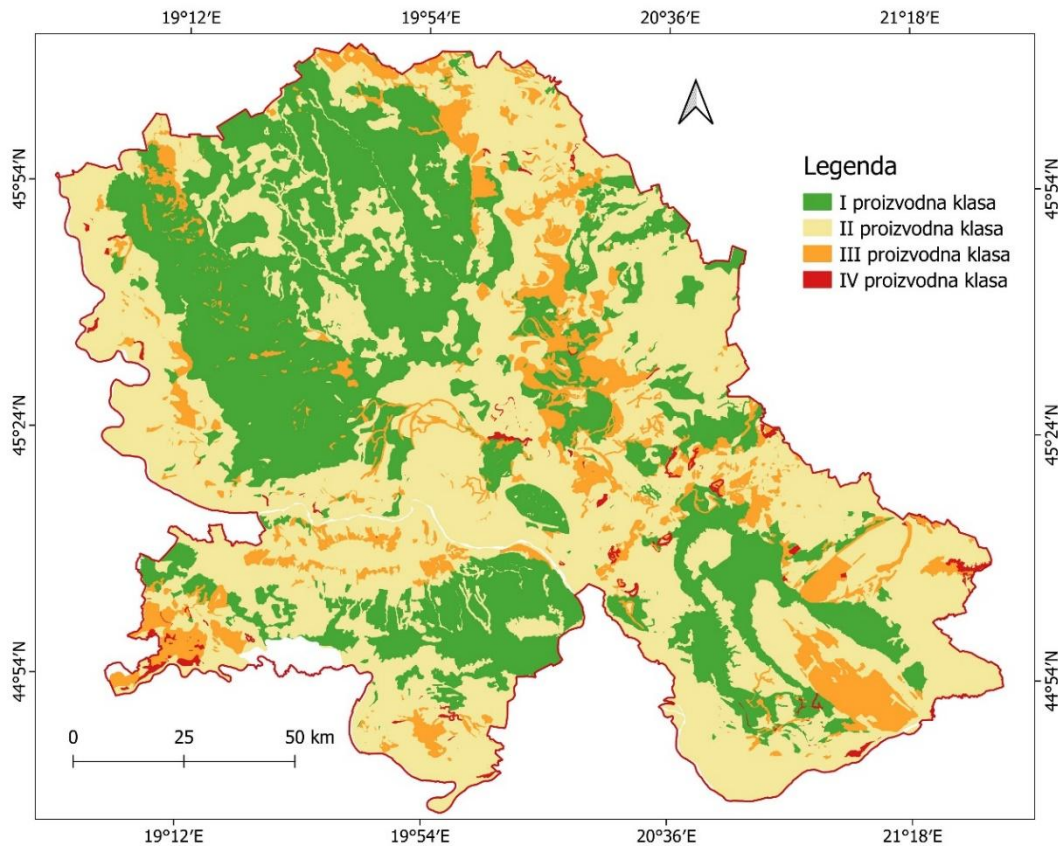
Tabela 1. Proizvodne klase zemljišta u Vojvodini

| Klasa | Opis klase | Tipovi, podtipovi i varijeteti zemljišta |
|-----------|--|--|
| I klasa | Zemljišta sa najstabilnijom i najvišom proizvodnom vrednošću | Černozem (na lesnoj terasi, na lesnom platou), livadska crnica, tresetno zemljište |
| II klasa | Zemljišta nešto niže proizvodne vrednost, ali se na njima uz primenu odgovarajuće agrotehlike, upotrebu većih količina đubriva i uz potrebnu vlažnost mogu postizati visoki prinosi, | Aluvijalno zemljište, černozem (erodirani, sa znacima oglejavanja u lesu, karbonatni zaruđeni, ogajnjačeni na aluvijalnim nanosima, ilovasto-peskoviti na pesku, slabo ogajnjačeni), deluvijalno zemljište, gajnjača, inicijalno zemljište, livadska crnica (ogajnjačena, beskarbonantna), ritska crnica, ritska smonica, smonica terestična |
| III klasa | Zemljišta slabe proizvodne vrednosti, najviše se koriste za voćnjake, vinograde, pašnjake i šume | Ranker, inicijalno zemljište, livadska crnica (sa znacima zaslanjivanja, solonjecasta, solončakasta), pararendzina, pseudoglej, ritska crnica (zaslanjena, beskarbonantna mestimično zaslanjena), solođ, solončak, solonjec |
| IV klasa | Zemljišta vrlo niske plodnosti gde preduzimanje meliorativnih mera nema značaja za biljnu proizvodnju, koriste se za pašnjake ili šume | Kiselo smeđe, močvarno glejno |

Izvor: Živković i sar., 1972

Prva i najvažnija osobina zemljišta jeste plodnost koja određuje njegovu mogućnost da podrži rast biljaka i omogući veliki prinos. Kada je reč o mogućnostima za navodnjavanje, vodno-vazdušne sposobnosti zemljišta su od velikog značaja jer se ova karakteristika odnosi na sposobnost zemljišta da zadrži odgovarajuću količinu vode i vazduha kako bi biljka

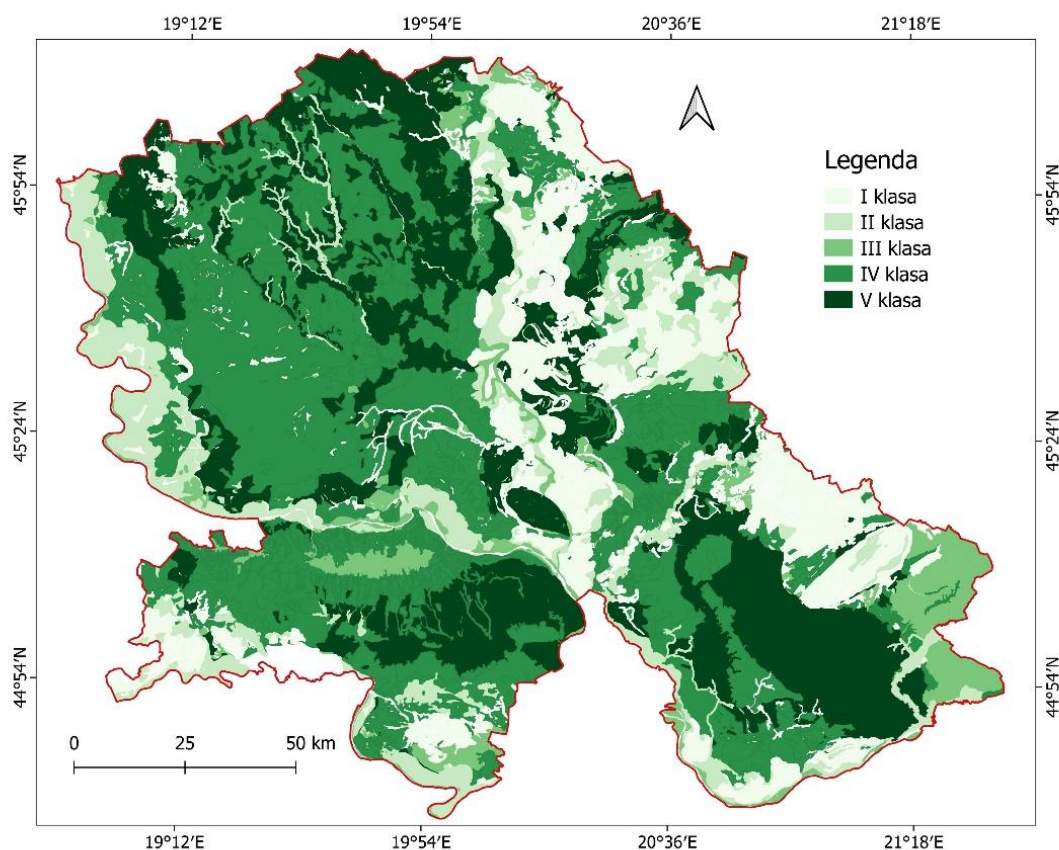
nesmetano mogla da raste. Pored toga, važna je i sama mehanička struktura zemljišta, njegova tekstura kao i pH vrednost. Upravo na osnovu ovih kriterijuma izvršena je klasifikacija proizvodnih osobina zemljišta u Vojvodini gde I klasa predstavlja zemljišta sa najstabilnijom i najvišom proizvodnom vrednošću, a klasa IV predstavlja zemljište vrlo niske plodnosti (karta 5).



Karta 5. Prostorna distribucija proizvodnih klasa zemljišta u Vojvodini

Izvor: Nejgebauer i sar., 1971

Kada je u pitanju planski razvoj navodnjavanja na određenom tipu zemljišta, veoma je važno pomenuti drenažu zemljišta, odnosno njegovu sposobnost i kapacitet da prirodnim putem eliminiše višak vode. Dobro drenirano zemljište sa optimalnim vodno-vazдушnim režimom omogućava dobar prinos useva. Zemljište koje je zasićeno prevelikom količinom padavina ili visokim podzemnim vodama nema sposobnost upijanja vode što dovodi do njenog zadržavanja na površini. Efikasnost drenaže meri se brzinom i obimom odvođenja vode. U Vojvodini je na osnovu prosečnih graničnih vrednosti vodnih konstanti i glavnih hemijskih parametara zemljišta urađena drenažna klasifikacija pedološkog pokrivača (karta 6).



Karta 6. Prostorna distribucija drenažnih klasa zemljišta u Vojvodini

Izvor: Nejgebauer i sar., 1971

U zavisnosti od svojstva zemljišta i njegovog stepena ugroženosti suvišnim unutrašnjim vodama, svaki tip zemljišta u Vojvodini svrstan je u jednu od pet drenažnih klasa. Klasi I pripadaju zemljišta koja su vrlo slabo drenirana, dok u V klasu spadaju tipovi zemljišta koji imaju vrlo dobre drenažne sposobnosti (Miljković, 2005). Detaljna podela tipova zemljišta po drenažnim klasama data je u tabeli 2.

Tabela 2. Drenažne klase zemljišta u Vojvodini

| Klasa | Opis klase | Tipovi, podtipovi i varijeteti zemljišta | Procenat pokrivenosti u Vojvodini |
|--------------|----------------------|---|--|
| I klasa | Vrlo slabo drenirana | Solončak, solonjec, ritska crnica (zaslanjena, alkalizovana, beskarbonatna), močvarno-oglejno zemljište i pseudoglej | 18% |
| II klasa | Slabo drenirana | Aluvijalno zemljište (glinovito, zabareno, zaslanjeno, alkalizovano), ritska crnica karbonatna, fluvijalno livadsko zemljište, smonica (ogajnjačena, lesivirana), lesivirano zemljište, solonjec-solođ, solođ | 12% |
| III klasa | Nedovoljno drenirana | Smonica (normalna), gajnjača lesivirana, černozemi zaslanjeni i alkalizovani, aluvijalno zemljište, aluvijalno-deluvijalno zemljište | 6% |
| IV klasa | Umereno drenirana | Černozem (izluženi, ogajnjačeni, livadski, beskarbonatni), koluvijalno (deluvijalno) zemljište, gajnjača | 39% |
| V klasa | Dobro drenirana | Černozem i inicijalna zemljišta | 25% |

Izvor: Miljković, 2005

Zemljište u Vojvodini pruža plodnu osnovu za poljoprivrednu proizvodnju. Pravilno navodnjavanje može doprineti očuvanju zemljišta od erozije i degradacije. Održavanjem odgovarajuće vlažnosti zemljišta, može se sprečiti ispiranje hranljivih materija i supstanci iz zemljišta, čime se poboljšava njegova plodnost i struktura. Bogata plodnim tipovima zemljišta, koji imaju vrlo dobre drenažne sposobnosti, Vojvodina ima veliki potencijal za dalji razvoj navodnjavanja i unapređenje poljoprivredne prakse i proizvodnje.

RAZVOJ I IZGRADNJA SISTEMA ZA NAVODNJAVANJE U VOJVODINI

ISTORIJAT NAVODNJAVANJA

Smatra se da je na ovim područjima navodnjavanje postojalo kao praksa i pre 200 godina. Za početak navodnjavanja u Vojvodini uzima se 1875. godina kad je izgrađen kanal *Mali Stapar – Novi Sad* (Milošev, 2002). Izgradnja ovog kanala počela je nakon velikih suša zabeleženih 1863. godine. Ideja je inicirana od strane Generala Tira, a cilj je bio izgraditi kanal za potrebe navodnjavanja i plovidbe. Ideja je bila da se kanal izgradi po uzoru na kanale u dolini reke Po u Italiji, gde će u dolini *Velikog bačkog* kanala biti stvorena pokrajina sa veoma dobrim sistemom voda kao što je Lombardija. Tako je njegova izgradnja uticala na prosperitet do tada nepristupačnog i nerazvijenog područja koje je kasnije postalo jedno od najbogatijih delova u Vojvodini (Dragović i sar., 2005). Izgradnjom kanala otvara se jedno novo poglavlje u razvoju poljoprivrede u Vojvodini. Navodnjavanje sve više dobija na značaju gde je prva kultura koja se navodnjavala oko kanala bila pirinač. Tada počinje ekspanzija izgradnje mreže koja bi se koristila u ove svrhe. Najpre je 1877. godine u blizini naselja Savino Selo izgrađeno državno ogledno polje na oko 112 ha kojim je upravljao Jožef Peh, jedan od najpoznatijih vodoprivrednih stručnjaka tog vremena. On je postavio osnove navodnjavanja različitih poljoprivrednih kultura. Kasnije, 1879. godine, izgrađen je još jedan sistem u okolini Vrbaša na oko 68 ha kao i u naselju Rumenka na oko 360 ha.

Međutim, iako je u 19. veku bilo izgrađeno nekoliko kanala, navodnjavanje nije bilo primenjivano u velikoj meri. Kanal *Mali Stapar – Novi Sad* imao je kapacitet za zalivanje oko 8 000 do 10 000 ha. Intenzitet poljoprivrede tada nije bio na zavidnom nivou pa ni potreba za zalivanjem, te taj kapacitet nije nikad dosegnuo svoj maksimum. U 19. veku, primena navodnjavanja se proširuje i na Srem. Nakon drenaže močvara u nižim područjima, voda iz odvodnih kanala kao i voda iz vodotokova sa Fruške gore počinje da se koristi za navodnjavanje. U Banatu se navodnjavanje uglavnom primenjivalo na manjim parcelama u blizini izvora vode. Prema Miloradoviću (Miloradović, 2002) površine parcela koje su se zalivale varirale su od 0,72 do 4,03 ha. Navodnjavane su uglavnom parcele povrća, često na „bugarski način”, što je podrazumevalo gravitaciono zalivanje iz brazda. Pored povrća, zalivani su i lucerka, pamuk, kukuruz i druge kulture. Ovi podaci naglašavaju spor tempo razvoja navodnjavanja u ovim područjima do sredine 20. veka.

Razvoj navodnjavanja u Vojvodini prolazio je kroz nekoliko faza u zavisnosti od prirodnih, ekonomskih, tehničkih i drugih uslova. Do Drugog svetskog rata izgrađeni su uglavnom mali sistemi koji su služili za ove potrebe. Posle Drugog svetskog rata značajno se razvija poljoprivreda pa samim tim i navodnjavanje. U Vojvodini je 1946. godine bilo ukupno 1 217 ha navodnjavanog zemljišta, uglavnom na manjim parcelama (Dragović i sar., 2005; Mirkov, 1951). Zalivanje se najčešće obavljalo površinskim potapanjem i brazdama, ali se u tom periodu počelo eksperimentisati sa kišenjem (veštačka kiša). Međutim, prvi poznati slučaj primene veštačke kiše u ove svrhe datira još iz 1936. godine u Čoki u Banatu, gde je vlasnik investirao u uređaj za veštačku kišu kao preventivnu meru protiv suše gde je zalivao 50

katatarskih jutara (Dragović i sar., 2005). Ovaj događaj se smatra početkom primene ovim vidom navodnjavanja, ne samo u ovom regionu već i šire u Evropi.

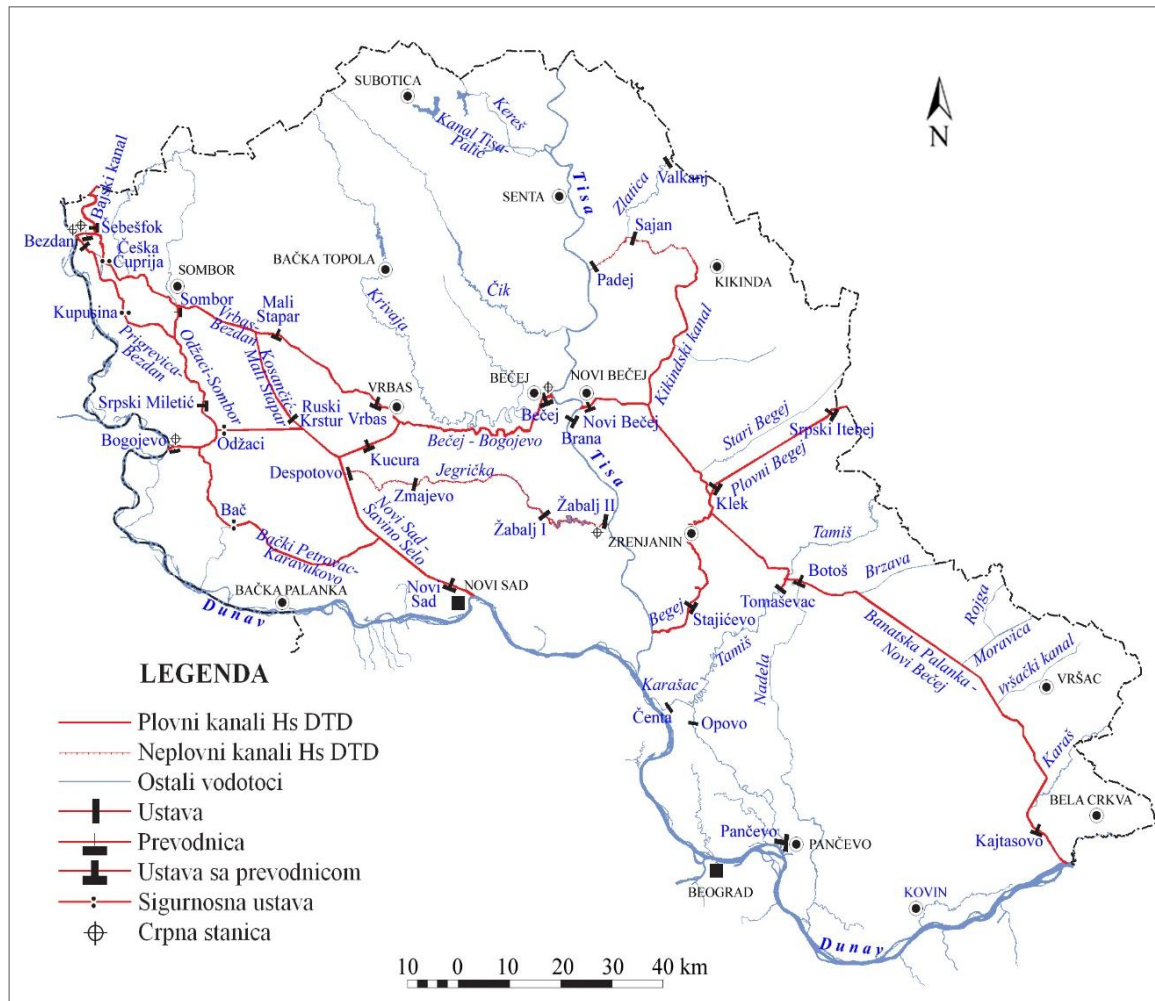
Pripreme za izgradnju većih sistema za navodnjavanje u Vojvodini odvijale su se istovremeno sa planiranjem studija i projekta za izgradnju Hidrosistema Dunav–Tisa–Dunav (HS DTD). U periodu od 1952. do 1974. sistemima za navodnjavanje bilo je obezbeđeno oko 25 000 ha površine (Dragović i sar., 1989). Iako su nakon izgradnje HS DTD stvoreni bolji uslovi za brži razvoj navodnjavanja u istraživanom području, ono ipak nije zaživelo u potpunosti do dan danas. I sada se navodnjavanje veoma sporo razvija iako klimatske promene donose sa sobom sve nepovoljnije uslove za uzgajanje karakterističnih ratarskih, povrtarskih i voćarskih kultura u Vojvodini.

IZGRADNJA HIDROSISTEMA DUNAV-TISA-DUNAV

Tokom istorije, uređenje voda u Vojvodini, imalo je veliki značaj. Geografski položaj u niskim obodnim delovima Panonskog basena, prirodne karakteristike i ekonomski potencijal, bili su dovoljan razlog da se počne sa ozbiljnim radovima i razvojem ovih prostora (Pavić et al., 2012b).

Prvi obimniji hidrotehnički radovi započeti su u Bačkoj još 1793. godine prokopavanjem kanala *Bački Monoštor – Bačko Gradište*, koji je predstavljao prvu vezu između Dunava i Tise na ovom prostoru. Kasnije, sredinom i krajem 19. veka ovaj kanal je produžen i pretvoren u kanal *Bezdan – Bečej*, odnosno *Veliki bački kanal*. Njegovom izgradnjom planirano je da se on, pored navodnjavanja, koristi i za plovidbu te je u te svrhe na njemu izgrađeno pet ustava sa prevodnicama (kod Bezdana, Malog Stapara, Vrbasa, Srbobrana i Starog Bečeja). U periodu od 1870. do 1875. godine izgrađena je još jedna značajna kanalska trasa, ranije pomenuti kanal *Mali Stapar – Novi Sad*, koji spaja *Veliki kanal* kod Malog Stapara sa Dunavom kod Novog Sada. On je izgrađen s ciljem da služi odvodnjavanju suvišnih voda sa poljoprivrednih površina i navodnjavanju zemljišta (Dragović i sar., 2005; Milošev, 2002).

Višenamenski HS DTD čini jedinstven sistem čije su glavne funkcije odvodnjavanje, navodnjavanje, snabdevanje vodom, prihvatanje upotrebljenih voda, plovidba i dr. u Bačkoj i Banatu (karta 7). Izgradnja ovog hidrosistema, koja je počela sredinom 1947. godine imala je za cilj isušivanje zamočvarenih terena, povećanje obradivih površina, kao i omogućavanje plovidbe unutrašnjim plovnim putevima. Iako je kanalska mreža najvećim delom izgrađena na lesnoj terasi, a samo manjim delom u aluvijalnim ravnima Dunava i Tise, ovaj hidrosistem se koristi i za odvodnjavanje samih aluvijalnih površina. Naime, kanalska mreža u određenoj meri prihvata vode sa viših reljefnih celina i tako im ne dozvoljava potpuno slivanje prema aluvijalnim ravnima, odnosno Dunavu i Tisi kao glavnim recipijentima (Pavić et al., 2006). Visinski posmatrano celokupan hidrosistem je podeljen na takozvane „bazene” pod kojima se podrazumeva jedan ili veći broj kanala uokviren ustavama, prevodnicama i crpnim stanicama koje regulišu protok i nivo vode u svojim bazenima. U bazenima se diriguje vodni režim pomoću regulacionih ustava u skladu sa tehničkim mogućnostima i odgovarajućim pravilnicima (Likić, 2002).



Karta 7. Osnovna kanalska mreža Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav

Izvor: JVP „Vode Vojvodine”

Ovaj sistem čine dve zasebne celine, bačka i banatska. Reka Tisa, kao središnji hidrološki objekat HS DTD, predstavlja prirodni most koji povezuje bački i banatski deo u jedinstven sistem. Pored ove funkcije, Tisa ima i važnu ulogu u funkcionisanju HS DTD, jer predstavlja jedan od glavnih recipijenata voda iz njegovog bačkog dela, a samim tim je i osnovni vodosnabdevač kanalske mreže u Banatu (Pavić et al., 2009). Brana na Tisi je ključni hidrotehnički objekat u okviru HS DTD, koji omogućava povezivanje bačkog i banatskog dela u jedinstveni sistem.

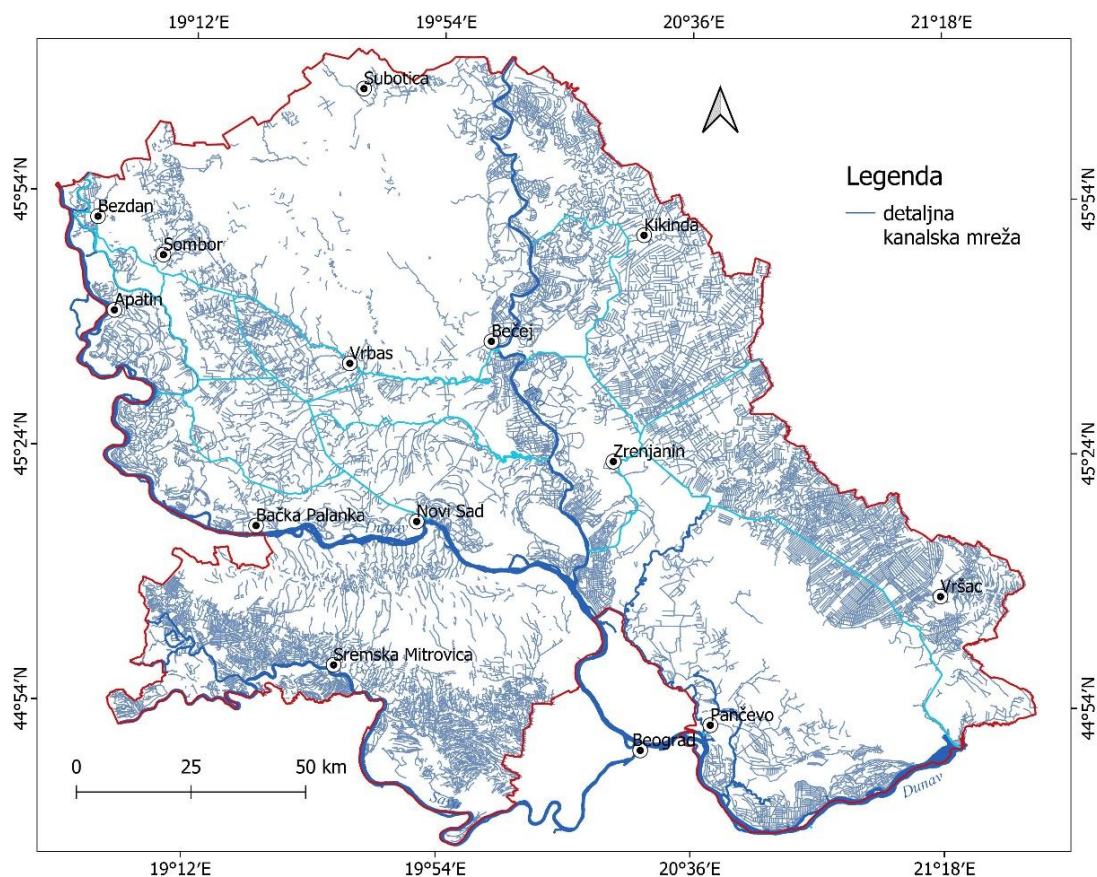
Deo hidrosistema u Bačkoj sastoji se iz razgranate kanalske mreže koju čine deonice potpuno novih kao i rekonstruisanih starih kanala i kanalisanih prirodnih tokova i depresija (Mostonga, Jegrička, Crna bara). Nakon sprovedenih radova ukupna dužina kanala u okviru osnovne kanalske mreže (OKM) u Bačkoj iznosi 420,8 km i više hiljada kilometara kanala u sastavu detaljne kanalske mreže (DKM) (Pavić et al., 2012b). Ovde se mogu izdvojiti najvažnije deonice kao što su: *Bečej – Bogojevo* (90 km), *Vrbas – Beždan* (80,9 km), *Jegrička* (65,4 km), *Bački Petrovac – Karavukovo* (52 km), *Novi Sad – Savino Selo* (39,1 km), *Prigrevica – Beždan* (31,7 km), *Odžaci – Sombor* (27,8 km), *Kosačić – Mali Stapar* (21,1 km), *Bajski* (12,7 km). Nivo vode u kanalima reguliše se pomoću regulacionih ustava kojih u

Bačkoj ima trinaest. To su ustave: Novi Sad, Vrbas, Bezdán, Šebešfok, Srpski Miletić, Kucura, Mali Stapar, Ruski Krstur, Despotovo, Zmajevó, Bečej, Žabalj I i Žabalj II. Pored ovih postoje i sigurnosne ustave koje služe za lokalizovanje poplava u slučaju prodora prve odbrambene linije na Dunavu. To su ustave Kupusina, Odžaci, Bač i Češka Čuprija. Kanalska mreža u bačkom delu hidrosistema snabdeva se vodom iz Dunava preko vodozahvata kod Bezdana i Bogojeva (karta 7). Na levoj obali Dunava kod Bezdana sagrađena je velika napojna ustava sa tri prelivna polja kroz koju se svake sekunde 60 m³ vode prebacuje iz Dunava u kanal (Gavrilović & Dukić, 2002).

Kad je reč o banatskom delu HS DTD, ovde je glavni kanal *Banatska Palanka – Novi Bečej*, dok ostatak mreže čine vodotoci koji dolaze iz Rumunije. Posmatrajući od severozapada prema jugoistoku kanal *Banatska Palanka – Novi Bečej* (147,3 km) prihvata vode *Starog Begeja* (37,4 km), a potom i *Plovnog Begeja* (31,2 km). Zatim preseca tok Tamiša (116,8 km), a dalje prema jugoistoku prihvata vode Karaša (30,0 km), *Vršačkog kanala* (21,0 km), Brzave (19,9 km), Moravice (17,8 km) sa Rojgom (12,4 km). Severnije od glavnog kanala nalazi se kanalisani tok Zlatice (35,5 km). Ova dva hidrološka objekta su spojena Kikindskim kanalom (50,3 km) čija glavna trasa ide kanalisanim koritom nekada prirodnog vodotoka Galacke. Prema Statutu JVP „Vode Vojvodine”, osnovnu kanalsku mrežu u banatskom delu hidrosistema čine kanali: *Banatska Palanka – Novi Bečej*, *Plovni Begej*, *Begej*, *Tamiš* (deonica od 2,2 km, od ukrštanja sa glavnim kanalom do ustave Tomaševac), *Kikindski kanal* i *Zlatica* (deonica od 10,3 km, od spoja sa *Kikindskim kanalom* do ušća u Tisu). Kada se uključe ostali ranije navedeni kanali i regulisani vodotoci, ukupna dužina kanalske mreže u Banatu iznosi 560,2 km (Likić, 2002).

Kanalska mreža u banatskom delu hidrosistema snabdeva se vodom gravitacionim putem iz Tise. Glavni vodozahvat nalazi se kod Novog Bečaja, dok je još jedan izgrađen kod Padeja, na ušću Zlatice. Na ovim vodozahvatima su izgrađene tzv. upusno-ispusne ustave koje tokom vlažnijeg dela godine omogućavaju prebacivanje suvišnih voda iz kanalske mreže u Tisu. Preko ustave Stajićevo voda se Begejom odvodi u Tisu, dok se preko ustave Kajtasovo voda odvodi kanalom *Banatska Palanka – Novi Bečej* u Dunav. Na ove dve ustave se nalaze glavni gravitacioni vodoispusti HS DTD u Banatu (Rajić, 2002). Pored njih, ovde se nalazi još pet regulacionih ustava: Sajan, Botoš, Klek, Itebej, Tomaševac (karta 7)

Pored osnovne kanalske mreže, u Banatu i Bačkoj je izgrađeno preko 20 000 km detaljne kanalske mreže kako za potrebe odvodnjavanja tako i za potrebe navodnjavanja (karta 8).



Karta 8. Detaljna kanalska mreža Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav

Izvor: prema JVP „Vode Vojvodine”

AKUMULACIJE U VOJVODINI I MOGUĆNOST NJIHOVOG KORIŠĆENJA ZA NAVODNJAVANJE

Tokom perioda od 1965. do 1990. godine u Vojvodini je izgrađeno ukupno 16 višenamenskih akumulacija. Od toga, deset akumulacija je formirano na vodotocima Fruške gore: Borkovac (Borkovac), Sot (Šidina), Ljukovo (Ljukovo), Moharač (Moharač), Međeš (Međeš), Kudoš (Kudoš), Šelevrenac (Šelevrenac), Dobrodol (Dobrodol), Vranjaš (Vranjaš), Bruja (Bruja) (Kolaković & Fabian, 2001; Stojanović i sar., 2014). Pet akumulacija je izgrađeno na vodotocima u severnoj Bačkoj: Zobnatica (Krivaja), Moravica (K-23), Tavankut (K-0), Panonija (K-18-2) i Svetičevo (Čik). U Banatu postoji jedna akumulacija pod nazivom Mesić, formirana na istoimenom potoku u podnožju Vršačkih planina. Ove akumulacije su projektovane i izgrađene za višestruke namene, a njihova ukupna zapremina iznosi oko 25 miliona m³. Njihove primarne funkcije uključuju zaštitu od bujičnih poplava i skladištenje vode za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Pored toga, akumulacije služe i u svrhe rekreacije, turizma, ribarstva. Takođe, imaju značaj za industrijsku upotrebu vode i druge namene, čime doprinose svestranom razvoju regiona (Kolaković & Fabian, 2001).

Izgradnja novih akumulacija i modernizacija postojećih su važni koraci ka održivom upravljanju vodnim resursima. Klimatske promene i povećana potražnja za vodom zbog

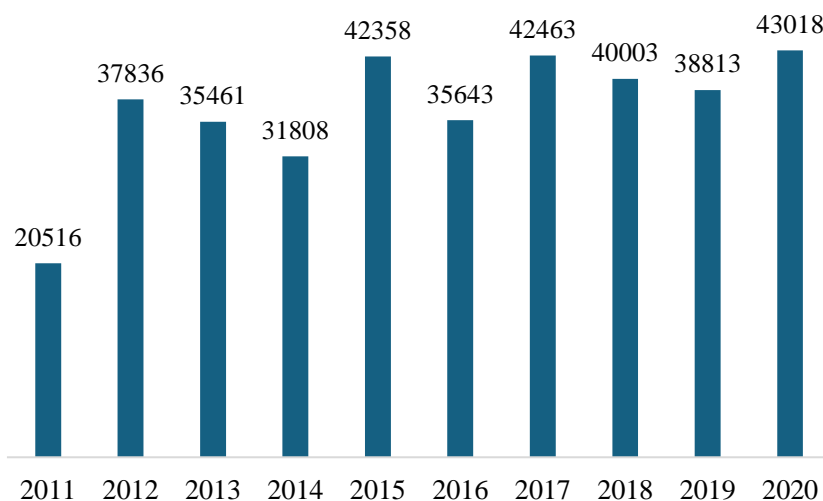
intenziviranja poljoprivrede zahtevaju dalju investiciju u infrastrukturu i unapređenje postojećih sistema za navodnjavanje.

TREKUTNO STANJE NAVODNJAVANJA

U Vojvodini postoje velike površine plodnog obradivog zemljišta sa veoma dobrim proizvodnim sposobnostima, kao i značajne količine raspoložive vode. Neravnomerna i nepovoljna vremenska raspodela padavina u toku godine negativno utiče na vodni bilans istraživanog područja čemu klimatske promene dodatno doprinose. Stoga se ovaj region smatra veoma pogodnim za intenzivan razvoj navodnjavane poljoprivrede (Dragović i sar., 2005; EEA, 2017).

Hidrološki uslovi u Vojvodini pružaju potencijal za navodnjavanje više od polovine obradivog zemljišta u Vojvodini, odnosno oko 936 000 ha, od čega se 402 000 ha nalazi u Banatu, 350 000 ha u Bačkoj i 184 000 ha u Sremu (JVP „Vode Vojvodine”, 2023; Savić et al., 2013). Međutim, i pored velikog potencijala i mogućnosti, ovaj kapacitet nikad nije u potpunosti iskorišćen. Jedan od razloga jeste što je uzgajanje određenih ratarskih kultura u Vojvodini još uvek moguće i sa pojavom sve učestalijih suša, te se primena navodnjavanja ovde još uvek smatra dopunskom agrotehničkom merom, a ne obaveznom (Srđević & Srđević, 2008).

Na grafikonu 1 prikazane su ukupne navodnjavane površine u Vojvodini za period od 2011–2020. godine⁴.



Grafikon 1. Navodnjavane površine (ha) u Vojvodini za period od 10 godina (2011–2020)

Izvor: Republički zavod za statistiku

⁴ Podaci o navodnjavanim površinama u Vojvodini dostupni su samo za period do 2020. godine te su iz tog razloga izostavljene 2021 i 2022. koje su korišćene u doktorskoj disertaciji

Povećanje površina pod navodnjavanjem u Vojvodini doprinelo bi intenziviranju poljoprivredne proizvodnje na taj način što bi bili ne samo veći prinosi, nego i povećana mogućnost za uzgajanje više različitih useva u toku godine na istim parcelama.

Iako navodnjavanje pruža brojne prednosti, postoje i izazovi koji uključuju visoke troškove infrastrukture i održavanja sistema za navodnjavanje. Mnogi se suočavaju s ovim izazovima te sistemi koji su davno instalirani danas su neretko u veoma lošem stanju, slabo se koriste, a često i nikako ostajući na parceli kao „eksponat”. Ovakav trend dovodi do smanjenja navodnjavanih površina umesto do povećanja jer poljoprivrednicima često nije isplativo primenjivati ovu agrotehničku meru (Savić i sar., 2013). Kako bi se ovakvo stanje konačno promenilo neophodno je pomoći poljoprivrednicima i ohrabriti ih da koriste sisteme za navodnjavanje. To bi moglo da se postigne obezbeđivanjem određenih državnih podsticaja, odnosno davanjem subvencija farmerima i drugim zainteresovanim stranama za održavanje postojećih ili instalaciju novih sistema. Vodoprivredni master plan – strateški dokumenti Republike Srbije (Službeni list RS, br. 3/2017) stimuliše proširenje površine pod navodnjavanjem do 2034. godine za dodatnih 100 000 do 250 000 ha (Milić et al., 2021). Tako Vlada Republike Srbije sprovodi politike i programe koji podstiču razvoj navodnjavanja kroz subvencije za nabavku opreme i infrastrukture, kao i olakšice za investicije u modernizaciju sistema za navodnjavanje. Pokrajinski sekretarijat za poljoprivredu, vodoprivredu i šumarstvo i Pokrajinski fond za razvoj poljoprivrede daju bespovratna sredstva svake godine za nabavku opreme i sistema za navodnjavanje, opremanje bunara, nabavku pumpi i agregata, kao i nabavku sistema za zalivanje veštačkom kišom na teritoriji Vojvodine. U cilju bolje iskoristivosti izgrađenih sistema za zalivanje velikih površina upotrebom samohodnih automatskih širokozahvatnih uređaja (rendžer, centar pivot, korner pivot i linear), ovim subvencijama se podstiče i mogućnost da više registrovanih poljoprivrednih gazdinstava podnesu zajedničku prijavu gde jedno gazdinstvo predstavlja nosioca. Ovo omogućava poljoprivrednicima da imaju više koristi od modernih tehnologija uz smanjenje finansijskih i resursnih opterećenja, što može doprineti održivom i profitabilnom razvoju poljoprivrede na ovoj teritoriji.

Projekat „Razvoj navodnjavanja u poljoprivredi Srbije” – Abu Dabi fond

Projekat „Razvoj navodnjavanja u poljoprivredi Srbije” predstavlja značajnu inicijativu za unapređenje poljoprivredne proizvodnje u zemlji. Ovaj projekat se finansira sredstvima Abu Dabi fonda za razvoj, a njegovi ciljevi ogledaju se kroz:

- » **Unapređenje navodnjavanja:** Program će znatno proširiti i modernizovati postojeću infrastrukturu za navodnjavanje;
- » **Optimizacija vodnih resursa:** Implementacija novih sistema omogućiće efikasnije i racionalnije korišćenje dostupnih vodnih resursa;
- » **Proširenje navodnjavanog zemljišta:** Očekuje se značajno povećanje površina pogodnih za navodnjavanje u Vojvodini;
- » **Strateški razvoj poljoprivrede:** Ova investicija predstavlja ključni korak u dugoročnoj strategiji unapređenja poljoprivredne proizvodnje u regionu.



Slika 3. Rekonstrukcija kanalske mreže

Izvor: <https://vodevojvodine.com/>

Slika 4. Uređen kanal za navodnjavanje

Izvor: <https://vodevojvodine.com/>

Realizacija ovog projekta odvija se u dve faze. Prva faza obuhvata 11 projekata koji za cilj imaju uređenje kanalske mreže i objekata na dvonamenskim sistemima, zatim, izgradnju crpnih stanica, kao i uređenje kanalske mreže i objekata na regionalnim podsistemima. Ova faza bila je vredna 15 miliona evra, a omogućeno je navodnjavanje novih 37 000 ha zemljišta. Druga faza obuhvata 10 projekata u ukupnom iznosu od 13,3 miliona evra koji bi trebalo da obezbede novih 30 612 ha navodnjavanih površina (JVP „Vode Vojvodine”, 2023). Detalji projekta prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Projekti realizovani u okviru projekta „Razvoj navodnjavanja u poljoprivredi Srbije”

| Projekti | Nove površine za navodnjavanje |
|---|--------------------------------|
| <i>Prva faza</i> | |
| Dvonamenski sistem „Međa” | 762 ha |
| Dvonamenski sistem „Itebej” | 665 ha |
| Dvonamenski sistem „Jankov most I i II” | 650 ha |
| Dvonamenski sistem „Rečej” | 247 ha |
| CS „Jegrička” – deo dvonamenskog sistema u Opštini Odžaci | 3 700 ha |
| CS „Pesir” – dvonamenski sistem Padej, Opština Čoka | 300 ha |
| CS „Kaloča” – podsistem „Ada”, deo Regionalnog hidrosistema Severna Bačka | 1 100 ha |
| Regionalni podsistem „Nova Crnja-Žitište” | 800 ha |
| Regionalni podsistem „Tisa-Palić” | 15 500 ha |
| Regionalni podsistem „Kikinda” | 2 330 ha |
| Regionalni podsistem „Mali Idoš” | 11 500 ha |

| <i>Druga faza</i> | |
|--|----------|
| Regionalni podsistem „Mali Idoš” – crpna stanica, potisni cevovod, kanal Mali Idoš – Njeguševo | 2 500 ha |
| Regionalni podsistem „Mali Idoš” – Brana i akumulacija Mali Idoš | 4 650 ha |
| Dvonamenski sistem „Nadela” – crpna stanica „Jabuka, Glavni jabučki kanal i spoj sa regionalnim podsistemom Nadela | 2 500 ha |
| Regionalni podsistem „Plazović” – dogradnja vodotoka Plazović, dovodnog kanala, opremanje crpne stanice i glavnog kanala | 4 200 ha |
| Regionalni podsistem „Novi Kneževac I faza” – crpna stanica Krstur i veza sa glavnim novokneževačkim kanalom | 3 700 ha |
| Regionalni podsistem „Kikinda” – sistemi Veliki i Nakovski | 1 820 ha |
| Dvonamenski sistem „Perlek” – Bačko Petrovo Selo | 2 000 ha |
| Petrovci, CS „Mandelos 3” i prateći objekti | 2 042 ha |

Izvor: <https://vodevojvodine.com/>

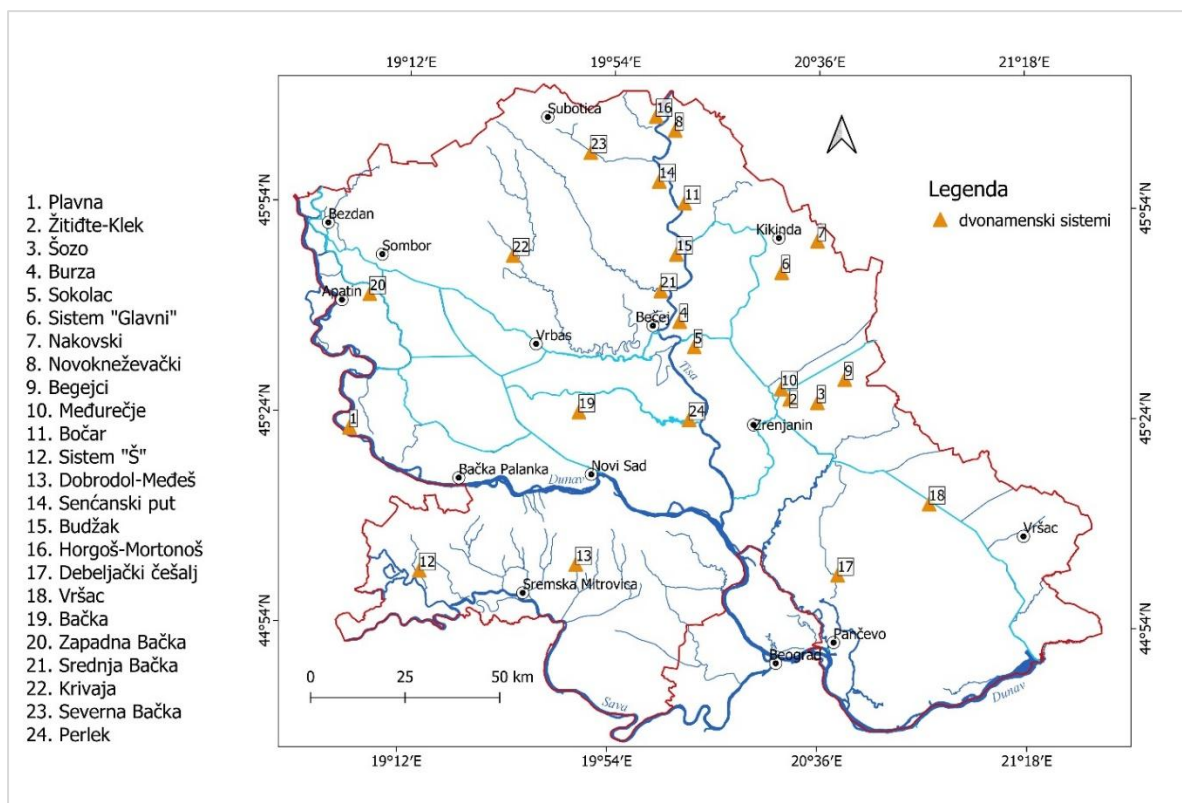
Ovaj program ne samo da će unaprediti postojeće kapacitete, već će stvoriti i osnovu za održivi razvoj poljoprivrede u Vojvodini, prilagođen savremenim izazovima u proizvodnji hrane, kao i upravljanju vodnim resursima (JVP „Vode Vojvodine”, 2023).

Dvonamenski sistemi i njihova uloga u unapređenju poljoprivrede

Kad je u pitanju iskoristivost već izgrađene infrastrukture kanala, uz minimalne troškove adaptacije i obnove, postojeći sistemi za odvodnjavanje bi se mogli efikasno iskoristiti za navodnjavanje (Srđević & Srđević, 2008). Dvonamenski sistemi za odvodnjavanje i navodnjavanje donose brojne prednosti poljoprivredi. Ovi sistemi pružaju fleksibilnost u upravljanju vodnim resursima, omogućavajući efikasno prilagođavanje različitim vremenskim uslovima i potrebama useva. Time se produžava sezona rasta, povećavaju prinosi i poboljšava kvalitet proizvoda. Značajno se smanjuju rizici od suše i prekomerne vlažnosti, što dovodi do stabilnije proizvodnje. Ekonomski su isplativi jer objedinjuju dve funkcije u jednom sistemu, a takođe omogućuju uštedu u poređenju sa izgradnjom potpuno novih sistema. Ovo je posebno važno u zemljama ili regionima sa ograničenim budžetom za poljoprivrednu infrastrukturu. Ovakav pristup omogućio bi ekonomičan način dovođenja vode i stvaranja uslova za navodnjavanje poljoprivrednih površina.

JVP „Vode Vojvodine” je krajem 2023. godine iniciralo značajan projekat transformacije dela postojeće kanalske mreže za odvodnjavanje u multifunkcionalne sisteme na teritoriji

Bačke, Banata i Srema (karta 9). Ovom inicijativom, kanali koji su decenijama služili isključivo za odvodnjavanje, sada dobijaju dodatnu ulogu u navodnjavanju. Projekat obuhvata rekonstrukciju 24 sistema, od kojih je 20 trenutno u fazi realizacije, a četiri sistema su već završena. Ukupna dužina kanalske mreže koja se rekonstruiše iznosi približno 700 km, čime će se omogućiti navodnjavanje oko 32 000 ha poljoprivrednog zemljišta. Radovi uključuju više faza: mehaničko uklanjanje vegetacije, iskopavanje i produbljivanje kanala, ravnanje i rasprostiranje iskopane zemlje, čišćenje propusta i obnova postojećih kanala kao i pratećih objekata (JVP „Vode Vojvodine”, 2023).



Karta 9. Dvonamenski sistemi u Vojvodini

Izvor: prema JVP „Vode Vojvodine”

Četiri sistema koja su već završena su: „Žitište-Klek”, „Šozo”, „Burza” i sistem „Š”. Ovi projekti značajno su proširili mogućnosti navodnjavanja u različitim delovima Vojvodine.

Tabela 4. Novi rekonstruisani dvonamenski sistemi za odvodnjavanje i navodnjavanje u Vojvodini

| Sistem | Rekonstruisano | Nove površina za navodnjavanje |
|--|--------------------------|--------------------------------|
| Sistem „Š” (Opština Šid, Adaševci) | 5 kanala | 1 000 ha |
| Sistem „Žitište-Klek” | oko 16 km kanalske mreže | 735 ha |
| Sistem „Šozo” (nastavak sistema „Žitište-Klek”) | 23 km kanala | ~ 1 600 ha |
| Sistem „Burza” (Opština Novi Bečej): | 22 km kanala | ~ 2 700 ha |

Ukupno, ovi radovi su omogućili navodnjavanje dodatnih 6 035 ha poljoprivrednog zemljišta kroz rekonstrukciju i prenamenu postojeće infrastrukture za odvodnjavanje.



Slika 5. Levo – dvonamenski sistem „Žitište-Klek”

Izvor: <https://vodevojvodine.com/>



Slika 6. dvonamenski sistem „Š”

Izvor: <https://vodevojvodine.com/>

Druga faza rekonstrukcije započeta je na leto 2024. godine. U okviru ove faze predviđena je rekonstrukcija sistema: Labudnjača, Novokneževački, Šećeranski, Međa 1, Progarska Jarčina, Zapadna Bačka, Srednja Bačka, Krivaja i Debeljački češalj 2. faza (JVP „Vode Vojvodine”, 2024).

PODACI

U ovom poglavlju će biti opisani izvori podataka koji su detaljno analizirani i korišćeni tokom izrade doktorske disertacije. Biće pružene informacije o vrstama podataka, metodama prikupljanja, tehnološkim alatima ili platformama koje su korišćene za njihovo prikupljanje, kao i o procesu njihove pripreme.

PODACI SA TERENA

Kako bi se pripremila adekvatna baza podataka za obuku klasifikatora, neophodni su podaci sa terena. Podaci su prikupljeni za tri kulture koje se najviše navodnjavaju u Vojvodini: kukuruz, soju i šećernu repu (Radulović et al., 2025). Prikupljanje podataka izvršeno je u tri godine – 2020. kada su tokom sezone navodnjavanja zabeležene nadprosečne količine padavina, i 2021. i 2022. godine, koje su okarakterisane kao sušna i veoma sušna godina (Climate Data Store, n.d.). S obzirom na veličinu istraživane teritorije, bilo je neophodno detaljno planiranje kampanje prikupljanja podataka. Ceo postupak je obuhvatao tri faze.



Grafikon 2. Kalendar useva od interesa i sezone navodnjavanja u Vojvodini

Prva faza predstavlja vizuelnu detekciju velikih parcela u Vojvodini gde postoji pretpostavka da je instaliran sistem za navodnjavanje. Za te svrhe korišćen je Google Earth. Ovaj korak neophodan je kako bi se organizovali tereni, a podaci prikupljali na što optimalniji način. Velike parcele imaju veći broj piksela i sakupljanjem podataka sa takvih parcela postiže se prikupljanje velikog broja podataka za kraće vreme. Vizuelna detekcija omogućava precizno planiranje terenskog rada, čime se osigurava da se podaci prikupe ravnomerno širom Vojvodine. Ova strategija omogućava efikasnu raspodelu vremena i resursa neophodnih za terenska istraživanja, čineći proces što efikasnijim i ekonomičnijim. Ovakva priprema radi se svake godine.

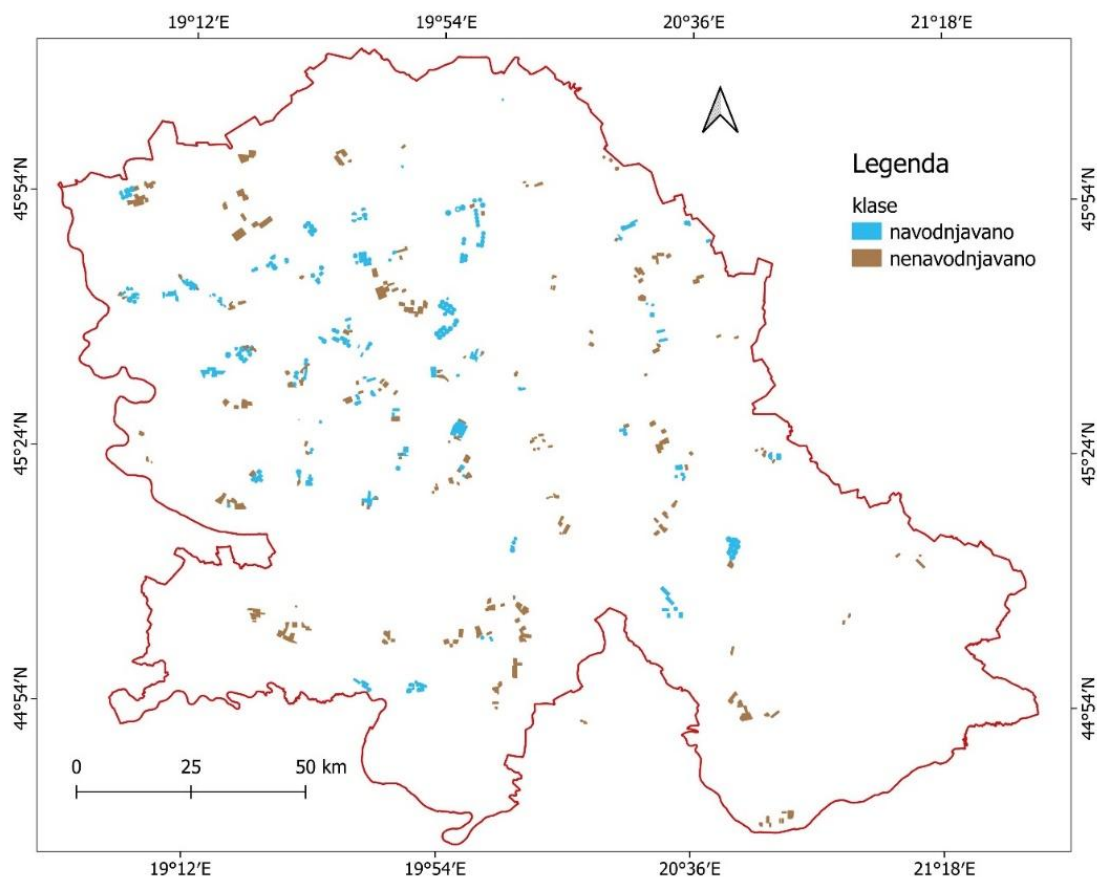
Nakon prve faze vizuelne detekcije sledi **druga faza** koja obuhvata prikupljanje podataka na terenu koji se realizuju u maju i junu kada je sezona navodnjavanja u Vojvodini i kada su sve kulture od interesa dovoljno porasle kako bi mogle da se raspoznaju. Kampanja se realizuje tako što istraživači odlaze na unapred definisane parcele i beleže koja kultura se nalazi na njima i da li postoji sistem za navodnjavanje ili ne. U te svrhe koristi se mobilna aplikacija koja funkcioniše po principu georeferenciranog fotografisanja. Kada se stigne do parcele od interesa, napravi se fotografija koja automatski beleži koordinatu. Za tu fotografiju upisuju se prethodno pomenute informacije od interesa. Važno je istaći da su sve parcele na kojima postoji instaliran sistem za navodnjavanje, sa pretpostavkom da se on koristi, smatrane navodnjavanjem

parcelama i kao takve ulazile u klasu navodnjavano (slika 7). Pored navodnjavanih prikupljane su informacije i za ostale parcele koje su činile klasu nenavodnjavano. Na kraju ove faze, sve fotografije se putem aplikacije šalju na server odakle se povlače za dalju upotrebu.



Slika 7. a) Parcela na kojoj je posejan kukuruz i instaliran sistem za navodnjavanje (pivot sistem); b) Tačke generisane iz georeferenciranih slika napravljene korišćenjem mobilne aplikacije

Treća faza podrazumeva iscrtavanje parcela koristeći GIS softver. Parcelama su dodeljene dve klase: navodnjavano (*klasa 1*) i nenavodnjavano (*klasa 0*). Na taj način 2020. godine prikupljeno je ukupno 258 parcela, 2021. godine 439 parcela, a 2022. godine 579 parcela. Svaka parcela sadrži identifikacioni broj – ID koji je neophodan za raspodelu podataka za obuku modela o čemu će biti više reči u poglavlju „Klasifikacija”. Broj parcela po svakoj klasi i kulturi je dat u tabeli 5.



Karta 10. Primer prostornog rasporeda podataka (parcela) sa terena za 2022. godinu

Tabela 5. Raspodela broja parcela prikupljenih na terenu data po klasama za svaku godinu i svaku kulturu

| | Klasa | Broj parcela | | | Površina (ha) | | |
|--------------|---------|--------------|------|------|---------------|------|------|
| | | 2020 | 2021 | 2022 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Kukuruz | Klasa 1 | 51 | 129 | 157 | 2238 | 4653 | 6404 |
| | Klasa 0 | 66 | 109 | 139 | 2715 | 4130 | 7204 |
| Soja | Klasa 1 | 41 | 49 | 109 | 1354 | 1473 | 3112 |
| | Klasa 0 | 51 | 51 | 86 | 1824 | 1647 | 3684 |
| Šećerna repa | Klasa 1 | 18 | 47 | 53 | 717 | 2005 | 1829 |
| | Klasa 0 | 31 | 54 | 35 | 1713 | 2299 | 2411 |

Ovim se završava priprema vektorskih podataka sa terena koji će dalje služiti za izvlačenje satelitskih podataka i pravljenje baze za obuku algoritma mašinskog učenja.

SENTINEL-2 SATELITSKI PODACI

Za potrebe istraživanja korišćeni su optički snimci Sentinel-2 satelita. Sentinel-2 je satelitska misija za posmatranje površine Zemlje koju je razvila Evropska svemirska agencija (eng. *European Space Agency – ESA*) u okviru *Copernicus* programa. Misija se sastoji iz dva satelita: S2A i S2B koji se nalaze u identičnim orbitama čiji se položaj razlikuje za 180°. Nalaze se na visini od 786 km od Zemlje i zajedno postižu vremensku rezoluciju od pet dana snimanja istog mesta na Zemlji pod istim uglom. Sateliti su lansirani 2015. i 2017. godine. Satelitski snimci dobijeni kao rezultat Sentinel-2 misije prvenstveno su namenjeni primenama u poljoprivredi i šumarstvu u pogledu praćenja rasta useva i promena zemljišnog pokrivača, ali se mogu koristiti i u drugim srodnim naukama (European Space Agency, n.d.).

Tabela 6. Kanali Sentinel-2 satelita

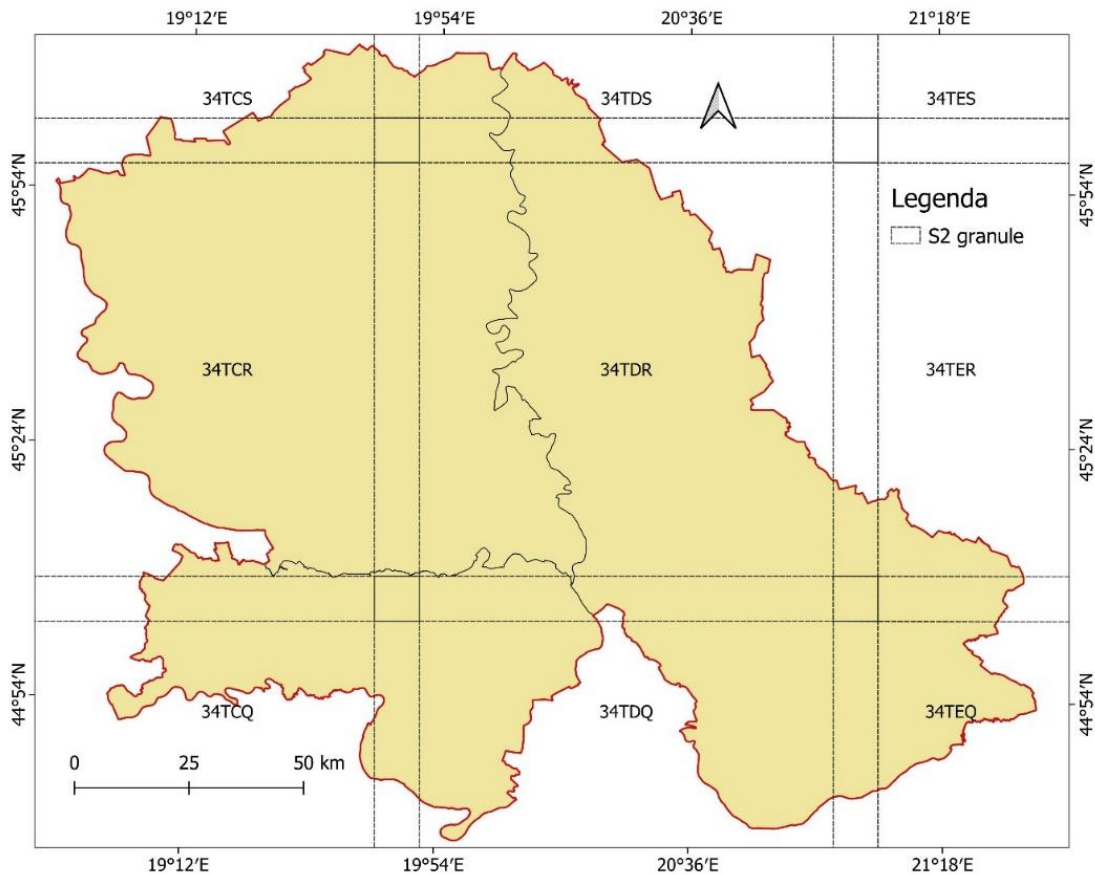
| Kanal | Rezolucija | Centralna talasna dužina | Oznaka u formuli |
|---------------------------------------|------------|--------------------------|------------------|
| B1 – Ultra Blue (Coastal and Aerosol) | 60 m | 443 nm | / |
| B2 – Blue | 10 m | 490 nm | BLUE |
| B3 – Green | 10 m | 560 nm | GREEN |
| B4 – Red | 10 m | 665 nm | RED |
| B5 – Red Edge | 20 m | 705 nm | RE1 |
| B6 – Red Edge | 20 m | 740 nm | / |
| B7 – Reg Edge | 20 m | 783 nm | / |
| B8 – NIR | 10 m | 842 nm | NIR1 |
| B8a – Narrow NIR | 20 m | 865 nm | NIR2 |
| B9 – Water vapour | 60 m | 940 nm | / |
| B10 – SWIR-Cirrus | 60 m | 1375 nm | / |
| B11 – SWIR1 | 20 m | 1610 nm | SWIR1 |
| B12 – SWIR2 | 20 m | 2190 nm | SWIR2 |

Izvor: <https://sentinel.esa>

Sateliti Sentinel-2 misije imaju na sebi senzor koji snima u trinaest multispektralnih kanala. Kanali prikupljaju elektromagnetno zračenje u opsegu od 443 nm do 2190 nm. Ukoliko govorimo o rezoluciji piksela, postoje četiri kanala prostorne rezolucije 10 m, šest kanala rezolucije 30 m i tri kanala prostorne rezolucije od 60 m (tabela 6). Korisnicima su za preuzimanje dostupni produkti Level-1C i Level-2A. Level-1C snimci koji daju informacije o refleksiji zraka sa „vrha atmosfere” (eng. *Top Of Atmosphere-TOA*), dok se Level-2A snimci odnose na refleksiju sa "dna atmosfere" (eng. *Bottom Of Atmosphere-BOA*), odnosno predstavljaju atmosferski korigovane slike spremne za upotrebu (European Space Agency, n.d.).

Za potrebe izrade ove disertacije korišćene su atmosferski korigovane slike (Level-2A) koje su besplatno dostupne i skinute sa *Copernicus Open Access Hub-a*. Za pojedine datume Level-2A produkt nije bio dostupan te je korišćen Level-1C gde je bilo neophodno uraditi atmosfersku korekciju korišćenjem SNAP softvera (lansiranog od strane ESA). Sentinel-2 preleće Vojvodinu u dve putanje: R136 i R036, koje su podeljene na krajnje produkte – granule

veliĉine 110 x 110 km. Vojvodinu pokriva osam granula: 34TCS, 34TCR, 34TCQ, 34TDS, 34TDR, 34TDQ, 34TER i 34TEQ (karta 11).



Karta 11. Pokrivenost Vojvodine Sentinel-2 granulama

Izvor: <https://github.com/justinelliottmeyers/Sentinel-2-Shapefile-Index>

Kako bi se uradila klasifikacija, bilo je neophodno pripremiti vremensku seriju snimaka bez oblaĉnosti, gde će sve granule biti dostupne u istom datumu. Tako je vremenska serija slika tokom sezone navodnjavanja (april – septembar) u 2020. godini imala sedam datuma, u 2021. godini deset datuma, a u 2022. godini šest datuma.

Vegetacioni indeksi

Vegetacioni indeksi se koriste za kontinuirano praćenje stanja i procenu zdravlja i rasta biljke koje zavisi od brojnih prirodnih, ali i društvenih faktora. Oni se temelje na kombinaciji razliĉitih spektralnih kanala, odnosno refleksiji elektromagnetnog zraĉenja, gde se jedan deo zraĉenja upije a drugi odbije, tj. reflektuje od biljku i vraća nazad do satelita. Razliĉitim računskim operacijama nad satelitskim kanalima dobijaju se razliĉiti vegetacioni indeksi i na taj naĉin se pravi novo obeležje koje predstavlja dodatnu informaciju o stanju biljke (Ozdogan & Gutman, 2008).

S ciljem da se dobiju što preciznije karte navodnjavanih površina, uspostavljena je radna prostorna rezolucija od 10 m. Za računanje vegetacionih indeksa relevantnih za razlikovanje navodnjavanih i nenavodnjavanih parcela biće korišćeno četiri Sentinel-2 kanala na 10 m prostorne rezolucije: plavi (BLUE = 490 nm), zeleni (GREEN = 560 nm), crveni (RED = 665 nm) i blisko infracrveni (NIR = 842 nm) i tri kanala na 20 m prostorne rezolucije: vegetacioni bliskoinfracrveni 1 (RE = 705 nm), vegetacioni bliskoinfracrveni 4 (NIR2 = 865 nm) i kratko-infracrveni (SWIR1 = 1610 nm i SWIR2 = 2190 nm). S obzirom na to da je za dalje računanje potrebna ujednačena rezolucija svih kanala, bilo je neophodno svesti sve kanale na istu prostornu rezoluciju. Za to je korišćena metoda ponovnog uzorkovanja najbližeg suseda (eng. *The Nearest Neighbour resampling method*).

Za potrebe klasifikacije navodnjavanih i nenavodnjavanih parcela kukuruza, soje i šećerne repe izračunato je jedanaest relevantnih vegetacionih indeksa koji uključuju procenu zelenila, procenu vlage u biljkama i zemljištu, kao i redukciju refleksije golog zemljišta (Ozdogan & Gutman, 2008; Pageot et al., 2020). U nastavku je dat detaljan opis svakog indeksa.

NDVI (eng. *Normalized Difference Vegetation Index*) je indeks koji se koristi za procenu zelenila kod biljaka. Najčešće se primenjuje za pregled stanja i zdravlja biljaka, procenu prinosa, detekciju suše odnosno stresa kod biljaka i slično (S. Huang et al., 2021). NDVI indeks se računa na osnovu formule:

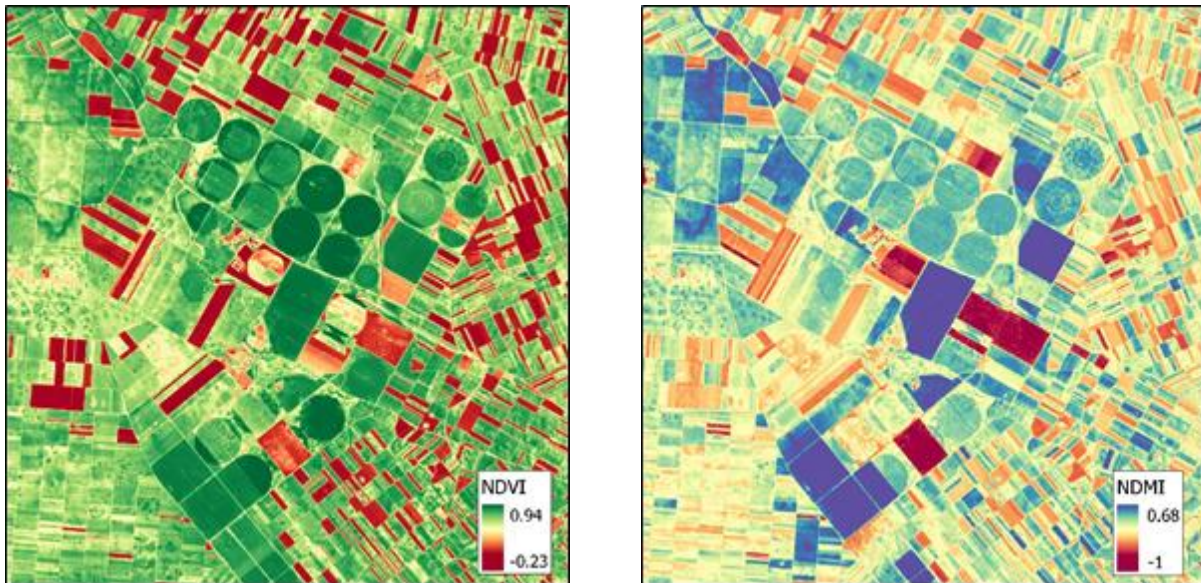
$$NDVI = \frac{NIR1 - RED}{NIR1 + RED}$$

NDRE (eng. *Normalized Difference Red Edge Index*) indeks predstavlja modifikovani NDVI indeks koji izražava količinu hlorofila u biljkama (K. Zhang et al., 2019). Računa se na osnovu formule:

$$NDRE = \frac{NIR1 - RE1}{NIR1 + RE1}$$

EVI (eng. *Enhanced Vegetation Index*) indeks ima veoma sličnu upotrebu kao NDVI i takođe se koristi za kvantifikovanje zelene vegetacije. Za razliku od NDVI, EVI indeks koriguje atmosferski uticaj i ima značajno bolju preciznost procene u oblastima sa veoma bujnom vegetacijom (Huete et al., 2002). Formula za računanje indeksa je:

$$EVI = \frac{2.5(NIR1 - RED)}{NIR1 + 6RED - 7.5BLUE + 1}$$



Slika 8. NDVI indeks (levo); NDMI indeks (desno)

Izvor: autor

NDMI (eng. *Normalized Difference Moisture Index*) se koristi kako bi se izrazio sadržaj vode u biljkama i kao takav predstavlja pouzdan indeks za detekciju stresa koji se javlja usled previše ili premalo vlage u biljkama (Masina et al., 2020). Računa se na osnovu formule:

$$NDMI = \frac{NIR1 - SWIR1}{NIR1 + SWIR1}$$

Primenom formule dobijaju se vrednosti u rasponu od -1 do 1 pri čemu niske vrednosti ukazuju na nizak, dok visoke ukazuju na visok sadržaj vlage u biljkama.

MSI (eng. *Moisture Stress Index*) je takođe jedan od indeksa koji se koristi za praćenje sadržaja vode u listovima. Ovaj indeks je našao primenu u analizi stresa kod biljaka, praćenju i modeliranju produktivnosti useva kao i u analizi opasnosti od požara (Hunt Jr & Rock, 1989). Za računanje ovog indeksa koristi se formula:

$$MSI = \frac{SWIR1}{NIR1}$$

NDWI (eng. *Normalized Difference Water Index*) je indeks koji se koristi za detektovanje vode, odnosno bilo kakvih vodnih objekata ili slobodne vode koja leži na površini zemlje. Ovaj indeks se računa na osnovu formule:

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR1}{GREEN + NIR1}$$

MNDWI (eng. *Modified Normalized Difference Water Index*) indeks predstavlja modifikovanu verziju NDWI indeksa i poput njega se takođe koristi za detekciju vodenih površina, a računa se koristeći formulu:

$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR1}{GREEN + SWIR1}$$

NMDI (eng. *Normalized Multi-Band Drought Index*) indeks je predložen za praćenje vlage u zemljištu i biljkama (L. Wang & Qu, 2007) kombinovanjem blisko infracrvenog i kratko ultraljubičastog zračenja kroz formulu:

$$NMDI = \frac{NIR2 - (SWIR1 - SWIR2)}{NIR2 + (SWIR1 - SWIR2)}$$

AWEI (eng. *Automated Water Extraction Index*) indeks je predložen od strane (Feyisa et al., 2014) kako bi se jasno detektovali pikseli vode, odnosno maksimizirala odvojivost piksela na kojima je voda i na kojima nije. Tako su predložene dve formule: AWEInsh (*no shadow*) i AWEIsh (*shadow*).

AWEInsh se koristi da efektivno eliminiše piksele koji nisu voda, uzimajući u obzir tamne površine u urbanim regionima. Računa se korišćenjem formule:

$$AWEInsh = 4(GREEN - SWIR1) - 0.25NIR1 + 2.75SWIR2$$

AWEIsh se primarno koristi da unapredi tačnost eliminisanjem piksela koji zahvataju senku, što nije slučaj u prvoj formuli. Ovaj indeks se može izračunati na sledeći način:

$$AWEIsh = BLUE + 2.5GREEN - 1.5(NIR1 + SWIR1) - 0.25SWIR2$$

SAVI (eng. *Soil Adjusted Vegetation Index*) se koristi da minimizira uticaj refleksije zemljišta na vrednosti indeksa koje ukazuju na zastupljenost vegetacije. Naročito se koristi kad je biljka tek u razvoju gde veliki procenat posmatrane površine pokriva još uvek golo zemljište. Ovaj indeks se računa na osnovu formule:

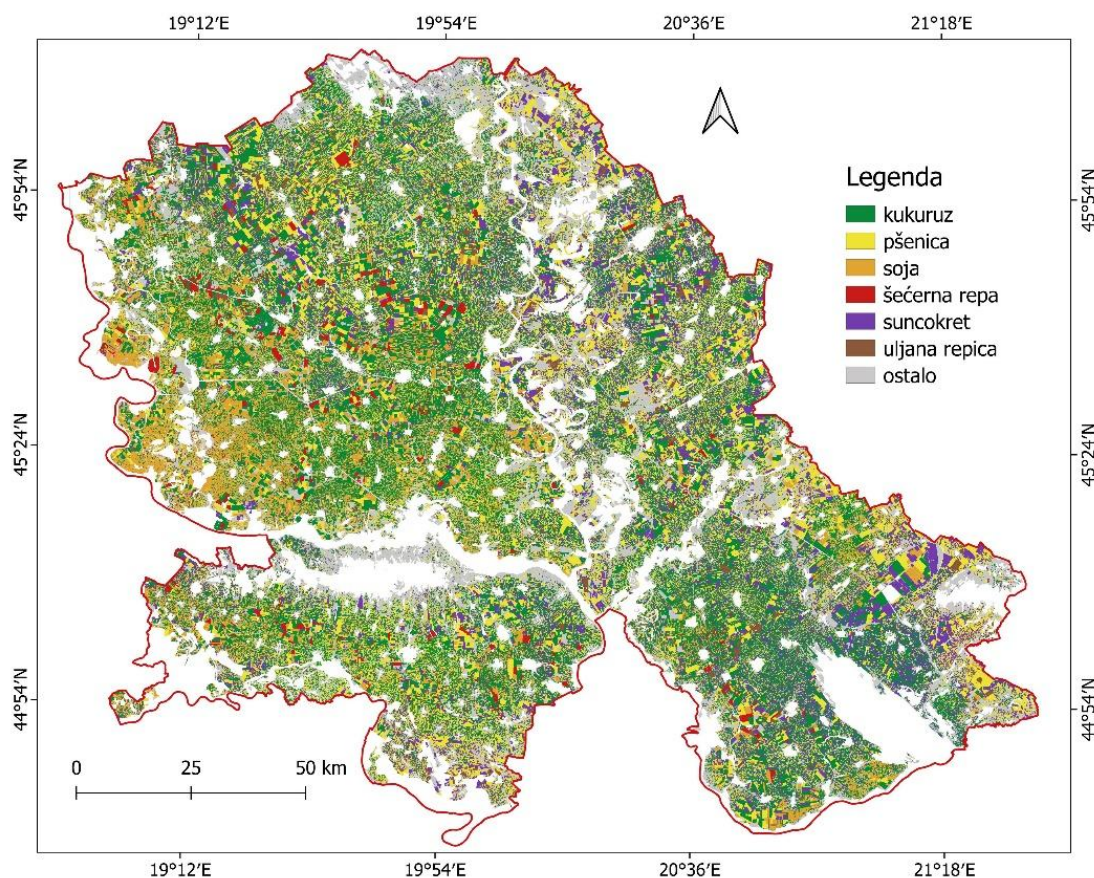
$$SAVI = \left(\frac{NIR1 - RED}{NIR1 + RED + L} \right) (1 + L)$$

gde L predstavlja faktor prilagođavanja zemljištu koji se kreće u rasponu od 0 do 1, u zavisnosti od uslova sredine (Xue & Su, 2017).

KARTE KLASIFIKACIJE KULTURA ZA VOJVODINU

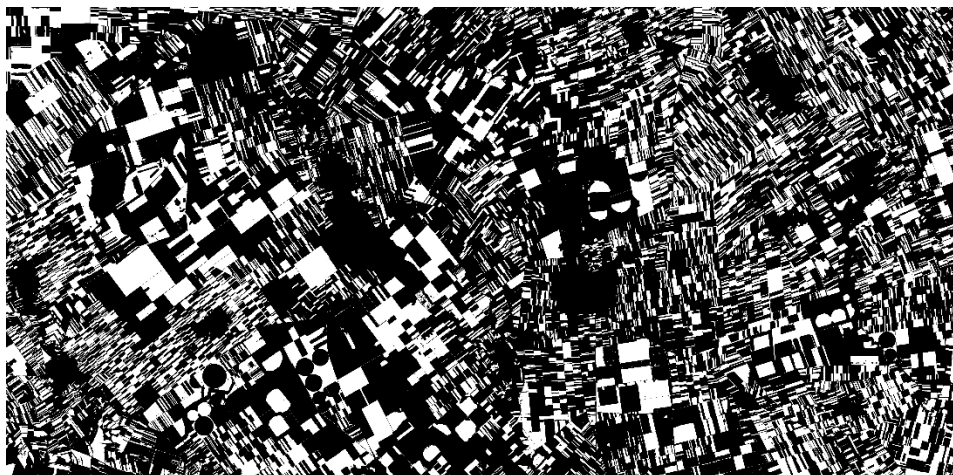
S obzirom na to da je jedan od ciljeva istraživanja da se klasifikuju navodnjavane i nenavodnjavane parcele u okviru iste kulture, bilo je neophodno izdvojiti samo teritoriju od interesa, odnosno napraviti maske za svaku kulturu koje će se kasnije koristiti za klasifikaciju. Za potrebe pravljenja maski neophodni su podaci o prostornoj distribuciji svake od tri kultura u istraživanim godinama. Kako *Corine Land Cover* baza ne sadrži podatak o tipu kulture na poljoprivrednoj površini, za potrebe ovog dela istraživanja korišćene su karte klasifikacije

useva (karta 12) koje se skoro deceniju generišu na Institutu BioSens (Crnojevic et al., 2014; Lugonja et al., 2019; Radulović et al., 2023) .



Karta 12. Klasifikacija poljoprivrednih kultura – šest glavnih useva koji se gaje na teritoriji Vojvodine: kukuruz, pšenica, soja, šećerna repa, suncokret i uljana repica
Izvor: Radulović et al., 2023

Karte su kreirane korišćenjem metode mašinskog učenja koja koristi prikupljene podatke sa terena i vremensku seriju satelitskih slika. Klasifikacija se radi za šest najvažnijih useva u Vojvodini: kukuruz, pšenicu, soju, šećernu repu, suncokret i uljanu repicu. Ove karte poslužile su za pravljenje maski (slika 9) za kukuruz, soju i šećernu repu, a za te potrebe korišćen je GIS softver.



Slika 9. Isečak kao primer maske za jednu kulturu kreirana iz karte klasifikacije kultura

DRUGI GEOPROSTORNI PODACI

Pored navedenih, korišćeni su i drugi geoprostorni podaci kako bi se generisali krajnji rezultati u ovoj disertaciji (tabela 7). Najpre, korišćen je Digitalni Elevacioni Model (DEM) sa prostornom rezolucijom od 10 m da bi se napravila karta nagiba terena u Vojvodini neophodna za istraživanje. DEM sa rezolucijom od 30 m korišćen je za generisanje karte nagiba terena i gustine drenaže u Opštini Titel⁵. Zatim je digitalizovana karta zemljišta 1:50 000 (Nejgebauer i sar., 1971) koja se koristila za izdvajanje irigabilnih klasa zemljišta u Vojvodini. Za potrebe pravljenja karte izdašnosti akviferi Vojvodine korišćena je Međunarodna hidrogeološka karta Evrope u razmeri 1:1 500 000 (BGR & UNESCO, 2013). Ova karta daje podatke za celu Evropu, a jedan je od ključnih alata za razumevanje hidrogeoloških karakteristika Evrope i koristi se za proučavanje podzemnih voda i njihovog potencijala za različite svrhe. Geološka karta Opštine Titel digitalizovana je korišćenjem geološke karte Srbije (listovi Indija i Zrenjanin) razmere 1:100 000. Takođe, za potrebe geomorfološke analize Opštine Titel digitalizovana je analogna geomorfološka karta Vojvodine razmere 1:300 000. CORINE Land Cover (CLC) baza korišćena je za dobijanje podataka o procentualnoj zastupljenosti poljoprivrednog zemljišta po katastarskim opštinama u Vojvodini, kao i za analizu iskoristivosti zemljišta u Opštini Titel. CLC je program Evropske agencije za životnu sredinu koji ima za cilj kartiranje korišćenja zemljišta na području Evrope. Za potrebe istraživanja korišćena je baza CLC2018, odnosno baza iz 2018. godine odakle su preuzeti podaci. Da bi se analizirala udaljenost površinskog izvora vode i njegov značaj za navodnjavanje, korišćeni su podaci o prostornoj distribuciji kanalske mreže Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav dobijeni u saradnji sa Javnim vodoprivrednim preduzećem „Vode Vojvodine”. Takođe, od ovog preduzeća dobijeni su i podaci o prostornoj distribuciji sistema za navodnjavanje, odnosno instalirani i korišćeni kapaciteti u 2022. godini. Ovi podaci poslužili su za validiranje klasifikovanih karata navodnjavanih površina o čemu će biti reči u poglavlju „Validacija

⁵ U trenutku pisanja rada Radulović et al., 2022, DEM podaci nisu bili dostupni na rezoluciji od 10 metara i stoga je korišćen DEM sa rezoluciji od 30 m.

modela i dobijenih karata navodnjavanih površina”. Za pripremu svih prethodno navedenih podataka korišćeni su GIS softveri.

Tabela 7. Baza podataka korišćena u doktorskoj disertaciji

| Naziv podatka | Tip | Izvor |
|--|--|---|
| Podaci sa terena | georeferencirane slike » vektor (.shp) parcela | Prikupljanje na terenu |
| Sentinel-2 slike – vegetacioni indeksi | raster (TIF) – 10 m | Copernicus Data Space Ecosystem (https://dataspace.copernicus.eu/) |
| Karte klasifikacije kultura | raster (TIF) – 10 m | Crnojevic et al., 2014; Lugonja et al., 2019; Radulović et al., 2023 |
| Digitalni Elevacioni Model | raster (TIF) – 10 i 30 m | European Space Agency – Copernicus (https://spacedata.copernicus.eu/) |
| Karta zemljišta | vektor (.shp) | Digitalizovano prema Nejgebauer i sar., 1971. |
| Izdašnost akviferi | vektor (.shp) | Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (https://www.bgr.bund.de) |
| CORINE Land Cover 2018 | raster (TIF) – 100 m | Copernicus Land Monitoring Service (https://land.copernicus.eu/en) |
| Kanalska mreža HS DTD | vektor (.shp) | JVP „Vode Vojvodine” |
| Navodnjavane parcele (2022. god.) | vektor (.shp) | JVP „Vode Vojvodine” |
| Geomorfološka karta Opštine Titel | vektor (.shp) | Digitalizovano prema Koščal i sar., 2005. |
| Geološka karta Opštine Titel | vektor (.shp) | Digitalizovano prema izvoru – Geološki informacioni sistem Srbije (https://geoliss.mre.gov.rs/prez/OGK/RasterSrbija/) |

METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Geoprostorna analiza podrazumeva upotrebu različitih tehnika i metoda za analizu prostornih podataka koja ima značajnu mogućnost primene za rešavanje kompleksnih problema kad je u pitanju planski razvoj navodnjavanja. S tim u vezi, najpre je neophodno sagledati trenutnu situaciju koja će dati jasan uvid u površine koje se navodnjavaju. Geografski informacioni sistemi, daljinska detekcija i tehnologije veštačke inteligencije, odnosno mašinskog učenja, igraju ključnu ulogu u rešavanju ovog problema jer omogućavaju automatizovanu obradu velikih količina podataka. Stoga će najpre biti opisane navedene tehnologije koje će se koristiti za kreiranje karata navodnjavanih površina u Vojvodini. Dalje, kreiranjem karata i stvaranjem jasne slike o prostornoj distribuciji navodnjavanih parcela može da se započne planiranje navodnjavanja na drugim lokacijama pogodnim za te svrhe ili pak ulaganje u postojeće, već instalirane sisteme. Nakon toga problematika će se svesti na nivo Opštine Titel gde će biti određene zone potencijala podzemnih voda.

Kad je u pitanju određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje i zona potencijala podzemnih voda, trebalo bi uzeti u obzir različite kriterijume koji su od značaja za ovakve probleme. S obzirom na to da kriterijumi mogu biti mnogobrojni, proces donošenja odluke je težak. Ovakav problem zahteva primenu višekriterijumske metode. U drugom delu poglavlja biće reči o metodi višekriterijumske analize koja će biti korišćena kako bi se postavili prioriteta u procesu određivanja potencijalnih lokacija za navodnjavanje u Vojvodini kao i određivanju zona potencijala podzemnih voda u Opštini Titel.

MAŠINSKO UČENJE: DEFINICIJA I KONCEPT

Mašinsko učenje (eng. *machine learning*, u daljem tekstu ML), je podoblast veštačke inteligencije koja za cilj ima konstruisanje algoritama i računarskih sistema sposobnih da uče i poboljšavaju performanse na bazi iskustva. U poslednjih nekoliko decenija, ML je postao veoma popularan alat kad je u pitanju izvlačenje znanja iz velikih skupova podataka. On ima za cilj da se svojim mogućnostima približi efikasnostima ljudskog učenja na taj način što će učiti i otkrivati smislene obrazce u podacima, bez previše detaljnih uputstava datih od strane programera (Novaković, 2013). Kreiranjem modela mašinskog učenja na određenom skupu podataka omogućava se njegovo dalje korišćenje za neke nove, do tada neviđene podatke. Postoje algoritmi koji imaju sposobnost da koriste sirove podatke, ali je uglavnom potrebna njihova prethodna priprema kako bi algoritam mogao da radi. Korišćenjem različitih skupova podataka i podešavanjem parametara modela, isti metod učenja može da se primeni na bezbroj slučajeva gde se za svaki generiše različit model mašinskog učenja (Shalev-Shwartz & Ben-David, 2014). Oblast ML ima nekoliko tipova učenja, od kojih možemo da izdvojimo tri opšta tipa:

1. **Nadgledano učenje** (eng. *supervised learning*): predstavlja takav pristup problemu učenja gde se algoritmu zajedno sa podacima daju i željeni izlazi, odnosno ono što je potrebno naučiti. Ovakav metod koristi se pri rešavanju klasifikacionih i regresionih

problema, gde klasifikacija predstavlja smeštanje uzorka u unapred definisanu klasu, dok regresija predviđa kontinualnu numeričku vrednost;

2. **Nenadgledano učenje** (eng. *unsupervised learning*): predstavlja pristup učenju u kom algoritam dobija samo podatke, bez željenog izlaza, a od algoritma se očekuje da će sam da uoči neke zakonitosti u podacima i time generiše određeni izlaz. Jedna od tehnika jeste klasterizacija koja funkcioniše tako da po određenim karakteristikama uzorka grupiše vrednosti u klastere (grupe);
3. **Učenje potkrepljivanjem** (eng. *reinforcement learning*): je pristup učenju u kom algoritam simulira proces učenja koristeći princip nagrade i kazne. Učenje se obavlja interakcijom sa okruženjem i dobijenim povratnim informacijama u vidu nagrade i kazne (Nilsson, 2005; Shalev-Shwartz & Ben-David, 2014).

Kartiranje navodnjavanih površina predstavlja klasifikacioni problem jer postoji prethodno prikupljen set podataka po kom model uči kojoj klasi pripada koji podatak, u ovom slučaju parcela. Stoga će u nastavku biti više reči o klasifikaciji i algoritmu koji je korišćen u ovom istraživanju.

Klasifikacija

Klasifikacija predstavlja proces grupisanja podataka u klase. Kod binarnih klasifikacija postoje samo dva moguća izlaza (na primer: pozitivan ili negativan odgovor na neko pitanje), dok kod višeklasnih klasifikatora postoji više klasa (na primer: da li je na slici jabuka, kruška ili breskva). Kako bi se došlo do ovog cilja, koriste se različiti algoritmi nadgledanog učenja koji ulazne podatke svrstavaju u unapred određene klase. Neki od algoritama su:

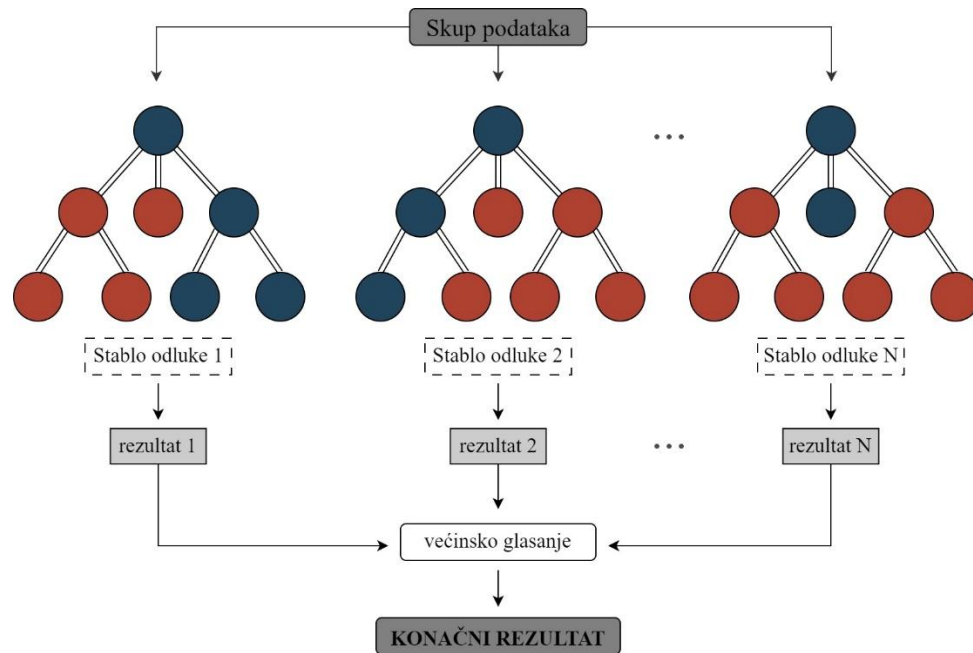
- » logistička regresija (eng. *logistic regression*);
- » metod K najbližih suseda (eng. *kNN – K nearest neighbours*);
- » metod potpornih vektora (eng. *SVM – support vector machine*);
- » stabla odlučivanja (eng. *decision tree*);
- » metod slučajne šume (eng. *random forest*);
- » neuronske mreže (eng. *neural network*) (Nikolić, Zečević, 2019).

U ovom istraživanju biće korišćen metod slučajne šume za problem klasifikacije navodnjavanih i nenavodnjavanih površina u Vojvodini.

Metod slučajne šume

Metod slučajnih šuma (eng. *Random Forest*) je veoma poznat metod nadgledanog učenja koji ima dugu istoriju u postizanju efikasnih rezultata klasifikacije u različitim oblastima, uključujući geonauke, poljoprivredu i upravljanje vodnim resursima (Belgiu & Drăguț, 2016; Cutler et al., 2007; Lebourgeois et al., 2017). Šematski se može prikazati u obliku drveta (slika 10) odakle i potiče sam naziv metode. Metod je sastavljen od većeg broja stabala odlučivanja koja se treniraju na različitim, slučajno izabranim podskupovima baziranim na polaznim

skupovima podataka. Sva stabla odlučivanja funkcionišu kao ansambl gde se vrši klasifikacija nad podacima, a ona klasa koja je najviše generisana kao rezultat predstavlja konačnu predviđenu klasu. Stoga proizilazi da klasa predviđena od strane metode slučajne šume zavisi od celokupnog skupa stabala. Kada se bira broj stabala svakako treba voditi računa jer veći broj stabala dovodi do robusnijeg modela koji uglavnom ima manju grešku nego modeli sa manjim brojem stabala (Kulkarni & Lowe, 2016).



Slika 10. Šematski prikaz metode slučajne šume

Izvor: prema <https://tinyurl.com/banyjj8h>

Kao najjednostavniji za parametarizaciju, sa velikom brzinom i dobrim performansama (Belgiu & Drăguț, 2016; Breiman, 2001; Pal, 2005; Pelletier et al., 2016; Shi & Horvath, 2006), ovaj metod korišćen je za proces klasifikacije navodnjavanih i nenavodnjavanih površina u Vojvodini.

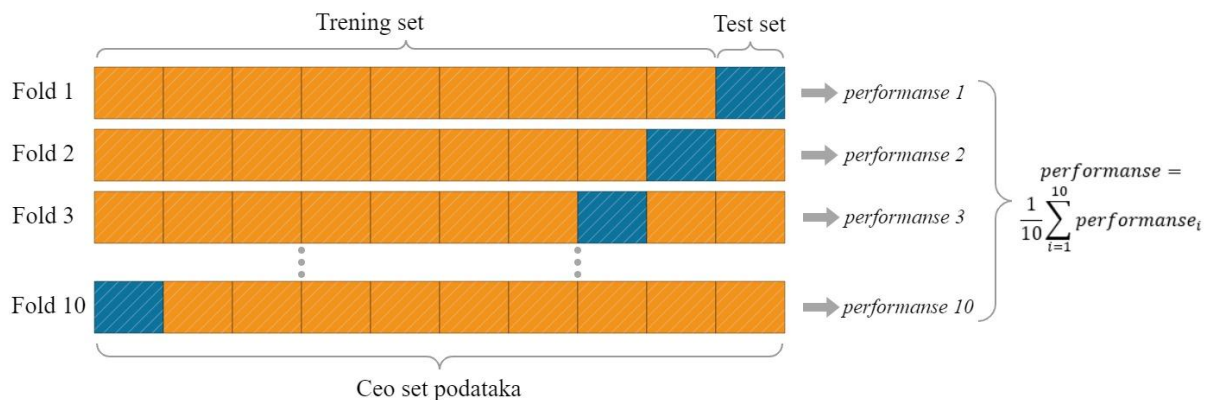
Obuka klasifikatora

Za obuku klasifikatora koristile su se kreirane baze podataka za svaku kulturu i svaku godinu. Svaka baza predstavlja skup pojedinačnih piksela koji nose vrednost izračunatih indeksa kroz vreme, x i y koordinatu, ID parcele kojoj pripadaju, kao i klasu (0 – nenavodnjavano; 1 – navodnjavano). Ispitana su dva pristupa obuke modela:

- » **Prvi eksperiment** koristi razdvojene baze podataka za svaku kulturu u svakoj godini i trenira odvojene modele s pretpostavkom da će odvojeni modeli lakše klasifikovati navodnjavane i nenavodnjavane parcele i dati veću preciznost;

- » **Drugi eksperiment** podrazumeva obuku jednog modela za sve tri kulture za svaku godinu. Ovim pristupom postignuta je jednostavnost treniranja modela, ušteda kompjuterskih resursa, ali i ušteda vremena.

Za podelu podataka na obuku i trening korišćen je metod unakrsne validacije odnosno krosvalidacije (eng. *cross-validation*) koja predstavlja tehniku u mašinskom učenju koja se koristi za procenu tačnosti ili performansi modela. Cilj krosvalidacije je da obezbedi objektivnu procenu sposobnosti modela za generalizaciju na novim, neviđenim podacima. Ova tehnika pomaže u otkrivanju i sprečavanju preprilagođavanja modela (eng. *overfitting*) ili nedostatka prilagođavanja modela (eng. *underfitting*). Metod podrazumeva podelu skupa podataka na k približno jednakih podskupova. Broj k skupova je proizvoljan broj i u ovom istraživanju korišćena je vrednost $k=10$ koja se pokazala da daje najbolje rezultate algoritma. Obuka klasifikatora se vrši tako što se u k iteracija uvek jedan podskup izdvaja za test, dok se preostali podaci koriste za obuku modela (slika 11). Nakon k iteracija, dobija se k vrednost tačnosti ili drugih metrika performansi, po jedna za svaku iteraciju. Konačna procena tačnosti modela obično se izračunava kao srednja vrednost ovih k vrednosti. Ovo daje objektivnu procenu performansi modela jer se koristi više testiranja na različitim podskupovima podataka (Nikolić, Zečević, 2019).



Slika 11. Primer krosvalidacije ($k=10$)

Izvor: prema <https://tinyurl.com/2ta34bhx>

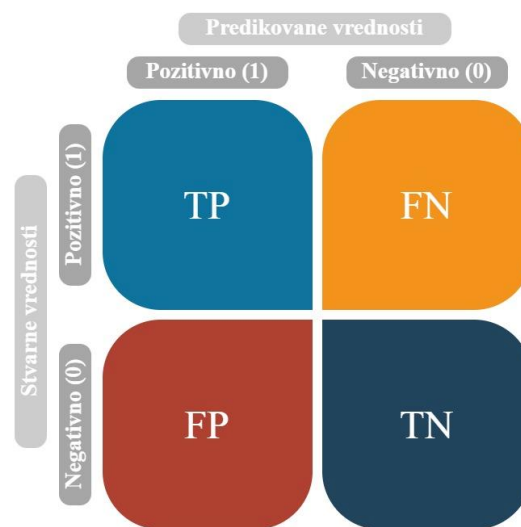
Kako uzorke u bazi podataka predstavljaju pojedinačni pikseli, prilikom podele podataka na obuku i test vodilo se računa o pripadnosti piksela određenim parcelama korišćenjem informacije o ID broju parcele. Da bi se izbegla optimistična procena performansi modela, svi pikseli jedne parcele morali su da pripadaju ili skupu za obuku ili skupu za test.

Mere kvaliteta modela kod klasifikacije

Da bi se procenila tačnost modela prilikom klasifikacije, odnosno koliko je neki model dobar ili loš, koriste se mere kvaliteta koje se zasnivaju na matrici konfuzije (eng. *confusion matrix*). Matrica konfuzije (slika 12) predstavlja detaljan prikaz dobrih i loše klasifikovanih

piksela, odnosno parcela za svaku klasu. U slučaju binarne klasifikacije, matrica sadrži četiri ćelije sa brojevima piksela/parcela na sledeći način.

- » stvarno pozitivna klasa (eng. *true positive* – *TP*): elementi skupa podataka koji su obeleženi kao pozitivni i klasifikovani kao pozitivni;
- » lažno negativna klasa (eng. *false negative* – *FN*): elementi skupa podataka koji su obeleženi kao pozitivni, a klasifikovani kao negativni;
- » lažno pozitivna klasa (eng. *false positive* – *FP*): elementi skupa podataka koji su obeleženi kao negativni, a klasifikovani kao pozitivni;
- » stvarno negativna klasa (eng. *true negative* – *TN*): elementi skupa podataka koji su obeleženi kao negativni i klasifikovani kao negativni (Nikolić, Zečević, 2019).



Slika 12. Matrica konfuzije za binarnu klasifikaciju

Izvor: prema <https://tinyurl.com/52jsm3ht>

Korišćenjem matrice konfuzije mogu da se izračunaju različite mere evaluacije klasifikatora. U nastavku će biti prikazane formule za najvažnije mere koje će biti korišćene u ovom istraživanju.

Tačnost klasifikacije (eng. *classification accuracy*) je metrika koja se često koristi za procenu performansi modela mašinskog učenja (Story & Congalton, 1986). Ova metrika izražava koliko ima tačno klasifikovanih uzoraka u ukupnom broju uzoraka. Rezultat se obično izražava kao procenat, a računa se na osnovu sledeće formule:

$$OA = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

Preciznost (eng. *precision*) je udeo pozitivnih uzoraka u svim uzorcima koji su proglašeni pozitivnim (Nikolić, Zečević, 2019). Ova mera kombinuje TP i FP, a definisana je sa:

$$PREC = \frac{TP}{TP + FP}$$

Senzitivnost/Odziv (eng. *sensitivity, recall ili true positive rate*) se odnosi na sposobnost modela da identifikuje sve stvarno pozitivne uzorke, odnosno da minimizuje broj lažno negativnih rezultata (Nikolić, Zečević, 2019). Odziv možemo da izračunamo koristeći sledeću formulu:

$$REC = \frac{TP}{TP + FN} = TPR$$

Specifičnost (eng. *specificity ili true negative rate*) meri koliko tačno model prepoznaje negativne uzorke ili koliko dobro izbegava lažno pozitivne rezultate. Konkretno, specifičnost se izračunava kao:

$$SPEC = \frac{TN}{FP + TN} = TNR$$

Ova metrika daje informaciju o sposobnosti modela da identifikuje negativne uzorke i smanjuje lažno pozitivne rezultate. Visoka specifičnost ukazuje na to da model dobro razdvaja negativne uzorke od pozitivnih, dok niska specifičnost može ukazivati na to da model često greši u klasifikaciji negativnih uzoraka (Nikolić, Zečević, 2019).

F mera (eng. *f-score*) kombinuje preciznost i odziv kako bi dala sveobuhvatnu procenu performansi klasifikacionog modela. F-mera je korisna kada želimo uzeti u obzir tačnost i pozitivno i negativno klasifikovanih uzoraka (Balfe & Smyth, 2005). Ova metrika se računa koristeći formulu:

$$F = \frac{2 * PREC * RECALL}{PREC + RECALL}$$

U ovom istraživanju mere kvaliteta modela izračunate su prvo na nivou piksela, a zatim agregirane na nivou parcele. Ovim se uspešno filtriraju greške, odnosno šumovi na nivou piksela i dobija jasniji rezultat na nivou parcele koji su od većeg značaja za dalju analizu.

Generisanje karata verovatnoće navodnjavanja

Nakon obuke modela za svaku kulturu posebno, bilo je neophodno pustiti modele na novim nepoznatim podacima kako bi se generisale karte navodnjavanja površina za celu teritoriju Vojvodine. Kako bi se uradilo klasifikovanje samo u okviru kulture od interesa, korišćene su generisane maske za svaku kulturu (poglavlje „Karte klasifikacije kultura za Vojvodinu”) čime su isključene sve ostale kulture koje nisu od značaja. Puštanjem modela napravljene su karte verovatnoće navodnjavanja kukuruza, soje i šećerne repe u Vojvodini sa

prostornom rezolucijom od 10 m. Karte sadrže informaciju o verovatnoći navodnjavanja na nivou piksela baziranoj na odluci svih stabala odluke u algoritmu. Za potrebe računanja statistike određen je univerzalni prag verovatnoće ($>0,8$) za sve tri godine.

Validacija modela i dobijenih karata navodnjavanja površina

Geoprostorna validacija modela

Kako bi se ispitala robusnost i mogućnosti primene modela na neke druge slične regione, jedan deo istraživanja bavio se prostornom transferabilnošću modela kao vid validacije. Prostorna transferabilnost se odnosi na sposobnost modela da generalizuje zaključke ili karakteristike koje su naučene na jednoj prostornoj oblasti i primeni ih na druge oblasti. Podaci koji se prikupljaju sa različitih geografskih lokacija često imaju značajne razlike uslovljene karakteristikama reljefa, klime, zemljišta, vegetacije, stanovništva i drugih karakteristika. Modeli moraju biti u stanju da se nose sa ovom prostornom varijacijom. Oni takođe mogu biti osetljivi na specifičnosti nekog prostora što može dovesti do problema u generalizaciji, odnosno primenljivosti modela u različitim oblastima. Na primer, model treniran na bazi podataka iz jednog regiona može se loše ponašati kada se primeni na neku drugu regiju gde su primera radi, klimatske i zemljišne karakteristike drugačije. U tim slučajevima, neophodno je korigovati modele kako bi se uzele u obzir specifične prostorne karakteristike određene lokacije (Orynbaikyzy et al., 2022). U ovoj doktorskoj disertaciji neće biti primenjeno transferno učenje kao metod mašinskog učenja, nego će već obučeni modeli biti testirani na drugoj teritoriji.

U nedostatku podataka za neku drugu regiju van granica Vojvodine, ispitivano je kako model radi u na prostoru Bačke, Banata i Srema, tri geografska regiona u Vojvodini. Eksperiment ima dva pristupa.

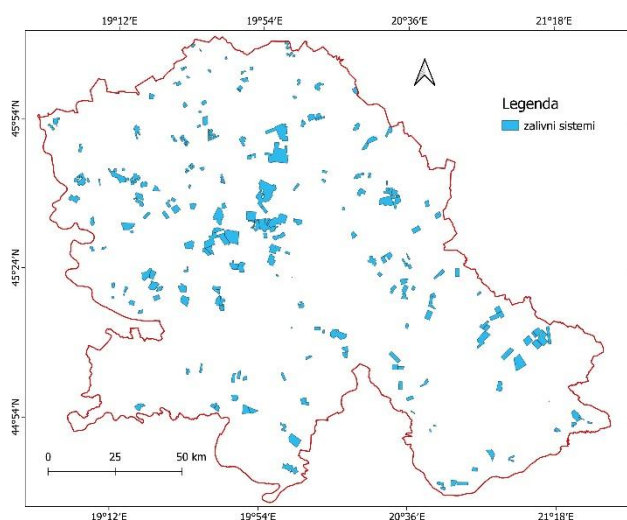
Prvi pristup se odnosi na ispitivanje mogućnosti transferabilnosti modela između tri regije. S obzirom na to da ove tri regije imaju neujednačeni broj parcela koje mogu da se koriste za treniranje modela, podaci su podeljeni u dva seta – prvi set čine podaci na teritoriji Bačke, dok drugi set čine podaci za teritorije Banata i Srema. Koristeći ova dva skupa podataka urađena su dva eksperimenta:

- I. obuka modela nad podacima u Bačkoj – validacija modela nad podacima u Banatu i Sremu;
- II. obuka modela nad podacima u Banatu i Sremu – validacija modela nad podacima u Bačkoj.

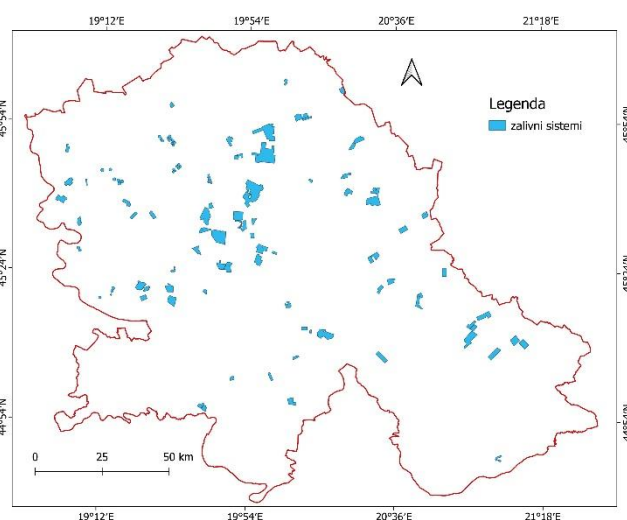
Drugi pristup (treći eksperiment) ispitivao je uspešnost prenosivosti modela u okviru jedne regije homogenijih fizičko-geografskih karakteristika. Za ovaj eksperiment odabrana je Bačka jer je najveći deo podataka prikupljen za ovaj region. Podaci su podeljeni na dva seta – zapadna i istočna Bačka gde je model treniran na setu podataka iz zapadne Bačke, a validiran na setu podataka iz istočne Bačke. Za sve eksperimente korišćeni su samo podaci za 2022. godinu.

Validacija modela korišćenjem Nacionalne baze podataka

Kako bi bilo utvrđeno kolika je tačnost dobijenih karata navodnjavanih površina u Vojvodini, iste su upoređene sa podacima nacionalne statistike (u nastavku validacioni poligoni). Ovi podaci dobijeni su kroz saradnju sa JVP „Vode Vojvodine” koje upravlja vodnim resursima na teritoriji Vojvodine i kao takvo ima značajnu ulogu u upravljanju navodnjavanjem. Međutim, ne postoji jasan i jednostavan sistem praćenja u ovoj oblasti, pa tako precizne i tačne informacije o instaliranim sistemima za navodnjavanje, ukupno hektara pod navodnjavanom poljoprivredom, kao i tipu useva koji se navodnjava, još uvek nedostaju. Prema poslednjim podacima JVP „Vode Vojvodine” iz 2022. godine, ukupna površina na kojoj su instalirani sistemi za navodnjavanje iznosila je 72 128 ha. Međutim, njihovo postojanje na parcelama ne znači nužno i korišćenje. Ovo pre svega zavisi od vremenskih uslova, ali i dostupnosti vodnih resursa i finansijskih mogućnosti poljoprivrednika. Tako je iste godine zabeleženo navodnjavanje svega 59 447 ha što ukazuje na to da nisu svi sistemi aktivno radili. S obzirom na to da se površine pod instaliranim sistemima za navodnjavanje (karta 13) i aktivno navodnjavane površine (karta 14) u 2022. godini razlikuju, validacija je urađena koristeći samo parcele koje su u bazi JVP „Vode Vojvodine” evidentirane kao navodnjavane u 2022. godini (karta 14). To uključuje parcele koje su se navodnjavale iz površinskih i podzemnih izvora vode, bez precizne informacije koji sistem koristi jedan, a koji drugi izvor vode za navodnjavanje.



Karta 13. Ukupna površina pod instaliranim sistemima za navodnjavanje u 2022. godini prema podacima JVP „Vode Vojvodine”

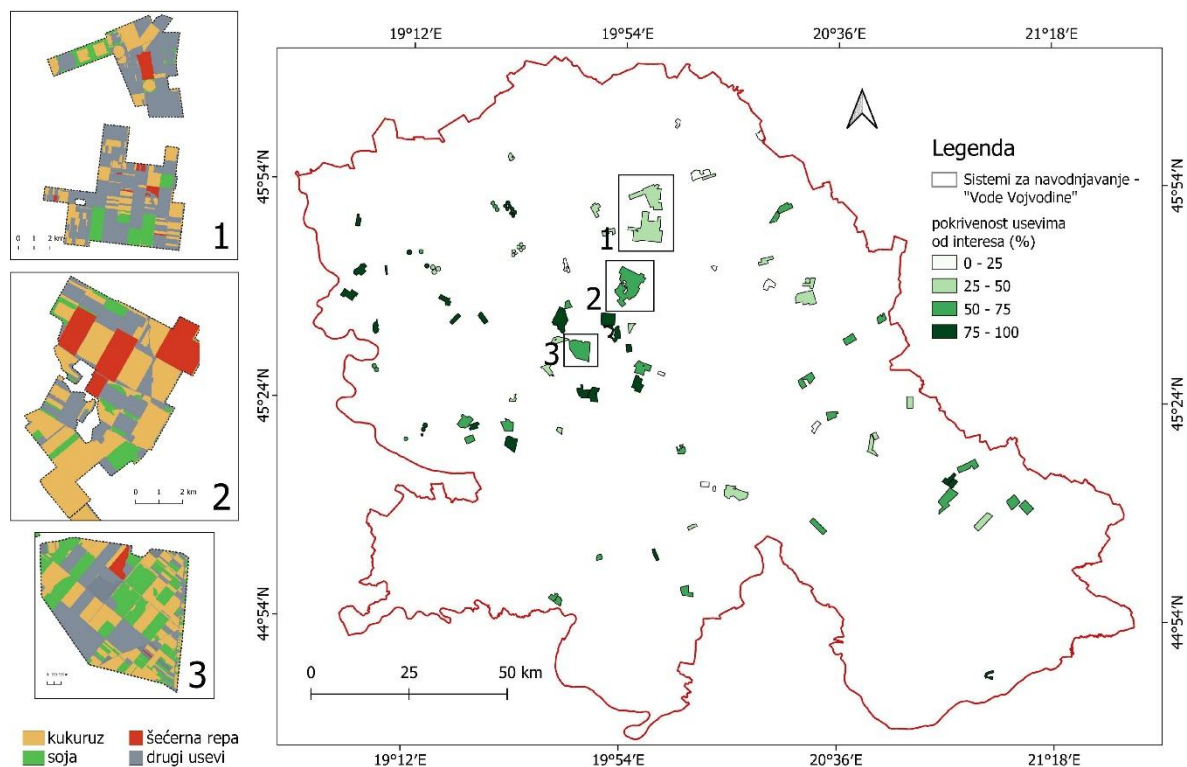


Karta 14. Validacioni poligoni koji su evidentirani kao korišćeni u 2022. godini prema podacima JVP „Vode Vojvodine”

Validacioni podaci organizovani su u velike poligone koji grupišu nekoliko sistema za navodnjavanje. Najčešće velike poljoprivredne kompanije poseduju sisteme koji se nalaze jedan blizu drugog te su u bazi JVP „Vode Vojvodine” te parcele evidentirane kao jedan veliki poligon. S obzirom na ranije pomenuti nedostatak informacija o tipu useva koji se navodnjava na parcelama, validaciju nije bilo moguće uraditi za svaku kulturu posebno. Stoga su

validacioni poligoni korišćeni za prostorno poređenje sa klasifikovanim parcelama, dok je statistički pregled dat u skladu sa mogućnostima i ograničenjima imajući u vidu i samu tačnost podataka u validacionom setu JVP „Vode Vojvodine”.

Validacija sadrži tri koraka. Najpre je izračunat procenat pokrivenosti kulturama od interesa u okviru svakog validacionog poligona. Imajući u vidu da se u okviru validacionih poligona mogu navodnjavati i usevi kao što su pšenica, suncokret, povrće i ostali koji nisu od interesa u ovoj doktorskoj disertaciji, bilo je neophodno uraditi analizu zastupljenosti tri useva od interesa u okviru svakog validacionog poligona. U te svrhe korišćena je klasifikacija useva za 2022. godinu i izračunata procentualna zastupljenost kukuruza, soje i šećerne repe, dok ostale kulture nisu razmatrane (karta 15).



Karta 15. Procentualna zastupljenost kukuruza, soje i šećerne repe u okviru validacionih poligona u 2022. godini

Drugi korak podrazumevao je računanje procentualne zastupljenosti navodnjavane površine kultura od interesa u okviru svakog validacionog poligona. Ovaj korak koristi informacije iz karte 5 i preklapa ih sa klasifikovanom kartom navodnjavanih kultura iz 2022. godine. Konačno, treći i poslednji korak predstavlja dodatnu validaciju poligona u kojima je detektovano malo navodnjavanih površina, a podaci JVP „Vode Vojvodine” beleže znatan procenat navodnjavanja.

VIŠEKRITERIJUMSKO ODLUČIVANJE: DEFINICIJA I KONCEPT

Višekriterijumsko odlučivanje je proces donošenja odluka koji se koristi kada treba uzeti u obzir više kriterijuma ili faktora koji su često suprotstavljeni ili kad ne postoji jedan „najbolji” izbor, tj. optimalno rešenje. Ključna karakteristika ove metodologije je uzimanje u obzir međusobnih odnosa između kriterijuma, njihove zavisnosti i različitog intenziteta uticaja na konačnu odluku. Ovi kriterijumi mogu biti kvantitativni ili kvalitativni, a njihova težina u analizi često zavisi od specifičnog konteksta i prioriteta donosioca odluke. Donosiocima odluka je često vrlo teško da donesu odluku baziranu na subjektivnoj proceni i intuiciji i zbog toga radije pribegavaju korišćenju određenih metoda koji će kvantifikovati njihove odluke (Brunelli, 2015). Tada se donosioci odluka oslanjaju na metode višekriterijumske analize koje smanjuju subjektivni doživljaj pri odlučivanju (Saaty, 2008).

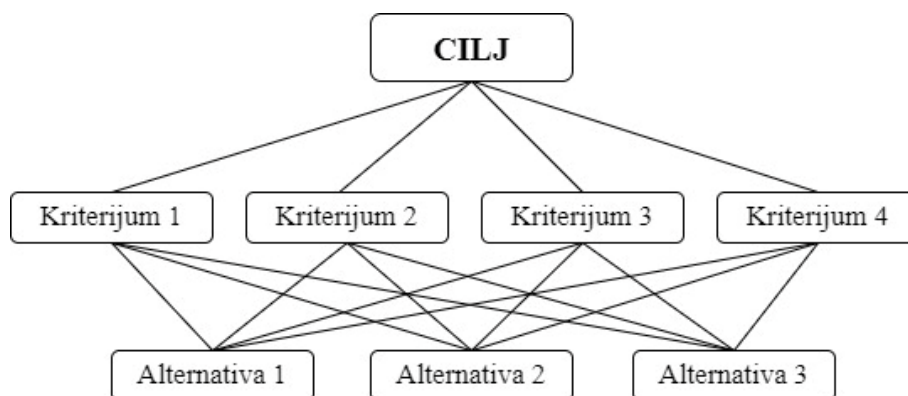
Višekriterijumsko odlučivanje ima određenih nedostataka koji se javljaju u slučajevima kada postoji prevelik broj alternativa i kriterijuma gde je vrlo teško dati ocene i biti u potpunosti objektivni pri donošenju odluke. Međutim, i pored toga, ova metoda je našla široku primenu u različitim oblastima. Obuhvata različite metode, a neke od najčešće korišćenih su: SAW (*Simple Additive Weighting*), AHP (*Analytic Hierarchy Process*), ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*), TOPSIS (*Technique for order preference by similarity to ideal solution*), MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*), FST (*Fuzzy Set Theory*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) i druge (Alamanos et al., 2018; Arabameri et al., 2019).

Metod višekriterijumske analize u ovoj doktorskoj disertaciji odabran je kako bi se odredile potencijalne lokacije za navodnjavanje u Vojvodini kao i zone potencijala podzemnih voda u Opštini Titel. Kako se radi o donošenju odluka u vezi sa prirodnim resursima i njihovim upravljanjem na određenoj geografskoj teritoriji, u osnovi je korišćena AHP metoda zajedno sa geografskim informacionim sistemima (GIS). Ova kombinacija najčešće je korišćena za rešavanje višekriterijumskih problema u oblasti upravljanja prirodnim resursima, gde se uz pomoć GIS-a vrlo jednostavno i intuitivno predstavljaju krajnji rezultati donosiocima odluka. Ova kombinacija metoda izabrana je jer se radi o multidisciplinarnom pristupu problemu koji uključuje niz geografskih faktora kako bi se došlo do krajnjeg cilja.

Teorijski okviri Analitičkog Hijerarhijskog Procesu (AHP)

Za potrebe istraživanja u ovoj disertaciji korišćen je Analitički hijerarhijski proces (AHP) koji predstavlja metod za podršku procesa višekriterijumskog odlučivanja (Benjmel et al., 2020; Razandi et al., 2015; Saaty, 2008). Ovaj metod se prvi put pominje u knjizi „*The Analytic Hierarchy Process*“ koja je objavljena 1980. godine, a tvorac ovog metoda i autor knjige je američki matematičar i stručnjak za menadžment Thomas L. Saaty (Saaty, 2008). AHP metodologija je razvijena kako bi pomogla donosiocima odluka da struktuiraju i analiziraju složene odluke koje uključuju različite kriterijume i alternative. Zasniva se na formiranju hijerarhije problema gde se vrši vrednovanje elemenata na svakom nivou hijerarhije dok se ne utvrde konačne težine elemenata. Hijerarhija problema ima nekoliko nivoa gde se na najvišem nivou nalazi cilj, sledeći nivo sadrži kriterijume, dok se na dnu nalaze alternative (slika 13).

Nakon formiranja hijerarhije vrši se poređenje elemenata putem matrice poređenja (eng. *pairwise comparison matrix*). Posle formiranja hijerarhije, donosilac odluka poredi u parovima elemente na datom nivou hijerarhije u odnosu na sve (nadređene) elemente na višem nivou, kako bi se odredio njihov međusobni značaj (Karayalcin, 1982; Saaty, 1987, 2008; Srđević et al., 2010).



Slika 13. Šematski prikaz AHP

Izvor: prema <https://tinyurl.com/mvy3856s>

Za poređenje u parovima koristi se standardna Satijeva skala vrednovanja (tabela 8). Linearni deo skale čine celobrojne vrednosti [1, 9], a nelinearni njihove recipročne vrednosti [1, 1/9]. Prilikom davanja ocena treba voditi računa da one budu konzistentne i reflektuju stvarne preferencije donosioca odluka, kvantifikujući tako njegovo subjektivno ocenjivanje.

Tabela 8. Satijeva skala relativnog značaja

| Definicija | Težina |
|------------------------|------------|
| Isti značaj | 1 |
| Slaba dominantnost | 3 |
| Jaka dominantnost | 5 |
| Vrlo jaka dominantnost | 7 |
| Apsolutna dominantnost | 9 |
| Međuvrednosti | 2, 4, 6, 8 |

Izvor: Saaty, 1987

Rezultati parnog poređenja na datom nivou hijerarhije upisuju se u matricu. U matrici, elementi iz gornjeg trougla su recipročni elementima iz donjeg trougla dok su elementi po dijagonali jednaki 1 ($a_{ij} = 1/a_{ji}$, za svako i i j ; $a_{ii} = 1$ za svako i). To bi značilo da ako je element 1 značajno favorizovan u odnosu na element 2, a_{12} u matrici A bi dobio ocenu 9, gde bi onda na mestu a_{21} ta ocena bila 1/9 (Alphonse, 1997).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Nakon ocenjivanja vrši se prioritizacija, odnosno određivanje težina poređenih elemenata na osnovu brojčanih vrednosti iz matrice A . Postoje različite metode matričnih i optimizacionih metoda prioritizacije, a u radu će biti korišćen metod sopstvenih vrednosti o kojem će biti reči kasnije. Na kraju, odabranom metodom prioritizacije određuju se težine elemenata odlučivanja čime se završava individualno odlučivanje pomoću AHP.

Prioritizacija – metod sopstvenih vrednosti i mere konzistentnosti

Nakon poređenja vrši se određivanje lokalnog vektora težina elemenata na datom nivou hijerarhije u odnosu na viši nivo. Postoje različite metode za određivanje prioritizacije, a u ovoj doktorskoj disertaciji korišćen je metod sopstvenih vrednosti (eng. *Eigenvector Method (EV)* – λ_{max}) (Saaty, 2008) koji se računa sledećom formulom:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\tilde{A}_w)_i}{w_i}$$

Sintezom lokalnih težina dobija se krajnji rezultat, odnosno vektor težina alternativa u odnosu na cilj. Kako u matrici A svako a_{ij} predstavlja odnos težina elemenata i i j , tako važi:

$$a_{ij} = w_i/w_j$$

gde w_i i w_j predstavljaju lokalne težine elemenata i i j u odnosu na element iz višeg nivoa hijerarhije. Odnosno, u vektoru težina $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, koji se odnosi na matricu A , svaki element predstavlja lokalnu važnost elementa na određenom nivou hijerarhije u poređenju sa elementom iz višeg nivoa hijerarhije. S obzirom na to da je vektor w nepoznat, njegovo određivanje može se oceniti poređenjem originalne matrice A i njoj korespondentne matrice M (Srđević et al., 2010).

$$M = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

Potpuna konzistentnost postigla bi se kada bi ove dve matrice bile identične (Alphonse, 1997). Međutim, u zavisnosti od broja elemenata u matrici, javlja se određeni nivo nekonzistentnosti. Da bi se izračunala konzistentnost, Sati (Saaty, 2008) je predložio računanje

stepena konzistentnosti (CR). Kako CR koristi indeks konzistentnosti (CI) najpre se isti računa na osnovu formule:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

gde je λ_{max} maksimalna sopstvena vrednost matrice $n \times n$, a n je broj elemenata u matrici. Što je λ_{max} bliže broju n , manja će biti nekonzistentnost. Nakon toga se uz pomoć CI i slučajnog indeksa (RI), koji zavisi od reda matrice, računa stepen konzistentnosti. RI pomaže u proceni koliko su konzistentna parna poređenja koje je dao donosilac odluka i da li su one pouzdane za korišćenje u AHP metodologiji. Ovaj indeks je unapred određen na osnovu velikog broja nasumično generisanih matrica različitih rangova (tabela 9). Konačno, CR se računa na osnovu formule:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Tabela 9. Vrednosti slučajnog indeksa (RI) u zavisnosti od broja elemenata u matrici

| <i>n</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0,00 | 0,00 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,48 | 1,56 | 1,57 | 1,59 |

Ako je CR za matricu *A* manji ili jednak 0,10 smatra se da je donosilac odluka bio dovoljno konzistentan. Ukoliko je taj broj veći, smatra se da je rezultat isuviše nekonzistentan i potrebno je da donosilac odluka ponovo uradi vrednovanje elemenata, odnosno da modifikuje svoja vrednovanja kako bi se došlo do željene konzistencije.

Metode objedinjavanja individualnih ocena u grupne odluke

Kod grupnih primena AHP, odluka se najčešće dobija objedinjavanjem individualnih ocena. Dve najpoznatije metode su objedinjavanje individualnih prioriteta (eng. *aggregation of individual priorities* – AIP) i objedinjavanje individualnih ocena (eng. *aggregation of individual judgements* – AIJ) (Forman & Peniwati, 1998). Ove dve metode primenjene su za donošenje grupne odluke u slučaju određivanja potencijalnih lokacija za navodnjavanje.

AIP metoda bazira se na računanju individualnih vektora prioriteta koji se nakon toga objedinjuju u grupni vektor prioriteta. Za te potrebe koriste se dve metode od kojih je jedna metod geometrijske sredine (Forman & Peniwati, 1998), a druga metod aritmetičke sredine (Ramanathan & Ganesh, 1994).

Za *k*-tog donosioca odluka, $w^{(k)} = (w_1^{(k)}, \dots, w_n^{(k)})^T$ je individualni vektor prioriteta dobijen iz individualne matrice vrednovanja $A^{(k)}$ metodom prioritizacije EV. Stoga, grupni vektor prioriteta $w_i^{(g)}$ može da se izračuna koristeći metodu ponderisane aritmetičke sredine na sledeći način:

$$w_i^{(g)} = \sum_{k=1}^m w_i^{(k)} a_k$$

Kod AIJ metode elementi grupne matrice određuju se na jedan od tri načina: konsenzusom, glasanjem ili matematičkom sintezom individualnih vrednovanja. Nakon što se formira grupna matrica, grupni vektor prioriteta se izračunava primenom odgovarajućih metoda prioritizacije. Za te potrebe se najčešće koristi metod geometrijske sredine kao pouzdaniji za divergentna vrednovanja, dok to ne može da se kaže za metod aritmetičke sredine (Aczél & Roberts, 1989; Aczél & Saaty, 1983; Forman & Peniwati, 1998).

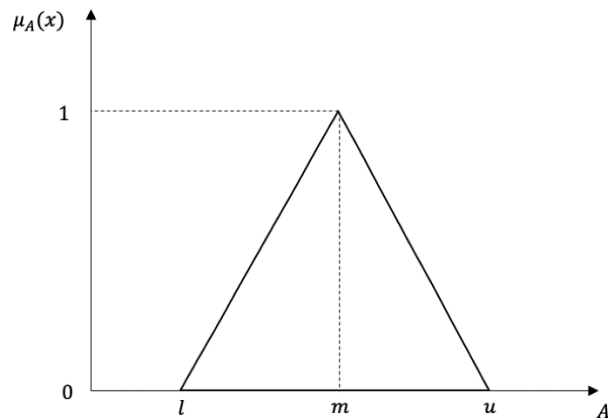
Za dobijanje grupne matrice $A^{(g)} = (a_{ij}^{(g)})_{n \times n}$ koristi se metod ponderisane geometrijske sredine (eng. *weighted geometric mean*):

$$a_{ij}^g = \prod_{k=1}^m (a_{ij}^{(k)})^{a_k}$$

gde m predstavlja broj donosilaca odluka, a_k je težina k -tog donosioca odluka pri čemu važi da je $\sum_{k=1}^m a_k = 1$. Nakon dobijene matrice $A^{(k)}$ računa se grupni vektor prioriteta koristeći metodu EV.

Modifikacija AHP metode primenom fazi logike – FAHP

Kako bi se ispitale različite mogućnosti primene AHP metode i njene kombinacije sa drugim metodama, urađena je studija slučaja gde je predstavljena modifikacija AHP metode, odnosno primena Fazi AHP (FAHP). Ova metoda predstavlja proširenu verziju AHP koja koristi fazi logiku kako bi se dodatno smanjile neizvesnosti i subjektivnosti u procesu donošenja odluka, tj. ona uzima u obzir stepen neizvesnosti donosioca odluke. Ova modifikacija omogućava donosiocu odluke da definiše lingvistički izraz za poređenje kriterijuma optimalnosti sa određenim stepenom uverenosti (najčešće manjim od 100%). Tako su težinske vrednosti kriterijuma izražene u formi fazi vrednosti. U kontekstu teorije fazi logike, fazi vrednosti su one koje nemaju jasno definisane granice i mogu izražavati stepen pripadnosti određenoj kategoriji kao što su „malo”, „srednje” ili „mnogo” (Chen et al., 2021).



Grafikon 3. Trouglasti fazi broj

Izvor: Chen et al., 2021

Tabela 10. Fazifikovana Satijeva skala relativnog značaja

| Definicija | Težina | Fazi težina |
|------------------------|------------|-------------|
| Isti značaj | 1 | (1,1,1) |
| Slaba dominantnost | 3 | (2,3,4) |
| Jaka dominantnost | 5 | (4,5,6) |
| Vrlo jaka dominantnost | 7 | (6,7,8) |
| Apsolutna dominantnost | 9 | (9,9,9) |
| Međuvrednosti | 2, 4, 6, 8 | |

Nakon ocenjivanja od strane stručnjaka kao i određivanja CR za svaki indikator i podindikator, matrica parnog poređenja transformisana je u fazi matricu parnog poređenja:

$$\tilde{M} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (a_{12}b_{12}c_{12}) & (a_{13}b_{13}c_{13}) \\ \left(\frac{1}{c_{12}}, \frac{1}{b_{12}}, \frac{1}{a_{12}}\right) & (1,1,1) & (a_{23}b_{23}c_{23}) \\ \left(\frac{1}{c_{13}}, \frac{1}{b_{13}}, \frac{1}{a_{13}}\right) & \left(\frac{1}{c_{23}}, \frac{1}{b_{23}}, \frac{1}{a_{23}}\right) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

gde M predstavlja fazifikovanu matricu parnog poređenja.

Kako bi se izračunala fazi geometrijska sredina i fazi težina korišćena je Bakelijeve metoda geometrijske sredine (Buckley, 1985) koja se računa:

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n}$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_i \otimes \dots \otimes \tilde{r}_i)^{-1}$$

gde \tilde{a}_{in} predstavlja fazi vrednost poređenja kriterijuma i sa kriterijumom n , gde je kriterijum i geometrijska sredina fazi stope poređenja kriterijuma i sa svim ostalim; \tilde{w}_i je fazi težina i kriterijuma.

Na kraju je urađena defazifikacija što znači pretvaranje fazi broja (l – najmanja moguća vrednost, m – najverovatnija vrednost, u – najveća moguća vrednost) u jednu preciznu (matematičku) vrednosti. Ovaj proces urađen je računanjem aritmetičke sredine, a zatim normalizovane težine:

$$w_i = (l + m + u)/3$$

$$NW = \sum_{j=1}^n \frac{w_{i1}}{\sum_{i=1}^n w_i} + \frac{w_{i2}}{\sum_{i=1}^n w_i} + \dots + \frac{w_{in}}{\sum_{i=1}^n w_i} = 1$$

gde je w_i težina, a NW je normalizovana težina svakog indikatora i podindikatora.

Nakon dobijanja normalizovanih težina za svaki indikator i podindikator urađena je priprema podataka i generisanje krajnjih rezultata čiji proces je detaljno opisan u nastavku.

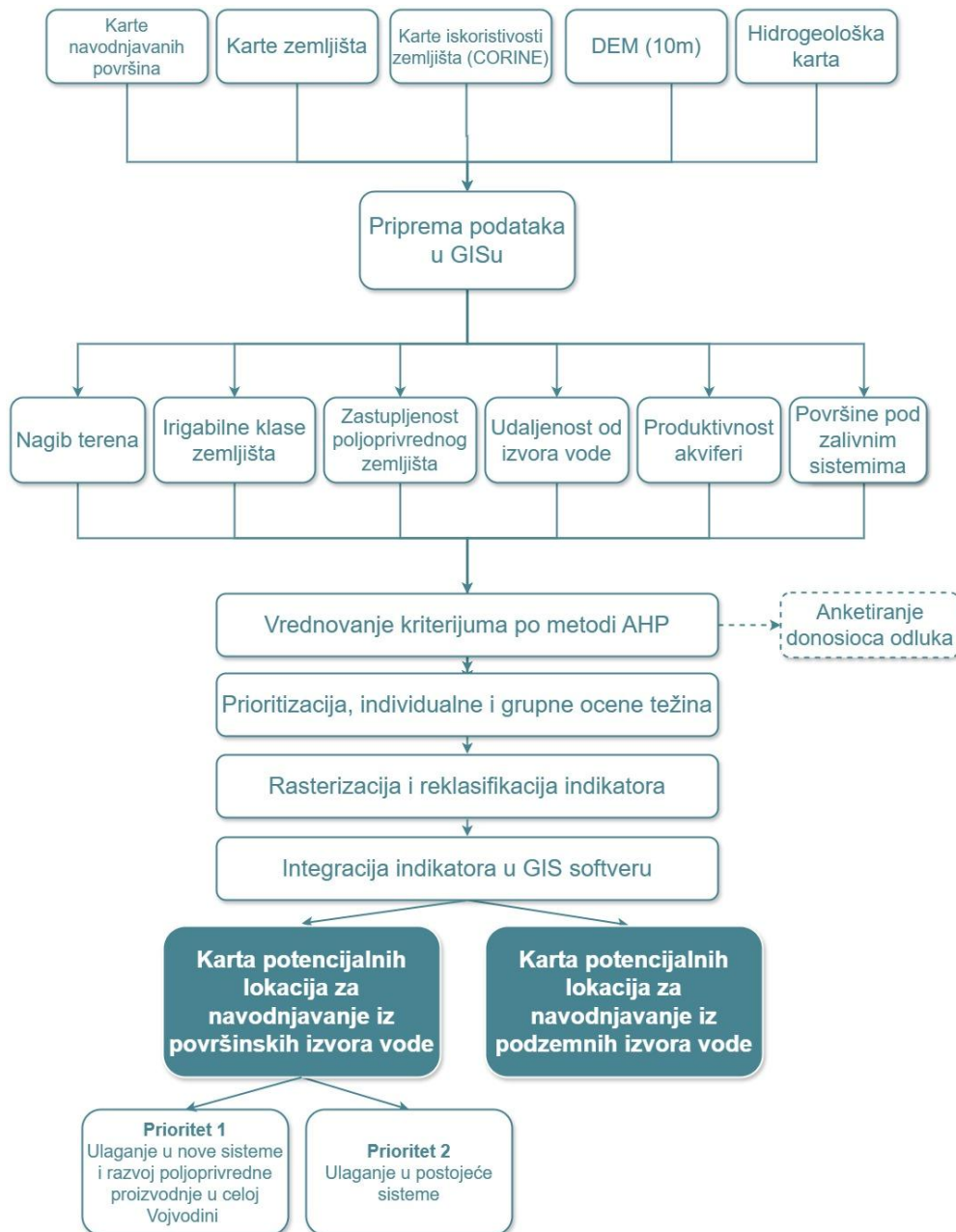
Postavka eksperimenata

Priprema podataka u GIS okruženju

S obzirom na to da ulazni podaci (indikator) mogu biti različitog tipa i različite veličine, najpre je potrebno uraditi njihovu standardizaciju, tj. svesti ih na isti format i istu veličinu. Tako su svi vektorski podaci rasterizovani, odnosno pretvoreni u raster format. Zatim, koristeći prethodno definisane težine podindikatora, neophodno je reklasifikovati svaki indikator. Time se dobijaju karte indikatora prema težinama. Na ovaj način su svi podaci svedeni na jednak tip podataka. Dalje, kombinovanjem indikatora, tj. množenjem vrednosti svakog piksela sa odgovarajućom težinom indikatora i njihovim sabiranjem dobijaju se nove vrednosti odnosno generišu se krajnji rezultati u raster formatu.

Postavka eksperimenta za određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje

Postoji veliki broj indikatora (kriterijuma) koji mogu da se koriste za određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje. Pored ekstenzivnog pregleda literature, odabir indikatora i podindikatora, koji je korišćen u ovom istraživanju, urađen je uz konsultaciju stručnjaka iz oblasti hidrologije, vodoprivrede, hidrotehnike i poljoprivrede. Odabrano je ukupno šest indikatora: nagib terena, irigabilne klase zemljišta, zastupljenost poljoprivrednog zemljišta, udaljenost od površinskog izvora vode, izdašnost akviferi i površine pod zalivnim sistemima.



Grafikon 4. Metodologija za određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje

Nakon odabira, stručnjaci su izvršili ocenjivanje indikatora i podindikatora prema opisanoj AHP metodologiji gde se na taj način dobijaju krajnje težine indikatora. Na kraju, potencijalne lokacije za navodnjavanje izračunate su korišćenjem formule (Paul et al., 2020):

$$PLZN = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij}$$

gde $PLZN$ predstavlja potencijalne lokacije za navodnjavanje, w_j – težinu indikatora, x_{ij} – težinu podindikatora.

Tako se kreira novi raster fajl koji predstavlja konačnu kartu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje. Korišćenjem metode *Natural breaks* u GIS softveru, urađena je klasifikacija na pet klasa pri čemu klasa I predstavlja najpogodniju klasu za navodnjavanje, dok klasa V ima najmanju pogodnost za navodnjavanje u Vojvodini. Karte potencijalnih lokacija za navodnjavanje na teritoriji Vojvodine generisane su uzimajući u obzir dve mogućnosti:

a) ako se navodnjavanje vrši iz površinskih izvora vode (reke, kanali, akumulacije).

Postavljena su dva eksperimenta:

- » *Prvi eksperiment* se odnosi na razvoj navodnjavanja i unapređenje poljoprivredne proizvodnje u svim delovima Vojvodine, odnosno u svim njenim opštinama;
- » *Drugi eksperiment* je postavljen sa ekonomskog gledišta gde se fokusira na unapređenje navodnjavanja u opštinama gde već postoje instalirani sistemi za navodnjavanje, što zahteva znatno manja ulaganja.

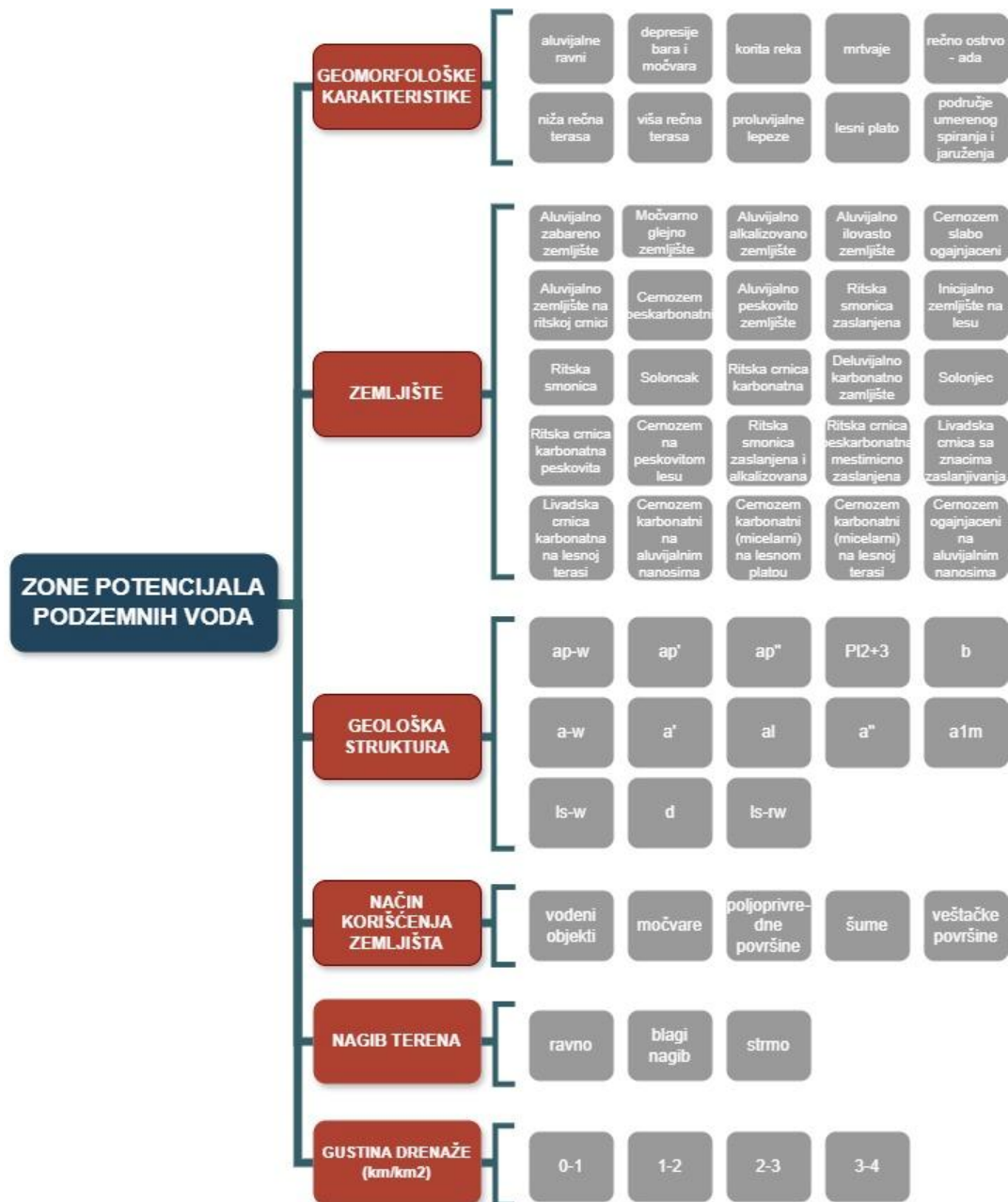
b) ako se navodnjavanje vrši iz podzemnih voda.

Ovim su generisane tri karte potencijalnih lokacija za navodnjavanje u zavisnosti od navedenih prioriteta.

Postavka eksperimenta za određivanje zona potencijala podzemnih voda

U dosadašnjim istraživanjima korišćene su različite baze geo-prostornih podataka kako bi se odredio potencijal podzemnih voda (Arulbalaji et al., 2019; Preeja et al., 2011; Şener et al., 2018). Nakon istraživanja literature kao i konsultacije sa stručnjacima iz oblasti, za određivanje zona potencijala podzemnih voda izabrano je šest glavnih indikatora koji su od značaja za istraživanu temu. To su: geomorfološke karakteristike – reljef, zemljište, geološka struktura, način korišćenja zemljišta, nagib terena i gustina drenaže (grafikon 5).

U ovom istraživanju najpre je urađena anketa od strane tri stručnjaka iz oblasti hidrologije i hidrogeologije kako bi se dodelile težine indikatorima i podindikatorima korišćenjem Satijeve skale vrednovanja. Za potrebe ovog eksperimenta urađena je jedna zajednička anketa gde su eksperti imali priliku da zajedno diskutuju i argumentuju svoje ocene izbegavajući tako ekstremne vrednosti koje značajno mogu uticati na konačne rezultate. Osim toga, ovakvim pristupom postiže se razmena mišljenja, razumevanje problema na dubljem nivou, donošenje boljih i utemeljenijih odluka i na kraju smanjenje grešaka u individualnim procenama.

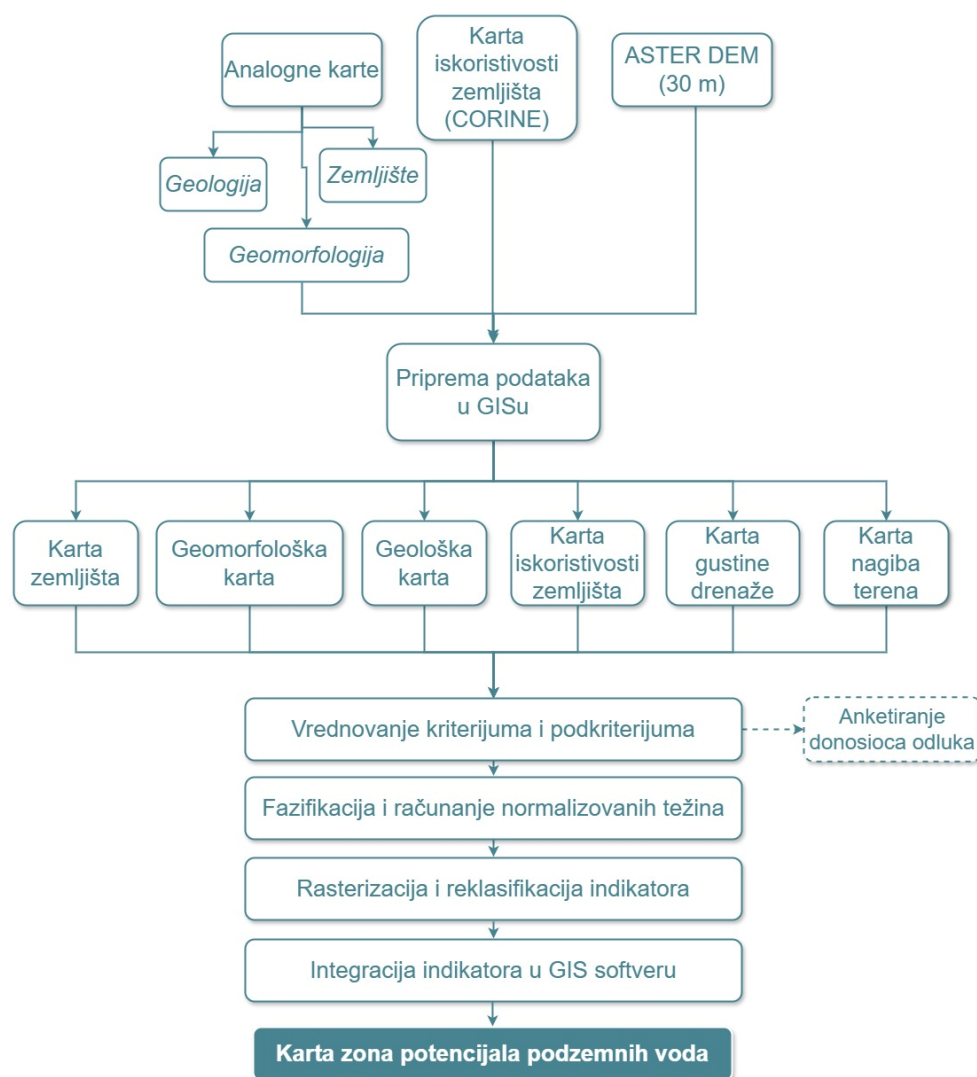


Grafikon 5. Hijerarhija indikatora i podindikatora za određivanje zona potencijala podzemnih voda

Zatim je urađeno poređenje u parovima na nivou indikatora i podindikatora čime su kreirane matrice parnog poređenja. Nakon toga, izvršena je fazifikacija matrice korišćenjem fazifikovane skale vrednovanja (tabela 11), a zatim računanje fazi težina i defazifikacija, odnosno pretvaranje fazi brojeva nazad u jednu preciznu (matematičku) vrednost koja zapravo predstavlja konačnu ocenu. Metodologija je detaljnije prikazana na grafikonu 6.

Tabela 11. Fazifikovana matrica parnog poređenja na nivou indikatora

| Indikatori | Geomorfološke karakteristike | Tipovi zemljišta | Geološka struktura | Način korišćenja zemljišta | Nagib terena | Gustina drenaže |
|------------------------------|------------------------------|------------------|--------------------|----------------------------|--------------|-----------------|
| Geomorfološke karakteristike | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/1/1 | 2/3/4 | 3/4/5 | 4/5/6 |
| Zemljište | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 2/3/4 | 3/4/5 | 3/4/5 |
| Geološka struktura | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 3/4/5 | 3/4/5 |
| Način korišćenja zemljišta | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/2/3 | 2/3/4 |
| Nagib terena | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/2/3 |
| Gustina drenaže | 1/6,1/5,1/4 | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 |



Grafikon 6. Metodologija za određivanje zona potencijala podzemnih voda

Krajnje dobijene težine indikatora korišćene su za pripremu podataka u GIS okruženju (opisano u poglavlju „Rezultati vrednovanja indikatora”) nakon čega je generisana karta zona potencijala podzemnih voda koristeći formulu:

$$GWPI = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (w_i \times x_j)$$

gde je $GWPI$ – indeks potencijala podzemnih voda, w_i – težina i indikatora, x_j – težina j podindikatora, a – ukupan broj indikatora i b – ukupan broj podindikatora (Malczewski, 1999). Prema $GWPI$, krajnja karta zona potencijala podzemnih voda klasifikovana je u pet zona: *zona I* – veoma dobar potencijal, *zona II* – dobar potencijal, *zona III* – srednji potencijal, *zona IV* – loš potencijal i *zona V* – veoma loš potencijal.

REZULTATI

KLASIFIKACIJA NAVODNJVANIH I NENAVODNJVANIH POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA U VOJVODINI

Performanse modela klasifikacije

Za obuku modela mašinskog učenja ispitana su dva pristupa. Jedan koji je podrazumevao korišćenje odvojenih setova podataka za kukuruz, soju i šećernu repu, a drugi koji je koristio jedan spojeni set podataka za sve tri kulture. Oba eksperimenta puštena su za svaku godinu posebno.

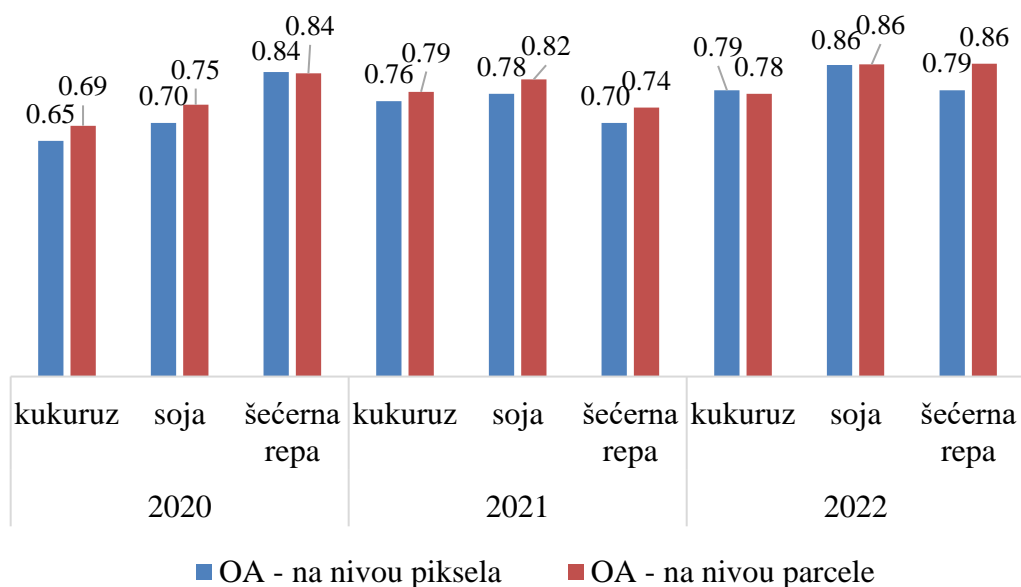
Iako je model klasifikacije koristio podatke na nivou piksela, za donosiocce odluka je mnogo važnije da znaju koliko parcela se navodnjava u Vojvodini. Uzimajući to u obzir, matrice konfuzije (grafikon 7) su prikazane i na nivou piksela i na nivou parcela, ali dalji rezultati u tezi analizirani su samo na nivou parcela.

| | | Pikseli | | | | | | Parcele | | | | | | |
|---------------|------|---------|-------------------|---------|---------|--------------|---------|---------|-------------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| | | Kukuruz | | Soja | | Šećerna repa | | Kukuruz | | Soja | | Šećerna repa | | |
| stvarna klasa | 2020 | klasa 0 | 187857 | 81640 | 132634 | 49632 | 145926 | 25280 | 52 | 14 | 38 | 13 | 27 | 4 |
| | | klasa 1 | 89099 | 127477 | 48270 | 90609 | 13124 | 58556 | 22 | 29 | 10 | 31 | 4 | 14 |
| | 2021 | klasa 0 | 277919 | 130624 | 125704 | 38900 | 156350 | 73448 | 82 | 27 | 41 | 10 | 37 | 17 |
| | | klasa 1 | 82296 | 382747 | 30621 | 116581 | 56622 | 143763 | 24 | 105 | 8 | 41 | 9 | 38 |
| | 2022 | klasa 0 | 577819 | 142325 | 310747 | 54193 | 167936 | 73001 | 109 | 30 | 75 | 11 | 27 | 8 |
| | | klasa 1 | 141772 | 489351 | 41259 | 263758 | 16715 | 164838 | 35 | 122 | 16 | 93 | 4 | 49 |
| | | | klasa 0 | klasa 1 | klasa 0 | klasa 1 | klasa 0 | klasa 1 | klasa 0 | klasa 1 | klasa 0 | klasa 1 | klasa 0 | klasa 1 |
| | | | predikovana klasa | | | | | | predikovana klasa | | | | | |

Grafikon 7. Matrice konfuzije za tri kulture od interesa; levo – na nivou piksela, desno – na nivou parcele

Prema rezultatima obuke odvojenih modela, može se zaključiti da je klasifikacija dala najbolje rezultate za 2022. godinu. Najveća ukupna tačnost (grafikon 8) postignuta je za soju i šećernu repu (OA = 0,86 za obe kulture) sa visokom F merom za klasu navodnjavano (0,89 i 0,87 redom) (tabela 12). Nešto lošije performanse modela postignute su za klasifikaciju u 2021. godini gde je najbolja ukupna tačnost zabeležena za soju (OA = 0,82; F = 0,82). Rezultati su pokazali da je klasifikacija dala najlošije rezultate za 2020. godinu. Najbolju ukupnu tačnost

ima šećerna repa (OA = 0,84; F = 0,78), dok je najlošiji rezultat zabeležen za klasifikaciju kod kukuruza (OA = 0,69; F = 0,62).



Grafikon 8. Ukupna tačnost klasifikatora po kulturama za svaku godinu

Posmatrano po klasama može se zaključiti da je F mera bila bolja za klasu navodnjavano u 2021. i 2022. godini, dok je za 2020. godinu slučaj obrnut. Analiza rezultata na nivou parcele, a prema tipu useva, ukazuje na to da je klasifikacija dala najbolje rezultate za soju (OA 0,75–0,86) i šećernu repu (OA 0,74–0,86), dok su lošije performanse za kukuruz ukazale na teže razlikovanje i detektovanje ovog useva (OA 0,69–0,79).

Tabela 12. Performanse klasifikatora (klasa 1 – navodnjavano; klasa 0 – nenavodnjavano)

| | | 2020 | | 2021 | | 2022 | |
|--------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Klasa 1 | Klasa 0 | Klasa 1 | Klasa 0 | Klasa 1 | Klasa 0 |
| Kukuruz | PREC | 0,67 | 0,70 | 0,80 | 0,77 | 0,80 | 0,76 |
| | REC | 0,57 | 0,79 | 0,81 | 0,75 | 0,78 | 0,78 |
| | F | 0,62 | 0,74 | 0,80 | 0,76 | 0,79 | 0,77 |
| Soja | PREC | 0,70 | 0,79 | 0,80 | 0,84 | 0,89 | 0,82 |
| | REC | 0,76 | 0,75 | 0,84 | 0,80 | 0,85 | 0,87 |
| | F | 0,73 | 0,77 | 0,82 | 0,82 | 0,87 | 0,85 |
| Šećerna repa | PREC | 0,78 | 0,87 | 0,69 | 0,80 | 0,86 | 0,87 |
| | REC | 0,78 | 0,87 | 0,81 | 0,69 | 0,92 | 0,77 |
| | F | 0,78 | 0,87 | 0,75 | 0,74 | 0,89 | 0,82 |

U tabeli 13 dato je poređenje rezultata klasifikacije odvojenih modela i zajedničkog modela za sve tri kulture. Kako bi poređenje bilo moguće, za konačne performanse odvojenih modela izračunat je prosek za sva tri modela. Ispitivanjem rezultata jednog modela treniranom

na zajedničkoj bazi, zaključuje se da su performanse veoma slične performansama modela treniranim za svaku kulturu posebno. Razlike iz dva eksperimenta su najuočljivije tokom 2020. godine, naročito kod klase 1 gde razlika u odzivu iznosi 0,15, a razlika u F meri 0,11. Kod klase 0, najveća razlika od 0,09 se uočava kod preciznosti.

Tabela 13. Poređenje performansi jednog zajedničkog i tri odvojena modela za svaku godinu

| | | 2020 | | 2021 | | 2022 | |
|------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Klasa 1 | Klasa 0 | Klasa 1 | Klasa 0 | Klasa 1 | Klasa 0 |
| Odvojeni modeli | PREC | 0,72 | 0,79 | 0,76 | 0,81 | 0,85 | 0,82 |
| | REC | 0,70 | 0,80 | 0,82 | 0,75 | 0,85 | 0,81 |
| | F | 0,71 | 0,79 | 0,79 | 0,77 | 0,85 | 0,81 |
| | | OA=0,76 | | OA=0,78 | | OA=0,83 | |
| Zajednički model | PREC | 0,67 | 0,70 | 0,77 | 0,79 | 0,84 | 0,82 |
| | REC | 0,55 | 0,80 | 0,82 | 0,74 | 0,85 | 0,80 |
| | F | 0,60 | 0,75 | 0,79 | 0,77 | 0,85 | 0,81 |
| | | OA=0,69 | | OA=0,78 | | OA=0,83 | |

Posmatrajući 2021. i 2022. godinu performanse modela iz oba eksperimenta su iste ili veoma slične. To se odnosi i na ukupnu tačnost modela koja iznosi 0,78 za oba eksperimenta u 2021. godini i 0,83 u 2022. godini, dok razlika od 0,07 postoji u ukupnoj tačnosti modela u 2020. godini.

Prostorna evaluacija modela

Ispitivanje mogućnosti transferabilnosti modela između tri regije urađeno je u tri eksperimenta:

- » **I eksperiment:** obuka modela nad podacima iz Bačke – validacija nad podacima iz Banata i Srema;
- » **II eksperiment:** obuka modela nad podacima iz Banata i Srema – validacija nad podacima iz Bačke;
- » **III eksperiment:** obuka modela nad podacima iz zapadne Bačke – validacija nad podacima iz istočne Bačke.

Prva dva eksperimenta ispitala su robusnost modela u različitim geografskim regionima u Vojvodini, dok je treći eksperiment urađen u geografski homogenijoj regiji. U nedostatku podataka za šećernu repu, eksperimenti su urađeni samo za kukuruz i soju, a rezultati prikazani za klasu navodnjavanih parcela (tabela 14). Model treniran nad podacima iz Banata i Srema daje bolje performanse nego što je to slučaj sa modelom treniranim nad podacima iz Bačke. Da bi se uporedile performanse sa modelom treniranim nad celom Vojvodinom i videle razlike, izračunat je prosek iz oba eksperimenta za svaku performansu. Iz toga se vidi da su performanse modela iz eksperimenata opale. Najmanji pad performansi ima model za kukuruz (PREC ↓0,12; REC ↓0,14; F ↓0,13).

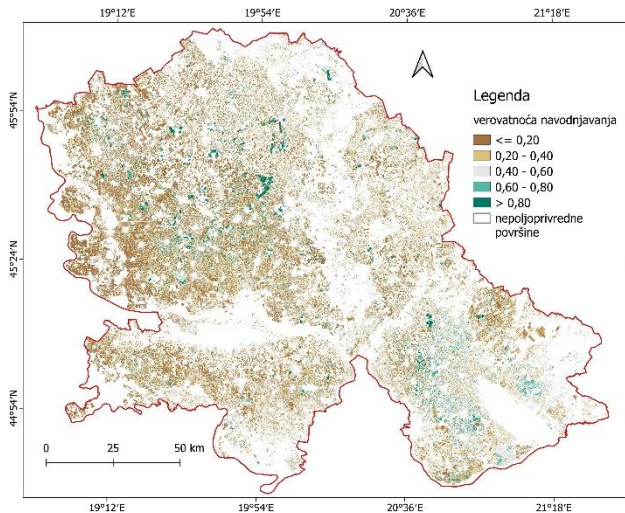
Što se tiče trećeg eksperimenta, uočava se mnogo manja razlika u performansama. U odnosu na performanse modela za Vojvodinu, kod kukuruza je zabeležen porast preciznosti modela treniranom na podacima iz zapadne Bačke za 0,03, a kod šećerne repe porast odziva i F mere (0,08 i 0,09 redom).

Tabela 14. Performanse modela iz različitih eksperimenata i njihove međusobne razlike

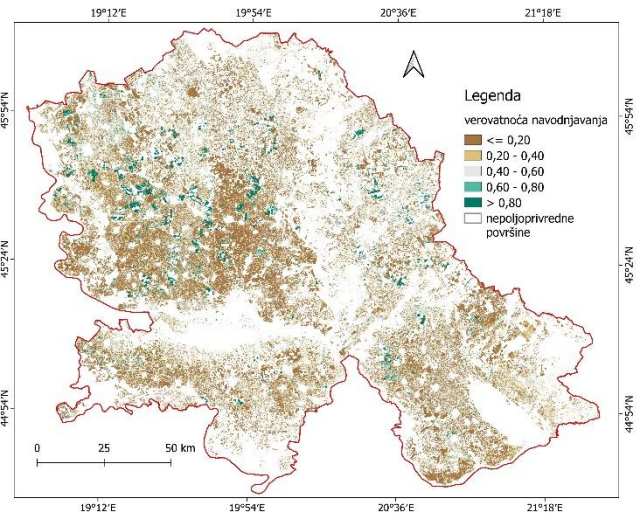
| | | | PREC | REC | F | OA |
|---------------------------------|----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | Ceo set podataka za Vojvodinu | Kukuruz | 0,80 | 0,78 | 0,79 | 0,78 |
| | | Soja | 0,89 | 0,85 | 0,87 | 0,86 |
| 2 | I eksperiment | Kukuruz | 0,53 | 0,62 | 0,57 | 0,69 |
| | | Soja | 0,47 | 0,89 | 0,62 | 0,63 |
| 3 | II eksperiment | Kukuruz | 0,84 | 0,66 | 0,74 | 0,71 |
| | | Soja | 0,90 | 0,68 | 0,77 | 0,74 |
| 4 | III eksperiment | Kukuruz | 0,83 | 0,74 | 0,78 | 0,75 |
| | | Soja | 0,89 | 0,78 | 0,83 | 0,81 |
| 5 | Prosek I i II eksperimenta | Kukuruz | 0,69 | 0,64 | 0,66 | 0,70 |
| | | Soja | 0,69 | 0,79 | 0,70 | 0,69 |
| Razlika performansi iz 1 i 5 | | Kukuruz | ↓0,12 | ↓0,14 | ↓0,13 | ↓0,08 |
| | | Soja | ↓0,21 | ↓0,07 | ↓0,18 | ↓0,18 |
| Razlika performansi iz 1 i 4 | | Kukuruz | ↑0,03 | ↓0,04 | ↓0,01 | ↓0,03 |
| | | Soja | ↓0,00 | ↓0,07 | ↓0,04 | ↓0,05 |

Prostorna distribucija navodnjvanih površina u Vojvodini

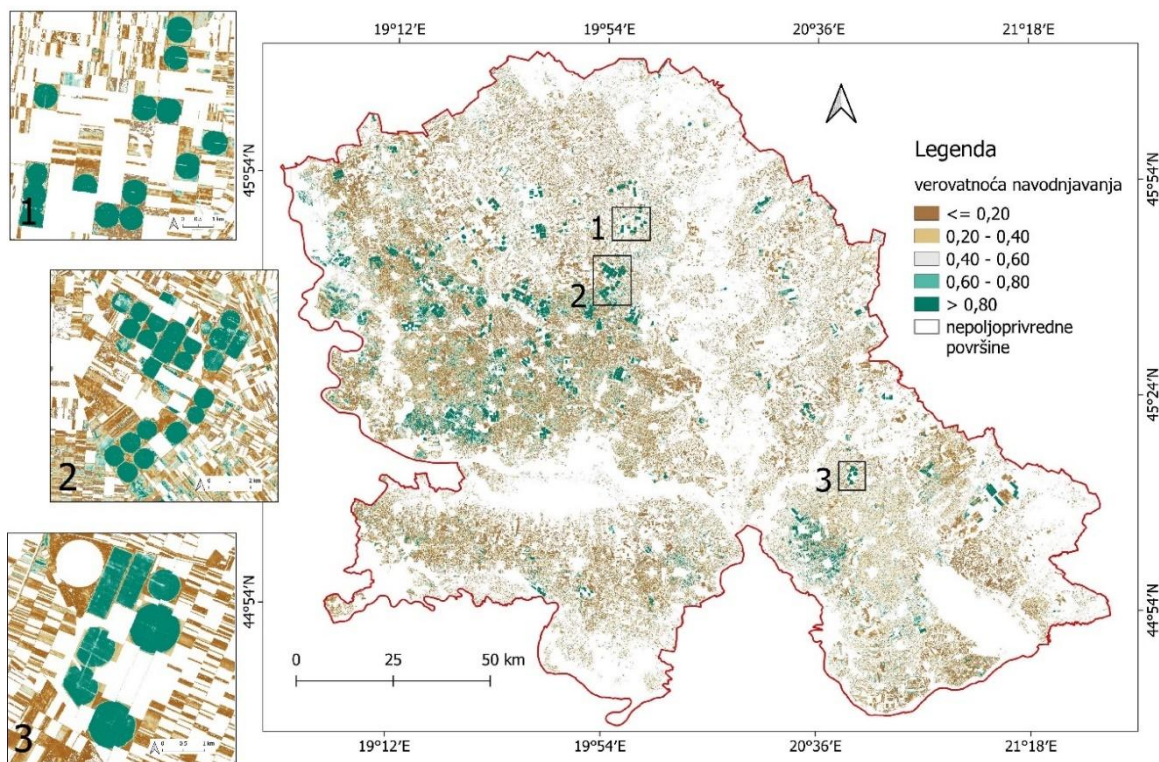
Na osnovu generisanih karata klasifikacije navodnjvanih i nenavodnjvanih površina kukuruza, soje i šećerne repe za sve tri godine i tri kulture u Vojvodini (karta 16–18), urađena je statistička analiza koja je data u nastavku.



Karta 16. Prikaz verovatnoće pojave navodnjavanih površina tri kulture od interesa u Vojvodini 2020. godine



Karta 17. Prikaz verovatnoće pojave navodnjavanih površina tri kulture od interesa u Vojvodini 2021. godine



Karta 18. Prikaz verovatnoće pojave navodnjavanih površina tri kulture od interesa u Vojvodini 2022. godine zajedno sa hidrografskom mrežom

Zabeleženo je da navodnjavane površine imaju trend rasta u ukupnoj poljoprivrednoj površini u Vojvodini u periodu do 2020. do 2022. godine. Podaci ukazuju na to da je 2020. godine zabeleženo 1,30% (20 666 ha), u 2021. godini 1,98% (31 517 ha), a u 2022. godini 3,35% (53 148 ha) navodnjavanih površina. Poredeći na nivou regiona, uočava se da region

Bačke ima najviše navodnjavanih površina detektovanih kroz istraživani period (od 1,88% u 2020. do 5,24% u 2022. godini). Razlog tome može biti u gustini kanala HS DTD i dostupnosti vode za navodnjavanje u vidu veštačkih objekata namenjenih u te svrhe čija je mreža gušća na teritoriji Bačke nego na teritoriji Srema. Ovako dobra mreža omogućava lakše snabdevanje vodom za navodnjavanje iz glavnih izvora kao što su Dunav i Tisa. Srem ima najmanji procenat navodnjavanih parcela (od 0,35% u 2020. do 1,20% u 2022. godini) iako je ovde moguće navodnjavati oko 184 000 ha, dok Banat, koji ima potencijal za navodnjavanje više od 400 000 ha obradivog zemljišta, ima takođe nizak procenat navodnjavane poljoprivrede (od 0,83% u 2020. do 1,57% u 2022. godini). Ako se uzme u obzir ukupna površina na kojoj su instalirani sistemi za navodnjavanje u istraživanom periodu, može se zaključiti da Vojvodina ima ukupno 6,26% poljoprivrednih površina pod sistemima za navodnjavanje.

Analizirajući procenat navodnjavanih površina u odnosu na ukupno obradive površine pod usevima samo tri kulture od interesa, može se zaključiti da je kukuruz najviše navodnjavan u toku istraživanog perioda (1,46% u 2020 – 4,09% u 2022), dok je šećerna repa najmanje bila pod navodnjavanjem (0,27% u 2020 – 0,93% u 2022) (tabela 15).

Tabela 15. Ukupna površina (ΣP) pod usevima (ha), navodnjavana površina (ha i %) i navodnjavana površina od ΣP sva tri useva (%)

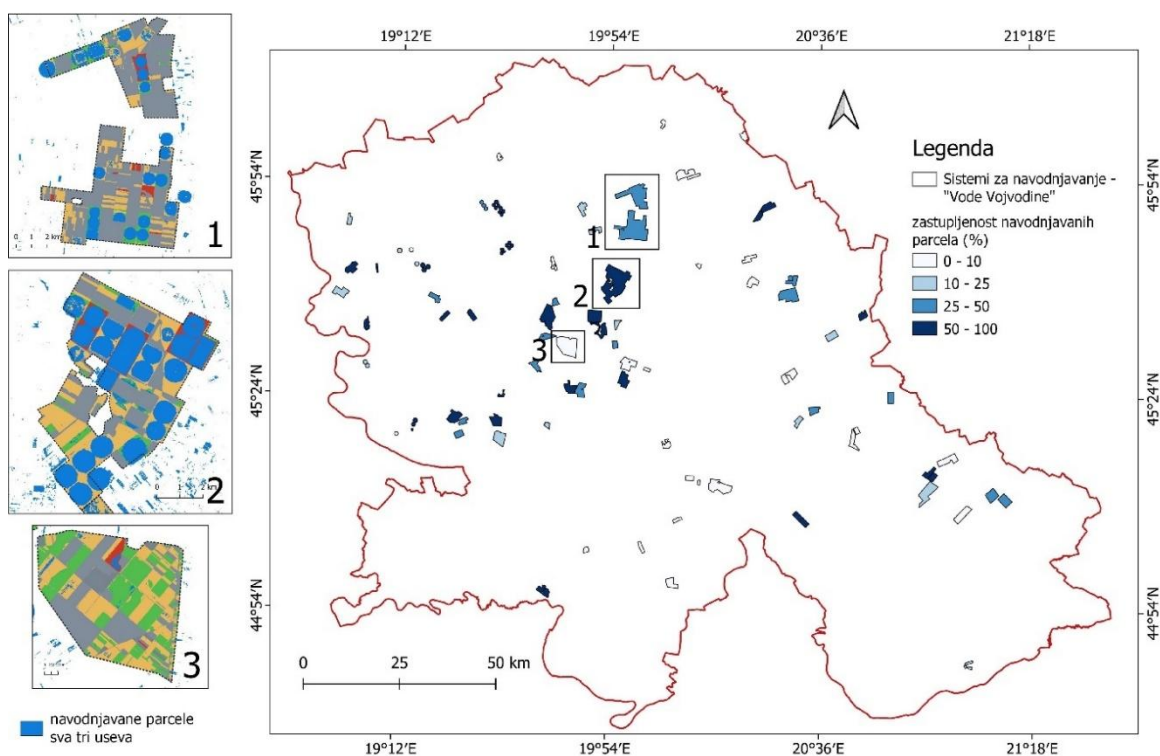
| Godina | Usev | Ukupna površina pod usevom (ha) | Navodnjavano (ha) | Navodnjavano (%) | Navodnjavano od ΣP sva tri useva (%) |
|--------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------|--|
| 2020 | Kukuruz | 580 972 | 11 846 | 2,04 | 1,46 |
| | Soja | 192 248 | 6 617 | 3,44 | 0,81 |
| | Šećerna repa | 40 521 | 2 204 | 5,44 | 0,27 |
| | ΣP sva tri useva (ha) | 813 741 | | | |
| 2021 | Kukuruz | 568 990 | 21 288 | 3,74 | 2,66 |
| | Soja | 198 789 | 5 869 | 2,95 | 0,73 |
| | Šećerna repa | 34 002 | 4 360 | 12,82 | 0,54 |
| | ΣP sva tri useva (ha) | 801 781 | | | |
| 2022 | Kukuruz | 508 127 | 29 136 | 5,73 | 4,09 |
| | Soja | 176 898 | 17 382 | 9,83 | 2,44 |
| | Šećerna repa | 27 950 | 6 631 | 23,72 | 0,93 |
| | ΣP sva tri useva (ha) | 712 975 | | | |

Pregledom statistike navodnjavanih parcela u okviru svakog useva posebno (tabela 15), zaključuje se da šećerna repa ima rastući trend navodnjavanja u sve tri godine (5,44%, 12,82%, i 23,27% redom), ali je veoma bitno naglasiti da se, u isto vreme, površine pod šećernom repom u Vojvodini iz godine u godinu smanjuju.

Poređenje rezultata klasifikacije sa Nacionalnom statistikom

Na osnovu računanja procenta pokrivenosti usevima od interesa u svakom od 77 validacionih poligona (karta 15), dobijeno je da je 61% poligona pokriveno sa više od 50% kukuruza, soje i šećerne repe zajedno, dok 12% njih ima manje od četvrtine pokrivenosti tim usevima. Za ove poligone sa malim procentom zastupljenosti kultura od interesa očekuje se nizak procenat detektovanih navodnjavanih površina.

Da bi se validirali rezultati, klasifikovane karte navodnjavanih kultura za 2022. godinu preklapljene su sa kartom koja prikazuje procentualnu zastupljenost kultura od interesa u validacionim poligonima. Na taj način izračunat je procenat navodnjavanih površina za svaki od tih poligona (karta 19). Ovom kalkulacijom zaključuje se da od ukupno 77 validacionih poligona, 29% njih ima više od 50% površina detektovanih kao navodnjavane, 21% poligona ima između 25–50% navodnjavanih površina, 18% poligona ima 10–25%, a u 32% detektovano je manje od 10% navodnjavanih površina.

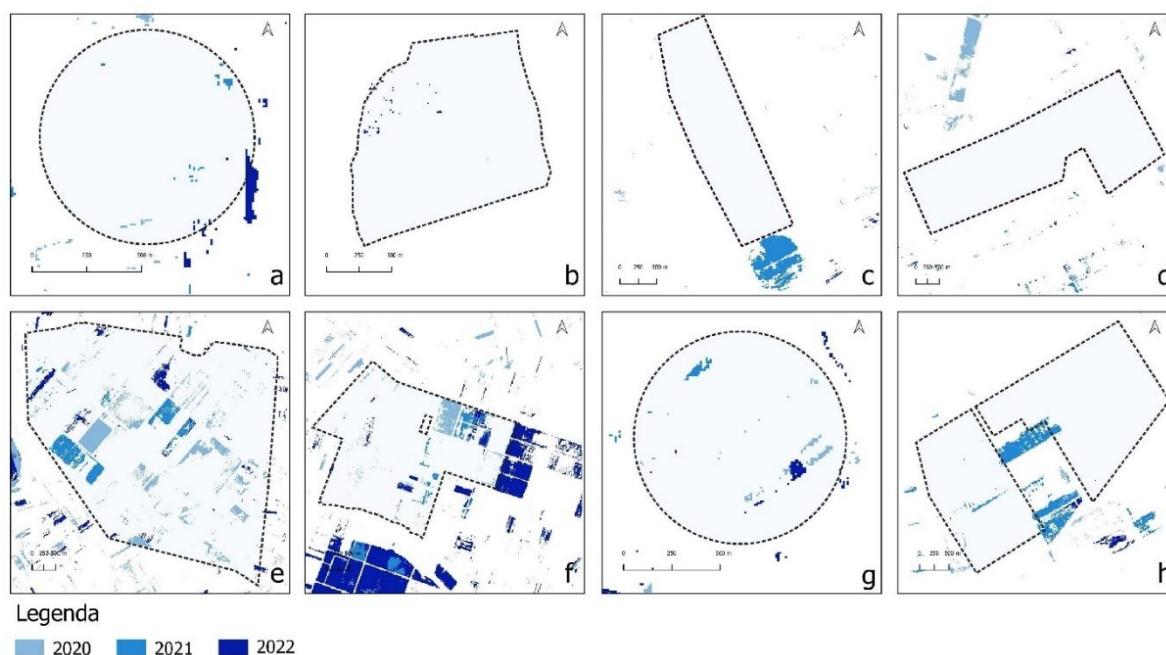


Karta 19. Procentualna zastupljenost navodnjavanih površina u okviru validacionih poligona u 2022. godini

Analizirajući kartu 19 može se uočiti da je mali procenat navodnjavanih površina detektovan u 25 poligona među kojima 17 poligona ima visok procenat pokrivenosti usevima od interesa. Da bi se što bolje procenila tačnost klasifikatora, vodeći računa da se izbegne pristrasnost prema boljim rezultatima, urađena je dodatna validacija tih poligona. Detaljno ispitivanje uzroka greške podrazumevalo je postavljanje tri hipoteze:

- a) da su se ovi poligoni navodnjavali 2020. i 2021. godine, ali da se 2022. godine navodnjavala neka druga kultura koja nije od interesa u ovom istraživanju te samim tim nije ni detektovana u 2022. godini;
- b) da su sistemi za navodnjavanje pomereni na parcelu koja je izvan granica evidentiranog poligona;
- c) da u evidenciji JVP „Vode Vojvodine” postoji prijavljen sistem za navodnjavanje, ali da klasifikacijom oni nisu detektovani.

Treba uzeti u obzir da, pored ovih, postoje možda i neki drugi razlozi koji se mogu ispitati, ali su ovim istraživanjem ispitana samo tri navedena pod pretpostavkom da su najčešći uzrok greške u klasifikaciji.



Karta 20. Razlika u klasifikovanim i prijavljenim navodnjavanim površinama (baza JVP „Vode Vojvodine”) kroz istraživani period

Na karti 20 prikazane su navodnjavane površine detektovane u sve tri godine u okviru poligona koji imaju najmanje 25% pokrivenosti usevima od interesa u 2022. godini i 10% detektovanih navodnjavanih površina u istoj godini. Da bi se utvrdilo zbog čega klasifikacija nije detektovala navodnjavanje u ovim poligonima, analiziran je svaki slučaj posebno. Tako je zaključeno da:

- » primer *e* potvrđuje hipotezu *a* gde se uviđa da je navodnjavanje detektovano 2020. i 2021. godine, ali da je 2022. godine uzgajana neka druga kultura koja nije od interesa pa samim tim nije ni detektovana ili sistem više ne postoji;
- » primeri *c*, *f* i *h* ukazuju na mogućnost pomeranja sistema za navodnjavanje koji u ovim slučajevima izlaze iz okvira registrovane navodnjavane površine u bazi JVP „Vode Vojvodine”. Time je potvrđena hipoteza *b*. Takvi poligoni (tri poligona) nisu razmatrani u validacionom setu;

- » primeri *a*, *b*, *d* i *g* potvrđuju hipotezu *c* gde prema bazi JVP „Vode Vojvodine” navodnjavanje postoji, ali prema klasifikaciji usevi od interesa nisu detektovani kao navodnjavani. Stoga, ovi poligoni (deset poligona) su smatrani kao pogrešno klasifikovani.

Uzimajući u obzir zaključak iz hipoteze *b*, broj validacionih poligona se smanjio sa 77 na 74, gde je ukupno 18 poligona klasifikovano kao pogrešno. Konačno, rezultat validacije prikazuje da generisana karta za 2022. godinu ima tačnost 76% ukazujući na to da se ovaj metod može uspešno koristiti za klasifikovanje navodnjavanih i nenavodnjavanih parcela.

ODREĐIVANJE POTENCIJALNIH LOKACIJA ZA NAVODNJAVANJE U VOJVODINI

Rezultati individualnog vrednovanja indikatora

Za određivanje težina indikatora za procenu potencijalnih lokacija za navodnjavanje izabrano je pet akademskih stručnjaka – donosilaca odluka (DO):

- » DO1 – Profesor na Poljoprivrednom fakultetu, UNS, uža naučna oblast Uređenje, zaštita i korišćenje voda;
- » DO2 – Profesor na Poljoprivrednom fakultetu, UNS, uža naučna oblast Uređenje, zaštita i korišćenje voda;
- » DO3 – Profesor na Prirodno-matematičkom fakultetu, UNS, uža naučna oblast Fizička geografija;
- » DO4 – Profesor na Prirodno-matematičkom fakultetu, UNS, uža naučna oblast Fizička geografija;
- » DO5 – Viši naučni saradnik na Institutu BioSens, uža naučna oblast Genetika i oplemenjivanje biljaka.

DO su vrednovali kriterijume kroz dve ankete. Jedna koja se odnosila na potencijalne lokacije za navodnjavanje iz površinskih izvora, a druga iz podzemnih izvora vode.

Kako bi se odredile potencijalne lokacije za navodnjavanje iz površinskih izvora vode, korišćeno je pet indikatora kojima su u matricama poređenja dodeljene sledeće skraćenice:

NT – Nagib terena;

IK – Irigabilne klase;

PZ – Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta po katastarskim opštinama;

ZS – Površine pod zalivnim sistemima;

UV – Udaljenost od površinskog izvora vode (reke/kanali).

U tabeli 16 prikazane su matrice poređenja indikatora u odnosu na cilj – Procena potencijalnih lokacija za navodnjavanje zalivanjem iz površinskih izvora vode od strane svakog DO. Pored dobijene težine svakog indikatora, data je i vrednost stepena konzistentnosti CR kako bi se prikazala postignuta konzistentnost koja je bila uslov da bi se istraživanje moglo sprovesti. Prema priloženom, svi DO su bili konzistentni u ocenjivanju sa najvećom

konzistentnošću kod DO2 (0,014), a najmanjom kod DO4 (0,086). Rezultati ocenjivanja pokazuju da su svi DO najveću težinu dali kriterijumu *Irigabilne klase*. Najveću težinu dao je DO1 (0,528), a najmanju DO2 (0,383). Za drugi najvažniji indikator DO1, DO2, DO3 i DO5 su izabrali *Udaljenost od površinskog izvora vode* sa težinama 0,247, 0,245, 0,294 i 0,309, dok je DO5 izabrao *Površine pod zalivnim sistemima* (0,195). Svi DO smatraju da indikator *Nagib terena* ima najmanju važnost kada je u pitanju određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje iz površinskih izvora vode.

Tabela 16. Težine indikatora u odnosu na cilj – Zalivanje iz površinskih izvora vode

| DO1 | | | | | | | DO2 | | | | | | |
|-----------|----|-----|-----|-----|-----|--------------|-----------|----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| | NT | IK | PZ | ZS | UV | w | | NT | IK | PZ | ZS | UV | w |
| NT | 1 | 1/8 | 1/5 | 1/5 | 1/8 | 0,029 | NT | 1 | 1/7 | 1/3 | 1/5 | 1/6 | 0,044 |
| IK | 8 | 1 | 7 | 7 | 3 | 0,528 | IK | 7 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0,383 |
| PZ | 5 | 1/7 | 1 | 1/2 | 1/5 | 0,076 | PZ | 3 | 1/3 | 1 | 1/2 | 1/3 | 0,110 |
| ZS | 5 | 1/7 | 2 | 1 | 1/2 | 0,120 | ZS | 5 | 1/2 | 2 | 1 | 1 | 0,218 |
| UV | 8 | 1/3 | 5 | 2 | 1 | 0,247 | UV | 6 | 1/2 | 3 | 1 | 1 | 0,245 |
| CR: 0,076 | | | | | | | CR: 0,014 | | | | | | |
| DO3 | | | | | | | DO4 | | | | | | |
| | NT | IK | PZ | ZS | UV | w | | NT | IK | PZ | ZS | UV | w |
| NT | 1 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1/7 | 0,036 | NT | 1 | 1/8 | 1/6 | 1/9 | 1 | 0,046 |
| IK | 7 | 1 | 3 | 3 | 2 | 0,397 | IK | 8 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0,458 |
| PZ | 5 | 1/3 | 1 | 1 | 1/2 | 0,146 | PZ | 6 | 1/3 | 1 | 1 | 1/2 | 0,156 |
| ZS | 5 | 1/3 | 1 | 1 | 1/4 | 0,127 | ZS | 9 | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 0,195 |
| UV | 7 | 1/2 | 2 | 4 | 1 | 0,294 | UV | 1 | 1/3 | 2 | 1 | 1 | 0,144 |
| CR: 0,042 | | | | | | | CR: 0,086 | | | | | | |
| DO5 | | | | | | | | | | | | | |
| | NT | IK | PZ | ZS | UV | w | | | | | | | |
| NT | 1 | 1/8 | 1/5 | 1/8 | 1/9 | 0,028 | | | | | | | |
| IK | 8 | 1 | 8 | 3 | 1 | 0,398 | | | | | | | |
| PZ | 5 | 1/8 | 1 | 1/3 | 1/3 | 0,082 | | | | | | | |
| ZS | 8 | 1/3 | 3 | 1 | 1/2 | 0,183 | | | | | | | |
| UV | 9 | 1 | 3 | 2 | 1 | 0,309 | | | | | | | |
| CR: 0,053 | | | | | | | | | | | | | |

Za određivanje potencijalnih lokacija koje mogu da se navodnjavaju iz podzemnih izvora vode, indikator *Površine pod zalivnim sistemima* i *Udaljenost od površinskog izvora vode (reke/kanal)* smatrani su nepotrebnim, te su izostavljeni u ovoj anketi, dok je novi indikator *PA – Produktivnost akviferi* dodat kao novi indikator. Tako je za određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje iz podzemnih voda korišćeno ukupno četiri indikatora.

Ovog puta najveću nekonzistentnost pokazao je DO5 (CR = 0,085), dok je DO2 bio najkonzistentniji (CR = 0,016). Kad je reč o težinama indikatora (tabela 17), DO2, DO3 i

DO4 najveću težinu su dali *Irigabilnim klasama* (0,486, 0,480 i 0,393), što se poklapa sa njihovim mišljenjem i u vezi prvog cilja. DO1 i DO5 smatraju da je *Produktivnost akviferi* najvažniji indikator za zalivanje iz podzemnih voda te su rezultati njihovog vrednovanja težine 0,454 i 0,510, dok su za drugi najvažniji indikator izabrali *Irigabilne klase*, a težine su 0,405 i 0,345. Drugi najvažniji indikator za DO2 i DO4 je *Produktivnost akviferi* (0,316 i 0,325), a DO3 smatra da je to *Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta* te ovaj indikator ima težinu 0,255. Kao i u slučaju zalivanja iz površinskih izvora vode, svi DO smatraju da *Nagib terena* i u ovom slučaju ima najmanji značaj (DO1 – 0,034; DO2 – 0,066; DO3 – 0,048; DO4 – 0,055; DO5 – 0,031).

Tabela 17. Težine indikatora u odnosu na cilj – Zalivanje iz podzemnih voda

| DO1 | | | | | | DO2 | | | | | |
|-----------|----|-----|-----|-----|--------------|-----------|----|-----|-----|-----|--------------|
| | NT | IK | PZ | PA | w | | NT | IK | PZ | PA | w |
| NT | 1 | 1/8 | 1/7 | 1/9 | 0,034 | NT | 1 | 1/7 | 1/2 | 1/5 | 0,066 |
| IK | 8 | 1 | 5 | 1 | 0,405 | IK | 7 | 1 | 3 | 2 | 0,486 |
| PZ | 7 | 1/5 | 1 | 1/7 | 0,108 | PZ | 2 | 1/3 | 1 | 1/3 | 0,131 |
| PA | 9 | 1 | 7 | 1 | 0,454 | PA | 5 | 1/2 | 3 | 1 | 0,316 |
| CR: 0,068 | | | | | | CR: 0,016 | | | | | |
| DO3 | | | | | | DO4 | | | | | |
| | NT | IK | PZ | PA | w | | NT | IK | PZ | PA | w |
| NT | 1 | 1/7 | 1/5 | 1/7 | 0,048 | NT | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/7 | 0,055 |
| IK | 7 | 1 | 3 | 2 | 0,480 | IK | 5 | 1 | 3 | 1 | 0,393 |
| PZ | 5 | 1/3 | 1 | 2 | 0,255 | PZ | 5 | 1/3 | 1 | 1 | 0,227 |
| PA | 7 | 1/2 | 1/2 | 1 | 0,217 | PA | 7 | 1 | 1 | 1 | 0,325 |
| CR: 0,065 | | | | | | CR: 0,055 | | | | | |
| DO5 | | | | | | | | | | | |
| | NT | IK | PZ | PA | w | | | | | | |
| NT | 1 | 1/9 | 1/8 | 1/9 | 0,031 | | | | | | |
| IK | 9 | 1 | 5 | 1/2 | 0,345 | | | | | | |
| PZ | 8 | 1/5 | 1 | 1/6 | 0,114 | | | | | | |
| PA | 9 | 2 | 6 | 1 | 0,510 | | | | | | |
| CR: 0,082 | | | | | | | | | | | |

Nakon određivanja individualnih težina indikatora, bilo je neophodno uraditi njihovo objedinjavanje kako bi se dobile konačne težine koje će biti korišćene za generisanje krajnjih karata potencijalnih lokacija za navodnjavanje.

Kada su u pitanju težine indikatora za određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje iz površinskih izvora vode, može se konstatovati da su grupne težine veoma slične u oba metodološka pristupa (tabela 18).

Tabela 18. Objedinjavanje individualnih težina indikatora u grupne težine korišćenjem AIP i AIj metoda

| Zalivanje iz površinskih voda | | | Zalivanje iz podzemnih voda | | |
|-------------------------------|---------|---------|-----------------------------|---------|---------|
| Indikatori | w (AIP) | w (AIj) | Indikatori | w (AIP) | w (AIj) |
| NT | 0,037 | 0,037 | NT | 0,047 | 0,029 |
| IK | 0,433 | 0,439 | IK | 0,422 | 0,465 |
| PZ | 0,114 | 0,112 | PZ | 0,167 | 0,136 |
| ZS | 0,169 | 0,168 | PA | 0,364 | 0,370 |
| UV | 0,248 | 0,245 | | | |

Najveća razlika od 0,006 je kod indikatora *Irigabilne klase*. Međutim, u drugom slučaju gde bi se koristile podzemne vode, grupne težine indikatora se razlikuju u nešto većoj meri. Ta razlika kod indikatora *Nagib terena* iznosi 0,018 gde je veća težina dobijena AIP metodom. Kod indikatora *Irigabilne klase* veća težina dobijena je AIj metodom, a razlika u težinama iznosi 0,043, dok je razlika kod indikatora *Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta* 0,031. Najmanja razlika u težinama uočava se kod indikatora *Potencijal akviferi* i iznosi 0,006.

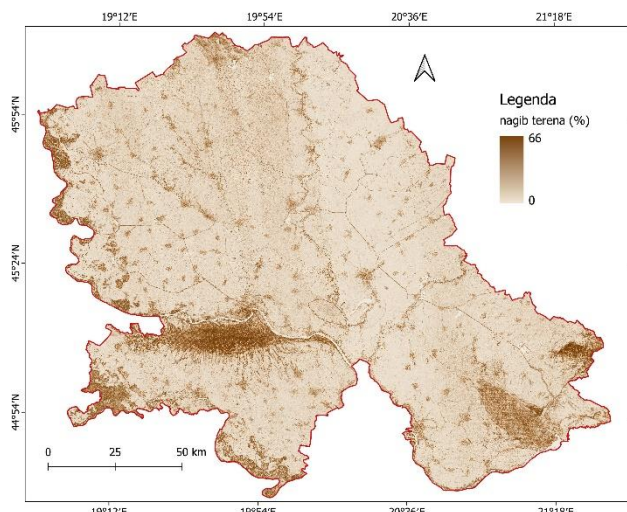
GIS analiza indikatora

Nagib terena

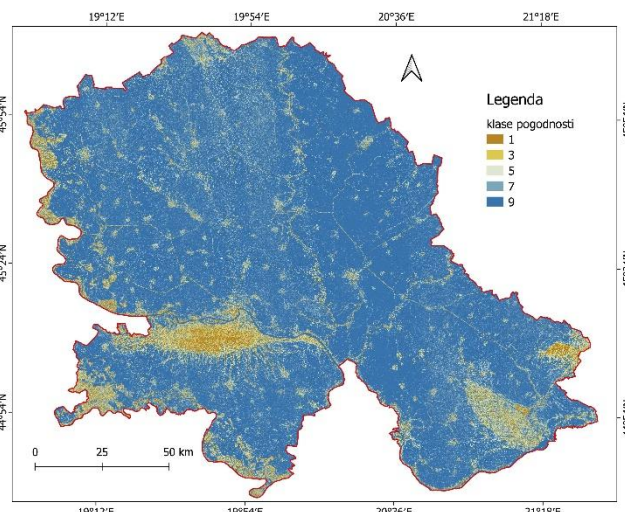
Mogućnost navodnjavanja u nekoj regiji veoma zavisi od nagiba terena koji direktno utiče na protok vode, njenu distribuciju i zadržavanje na površini. Nagib terena ima uticaj ne samo na mogućnost primene navodnjavanja nego i na sam tip zalivnog sistema koji može da se instalira na nekoj površini (Haile & Abebe, 2022). Tamo gde je nagib veliki nije moguće postaviti sistem, dok su ravni tereni veoma pogodni za sve tipove zalivnih sistema. Za analizu ovog indikatora i njegovog uticaja na mogućnost navodnjavanja u Vojvodini, korišćen je DEM iz kog je generisan nagib terena. Prema dobijenim podacima, nagib terena u Vojvodini kreće se od 0–66% (karta 21). Veći deo Vojvodine ima veoma mali nagib terena i samim tim i veću pogodnost za navodnjavanje.

Reklasifikacija indikatora – Nagib terena

Za reklasifikaciju indikatora nagib terena korišćene su ocene stručnjaka od 1 do 9 dodeljene svakom podindikatoru, odnosno svakoj klasi u okviru indikatora. Posmatrajući kartu 22 uočava se pet različitih klasa, a prema prethodnim istraživanjima (Blagojevic et al., 2016; Srđević et al., 2010) mogu se kategorisati na sledeći način: 0–3% (ravno), 3–5% (blagi nagib), 5–8% (srednji nagib), 8–16% (strmo) i >16° (veoma strmo).



Karta 21. Nagib terena u Vojvodini



Karta 22. Reklasifikovana karta nagiba terena prema pogodnosti za navodnjavanje

Najveću pogodnost za navodnjavanje imaju tereni koji su okarakterisani kao ravni i njima je dodeljena ocena 9. Ovoj klasi pripada čak 73% istraživane teritorije. Ocena 1 dodeljena je najstrmijim delovima Vojvodine koji nisu pogodni za navodnjavanje, ali je takvih terena veoma malo, svega 2%. Detaljno ocenjivanje prikazano je u tabeli 19.

Tabela 19. Klase pogodnosti nagiba terena za navodnjavanje u Vojvodini

| Naziv indikatora | Klase pogodnosti | Ocena (x) |
|------------------|------------------|-----------|
| Nagib terena | 0–3% | 9 |
| | 3–5% | 7 |
| | 5–8% | 5 |
| | 8–16% | 3 |
| | >16% | 1 |

Irigabilne klase zemljišta u Vojvodini

Irigabilne klase zemljišta određene su na osnovu njegove pogodnosti i kapaciteta za navodnjavanje. Ovaj indikator uzima u obzir različite faktore kao što su fizička, hemijska i mehanička svojstva zemljišta, njegove proizvodne sposobnosti, dostupnost vode ali i drenažu, koji dalje ukazuju na mogućnost i potencijal zemljišta za efikasno navodnjavanje. S obzirom na to da zemljišta nemaju podjednak kapacitet za navodnjavanje, klase irigabilnosti zemljišta pomažu u određivanju koja su područja najpogodnija za navodnjavanje, a samim tim doprinose i planiranju i upravljanju poljoprivrednim aktivnostima (Miljković, 2005). Uzimajući u obzir prethodno rečeno, Miljković predlaže klasifikovanje zemljišta u pet irigabilnih klasa. Detaljan opis svake klase dat je u tabeli 20.

Tabela 20. Irigabilne klase zemljišta u Vojvodini

| Klasa | Opis klase | Zemljište | Procenat pokrivenosti u Vojvodini |
|--------------|--|---|--|
| I klasa | Pogodna za navodnjavanje | Černozem (karbonatni, livadski na lesnom platou), sirozem (regosol na lesu), eolski pesak (arenosol, rigolovani pesak i zemljišta stvorena na pesku) | 28% |
| II klasa | Slabije pogodna za navodnjavanje | Černozem (izluženi, ogajnjačeni, livadski beskarbonatni, karbonatni na lesnoj terasi), aluvijalno livadsko zemljište | 35% |
| IIIa klasa | Uslovno pogodna za navodnjavanje | Smonica, gajnjača, aluvijalno zemljište, deluvijalno zemljište, aluvijalno livadsko zemljište, ritska crnica karbonatna | 19% |
| IIIb klasa | Srednje duboka zemljišta koja zahtevaju pored odgovarajućeg odvodnjavanja i primenu hemijskih sredstava za popravku zemljišta, kao i druge mere kompleksnih melioracija (dubinsko rastresanje, ispiranje soli i dr.) | Smonica ogajnjačena lesivirana, gajnjača lesivirana, močvarno-glejno zemljište, aluvijalno zemljište (glinovito, zabareno), ritska crnica beskarbonatna | 12% |
| IIIc klasa | Duboka, srednje duboka do plitka zemljišta (pretežno hidromorfnog i halomorfnog karaktera), koja zahtevaju primenu značajnih količina hemijskih i fizičkih sredstava za popravku zemljišta uz odgovarajuće odvodnjavanje | Solonjec, solončak, solod, pseudoglej | 6% |

Izvor: Miljković, 2005

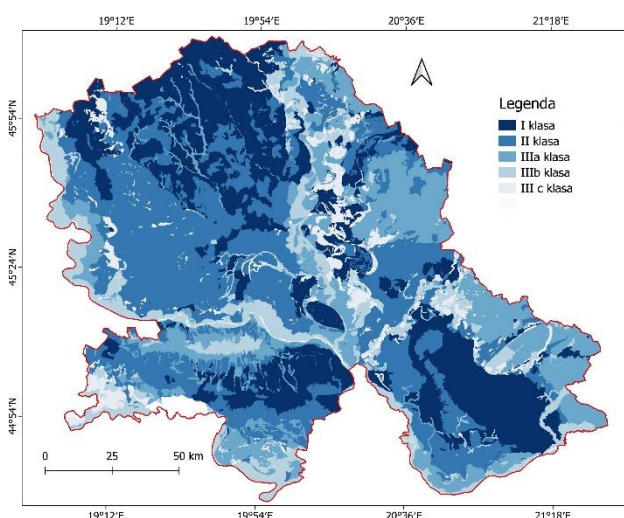
Važno je napomenuti da u prethodnom istraživanju Blagojević (2016) (Blagojevic et al., 2016) pored irigabilnih koristi i drenažne klase kao indikatore za određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje u Vojvodini. Međutim, s obzirom na to da je irigabilnost zemljišta određena na osnovu dostupnosti i drenaže vode, drenažne klase nisu uzete u obzir u ovom istraživanju kako bi se izbegla kolizija između ova dva indikatora.

Reklasifikacija indikatora – Irigabilne klase

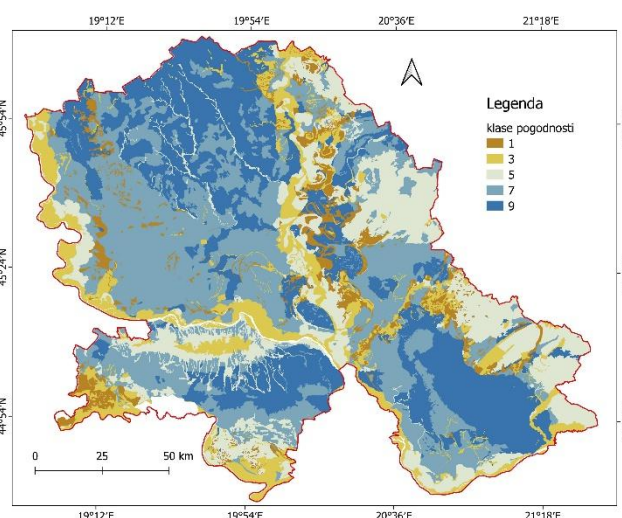
Prema prethodno opisanim irigabilnim klasama, a uzimajući u obzir ocene stručnjaka, najveću ocenu 9 dobija klasa I koja je najpogodnija za navodnjavanje, dok najmanju ocenu 1 dobija klasa IIIc kao najmanje pogodna za navodnjavanje. Ocene dodeljene svakoj irigabilnoj klasi predstavljene su u tabeli 21. Nakon toga izvršena je reklasifikacija u GIS softveru i time generisana karta 24.

Tabela 21. Klase pogodnosti irigabilnih klasa za navodnjavanje u Vojvodini

| Naziv indikatora | Klase pogodnosti | Ocena (x) |
|------------------|------------------|-----------|
| Irigabilne klase | I klasa | 9 |
| | II klasa | 7 |
| | IIIa klasa | 5 |
| | IIIb klasa | 3 |
| | IIIc klasa | 1 |



Karta 23. Irigabilne klase zemljišta u Vojvodini



Karta 24. Reklasifikovana karta irigabilnih klasa zemljišta prema pogodnosti za navodnjavanje

Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta po katastarskim opštinama u Vojvodini

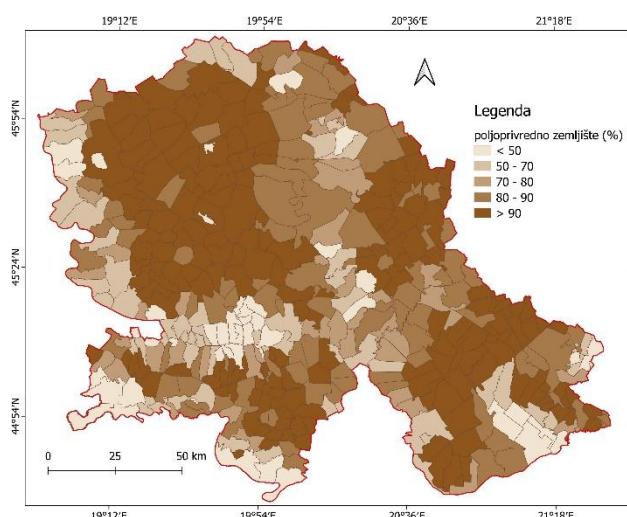
Vojvodina predstavlja region sa visokom zastupljenošću poljoprivrednog zemljišta, gde je 1,69 miliona hektara poljoprivrednog karaktera (Ninkov et al., 2017). Kako bi se odredili prioriteti, neophodno je bilo videti koliko koja katastarska opština u Vojvodini ima poljoprivrednog zemljišta. To je urađeno korišćenjem CLC podataka odakle je izračunata procentualna zastupljenost po svakoj opštini. Opštine koje imaju veći procenat poljoprivrednog zemljišta imaju i veći potencijal i mogućnost za razvoj navodnjavane poljoprivrede te je ovaj podatak od izuzetnog značaja za planski razvoj navodnjavanja.

Reklasifikacija indikatora – Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta

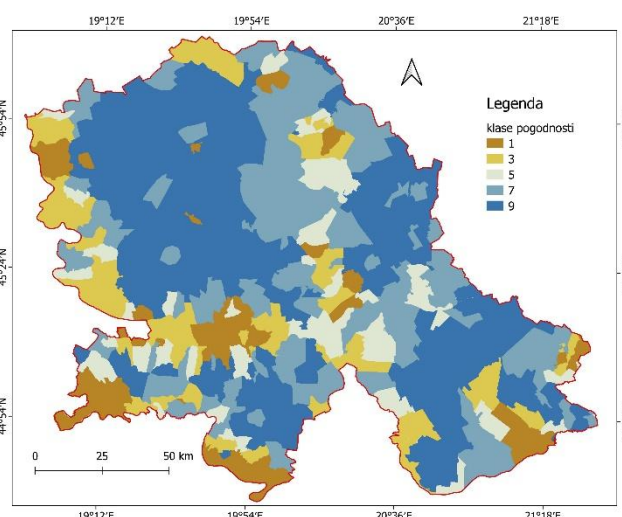
Reklasifikacija ovog indikatora urađena je na osnovu procentualne zastupljenosti poljoprivrednog zemljišta po katastarskim opštinama u Vojvodini (karta 25). Prema tome, opštine koje imaju manje od 50% zastupljenosti poljoprivrednog zemljišta (8% opština) dobile su najmanji prioritet za razvoj navodnjavanja, dok opštine koje imaju preko 90% zastupljenosti (43% opština) predstavljaju visokoprioritetne za razvoj navodnjavanja i njima je dodeljena ocena 9 (tabela 22).

Tabela 22. Klase pogodnosti prema zastupljenosti poljoprivrednog zemljišta po katastarskim opštinama u Vojvodini

| Naziv indikatora | Klase pogodnosti | Ocena (x) |
|---|------------------|-----------|
| Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta po katastarskim opštinama | <50% | 9 |
| | 50–70% | 7 |
| | 70–80% | 5 |
| | 80–90% | 3 |
| | >90% | 1 |



Karta 25. Procentualna zastupljenost poljoprivrednog zemljišta u Vojvodini



Karta 26. Reklasifikovana karta procentualne zastupljenosti zemljišta prema pogodnosti za navodnjavanje

Udaljenost od površinskog izvora vode

Udaljenost od površinskog izvora vode predstavlja jedan od najznačajnijih preduslova za navodnjavanje. Zemljište koje se nalazi u okolini izvora vode ima veoma veliki potencijal da taj izvor koristi u svrhu navodnjavanja (Muluneh et al., 2022). Udaljenost od izvora vode utiče na troškove i logistiku transporta vode do poljoprivrednih površina kao i na očuvanje vodnog resursa. Poljoprivredne površine koje se nalaze u neposrednoj blizini izvora vode manje su ranjive na negativne efekte suše. U takvim slučajevima lakše je osigurati kontinuirano zalivanje

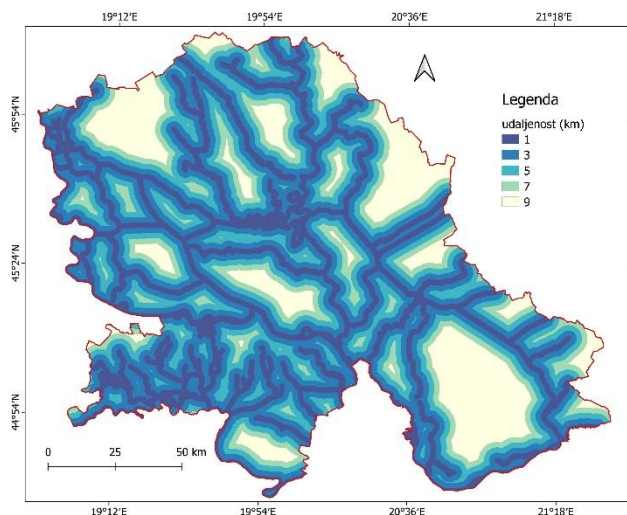
čak i tokom sušnih perioda. Uzimajući u obzir prethodno navedeni značaj ovog indikatora za planiranje lokacija za navodnjavanje, u okviru ovog kriterijuma analizirana je kompleksna hidrografija Vojvodine koja uključuje male i velike reke, jezera i osnovnu kanalsku mrežu HS DTD.

Reklasifikacija indikatora – Udaljenost od površinskog izvora vode

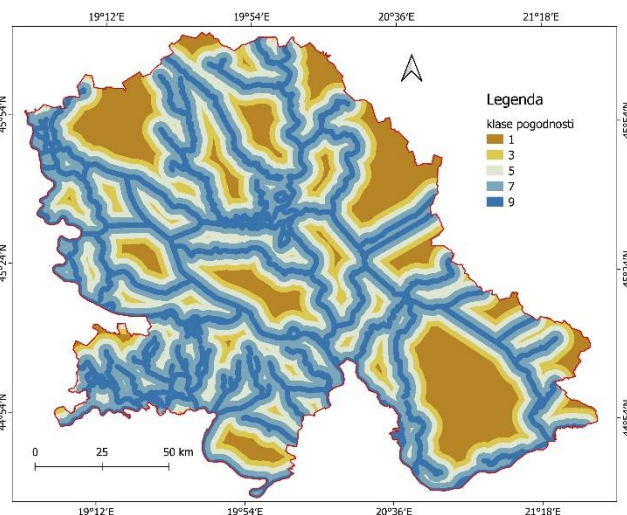
Kako bi se kreirala karta potencijalnih lokacija za navodnjavanje bilo je potrebno odrediti zone duž vodotoka, kao izvorišta vode, do najudaljenijih lokacija do kojih voda može da se sprovede i koristi za navodnjavanje. Ove zone prostiru se sa obe strane vodotoka. Prema Milovanovu (Milovanov, 1972) u Vojvodini je izvorište vode za navodnjavanje udaljeno najviše 4–5 km od krajnje parcele koja se navodnjava. Imajući to u vidu, urađena je klasifikacija na pet zona čija je prioritetnost određena na osnovu blizine vodotoka (karta 28). Parcele koje se nalaze najbliže vodotoku imaju najveći potencijal, dok one koje su najudaljenije (više od 7 km) imaju najmanji potencijal za navodnjavanje iz površinskih izvora vode. Za njih se smatra da se navodnjavaju iz nekog drugog izvora vode (npr. podzemne vode). Klasifikacija na pet zona i njihove težine date su u tabeli 23.

Tabela 23. Klase pogodnosti indikatora udaljenost od površinskog izvora vode

| Naziv indikatora | Klase pogodnosti | Ocena (x) |
|---|-------------------------|------------------|
| Udaljenost od površinskog izvora vode | 0–1 km | 9 |
| | 1–3 km | 7 |
| | 3–5 km | 5 |
| | 5–7 km | 3 |
| | > 7 km | 1 |



Karta 27. Udaljenost od površinskog izvora vode



Karta 28. Reklasifikovana karta udaljenosti od površinskog izvora vode prema pogodnosti za navodnjavanje

Izdašnost akviferi na teritoriji Vojvodine

Izdašnost akviferi se odnosi na sposobnost akviferi (podzemnog sloja koji zadržava i prenosi vodu) da oslobađa vodu u količini koja može zadovoljiti potrebe za vodom, kao što je navodnjavanje useva. Izdašnost akviferi zavisi od nekoliko faktora, od hidrogeoloških karakteristika (popustljivost i zasićenost vodom), od klimatskih faktora (padavine i temperatura), kao i od vegetacije i ljudskih aktivnosti. Visoka izdašnost akviferi može biti od ključnog značaja za održivo korišćenje vodnih resursa, dok niska produktivnost može dovesti do problema sa snabdevanjem vodom ili čak do iscrpljivanja akviferi. Iz tog razloga ovaj indikator ima ključnu ulogu za planiranje navodnjavanja iz podzemnih voda (Abesser & Lewis, 2015).

Vojvodina predstavlja područje koje je veoma bogato podzemnim vodama (Polomčić et al., 2011). Međutim, kad je u pitanju njihova iskoristivost za navodnjavanje na teritoriji države Srbije, treba voditi računa da se njihovo korišćenje odvija u skladu sa Zakonom o vodama što je prethodno opisano u poglavlju *Podzemne vode*. Stoga je u ovoj disertaciji dat predlog potencijalnog razvoja navodnjavanja baziranog na korišćenju dostupnih izvora podzemnih voda ne ulazeći u zakonske regulative, a na osnovu čega je kasnije potrebno odrediti da li su svi uslovi prema Zakonu o vodama zadovoljeni kako bi se ona zaista mogla koristiti u ove svrhe.

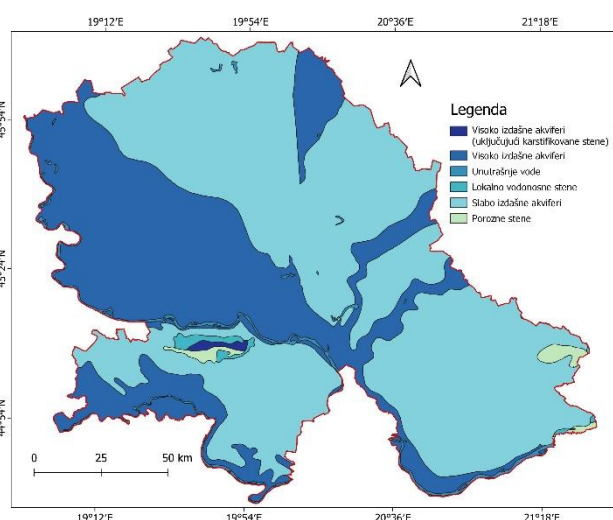
Reklasifikacija indikatora – Izdašnost akviferi

Izdašnost akviferi na teritoriji Vojvodine klasifikovana je u četiri klase (karta 30). Najvišu ocenu 9 dobili su visoko izdašni akviferi koji se prostiru na 37% teritorije Vojvodine i koji po svojoj izdašnosti mogu biti korišćeni u svrhu navodnjavanja. Najnižu ocenu dobili su slabo produktivni akviferi čiji je kapacitet znatno ograničen. Međutim, ovakve slabo izdašne akviferi

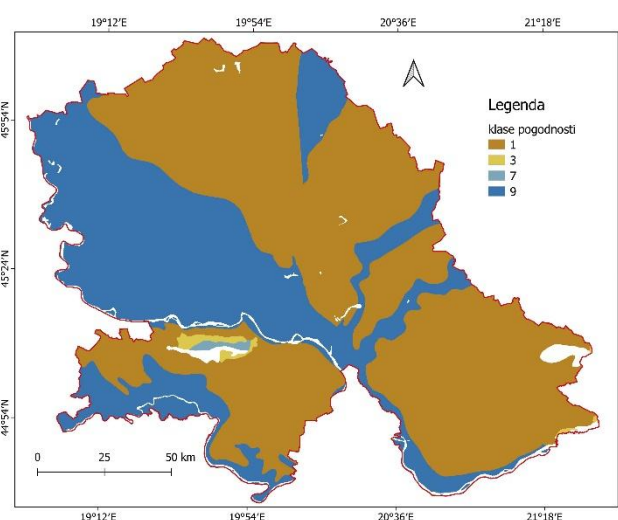
prostiru se na čak 62% istraživane teritorije. Druge dve klase, visoko izdašne akviferi i lokalno vodonosne stene prostiru se na svega nešto više od 1% teritorije. U tabeli 24 su prikazane klase i njihove ocene prema pogodnosti za navodnjavanje.

Tabela 24. Klase pogodnosti prema izdašnosti akviferi u Vojvodini

| Naziv indikatora | Klase pogodnosti | Ocena (x) |
|--------------------|---|-----------|
| Izdašnost akviferi | Visoko izdašne akviferi | 9 |
| | Visoko izdašne akviferi (uključujući karstifikovane stene) | 7 |
| | Lokalno vodonosne stene | 3 |
| | Slabo izdašne akviferi | 1 |



Karta 29. Izdašnost akviferi u Vojvodini



Karta 30. Reklasifikovana karta izdašnosti akviferi prema pogodnosti za navodnjavanje

Površine pod zalivnim sistemima

Indikator površine pod zalivnim sistemima predstavlja procentualnu zastupljenost navodnjavanih parcela u odnosu na ukupnu poljoprivrednu površinu u katastarskoj opštini. Ovaj indikator dobijen je klasifikacijom, odnosno detekcijom navodnjavanih parcela za period od tri godine, od 2020. do 2022. godine. Podatak o procentualnoj zastupljenosti površina sa instaliranim sistemima od značaja je za dalje planiranje razvoja navodnjavanja i to sa dva aspekta. U prvom slučaju može se reći da opštine koje imaju mali procenat zalivanih površina u odnosu na ukupnu poljoprivrednu površinu imaju veliki potencijal za razvoj navodnjavanja. Posmatrajući sa ovog aspekta cilj bi bio da se navodnjavanje razvije i u opštinama u kojima do sada ono nije dovoljno ili nije uopšte praktikovano. Posmatrano sa ekonomske strane i s ciljem malog ulaganja a veće dobiti, opštine koje već imaju instalirane sisteme i izgrađenu infrastrukturu mogu imati prednost kad je u pitanju razvoj navodnjavanja. Već instalirani kapaciteti mogu lakše da se obnove i da se poljoprivrednici koji ih koriste lakše odluče da

instaliraju nove, nego što je to slučaj tamo gde infrastrukture nema i poljoprivrednici nikad nisu koristili sisteme za navodnjavanje. S tim u vezi, ovaj indikator biće analiziran sa dva aspekta i to:

- » *Prioritet 1* – ako je krajnji cilj ulaganje u nove sisteme i razvoj poljoprivredne proizvodnje u svim opštinama u Vojvodini (karta 32);
- » *Prioritet 2* – ako je krajnji cilj manje ulaganje u već postojeću infrastrukturu (karta 33).

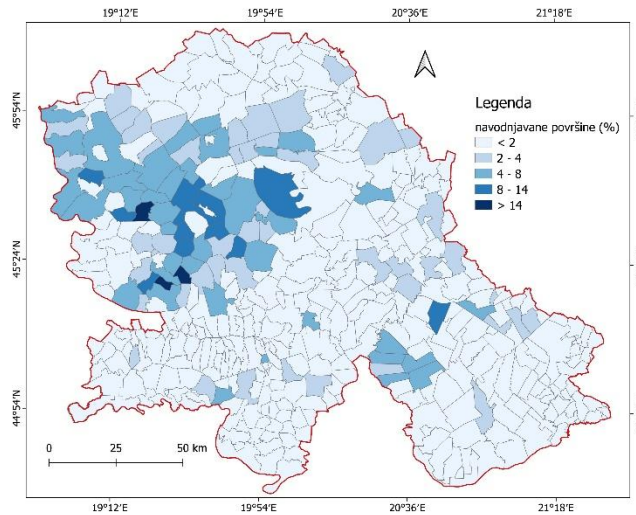
Reklasifikacija kriterijuma površine pod zalivnim sistemima

Procentualna zastupljenost navodnjavanih površina po katastarskim opštinama u Vojvodini reklasifikovana je na pet klasa (tabela 25). Ocenjivanje za ovaj kriterijum izvršeno je za svaki prioritet posebno. Prema statističkoj analizi, čak 69% katastarskih opština ima registrovano manje od 2% navodnjavanih površina. Svega 0,4% opština ima preko 15% površina pod zalivnim sistemima što i dalje predstavlja veoma nisku primenu navodnjavanja.

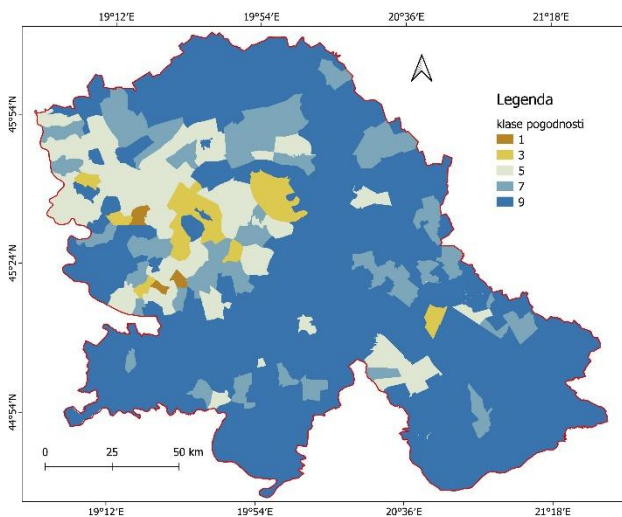
Tabela 25. Klase pogodnosti prema procentualnoj zastupljenosti površina pod zalivnim sistemima u Vojvodini

| Naziv indikatora | Klase pogodnosti | Ocena (x) | |
|--|------------------|-------------|-------------|
| | | Prioritet 1 | Prioritet 2 |
| Procentualna zastupljenost površina pod zalivnim sistemima | 0–2% | 9 | 1 |
| | 2–4% | 7 | 3 |
| | 4–8% | 5 | 5 |
| | 8–14% | 3 | 7 |
| | >14% | 1 | 9 |

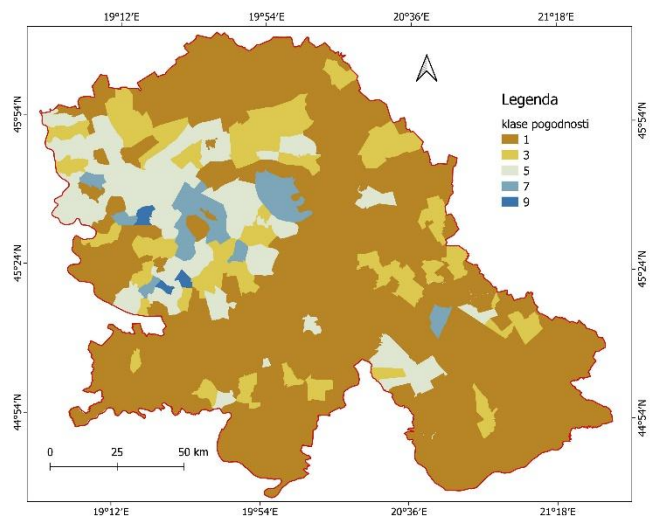
Posmatrajući ocene za *Prioritet 1* jasno je da katastarske opštine koje imaju manji procenat navodnjavanih površina dobijaju veće ocene, dok je u drugom slučaju, *Prioritet 2*, ocenjivanje obrnuto, tj. opštine koje imaju mali procenat navodnjavanih površina nisu prioritet jer su ulaganja velika.



Karta 31. Procentualna zastupljenost površina pod zalivnim sistemima u Vojvodini



Karta 32. Reklasifikovana karta procentualne zastupljenosti površina pod zalivnim sistemima prema pogodnosti za navodnjavanje – prioritet 1



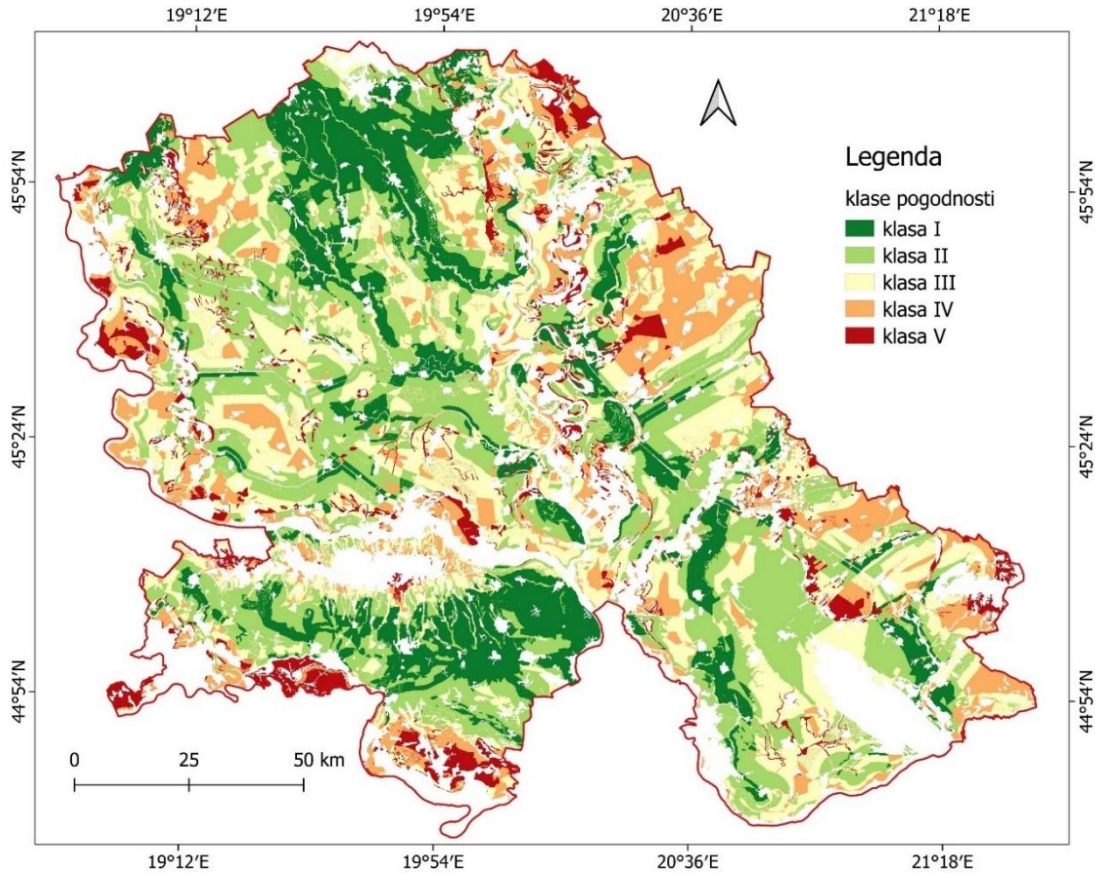
Karta 33. Reklasifikovana karta procentualne zastupljenosti površina pod zalivnim sistemima prema pogodnosti za navodnjavanje – prioritet 2

Potencijalne lokacije za navodnjavanje u Vojvodini

Množenjem težina podindikatora sa grupnim težinama indikatora i njihovim međusobnim sabiranjem dobijene su karte pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje na teritoriji Vojvodine. Pogodnosti za navodnjavanje su klasifikovane u pet klasa pri čemu *klasa I* predstavlja najpogodnije lokacije, dok *klasa V* predstavlja najmanje pogodne lokacije za navodnjavanje u Vojvodini.

Na karti 34 prikazane su potencijalne lokacije za navodnjavanje iz površinskih izvora vode, a prema prioritetu razvoja poljoprivrede i ulaganja u sisteme za navodnjavanje na celoj

teritoriji Vojvodine. Prema tome, u Vojvodini je najzastupljenija *klasa II* pogodnosti za navodnjavanje sa 31,63% zastupljenosti dok je najmanje zastupljena *klasa V* pogodnosti sa svega 6,24%.



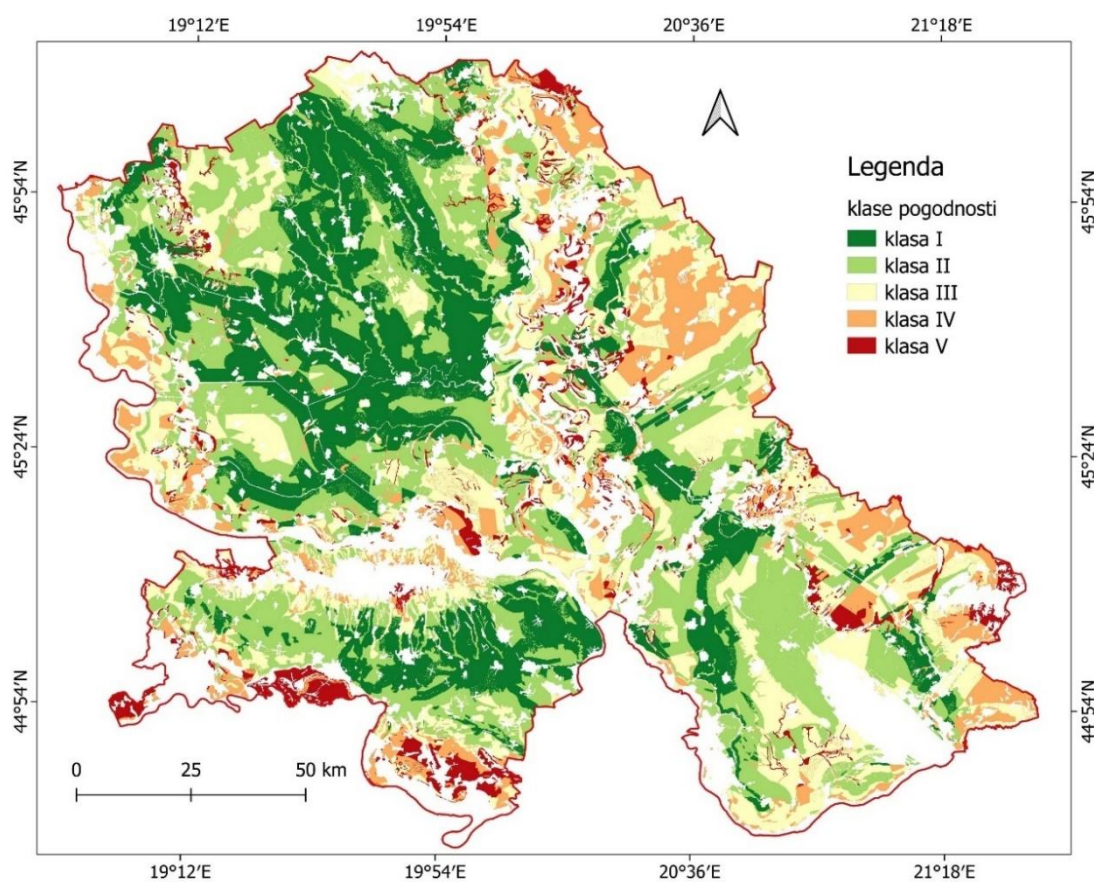
Karta 34. Potencijalne lokacije za navodnjavanje iz površinskih izvora vode prema prioritetu razvoja poljoprivrede na području Vojvodine

Analizirajući po regionima, uočava se da je *klasa II* pogodnosti za navodnjavanje najzastupljenija u Bačkoj sa 250 925 ha, dok je u Banatu najzastupljenija *klasa III* sa 214 137 ha. Srem je najviše pokriven *klasom I* i to sa 87 749 ha. U Bačkoj i Banatu najmanje je zastupljena *klasa V*, dok je u Sremu najmanje zastupljena *klasa IV* pogodnosti za navodnjavanje sa 23 941 ha (tabela 26).

Tabela 26. Površine dobijenih klasa potencijalnih lokacija za navodnjavanje (ha) po prioritetu razvoja poljoprivrede na području Vojvodine

| | Bačka | Banat | Srem |
|------------------------|--------------|--------------|-------------|
| Klasa I | 154 375 | 73 165 | 87 749 |
| Klasa II | 250 925 | 201 379 | 79 309 |
| Klasa III | 216 007 | 214 137 | 36 603 |
| Klasa IV | 95 673 | 142 754 | 23 941 |
| Klasa V | 35 677 | 43 449 | 25 792 |
| I i II klasa ukupno | 405 300 | 274 545 | 167 058 |

Na karti 35 prikazane su klase pogodnosti za navodnjavanje iz površinskih izvora vode prema prioritetu ulaganja u postojeću infrastrukturu. Poredeći kartu 34 i kartu 35 uočava se drugačija prostorna zastupljenost klasa u Vojvodini. Međutim, posmatrajući na nivou cele istraživane teritorije i dalje je najzastupljenija *klasa II* pogodnosti sa 32,91%, dok je *klasa V* najmanje zastupljena (4,82%).



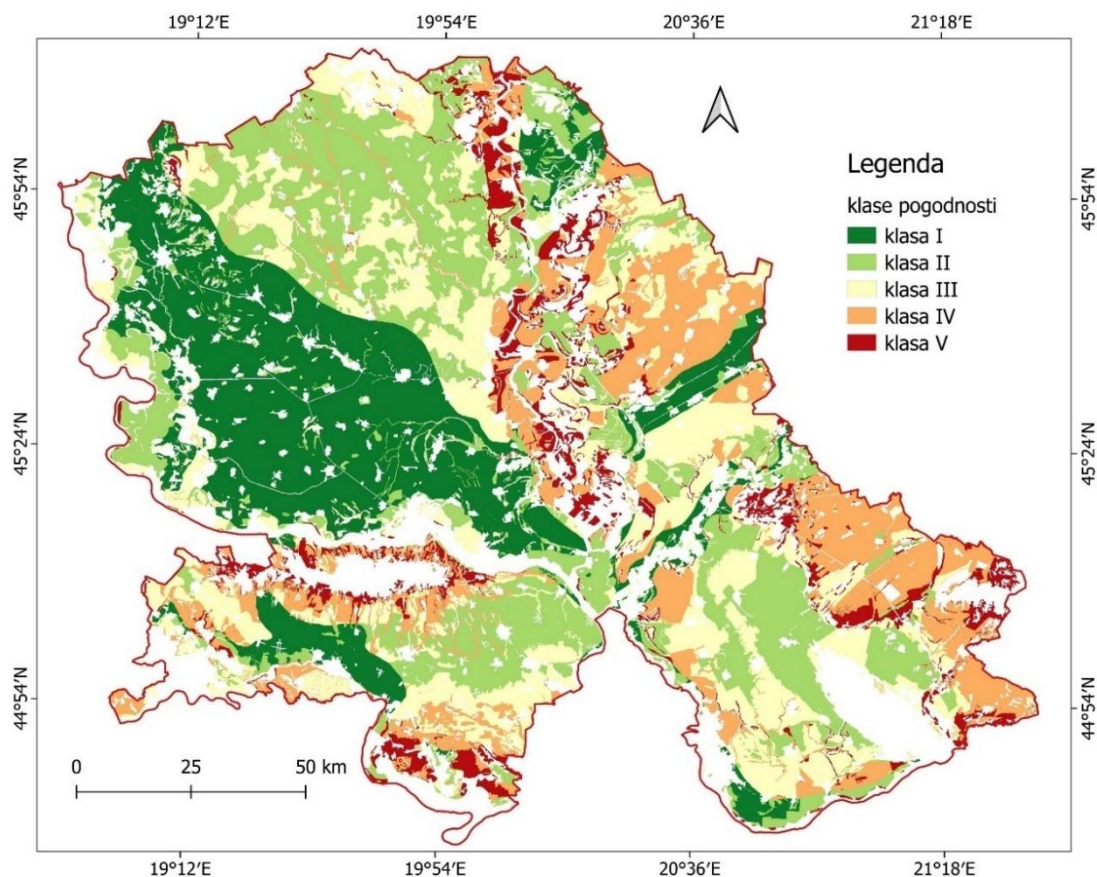
Karta 35. Potencijalne lokacije za navodnjavanje iz površinskih izvora vode prema prioritetu ulaganja u postojeću infrastrukturu

Ukoliko se posmatra na nivou regiona, vide se značajnije razlike između *prioriteta 1* i *prioriteta 2*. Uočljivo je da je u Bačkoj najzastupljenija *klasa I* pogodnosti za navodnjavanje sa pokrivenošću od 293 472 ha. U Banatu je najviše zastupljena *klasa III* sa 223 087 ha, dok je u Sremu dominantna *klasa II* sa 87 657 ha. Kao i u prethodnom slučaju, u Bačkoj i Banatu najmanje zastupljena klasa i po ovom prioritetu je *klasa V* (18 424 ha i 36 353 ha), dok je u Sremu najmanje zastupljena *klasa IV* (24 021 ha) (tabela 27).

Tabela 27. Površine dobijenih klasa potencijalnih lokacija za navodnjavanje (ha) po prioritetu ulaganja u postojeću infrastrukturu

| | Bačka | Banat | Srem |
|------------------------|--------------|--------------|-------------|
| Klasa I | 293 472 | 79 352 | 75 274 |
| Klasa II | 257 672 | 207 954 | 87 658 |
| Klasa III | 126 740 | 223 087 | 40 214 |
| Klasa IV | 56 748 | 128 148 | 24 021 |
| Klasa V | 18 424 | 36 353 | 26 278 |
| I i II klasa ukupno | 551 144 | 287 306 | 162 932 |

Karta 36 prikazuje potencijalne lokacije za navodnjavanje u Vojvodini korišćenjem podzemnih voda. Prema analizi, i u ovom slučaju najzastupljenija je *klasa II* sa 27,97%, a najmanje zastupljena *klasa V* sa 6,76%. Međutim, poredeći potencijalne lokacije za navodnjavanje iz površinskih izvora vode i podzemnih na nivou regiona, klase prioriteta se značajno menjaju.



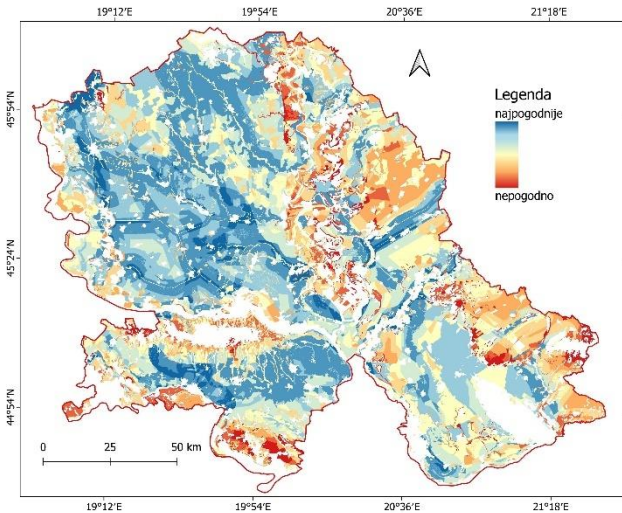
Karta 36. Potencijalne lokacije za navodnjavanje iz podzemnih izvora vode u Vojvodini

Prema tome, najveću pogodnost za navodnjavanje podzemnim vodama ima Bačka gde *klasa I* pogodnosti zauzima 324 452 ha. Banat ima znatno manje mogućnosti i najzastupljenija je *klasa IV* sa 204 123 ha, dok je *klasa I* najmanje zastupljena (54 432 ha). U Sremu najzastupljenija je *klasa II* sa 72 501 ha, a najmanje zastupljena *klasa V* sa 22 105 ha (tabela 28).

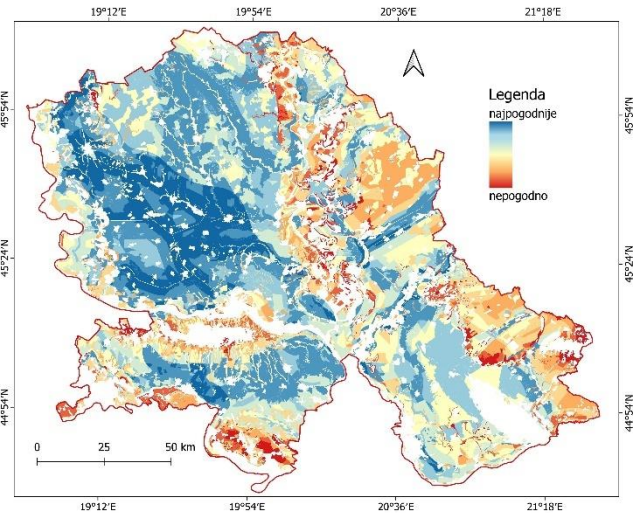
Tabela 28. Površine dobijenih klasa potencijalnih lokacija za navodnjavanje (ha) iz podzemnih izvora vode u Vojvodini

| | Bačka | Banat | Srem |
|------------------------|--------------|--------------|-------------|
| Klasa I | 324 452 | 54 432 | 30 948 |
| Klasa II | 229 871 | 167 937 | 72 501 |
| Klasa III | 139 237 | 183 510 | 70 891 |
| Klasa IV | 32 909 | 204 123 | 57 005 |
| Klasa V | 26 593 | 64 930 | 22 105 |
| I i II klasa ukupno | 554 323 | 222 369 | 103 449 |

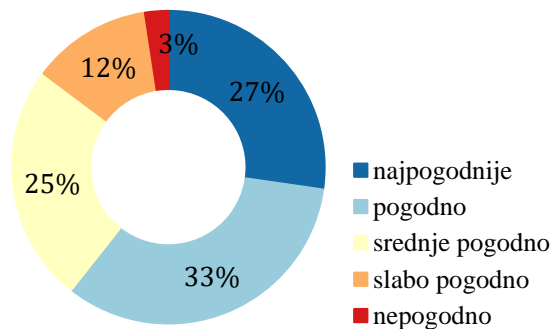
Preklapanjem karata pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje iz površinskih i podzemnih izvora vode, generisane su karta 37 i karta 38. Na njima su predstavljene lokacije, odnosno delovi Vojvodine koji imaju mogućnost korišćenja i površinskih i podzemnih voda te stoga imaju veliki potencijal za razvoj navodnjavanja. Nasuprot njima su lokacije koje imaju malu mogućnost korišćenja oba resursa vode za navodnjavanje.



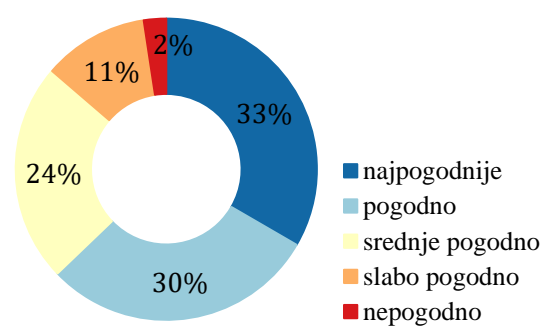
Karta 37. Potencijalne lokacije za navodnjavanje iz površinskih i podzemnih voda – prioritet 1



Karta 38. Potencijalne lokacije za navodnjavanje iz površinskih i podzemnih voda – prioritet 2



Grafikon 9. Procentualna zastupljenost klasa pogodnosti za navodnjavanje iz površinskih i podzemnih voda – prioritet 1



Grafikon 10. Procentualna zastupljenost klasa pogodnosti za navodnjavanje iz površinskih i podzemnih voda – prioritet 2

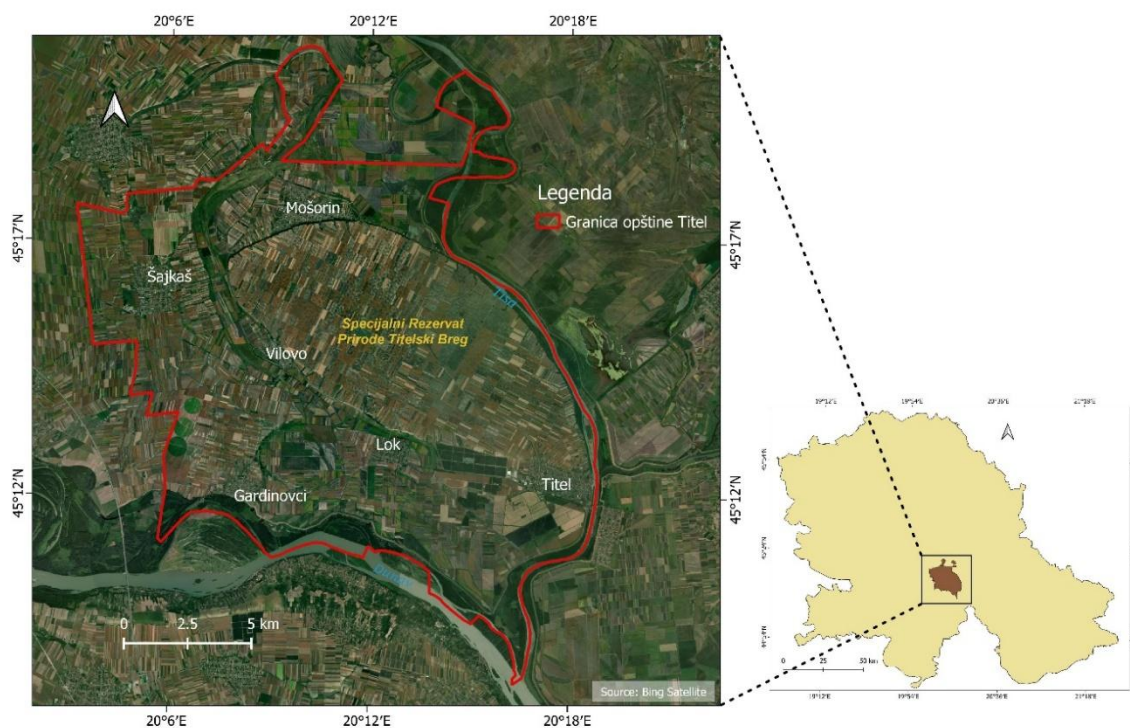
Oba grafikona 9 i 10 ukazuju na to da više od 50% poljoprivredne površine u Vojvodini može da se navodnjava i iz jednog i iz drugog izvora. Najveću mogućnost ima region Bačke, zatim Srem, dok najmanju mogućnost ima Banat.

ODREĐIVANJE ZONA POTENCIJALA PODZEMNIH VODA I MOGUĆNOST NJIHOVOG KORIŠĆENJA NA PRIMERU OPŠTINE TITEL

U ovom poglavlju biće predstavljeni rezultati istraživanja studije slučaja opštine Titel gde je primenjena metodologija FAHP za određivanje zona potencijala podzemnih voda (Radulović et al., 2022). Šest indikatora kao što su geološka struktura, geomorfološke karakteristike – reljef, tipovi zemljišta, nagib terena, način korišćenja zemljišta i gustina drenaže su pripremljeni, evaluirani od strane stručnjaka i integrisani u GIS softver gde je na kraju generisana karta zona potencijala podzemnih voda. Pre nego što se pređe na prikaz i analizu rezultata, najpre je neophodno dati kratak opis istraživane teritorije u ovoj studiji slučaja, odnosno kratak opis geografskih karakteristika opštine Titel.

Geografske karakteristike opštine Titel

Opština Titel nalazi se u Vojvodini, na jugoistoku Bačke u zoni ušća Tise u Dunav. Leži između geografskih širina $45^{\circ}08'02''$ S i $45^{\circ}21'31''$ S i geografskih dužina $20^{\circ}03'09''$ E i $20^{\circ}18'50''$ E i ima ukupnu površinu od 261 km^2 (karta 39). Nadmorske visine istraživanog područja se kreću od 70 m u aluvijalnoj ravni do 126 m na lesnom platou. Klimatske karakteristike su veoma slične onima u ostatku Vojvodine o čemu je ranije bilo reči. Istraživana teritorija je pretežno poljoprivrednog karaktera što predstavlja jedan od osnovnih razloga zašto je upravo ova opština izabrana kao studija slučaja za procenu potencijala podzemnih voda.



Karta 39. Istraživano područje – Opština Titel

Glavne hidrološke odrednice istraživanog područja predstavljaju reke Dunav i Tisa. Hidrogeološke karakteristike ovog prostora uslovile su snažnu povezanost površinskih i podzemnih voda. Naime, pomenute reke snažno utiču na podzemne vode jer između njih postoji intenzivna vodorazmena. Uzimajući u obzir navedeno, može se konstatovati da u nižim delovima istraživanog područja, u aluvijalnim ravnima reka, prevladava hidrološki, kao i hidrološko-antropogeni tip vodnog režima prouzrokovan hidrotehničkim i melioracionim radovima realizovanim tokom 18, 19. i 20. veka. Prema Stojšiću, u višim delovima opštine, na lesnom platou prevladava klimatski tip vodnog režima freatske izdani (Stojšić, 1994).

Rezultati vrednovanja indikatora

Nakon ocenjivanja od strane stručnjaka, odnosno donosilaca odluka (DO) urađena je provera konzistentnosti u ocenjivanju kako bi se istraživanje moglo nastaviti. U tabeli 29 prikazani su rezultati konzistentnosti (CR) kao i sopstvena vrednost matrice poređenja (λ_{max}) i indeks konzistentnosti (CI) postignuti nakon vrednovanja indikatora i podindikatora.

Tabela 29. Broj podindikatora (n), najveća sopstvena vrednost matrice poređenja (λ_{max}) indeks konzistentnosti (CI), slučajni indeks (RI) i stepen konzistentnosti (CR)

| Indikatori | n | λ_{max} | CI | RI | CR |
|------------------------------|-----|-----------------|-------|------|-------|
| Svi indikatori | 6 | 6,227 | 0,045 | 1,24 | 0,037 |
| Geomorfološke karakteristike | 10 | 10,390 | 0,043 | 1,49 | 0,029 |
| Zemljište | 25 | 25,710 | 0,030 | 1,66 | 0,018 |
| Geološka struktura | 13 | 13,215 | 0,018 | 1,56 | 0,011 |
| Način korišćenja zemljišta | 5 | 5,108 | 0,027 | 1,12 | 0,024 |
| Nagib terena | 5 | 5,447 | 0,112 | 1,12 | 0,099 |
| Gustina drenaže | 4 | 4,010 | 0,003 | 0,90 | 0,004 |

Na osnovu toga može se zaključiti da je visoka konzistentnost postignuta na nivou indikatora i iznosi 0,037. Kad je reč o podindikatorima, najveća konzistentnost postignuta je kod ocenjivanja *Gustine drenaže* i to sa 0,004 (tabela 29).

Analizirajući tabelu 30 jasno je da najveću težinu dobio indikator *Geomorfološke karakteristike*, 0,292. DO su smatrali su da je indikator *Zemljište* veoma važan kad je u pitanju određivanje zona potencijala podzemnih voda te su ovaj indikator ocenili sa 0,264. Nakon njega sledi *Geološka struktura* sa 0,212, pa indikator *Način korišćenja zemljišta* sa težinom 0,109. *Nagib terena* nosi nešto manju težinu od 0,073, dok su DO zaključili da je *Gustina drenaže* najmanje važan faktor i odredili su težinu od 0,051.

Tabela 30. Fazi težine za svaki podindikator (x_j) i indikator (w_i)

| Indikator | Podindikator | Težine podindikatora (x_j) | Težine indikatora (w_i) |
|------------------------------|---|--------------------------------|-----------------------------|
| Geomorfološke karakteristike | Depresije bara i močvara | 0,170 | 0,292 |
| | Korita reka | 0,157 | |
| | Aluvijalna ravan | 0,184 | |
| | Mrtvaje – veći napušteni meandri | 0,120 | |
| | Rečno ostrvo – ada | 0,100 | |
| | Niža rečna terasa | 0,090 | |
| | Viša rečna terasa | 0,065 | |
| | Područje umerenog spiranja i jaruženja | 0,037 | |
| | Proluvijalne lepeze | 0,041 | |
| | Lesna zaravan | 0,036 | |
| Zemljište | Aluvijalno zabareno zemljište | 0,067 | 0,264 |
| | Černozem karbonatni na aluvijalnim nanosima | 0,067 | |
| | Močvarno glejno zemljište | 0,065 | |
| | Aluvijalno alkalizovano zemljište | 0,067 | |
| | Aluvijalno ilovasto zemljište | 0,056 | |
| | Aluvijalno zemljište na ritskoj crnici | 0,056 | |
| | Livadska crnica karbonatna na lesnoj terasi | 0,056 | |
| | Černozem karbonatni (micelarni) na lesnom platou | 0,056 | |
| | Černozem karbonatni (micelarni) na lesnoj terasi | 0,056 | |
| | Livadska crnica sa znacima zaslanjivanja | 0,056 | |
| | Černozem beskarbonatni | 0,038 | |
| | Aluvijalno peskovito zemljište | 0,038 | |
| | Černozem slabo ogajnjačeni | 0,038 | |
| | Černozem ogajnjačeni na aluvijalnim nanosima | 0,045 | |
| | Ritska crnica beskarbonatna mestimično zaslanjena | 0,035 | |
| | Ritska crnica karbonatna | 0,026 | |
| | Deluvijalno karbonatno zemljište | 0,022 | |
| | Černozem na peskovitom lesu | 0,022 | |
| | Ritska crnica karbonatna peskovita | 0,022 | |
| | Ritska smonica | 0,022 | |
| | Ritska smonica zaslanjena | 0,021 | |
| | Ritska smonica zaslanjena i alkalizovana | 0,022 | |
| | Solončak | 0,018 | |
| Inicijalno zemljište na lesu | 0,018 | | |
| Solonjec | 0,011 | | |
| Geološka struktura | ap-w – Peskovito-glinoviti alevriti, alevritske gline, alevrit peskovi, glinoviti alevriti (facija povodnja) | 0,123 | 0,212 |
| | ap' – Alevritske gline, peskovito-glinoviti alevriti, alevrit peskovi (facija povodnja) | 0,131 | |
| | ap'' – Alevritske gline, peskovito-glinoviti alevriti, alevrit peskovi (facija povodnja) | 0,133 | |
| | Pl₂₊₃ – Gline, peskovi, peskovito-ugljevite gline i lignit | 0,074 | |
| | b – Mrke alevritske gline, alevriti peskovi (barska facija) | 0,074 | |
| | a-w – Alevrit peskovi, alevritsko-glinoviti peskovi, peskovito-glinoviti alevriti (facija korita) | 0,072 | |
| | a' – Peskovi, alevritski peskovi, peskovito-glinoviti alevriti (facija korita) | 0,074 | |
| | al – Peskovi, alevrit ili alevritski peskovi | 0,074 | |
| | a'' – Alevritski peskovi, alevritsko-glinoviti peskovi, peskovi (facija korita) | 0,074 | |
| | a_{1m} – Facija mrtvaja: gline i alevriti | 0,074 | |

| | | | |
|----------------------------|--|--------------|-------|
| | ls-w – Peskovito-glinoviti alevriti, alevritske gline, alevrit peskovi (facija lesoida) | 0,048 | |
| | d – Mrki alevriti - pretaloženi les i lesoid | 0,016 | |
| | ls-rw – Alevrit peskovi, peskoviti alevrit, peskovi, koluvijalni šljunak, feritizirane pogrebene zemlje (eolsko-koluvijalna facija) | 0,032 | |
| | Vodeni objekti | 0,419 | |
| | Močvare | 0,285 | |
| Način korišćenja zemljišta | Poljoprivredne površine | 0,179 | 0,109 |
| | Šume | 0,080 | |
| | Veštačke površine | 0,037 | |
| | Ravno (0–5°) | 0,730 | |
| Nagib terena | Blagi nagib (5–11°) | 0,21 | 0,073 |
| | Strmo (11–31°) | 0,06 | |
| | Veoma mala gustina (0–1 km/km²) | 0,496 | |
| Gustina drenaže | Mala gustina (1–2 km/km ²) | 0,284 | 0,051 |
| | Srednja gustina (2–3 km/km ²) | 0,143 | |
| | Veoma velika gustina (3–4 km/km²) | 0,077 | |

Ako se posmatra na nivou svakog indikatora posebno, odnosno podindikatora, u okviru *Geomorfoloških karakteristika* DO su smatrali da je najvažniji podindikator *Aluvijalna ravan* te ona nosi težinu od 0,184. Kod indikatora *Zemljište* se izdvajaju tri tipa koja nose najveću težinu od 0,067, a to su *aluvijalno zabareno zemljište*, *černozem karbonatni na aluvijalnim nanosima* i *aluvijalno alkalizovano zemljište*. U okviru indikatora *Geološka struktura* najveću težinu nose *ap-w – Peskovito-glinoviti alevriti, alevritske gline, alevrit ili alevritski peskovi, glinoviti alevriti – facija povodnja* (0,123). Kad je u pitanju *Način korišćenja zemljišta*, DO su zaključili da su *Vodeni objekti* najvažniji za pojavu i skladištenje podzemnih voda i tako je ovaj podindikator dobio težinu od 0,419, dok su *Veštačke površine* smatrane manje važnim i stoga nose težinu od 0,037. *Ravni tereni sa nagibom 0–5°* su najpogodniji za pojavu i skladištenje podzemnih voda te je ovaj indikator, u okviru *Nagiba terena*, ocenjen sa 0,730. Analizirajući indikator *Gustina drenaže*, DO su procenili da je najmanja gustina drenaže ujedno i najbolja za pojavu podzemnih voda. Tako podindikator *Veoma mala gustina (0–1 km/km²)* nosi najveću težinu (0,496).

GIS analiza indikatora

Geomorfološke karakteristike

Geomorfološke karakteristike nekog područja utiču na kontrolu kretanja podzemnih voda i zbog toga predstavljaju bitan faktor kada je u pitanju određivanje zona potencijala podzemnih voda (Rajaveni et al., 2017). Procesu poput erozije, sedimentacije i tektonskih aktivnosti oblikuju teren i utiču na formiranje i kapacitet akviferi. Na primer, rečne doline često imaju visoku poroznost i kapacitet skladištenja vode zbog naslaga šljunka i peska. Dublje doline mogu zadržavati velike količine vode koja se može koristiti za snabdevanje vodom. Poznavanje geomorfoloških karakteristika veoma je važno za razvoj i efikasno upravljanje resursima podzemnih voda nekog područja (Preeja et al., 2011). U predelu opštine Titel uočeno je trinaest reljefnih oblika prikazanih na karti 40.

Glavne reljefne jedinice u opštini predstavljaju aluvijalne ravni koje pokrivaju oko 38% površine, zatim lesna zaravan sa 30% pokrivenosti, viša rečna terasa sa 15% i niža rečna terasa sa 11%. Ostali oblici imaju znatno manju površinu, a to su područje umerenog spiranja i jaruženja (2,9%), proluvijalne lepeze (0,78%), depresije bara i močvara (0,27%), rečno ostrvo – ada (0,12%) i mrtvaje (0,04%).

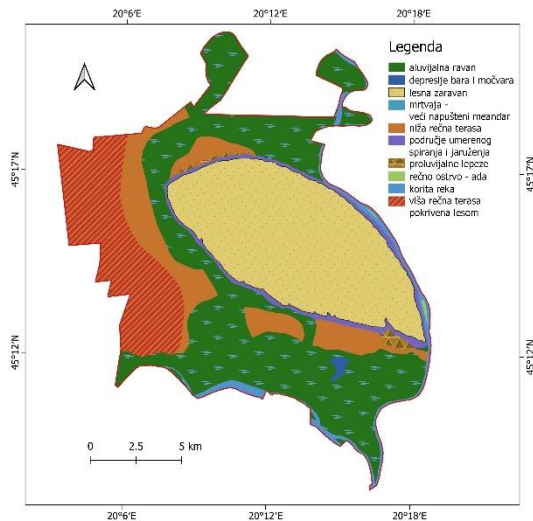
Ocenjivanje indikatora – Geomorfološke karakteristike

Prema prethodnim istraživanjima, aluvijalna ravan, mrtvaje, kao i depresija bara i močvara imaju veliki potencijal za zadržavanje podzemnih voda i stoga su ocenjene sa najvišom ocenom 9 (tabela 31).

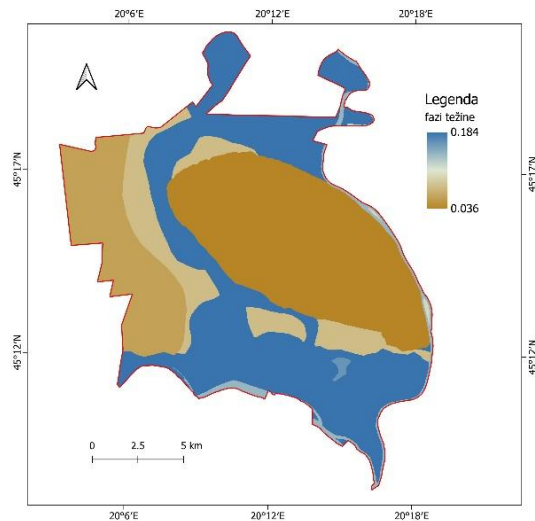
Tabela 31. Ocene stručnjaka za svaki podindikator u okviru indikatora Geomorfologija

| Naziv indikatora | Naziv podindikatora | Ocena |
|------------------------------|--|-------|
| Geomorfološke karakteristike | Aluvijalna ravan | 9 |
| | Korita reka | 9 |
| | Depresije bara i močvara | 9 |
| | Rečno ostrvo – ada | 8 |
| | Mrtvaja – veći napušteni meandar | 8 |
| | Niža rečna terasa | 7 |
| | Viša rečna terasa pokrivena lesom | 6 |
| | Proluvijalne lepeze | 5 |
| | Područje umerenog spiranja i jaruženja | 5 |
| | Lesna zaravan | 4 |

S druge strane, lesna zaravan sa pukotinama obezbeđuje sistem za brzi prenos vode do najdubljih slojeva, tako da ima najmanji značaj kada je u pitanju sakupljanje i pojava podzemnih voda. Ovaj podindikator ocenjen je sa 4. Reklasifikovane fazi ocene predstavljene su na karti 41.



Karta 40. Geomorfološke karakteristike opštine
Titel



Karta 41. Reklasifikovana geomorfološka karta
prema pogodnosti za pojavu podzemnih voda

Zemljište

Značajnu ulogu u infiltraciji vode imaju karakteristike zemljišta. Brzina infiltracije u velikoj meri zavisi od teksture zemljišta, kao i od hidrauličkih karakteristika zemljišta (Gumma & Pavelic, 2013; Preeja et al., 2011). Poroznost i propusnost zemljišta imaju veliku ulogu u kretanju podzemnih voda. Poroznost predstavlja sposobnost zemljišta da zadrži vodu u svojim porama, a propusnost se odnosi na sposobnost vode da se kreće kroz zemljište. Na taj način, zemljište koje je visoko porozno i u velikoj meri propusno omogućava slobodnije i lakše kretanje podzemnih voda. Takođe, zemljište s većim vodozračnim kapacitetom može zadržati više vode za podzemne rezerve.

Kako bi se uradila što detaljnija analiza zemljišta, u ovom istraživanju korišćeni su ne samo tipovi zemljišta nego i njihovi podtipovi i varijeteti. Pa tako posmatrano, u opštini Titel najrasprostranjeniji tip zemljišta je černozem koji pokriva oko 52% teritorije, dok njegov varijetet černozem karbonatni (micelarni) na lesnom platou zauzima najveći deo tog procenta, odnosno 28,16% istraživanog područja. Nakon černozema, drugi tip zemljišta po rasprostranjenju je ritska smonica sa oko 26%, a zatim ide i aluvijalno zemljište sa oko 12%. Ostalih 10% teritorije prekriveno je različitim varijetetima ritske crnice, livadske crnice, solonjecom, solončakom, deluvijalnim zemljištem, inicijalnim zemljištem na lesu kao i močvarno glejnim zemljištem (karta 42) (Nejgebauer i sar., 1971; Živković i sar., 1972).

Ocenjivanje indikatora – Zemljište

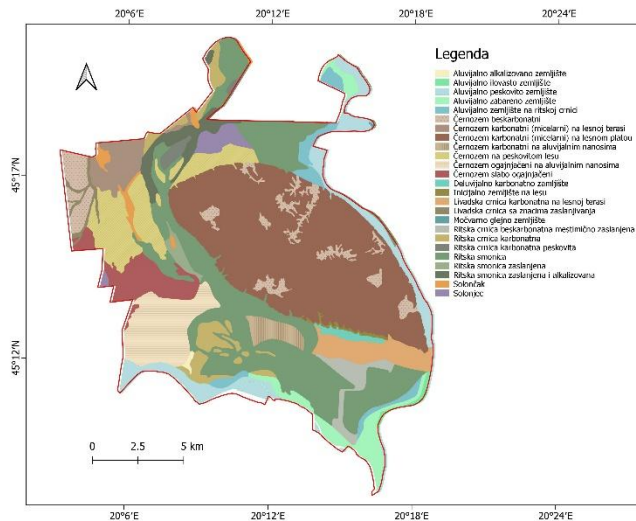
Dobar kapacitet zadržavanja vode imaju černozem, aluvijalna zemljišta, močvarno glejno zemljište, kao i livadska crnica te su ova zemljišta visoko ocenjena kada je u pitanju pojava podzemnih voda. Zemljišta kao što su solonjec, solončak, deluvijalno zemljište, inicijalno zemljište i ritska crnica imaju slabu sposobnost zadržavanja vode i ocenjene su nižim ocenama.

One su uglavnom locirane u nižim delovima proučavanog područja sa malom distribucijom na nižim i višim rečnim terasama.

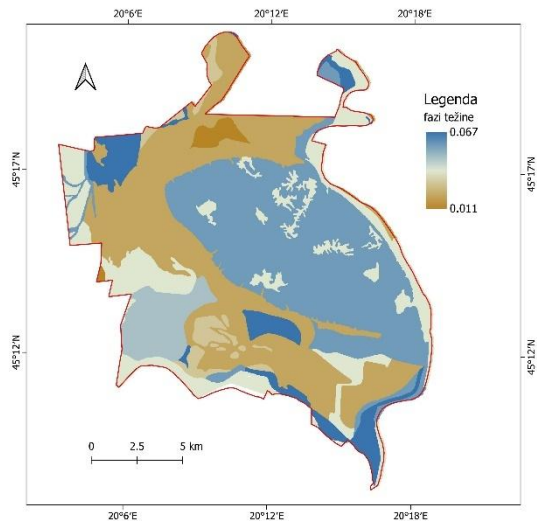
Tabela 32. Ocene stručnjaka za svaki podindikator u okviru indikatora Zemljište

| Naziv indikatora | Naziv podindikatora | Ocena |
|------------------------------|---|-------|
| Zemljište | Černozem karbonatni na aluvijalnim nanosima | 9 |
| | Aluvijalno zabareno zemljište | 9 |
| | Močvarno glejno zemljište | 9 |
| | Aluvijalno alkalizovano zemljište | 8 |
| | Aluvijalno zemljište na ritskoj crnici | 8 |
| | Livadska crnica karbonatna na lesnoj terasi | 8 |
| | Aluvijalno ilovasto zemljište | 8 |
| | Livadska crnica sa znacima zaslanjivanja | 8 |
| | Černozem karbonatni (micelarni) na lesnoj terasi | 8 |
| | Černozem karbonatni (micelarni) na lesnom platou | 8 |
| | Černozem ogajnjačeni na aluvijalnim nanosima | 7 |
| | Černozem beskarbonatni | 6 |
| | Aluvijalno peskovito zemljište | 6 |
| | Ritska crnica beskarbonatna mestimično zaslanjena | 6 |
| | Černozem slabo ogajnjačeni | 6 |
| | Ritska crnica karbonatna | 5 |
| | Ritska smonica zaslanjena i alkalizovana | 4 |
| | Černozem na peskovitom lesu | 4 |
| | Ritska crnica karbonatna peskovita | 4 |
| | Deluvijalno karbonatno zemljište | 4 |
| | Ritska smonica zaslanjena | 4 |
| | Ritska smonica | 4 |
| Solončak | 3 | |
| Inicijalno zemljište na lesu | 3 | |
| Solonjec | 1 | |

Izvor: Nejgebauer i sar., 1971.



Karta 42. Tipovi, podtipovi i varijeteti zemljišta zastupljenih u opštini Titel



Karta 43. Reklasifikovana karta zemljišta prema pogodnosti za pojavu podzemnih voda

Geološka struktura

Geologija terena ima veoma značajnu ulogu u pojavi i distribuciji podzemnih voda jer određuje karakteristike i svojstva podzemnih formacija ili stena kroz koje voda prolazi i u kojima se akumulira (Preeja et al., 2011; Rajaveni et al., 2017). Geološka građa određuje prisustvo i karakteristike vodonosnih slojeva, poznatih kao akviferi. Akviferi su porozni slojevi sedimenata koji omogućavaju infiltraciju i skladištenje podzemnih voda. Različiti sedimenti imaju različitu propusnost i kapacitet za skladištenje vode. Propusnost geoloških formacija je ključna karakteristika koja utiče na to koliko brzo i efikasno voda može da se infiltrira u podzemne slojeve i koliko brzo se može iz njih izvući. Stene sa visokom propusnošću, kao što su pesak i šljunak, omogućavaju bržu infiltraciju i skladištenje vode. Takođe, geološke pukotine ili rasedi u stenama mogu biti ključni putevi za infiltraciju vode jer oni često povezuju površinske i podzemne vode, omogućavajući skladištenje i cirkulaciju vode.

U oblasti proučavanja dominiraju kvartarni sedimenti. Pleistocenski sedimenti (ls-w, ap-w, a-w, ls-rw) i sedimenti holocena (al, b, ap'', a, a', a₁m, d) koji se javljaju u obliku peskovitog glinenog alevrita, alevrita peskovitog, šljunka, alevritne gline, mrke gline i lesa su najrasprostranjeniji i prekrivaju 56% teritorije. Na jugu opštine javljaju se sedimenti srednjeg-najgornjeg pliocena (Pl₂₊₃) sa 5,97% rasprostranjenosti (karta 44).

Ocenjivanje indikatora – Geološka struktura

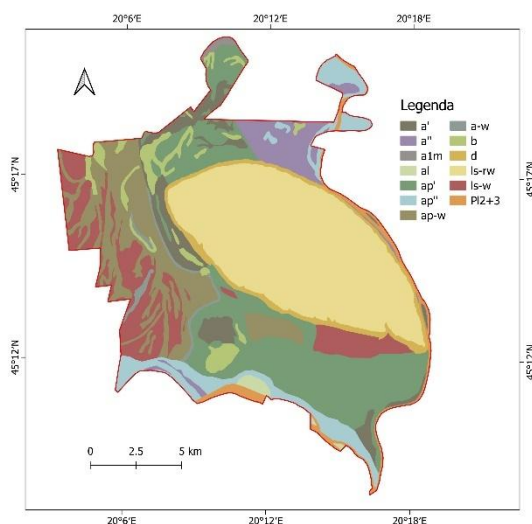
Geološke jedinice u opštini Titel ocenjene su relativno visokim ocenama zbog njihovog značaja kada je u pitanju zadržavanje vode i pojava podzemnih voda (Tabela 33).

Tabela 33. Ocene stručnjaka za svaki podindikator u okviru indikatora Geologija

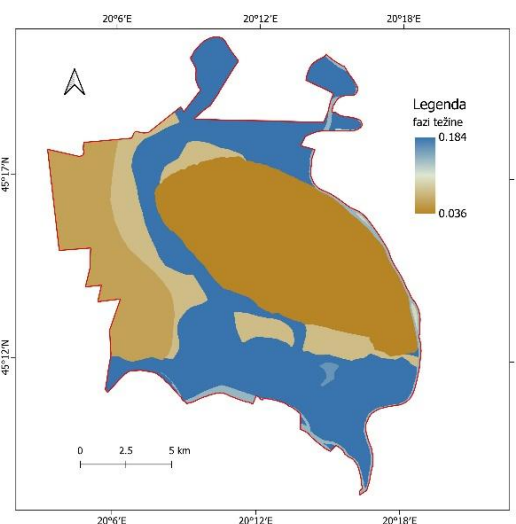
| Naziv indikatora | Oznaka | Naziv podindikatora | Ocena |
|--------------------|-------------------|--|-------|
| Geološka struktura | ap" | Alevritske gline, peskovito-glinoviti alevriti, alevrit peskovi (facija povodnja) | 9 |
| | a-w | Alevrit peskovi, alevritsko-glinoviti peskovi, peskovito-glinoviti alevriti (facija korita) | 9 |
| | ap-w | Peskovito-glinoviti alevriti, alevritske gline, alevrit peskovi, glinoviti alevriti (facija povodnja) | 9 |
| | ap' | Alevritske gline, peskovito-glinoviti alevriti, alevrit peskovi (facije povodnja) | 9 |
| | Pl ₂₊₃ | Šljunkovi, alevrit peskovi, peskovito-glinoviti alevriti, alevritske gline | 8 |
| | al | Peskovi, alevrit peskovi | 8 |
| | a' | Peskovi, alevritski peskovi, peskovito-glinoviti alevriti (facija korita) | 8 |
| | a _{1m} | Gline i alevriti (facija mrtvaja) | 8 |
| | b | Mrke alevritske gline, alevrit peskovi (barska facija) | 8 |
| | a" | Alevritski peskovi, alevritsko-glinoviti peskovi, peskovi (facija korita) | 8 |
| | ls-w | Peskovito-glinoviti alevriti, alevritske gline, alevrit peskovi (facija lesoida) | 7 |
| | d | Mrki alevriti – pretaloženi les i lesoid | 6 |
| | ls-rw | Alevrit peskovi, peskoviti alevriti, peskoviti koluvijalni šljunak, fertizirane podrebnne zemlje (eolsko-koluvijalna facija) | 4 |

Izvor: <https://geoliss.mre.gov.rs/prez/OGK/RasterSrbija/>

Sedimenti facije povodnja i facije korita imaju najveći potencijal za skladištenje podzemnih voda i zbog toga su od strane stručnjaka ocenjene sa najvišom ocenom 9. Najnižu ocenu (4) dobili su sedimenti eolsko-koluvijalne facije jer imaju najmanji kapacitet za skladištenje podzemnih voda. Reklasifikovane fazi ocene predstavljene su na karti 45.



Karta 44. Geološke karakteristike opštine Titel



Karta 45. Reklasifikovana geološka karta prema pogodnosti za pojavu podzemnih voda

Način korišćenja zemljišta

Način korišćenja zemljišta predstavlja važan faktor kada je u pitanju određivanje potencijala podzemnih voda (Shaban et al., 2006). Ovaj indikator utiče na sposobnost zemljišta da upija padavine. Ako je zemljište prekriveno urbanim površinama koje u velikoj mjeri prekriva asfalt, voda ne može prodrati u zemljište već će površinski oticati u neki drugi recipijent (reku, jezero), infiltrirati se do kanalizacije ili ispariti. Nasuprot tome, u zemljištu prekrivenim vegetacijom odvija se sporija i prirodija infiltracija vode u podzemlje čime se doprinosi prihranjivanju podzemnih voda. Takođe, prekomerna izgradnja na površini zemljišta može dovesti do smanjenja nivoa podzemnih voda i degradacije vodonosnih slojeva. Stoga, analiza načina na koji se koristi određeno zemljište, odnosno u koje svrhe, neophodna je da bi se kvantifikovalo koliki je potencijal za skladištenje vode jer u zavisnosti od toga koji je tip iskoristivosti, zavisi i način i količina oticanja, infiltracija, kao i zapremina i prihranjivanje podzemnih voda (Dinesh Kumar et al., 2007; Ibrahim-Bathis & Ahmed, 2016; Manap et al., 2013).

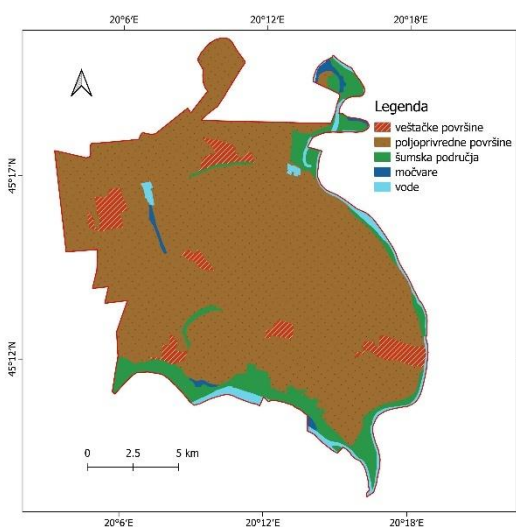
Prema karti 46 uočljivo je da daleko najveću površinu u opštini zauzima poljoprivredno zemljište, oko 82% (215,17 km²), zatim šumske površine 9% (23,71 km²), veštačke površine 5% (12,91 km²), vodna tela 3% (7,17 km²) i močvare 1% (1,86 km²).

Ocenjivanje indikatora – Način korišćenja zemljišta

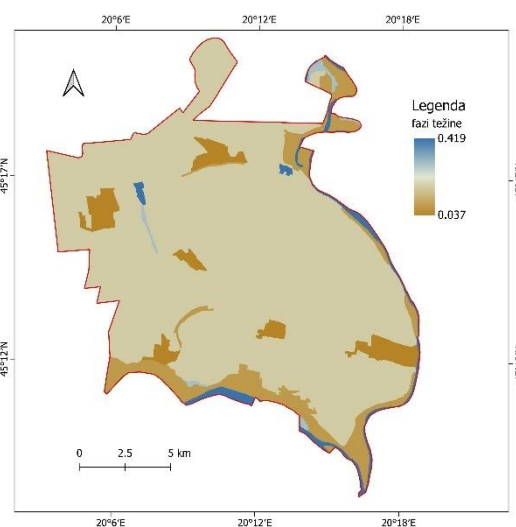
Ocenjivanje ovog indikatora urađeno je takođe dodeljivanjem ocena od 1–9 od strane stručnjaka. Tako su vodene površine dobile najveću ocenu 9, dok su veštačke površine smatrane najmanje važnim za pojavu podzemnih voda i stoga ocenjene sa ocenom 2. Šume su ocenjene ocenom 5, poljoprivredne površine sa 7, dok su močvarna područja dobila ocenu 8.

Tabela 34. Ocene stručnjaka za svaki podindikator u okviru indikatora Način korišćenja zemljišta

| Naziv indikatora | Naziv podindikatora | Ocena |
|----------------------------|-------------------------|-------|
| Način korišćenja zemljišta | Vodeni objekti | 9 |
| | Močvare | 8 |
| | Poljoprivredne površine | 7 |
| | Šume | 5 |
| | Veštačke površine | 2 |



Karta 46. Način korišćenja zemljišta u opštini Titel



Karta 47. Reklasifikovana karta iskoristivosti zemljišta prema pogodnosti za pojavu podzemnih voda

Nagib terena

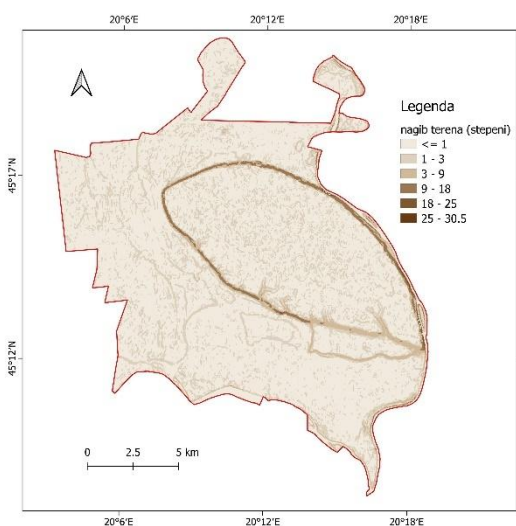
Nagib terena igra ključnu ulogu u procesu infiltracije vode, tj. sposobnosti vode da prođe u zemljište i sedimente. On određuje brzinu kojom atmosferske padavine površinski otiču i u značajnoj meri određuju intenzitet infiltracije vode u dublje slojeve zemljišta i sedimenata. Na padinama sa većim nagibom voda se obično brže kreće, što smanjuje mogućnost infiltracije i skladištenja podzemnih voda. Takođe, brz protok vode može povećati eroziju površine zemljišta i otežati infiltraciju. Voda može nositi sa sobom gornji sloj zemljišta i mulja, čime se stvara nepropusna površina i otežava infiltracija. Nasuprot tome, na padinama sa blagim nagibom ili ravnom terenu, padavinske vode sporije površinski otiču i intenzivnije se upiju u zemljište, što doprinosi punjenju podzemnih vodenih rezervoara (Arulbalaji et al., 2019; Das, 2017). Prema karti 48, na istraživanom području najrasprostranjeniji je ravničarski teren sa 95,81%, dok veoma strmi nagibi zauzimaju samo 0,04% teritorije.

Ocenjivanje indikatora – Nagib terena

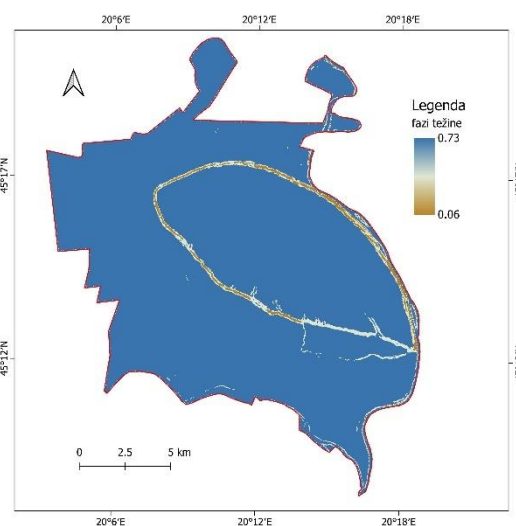
Na karti 48 prikazan je nagib terena u opštini Titel izražen u stepenima. Prema Foksu i saradnicima (Fox et al., 1997), stopa infiltracije opada do 11,5° nagiba, a daljim povećanjem nagiba infiltracija ostaje ista. Uzimajući to u obzir, nagib terena u opštini klasifikovan je u tri kategorije: 0–5° (ravno), 5–11° (blagi nagib), 11–31° (strmo) (karta 49). Kako su ravni tereni najpogodniji za infiltriranje atmosferskih padavina i skladištenje podzemnih voda tako je ovaj podindikator dobio najveću ocenu 9, dok su strmi tereni zbog svojih nepovoljnih karakteristika za pojavu podzemnih voda ocenjeni sa 1 (tabela 35).

Tabela 35. Ocene stručnjaka za svaki podindikator u okviru indikatora Nagib terena

| Naziv indikatora | Naziv podindikatora | Ocena |
|------------------|---------------------|-------|
| Nagib terena | Ravno | 9 |
| | Blagi nagib | 5 |
| | Strmo | 1 |



Karta 48. Nagib terena u opštini Titel



Karta 49. Reklasifikovana karta nagiba terena prema pogodnosti za pojavu podzemnih voda

Gustina drenaže

Kretanje i infiltracija vode zavisi od gustine drenaže nekog područja (Andualet & Demeke, 2019) te ona predstavlja bitan indikator za procenu potencijala podzemnih voda. Povećana gustina drenaže, posebno ako se koristi za kontrolu podzemnih voda ili za uklanjanje viška vode sa površine zemljišta, može sniziti nivo podzemnih voda. Drenaža može ubrzati odvodnjavanje viška vode iz tretiranog područja, što može rezultirati smanjenjem potencijala podzemnih voda u tom području. Takođe, gusta drenaža može promeniti hidrološki režim, tj. prirodne obrasce tokova vode u zemljištu, ali i dovesti do degradacije podzemnih resursa što dugoročno može da se odrazi na smanjenje potencijala podzemnih voda. S druge strane, mala

gustina drenaže vodi ka visokoj infiltraciji i stoga više doprinosi potencijalu podzemnih voda. U takvim oblastima voda ima tendenciju da sporije napušta zemljište ili da se duže zadržava što može rezultirati povećanim nivoom podzemnih voda, posebno u periodima obilnih padavina (Arulbalaji et al., 2019; Ganapuram et al., 2009).

U ovom radu, karta gustine drenaže izražena u km/km^2 dobijena je korišćenjem DEM podataka. Proučavano područje je podeljeno na mrežu gde svaka ćelija ima površinu od 1 km^2 koja je korišćena kako bi se izračunala ukupna dužina kanala po ćeliji. Dalje, deljenjem ukupne dužine svih kanala u slivu sa ukupnom površinom sliva (Murthy, 2000), generisana je karta gustine drenaže. Ovaj proces je urađen u GIS okruženju koristeći formulu:

$$DD = \sum L_{ws} / A_{ws}$$

gde je DD – gustina drenaže, L_{ws} – ukupna dužina toka u slivu, A_{ws} – površina sliva.

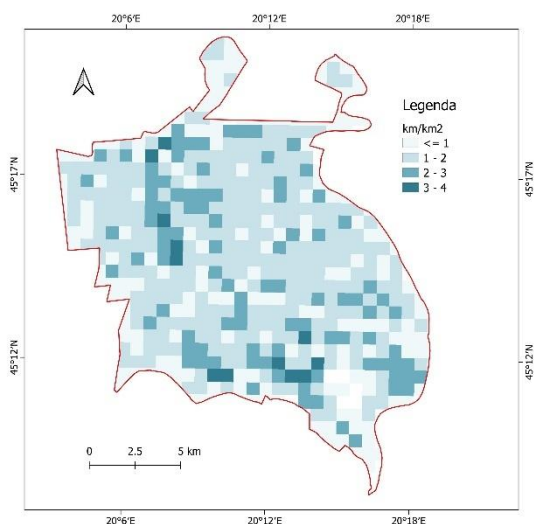
Ocenjivanje indikatora – Gustina drenaže

Prema karti 51 gustina drenaže na teritoriji opštine Titel klasifikovana je na četiri klase: veoma mala ($<1 \text{ km}/\text{km}^2$) koja zauzima 31,79% teritorije opštine, mala ($1-2 \text{ km}/\text{km}^2$) sa pokrivenošću od 47,79%, srednja ($2-3 \text{ km}/\text{km}^2$) sa 17,6%, i veoma velika ($3-4 \text{ km}/\text{km}^2$) koja pokriva 2,82% teritorije.

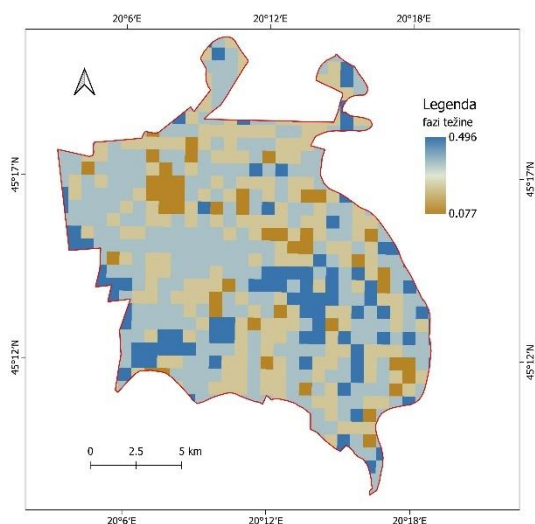
Tabela 36. Ocene stručnjaka za svaki podindikator u okviru indikatora Gustina drenaže

| Naziv indikatora | Naziv podindikatora | Oцена |
|------------------|---|-------|
| Gustina drenaže | Veoma mala gustina ($0-1 \text{ km}/\text{km}^2$) | 9 |
| | Mala gustina ($1-2 \text{ km}/\text{km}^2$) | 7 |
| | Srednja gustina ($2-3 \text{ km}/\text{km}^2$) | 5 |
| | Veoma velika gustina ($3-4 \text{ km}/\text{km}^2$) | 3 |

Na osnovu klasifikacije urađeno je ocenjivanje od strane stručnjaka gde je podindikator Veoma mala gustina drenaže ocenjena sa najvišom ocenom 9, dok je podindikator Veoma velika gustina drenaže dobio najmanju ocenu 3, jer ima najmanji značaj kad je reč o pojavi podzemnih voda.



Karta 50. Gustina drenaže u opštini Titel



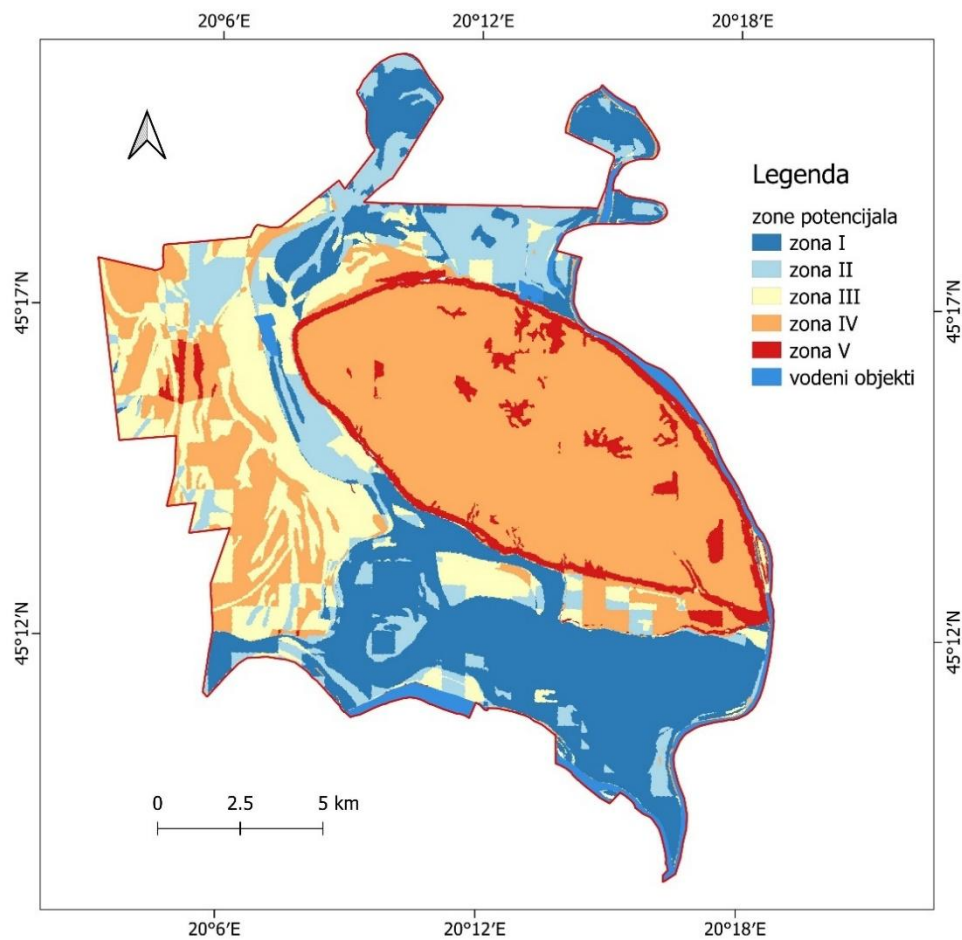
Karta 51. Reklasifikovana karta gustine drenaže prema pogodnosti za pojavu podzemnih voda

Potencijal podzemnih voda u opštini Titel

Karta zona potencijala podzemnih voda u opštini Titel generisana je integracijom šest geoprostornih indikatora i klasifikovana u pet zona: *zona I* – veoma dobar potencijal, *zona II* – dobar potencijal, *zona III* – srednji potencijal, *zona IV* – loš potencijal i *zona V* – veoma loš potencijal (karta 52).

Tabela 37. Klasifikacija zona potencijala podzemnih voda u opštini Titel

| Zone potencijala podzemnih voda | Površina | |
|---------------------------------|-----------------|-------|
| | km ² | % |
| Zona I – veoma dobar potencijal | 65,91 | 25,68 |
| Zona II – dobar potencijal | 31,05 | 12,10 |
| Zona III – srednji potencijal | 38,95 | 15,18 |
| Zona IV – loš potencijal | 106,09 | 41,34 |
| Zona V – veoma loš potencijal | 14,63 | 5,7 |



Karta 52. Zone potencijala podzemnih voda u opštini Titel

Posmatrajući kartu 52, uočljivo je da opština Titel ima 25,68% teritorije sa vrlo dobrim potencijalom podzemnih voda. Aluvijalna ravan i severni deo više rečne terase pripadaju *zoni II* potencijala i pokrivaju 12,10% istraživanog područja, dok 15,18% područja pripada *zoni III*. Nasuprot tome, loš potencijal podzemnih voda ima 41,34% opštine (*zona IV*), dok 5,7% pripada *zoni V* potencijala i ona je pretežno identifikovana na lesnoj zaravni kao i u gradskim oblastima.

DISKUSIJA

PRECIZNOST KLASIFIKACIJE U RAZLIČITIM VREMENSKIM USLOVIMA

Klasifikovanje navodnjavanih i nenavodnjavanih površina urađeno je za područje umereno-kontinentalne klime tokom tri godine, 2020. kada su zabeležene optimalne količine padavina i 2021. i 2022. godine kada je zabeležen deficit padavina naročito u sezoni navodnjavanja (april – septembar). U umereno-kontinentalnim područjima klasifikacija navodnjavanih i nenavodnjavanih površina predstavlja izazov zbog veoma velike sličnosti spektralnog odziva sa satelita u ove dve klase (Shahriar Pervez et al., 2014). Kad vremenski uslovi u toku vegetacione sezone nisu okarakterisani kao izrazito sušni, rast biljaka na navodnjavanim i nenavodnjavanim parcelama može da bude prilično sličan. Samim tim je njihovo razlikovanje dosta otežano. To je bio slučaj u 2020. godini kada je zabeleženo da je pala iznad prosečna količina padavina u toku sezone navodnjavanja (Climate Data Store, n.d.) gde su time biljke imale dovoljno vode za rast u ključnom vegetacionom periodu. U tim slučajevima nije potrebno primenjivati navodnjavanje jer biljke imaju dovoljno vlage u korenu. Time i navodnjavana i nenavodnjavana polja dobijaju istu količinu vlage i imaju sličan tempo rasta. Ovakav slučaj može da izazove konfuziju u samoj klasifikaciji, oteža modelu da nauči i razlikuje ove dve klase što na kraju potencijalno rezultira ostvarivanjem lošijih rezultata klasifikovanja. To je vidljivo i kroz rezultate klasifikacije za 2020. godinu (kukuruz: OA = 0,69; soja: OA = 0,75, šećerna repa: OA = 0,84). Pored nesigurnosti klasifikatora, razlog tako malo detektovanih parcela u ovoj godini (1,3%) može biti upravo posledica vremenskih uslova koji nisu iziskivali primenu navodnjavanja. Takođe, treba uzeti u obzir da su možda tokom ove godine bili uzgajani i neki drugi usevi koji nisu od interesa u ovom istraživanju.

Sa druge strane, performanse modela za 2022. godinu (kukuruz: OA = 0,78; soja: OA = 0,86; šećerna repa: OA = 0,86) pokazale su da je klasifikovanje lakše u sušnim godinama gde se rast biljaka na navodnjavanim i nenavodnjavanim parcelama značajnije razlikuje. Tada je detektovano 3,35% navodnjavanih površina što govori o izraženijoj potrebi za navodnjavanjem u ovoj godini. Modeli za 2021. godinu imaju nešto lošije performanse, naročito model za šećernu repu (OA = 0,70), što ukazuje na nešto kompleksniju klasifikaciju navodnjavanih i nenavodnjavanih parcela ovog useva čak i u sušnim godinama. Ovakva analiza rezultata po godini ukazuje da modeli u umereno-kontinentalnim regionima bolje funkcionišu tokom sušnih godina. Ipak, validacija modela sa preciznošću od 76% za 2022. godinu ukazuje na to da se ovi modeli mogu koristiti za detekciju navodnjavanih i nenavodnjavanih površina kukuruza, soje i šećerne repe čime je potvrđena *prva hipoteza* koja se odnosi na to da se *daljinska detekcija, kao vid geoprostorne analize, može se uspešno koristiti za monitoring navodnjavanih površina pod usevima kukuruza, soje i šećerne repe na području AP Vojvodine* kao i *treća hipoteza* a to je da se identifikovanje različitih sistema za navodnjavanje postiže primenom daljinske detekcije.

Analizom rezultata modela obučeni na zajedničkom skupu podataka sve tri kulture dolazi se do zaključka da je klasifikacija navodnjavanih i nenavodnjavanih parcela moguća tokom sušnih godina. Takav model je dao iste rezultate ukupne tačnosti kao i odvojeni modeli (2021: OA = 0,78; 2022: OA = 0,83) i stoga bi mogao biti dobro rešenje za sušne godine gde je modelu

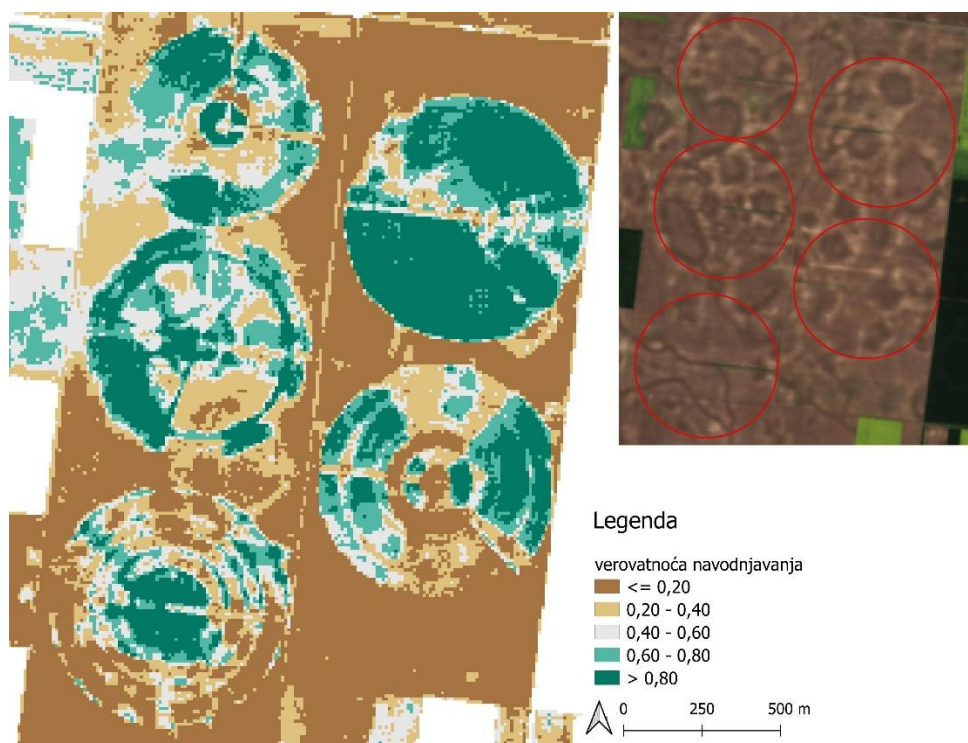
lakše razlikovati različite vrste useva. Međutim, u godinama sa više padavina, model je pokazao niže performanse (2020: jedan model OA = 0,69; odvojeni modeli: OA = 0,76) jer je razlikovanje navodnjavanih i nenavodnjavanih parcela znatno teže. Zbog toga ovo istraživanje predlaže korišćenje jedinstvene metodologije, odnosno obučavanje odvojenih modela za svaku kulturu, koja ne zavisi od vremenskih uslova. Naravno, treba uzeti u obzir da je ovakav pristup moguć jedino u slučajevima gde postoji karta klasifikovanih useva, pa se i sama klasifikacija navodnjavanih i nenavodnjavanih parcela vrši u okviru prethodno definisanih maski kultura (opisano u poglavlju *Karte klasifikacije kultura*). U suprotnom, za istraživanja koja nemaju podatke o prostornom rasporedu useva, detekcija navodnjavanja bi se ipak mogla uraditi, ali će tačnost kartiranja biti nešto niža (C. Zhang et al., 2022).

Na osnovu prethodno iznetog može se zaključiti da metoda slučajne šume može uspešno da se koristi za detekciju navodnjavanih i nenavodnjavanih useva kad je u pitanju sušna godina, dok kad je u pitanju godina sa višim količinama padavina ova metoda ima izvesnih poteškoća. S obzirom na to, zaključeno je da je *hipoteza 4* koja se odnosi na to da je *najpreciznija metoda klasifikovanja navodnjavanih i nenavodnjavanih površina je metoda mašinskog učenja – slučajna šuma*, delimično ispunjena.

GEOGRAFSKI PRISTUP ANALIZI PROBLEMA RAZLIKOVANJA NAVODNJAVANIH I NENAVODNJAVANIH PARCELA

Iako je Vojvodina smeštena u južnom delu Panonskog basena, koji je pretežno ravničarskog karaktera, specifična je po mnogobrojnim geomorfološkim jedinicama, bogatoj rečnoj mreži, kao i različitim tipovima zemljišta. Ovakve raznovrsne prirodno-geografske karakteristike mogu u velikoj meri da utiču na obuku modela i preciznost klasifikacije, a razumevanje specifičnih karakteristika terena i biljnog pokrivača može da olakša i poboljša rezultate istraživanja.

Detektovanje navodnjavanih parcela na višim reljefnim jedinicama sa poroznim zemljištem predstavlja jedan od izazova za klasifikovanje navodnjavanih i nenavodnjavanih parcela. Najpre, nagib terena utiče da se voda brže sliva do nižih jedinica i samim tim teže zadržava u delovima gde je potrebna biljkama. Porozna zemljišta imaju veću sposobnost upijanja vode, što znači da voda može brže prodirati u zemljište umesto da se zadržava na površini. To može dovesti do toga da navodnjavane parcele ne pokazuju tipične znakove vlažnosti. Tako biljke ne napreduju dovoljnom brzinom kako bi se inače očekivalo na navodnjavanim parcelama (Gumma & Pavelic, 2013; Radulović et al., 2023; Rajaveni et al., 2017). Na karti 53 prikazan je primer parcela sa različitim mikro zemljišnim karakteristikama.

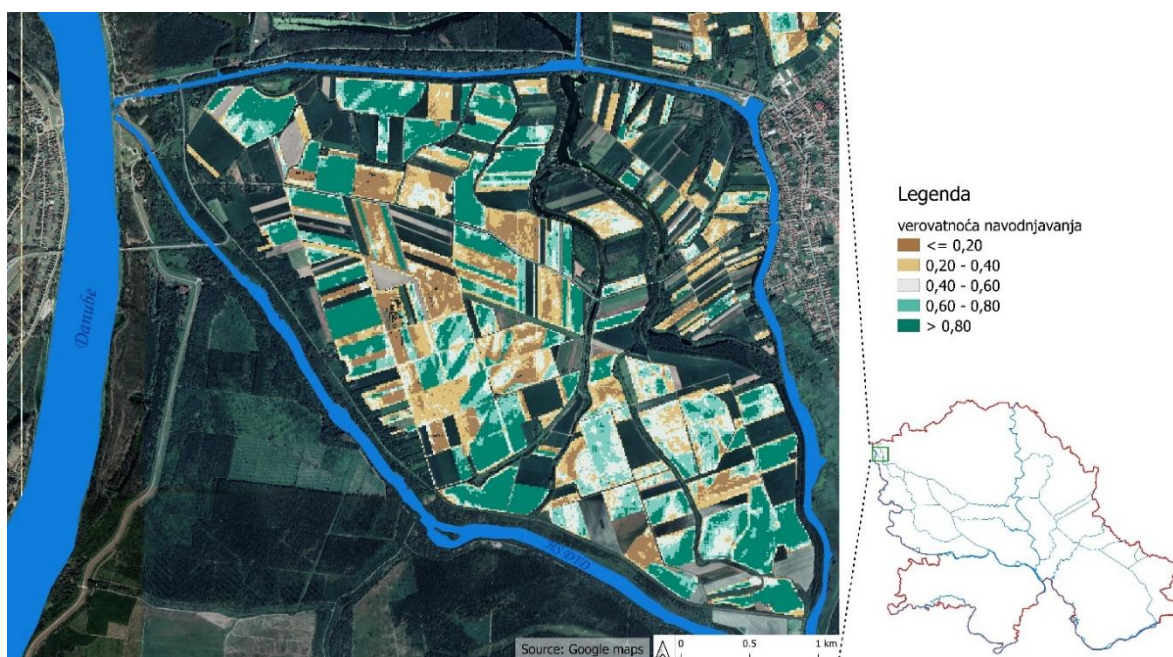


Karta 53. Primer nesigurnosti klasifikatora na navodnjavanim parcelama sa primetno različitim mikro zemljišnim karakteristikama

Posmatrajući parcelu kao skup piksela može da se uoči različit spektralni odziv sa satelita u različitim delovima parcele. Posmatrajući ovaj primer jasno je da se na velikim parcelama mogu javiti različita nadmorska visina i mikro zemljišne karakteristike koje dalje mogu uticati na neravnomeran napredak, odnosno rast biljaka. Ovakve različitosti takođe zbunjuju klasifikator pri treningu što dalje za posledicu ima pogrešno klasifikovanu parcelu. Ovim se zaključuje da je *hipoteza 2*, koja se odnosi na to da se *daljinska detekcija i metode mašinskog učenja mogu uspešno primeniti za identifikovanje navodnjavanih površina na različitim tipovima zemljišta*, delimično ispunjena.

Nestabilnost klasifikatora može da se javi i u blizini reka (karta 54). Ovakvi delovi terena već imaju prirodno vlažno okruženje zbog blizine vodenih tela (Sophocleous et al., 1988). To može otežati razlikovanje navodnjavanih površina od prirodno vlažnih područja. Tu se takođe javlja i intenzivna razmena vode između reka i aluvijalnih akviferi što se ogleda kroz visoku vlažnost zemljišta te usevi u ovim predelima imaju „tretman” kao i navodnjavani usevi. Sličan fenomen se javlja u oblastima mikro depresija gde su podzemne vode vrlo često blizu površine. Plitke podzemne vode u Vojvodini imaju kontinuirano rasprostranjenje i u velikoj meri utiču na rast biljaka prehranjujući ih preko zone korena (Polomčić et al., 2011). U takvim uslovima je teže razlikovati navodnjavane parcele od nenavodnjavanih što dalje utiče na nestabilnost klasifikatora i predikovanje više navodnjavanih površina nego što ih zaista ima. Bitno je naglasiti da se ovakav fenomen može javiti i u sušnim godinama gde iako imamo meteorološku sušu, biljke i dalje mogu imati dovoljno vode za prihranjivanje iz različitih izvora vode koji nisu zahvaćeni hidrološkom sušom (Q. Huang et al., 2017). Međutim, i dalje postoji potencijal

za negativne uticaje na njihov rast, razvoj i produktivnost, posebno ako su uslovi suše produženi ili ako su biljke već pod stresom zbog drugih faktora.



Karta 54. Pogrešno klasifikovane parcele u aluvijalnoj ravni Dunava

Prema prethodno iznetom, a posmatranjem karata navodnjavanih površina, pretpostavka je da su pogrešno klasifikovane parcele 2022. godine u blizini Dunava u zapadnoj Vojvodini upravo posledica nemogućnosti klasifikatora da razlikuje prirodno vlažne od veštački vlažnih, odnosno navodnjavanih parcela (karta 54).

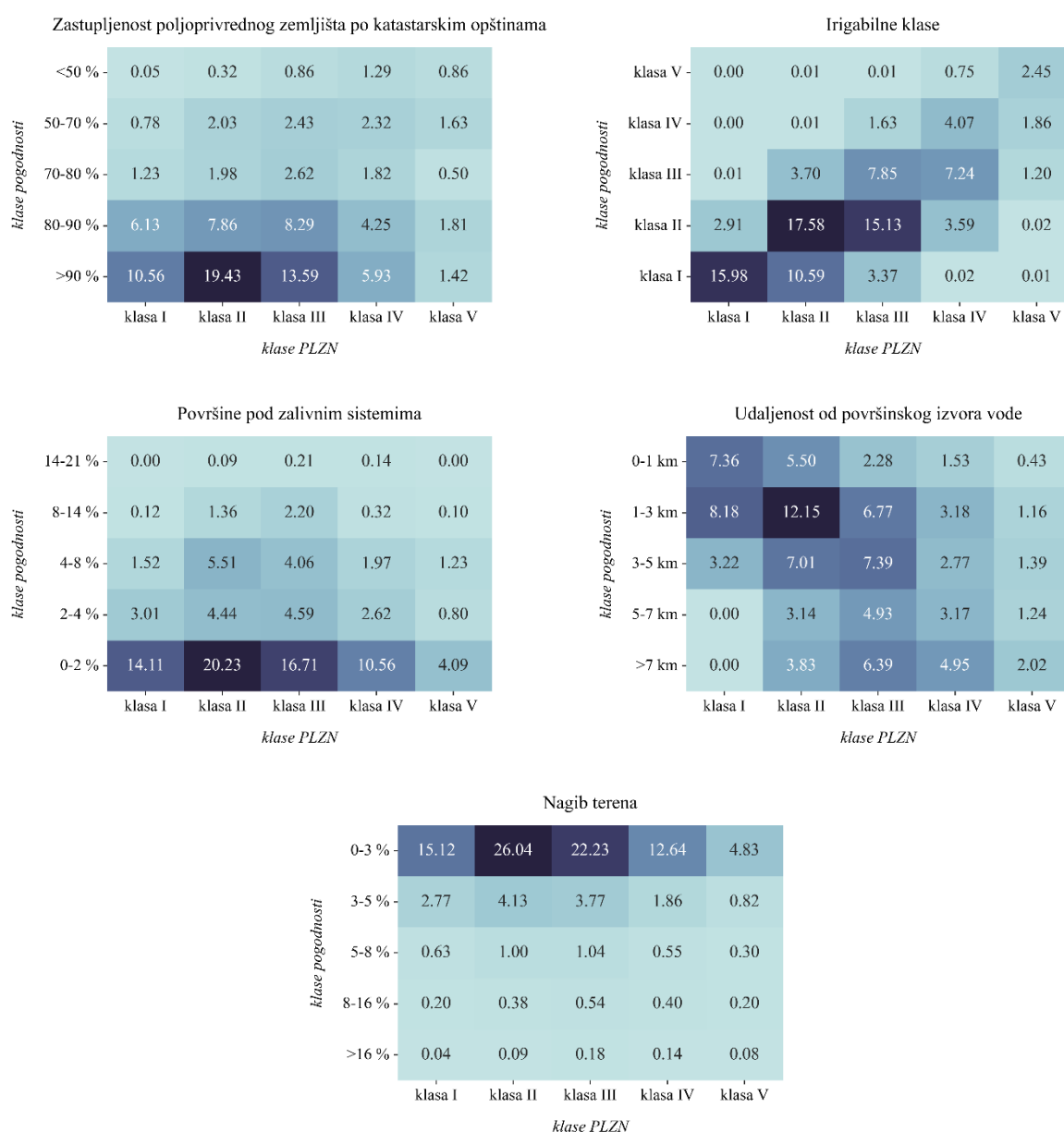
ANALIZA POGODNIH LOKALITETA ZA NAVODNJAVANJE

Integracijom različitih podataka odnosno indikatora, a korišćenjem alata za GIS i daljinsko istraživanje, kreirane su prostorne i tematske karte potencijalnih lokacija za navodnjavanje koje jasno prikazuju područja sa povoljnim uslovima za postavljanje sistema za navodnjavanje. Ovim rezultatima potvrđena je *hipoteza 5*, a to je da se *geoprostorna analiza može uspešno koristiti za određivanje pogodnih lokacija za navodnjavanje kombinovanjem različitih geoprostornih podataka*.

Analizom pogodnost klasa za navodnjavanje po svakom indikatoru u odnosu na ukupnu poljoprivrednu površinu u Vojvodini, a u slučaju kada se za prioritet stavlja razvoj navodnjavanja i poljoprivrede, uočava se da je *klasa II* pogodnosti za navodnjavanje najrasprostranjenija u Vojvodini (grafikon 11). Samim tim, ove oblasti predstavljaju i prioritet za razvoj navodnjavanja.

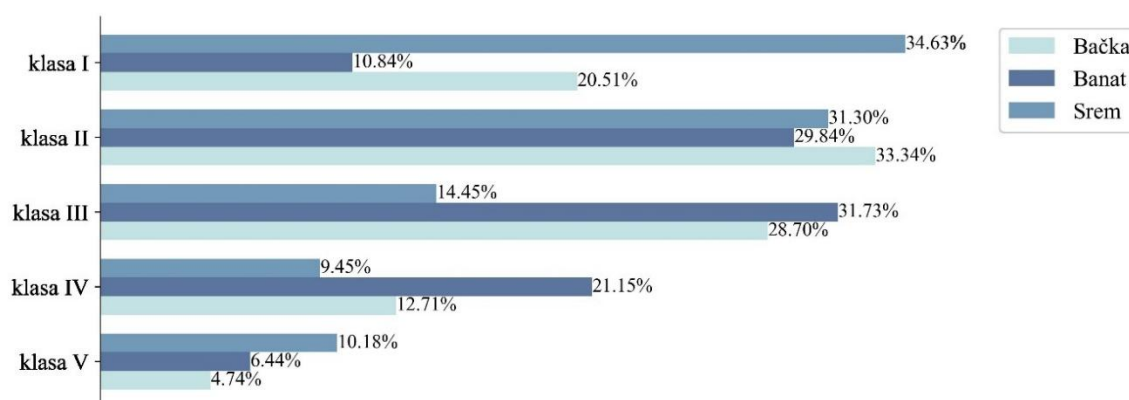
Na grafikonu 11 predstavljena je procentualna zastupljenost klasa po svakom podindikatoru u odnosu na ukupnu poljoprivrednu površinu za *prioritet I* razvoja navodnjavanja u Vojvodini. Posmatrano po indikatoru *Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta*, najveći procenat površina pripada *klasi II* pogodnosti za navodnjavanje i to u

opštinama koje imaju preko 90% poljoprivrednog zemljišta. Kod indikatora *Irigabilne klase* najveća površina od 17,58% nalazi se u II klasi irigabilnih klasa i *klasi II* pogodnosti za navodnjavanje. Zatim, opštine koje imaju do 2% *pokrivenosti sistemima za navodnjavanje* pripadaju visoko prioriternim za navodnjavanje gde je najveća pokrivenost u *klasi II* pogodnosti sa 20,23% teritorije, dok kad je reč o indikatoru *Udaljenost od površinskog izvora* vode, najveći potencijal za navodnjavanje je u oblastima koje su udaljene 1–3 km (12,15%), a takođe se nalaze u *klasi II* pogodnosti za navodnjavanje. Kad je u pitanju indikator *Nagib terena*, najpogodniji tereni su oni koji imaju do 3% nagiba gde se 26% teritorije Vojvodine nalazi u *klasi II* pogodnosti za navodnjavanje.



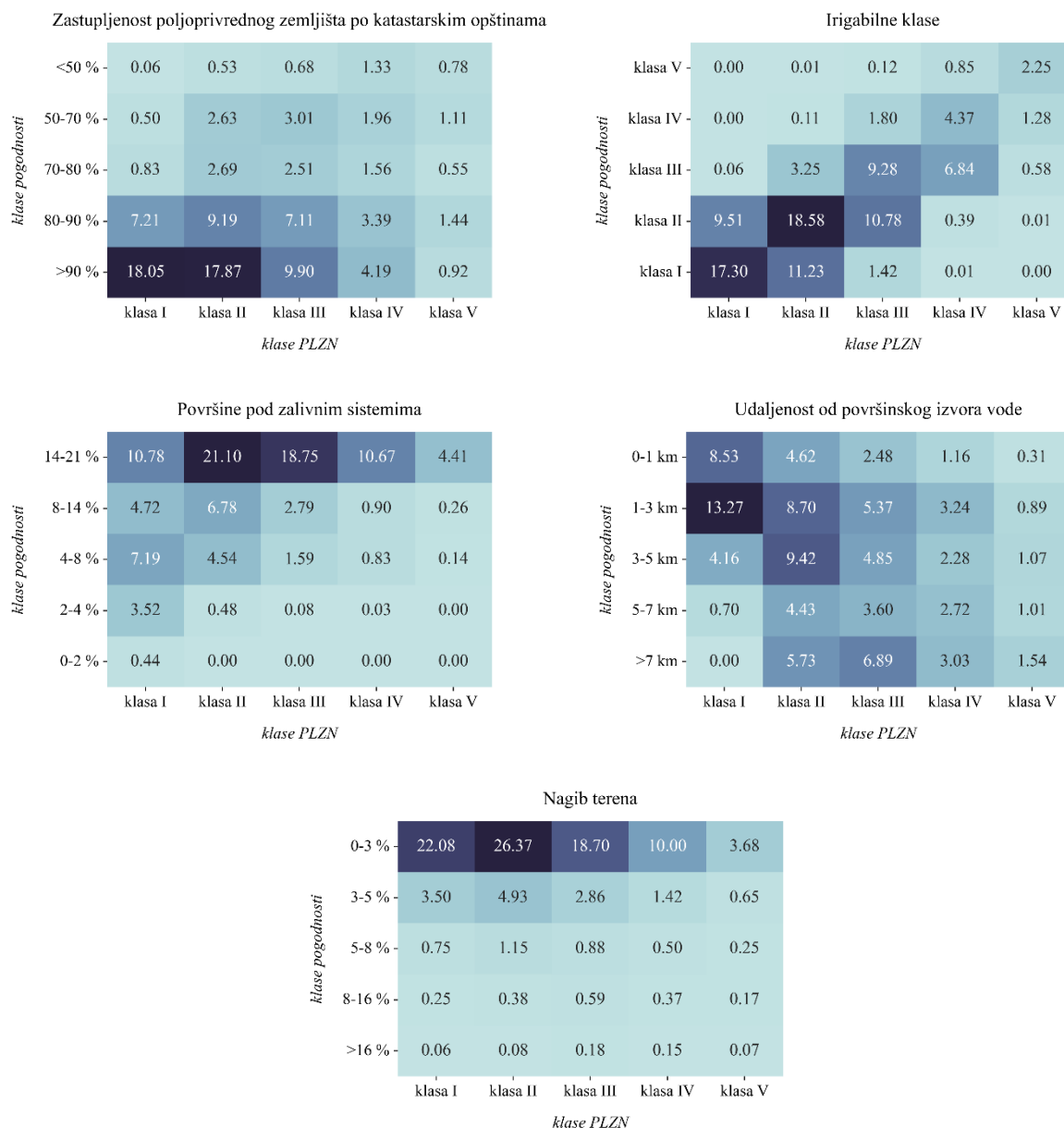
Grafikon 11. Procentualna zastupljenost klasa po svakom podindikatoru u odnosu na ukupnu poljoprivrednu površinu za prioritet 1 razvoja navodnjavanja u Vojvodini

Posmatrano po regionima, a u slučaju *prioriteta 1* razvoja navodnjavanja, u Sremu su najviše zastupljene *I i II klasa* pogodnosti za navodnjavanje sa oko 65%, zatim ide Bačka sa 53,85% i na kraju Banat sa 40,68%. U Bačkoj je najzastupljenija *klasa II*, u Banatu *klasa III*, a u Sremu najviše *klasa I* pogodnosti za navodnjavanje sa skoro 35%. Najmanju zastupljenost ima *klasa V* i to u Bačkoj sa svega 4,74%, dok u Banatu obuhvata 6,44% teritorije. U Sremu najmanju zastupljenost ima *klasa IV* sa 9,45% (grafikon 12).



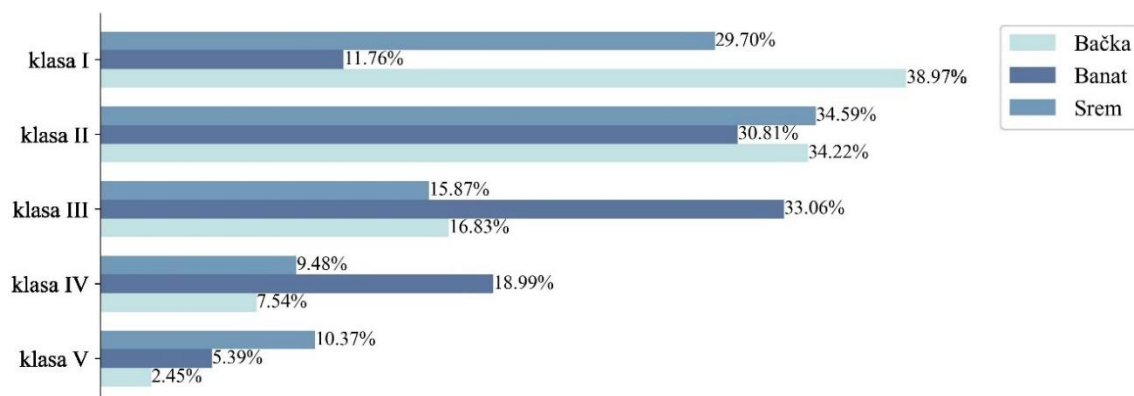
Grafikon 12. Procentualna zastupljenost klasa dobijenih za prioritet 1 u Bačkoj, Banatu i Sremu

Na grafikonu 13 predstavljena je procentualna zastupljenost klasa po svakom podindikatoru u odnosu na ukupnu poljoprivrednu površinu za *prioritet 2* razvoja navodnjavanja u Vojvodini. Tako, analizirajući klase prema indikatoru *Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta* 18,05% teritorije Vojvodine pripada *klasi I* pogodnosti za navodnjavanje i to za opštine koje imaju preko 90% poljoprivrednog zemljišta. Zatim, kod indikatora *Irigabilne klase* 18,58% teritorije je pod *klasom II* pogodnosti za one delove regiona koji imaju II klasu irigabilnosti zemljišta. Prema indikatoru *Površine pod zalivnim sistemima*, opštine koje imaju visok procenat instaliranih zalivnih sistema pripadaju *klasi II* pogodnosti sa 21,10% površine. Što se tiče indikatora *Udaljenost od površinskog izvora vode*, najpogodnije teritorije za navodnjavanje su one koje su udaljene 1–3 km od izvora vode. Tu je najzastupljenija *klasa I* pogodnosti sa 13,27% teritorije. Kad je u pitanju analiza indikatora *Nagib terena*, i u ovom slučaju navodnjavanje ima najveći potencijal u delovima istraživane teritorije koji imaju nagib terena manji od 3%.



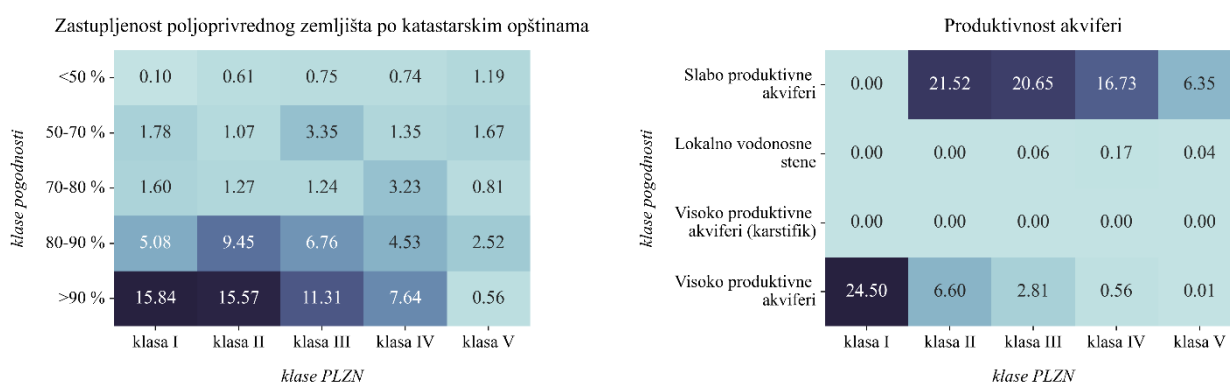
Grafikon 13. Procentualna zastupljenost klasa po svakom podindikativu u odnosu na ukupnu poljoprivrednu površinu za prioritet 2 razvoja navodnjavanja u Vojvodini

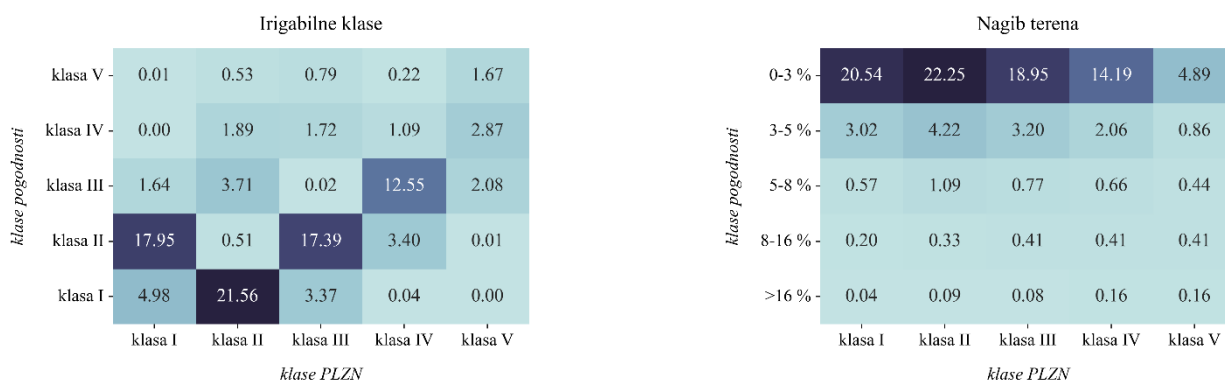
Analizirajući grafikon 14, procentualna zastupljenost klasa pogodnosti za navodnjavanje po regionima se značajno promenila. Bačka ima najviše područja koja pripadaju *klasama I i II* i to sa 73,19%. Na drugom mestu je Srem sa 64,29%, a Banat na trećem sa 42,57% teritorije koja pripada ovim klasama. Bačka ima veoma mali procenat površina koje nisu pogodne za navodnjavanje, svega 2,45%, dok u istoj klasi Banat ima 5,39%, a Srem 10,37% površine.



Grafikon 14. Procentualna zastupljenost klasa dobijenih za prioritet 2 u Bačkoj, Banatu i Sremu

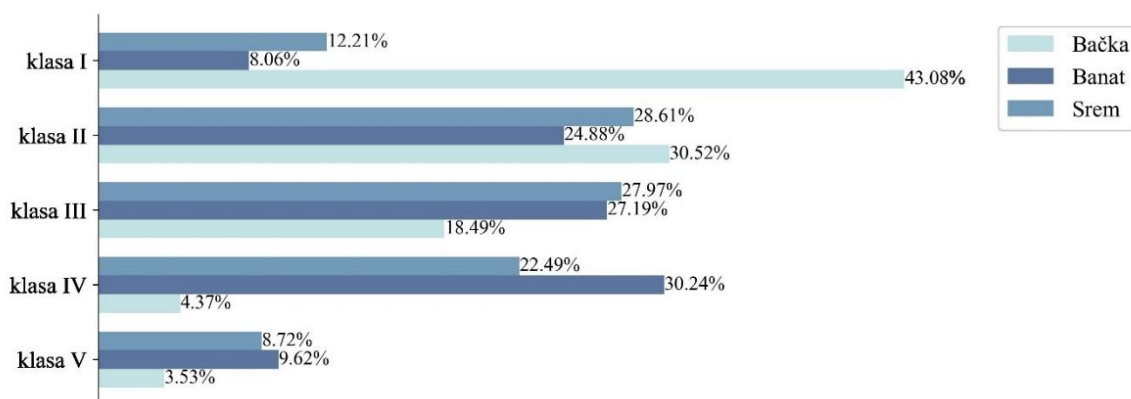
Analizom pogodnosti za navodnjavanje iz podzemnih voda uočava se da, kao i u prethodnim slučajevima, posmatrajući indikator *Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta*, najveću pogodnost za navodnjavanje imaju opštine sa najviše poljoprivrednog zemljišta koje se nalaze u *klasi I i II* pogodnosti za navodnjavanje (15,84% i 15,57%). Prema indikatoru *Produktivnost akviferi*, oblasti u kojima su zastupljeni visoko produktivni akviferi su najpogodnije za navodnjavanje gde *klasi I* pogodnosti za navodnjavanje pripada 24,5%. Kada je reč o *Irigabilnim klasama*, najpogodnija za navodnjavanje je klasa II u okviru koje *klasa II* pogodnosti za navodnjavanje zauzima 21,56% teritorije. Analizirajući indikator *Nagib terena*, najpogodniji tereni za navodnjavanje su oni sa najmanjim nagibom, a najveću površinu zauzima *klasa II* pogodnosti sa 22,25% pokrivenosti (grafikon 15).





Grafikon 15. Procentualna zastupljenost klasa po svakom podindikatoru u odnosu na ukupnu poljoprivrednu površinu za prioritet navodnjavanja iz podzemnih voda u Vojvodini

Proučavajući klase pogodnosti po regionima (grafikon 16), najveću pogodnost za navodnjavanje iz podzemnih voda ima Bačka gde površina *klase I* zauzima čak 43,08% teritorije (73,61% ukupno *I i II klasa* pogodnosti). Površine ove dve klase su znatno manje zastupljene u Sremu, 40,82%. Banat ima najmanju pogodnost navodnjavanja iz podzemnih voda. Najzastupljenija je *klasa IV* pogodnosti sa 30,24%, dok *klasa I i II* zauzimaju svega oko 33% teritorije Banata.

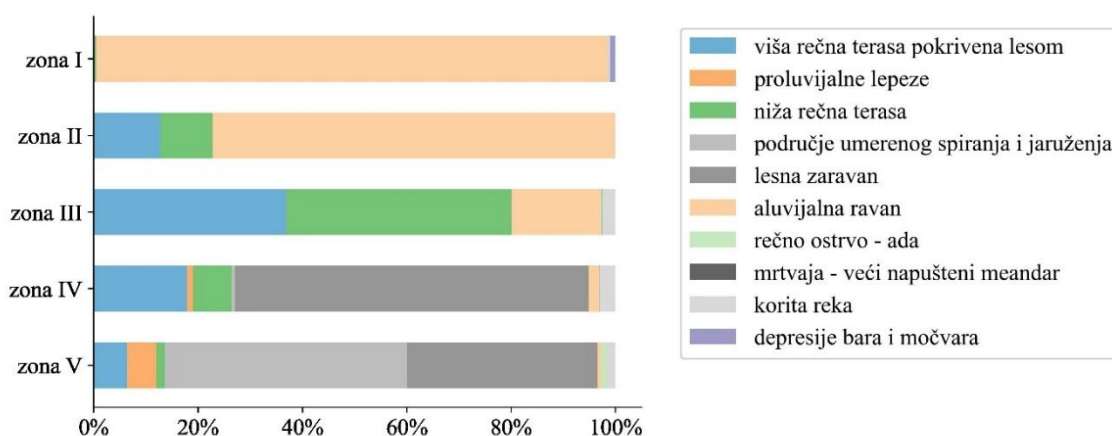


Grafikon 16. Procentualna zastupljenost dobijenih klasa za navodnjavanje iz podzemnih voda u Bačkoj, Banatu i Sremu

Na osnovu prethodno rečenog, jasno je da je Vojvodina najviše pokrivena *klasom I i II* pogodnosti za navodnjavanje te se može reći da je veliki deo njene teritorije pogodan za primenu navodnjavanja i da ti kapaciteti mogu dostići mnogo veće razmere nego što je njihova trenutna iskoristivost.

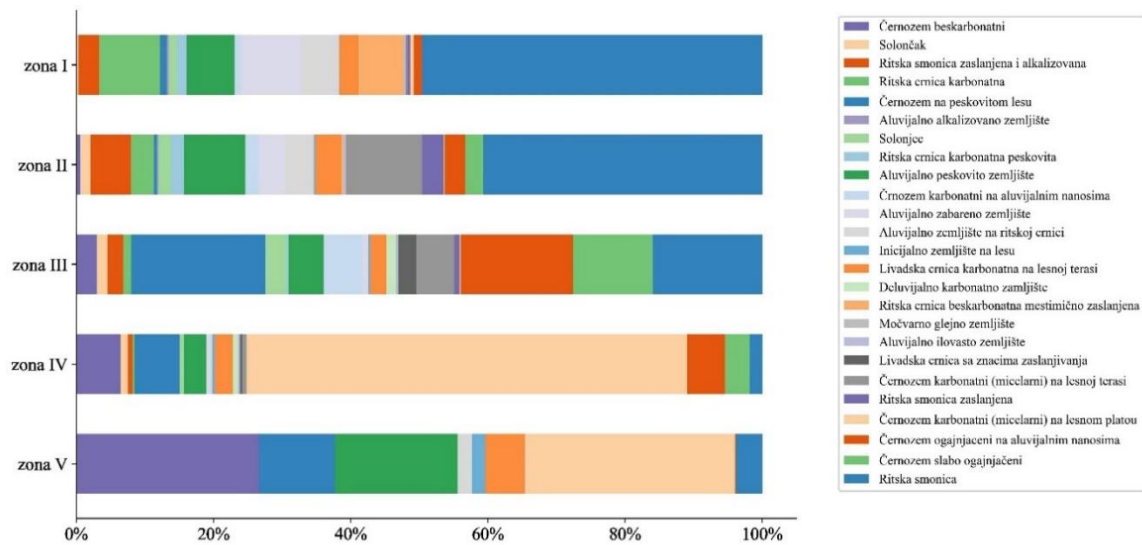
ANALIZA ZONA POTENCIJALA PODZEMNIH VODA U OPŠTINI TITEL

Analizirajući rezultate po svakom indikatoru posebno, najpre će biti data detaljna analiza zastupljenosti svake zone po geomorfološkim jedinicama. Prema tome, većina površine u opštini pripada *zoni I* i *zoni II* potencijala podzemnih voda (karta 52). Posmatrano u odnosu na ukupnu površinu svake zone u površini geomorfološke jedinice, 98% *zone I* i 77% *zone II* nalazi se u aluvijalnim ravnima Dunava i Tise (grafikon 17). Glavni razlog za to je blizina reka koje imaju značajan uticaj na obnavljanje, tj. prihranjivanje podzemnih voda. Takođe, ovo je najniži deo terena što ukazuje na to da ovi delovi opštine predstavljaju glavne kolektore za sve podzemne i površinske vode koje se slivaju ili teku sa viših reljefnih jedinica. Kad je reč o zonama veoma lošeg potencijala (*zona V*), one su najviše rasprostranjene na teritoriji umerenog spiranja i jaruženja po obodu lesnog platoa sa 46% i lesnom platou sa 37%, dok je zona lošeg potencijala (*zona IV*) zastupljena najviše na lesnom platou (68%). Zona umerenog potencijala (*zona III*) najzastupljenija je u oblastima niže (43%) i više rečne terase (36%). Nizak potencijal lesne zaravni je posledica velikog oticanja voda ka nižim reljefnim celinama, kao i loše sposobnosti za zadržavanje vode u lesu koji učestvuje u građi zaravni.



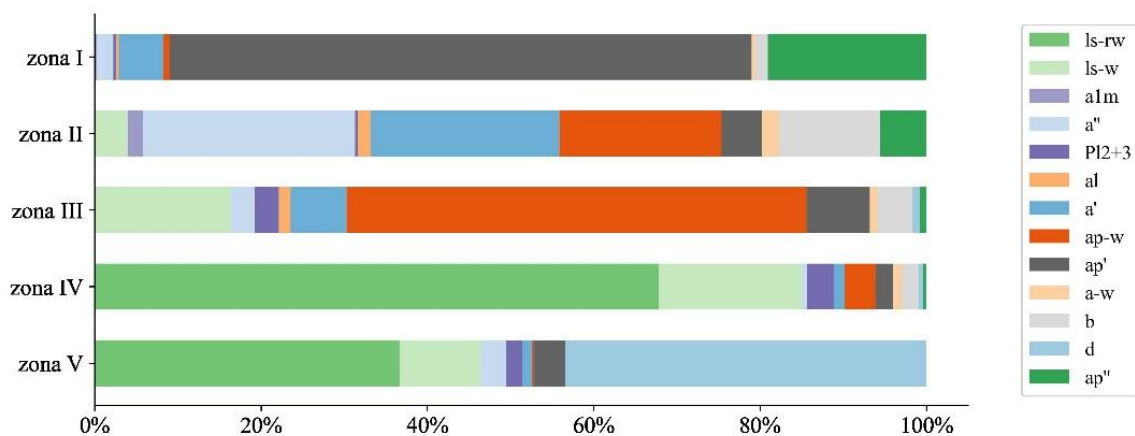
Grafikon 17. Zastupljenost geomorfoloških jedinica po zonama potencijala podzemnih voda u opštini Titel

Infiltracija i kretanje podzemnih voda takođe zavise od tipova zemljišta, njegovih fizičkih, hemijskih i mehaničkih svojstava. U istraživanom području prepoznati su različiti tipovi zemljišta kao što su aluvijalno zemljište, černozem, ritska crnica, ritska smonica itd. Analizirajući rezultate zaključeno je da je 50% područja sa vrlo dobrim i 41% sa dobrim potencijalom prekriveno ritskom smonicom. Černozem na peskovitom lesu i černozem ogajnjačeni na aluvijalnim nanosima prekrivaju 36% *zone III*. U *zoni IV* najviše procenata zauzima černozem karbonatni (micelarni) na lesnom platou (64%), dok su u *zoni V* najviše zastupljeni različiti varijeteti černozema – černozem karbonatni (micelarni) na lesnom platou sa 31% i černozem beskarbonatni sa 27% (grafikon 18). Iako černozem ima dobar kapacitet zadržavanja vode, visoka zastupljenost u vrlo lošim i lošim zonama uzrokovana je time što se nalazi na lesnom paltou koji je karakterističan po veoma malom značaju za pojavu podzemnih voda.



Grafikon 18. Zastupljenost tipova zemljišta po zonama potencijala podzemnih voda u opštini Titel

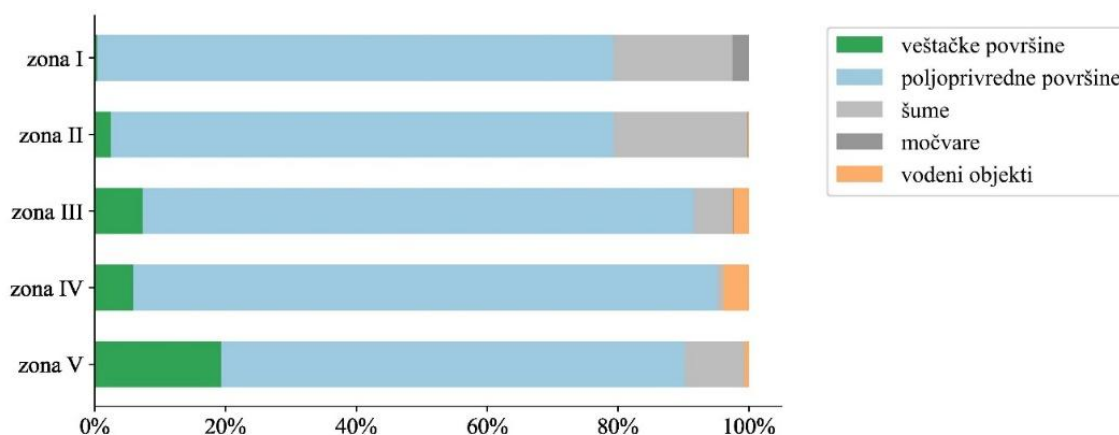
Što se tiče geološke strukture područja, poroznost i propustljivost geoloških formacija utiču na količinu podzemnih voda u sedimentima (Rajaveni et al., 2017). Među različitim geološkim formacijama u istraživanom području, facije povodnja (alevritske gline, peskovito-glinoviti alevriti, alevrit peskovi) pokrivaju 70% područja sa vrlo visokim potencijalom podzemnih voda (grafikon 19). Sa druge strane, sedimenti eolsko-koluvijalne facije prekrivaju 68% zone IV, dok mrki alevriti – pretaloženi les i lesoid prekrivaju 43% zone sa veoma malim potencijalom podzemnih voda.



Grafikon 19. Zastupljenost geoloških jedinica po zonama potencijala podzemnih voda u opštini Titel

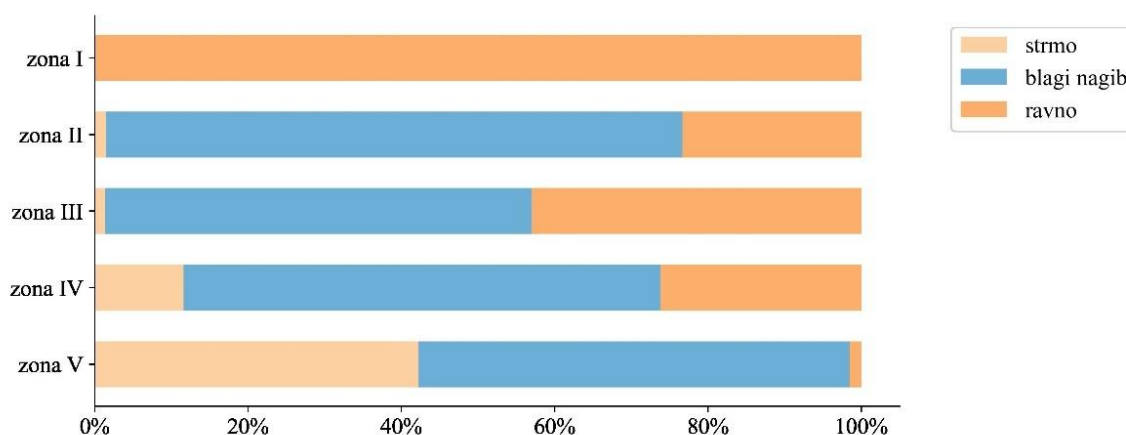
Način korišćenja zemljišta može u velikoj meri uticati na oticanje kišnice, intenzitet infiltracije, kao i intenzitet evapotranspiracije (Jhariya et al., 2016). Na području opštine Titel prepoznato je pet različitih klasa pokrivenosti zemljišta. Najveću površinu zauzimaju

poljoprivredna zemljišta koja se nalaze na ravnim terenima gde je oticanje zanemarljivo, a infiltracija vode intenzivna što ide u prilog mogućnosti skladištenja podzemnih voda. Tako je u *zoni I* zastupljeno najviše poljoprivrednih površina (79%), dok u *zoni II* one obuhvataju 77% (grafikon 20). Najniži potencijal za zadržavanje podzemnih voda imaju veštačke površine kojima je infiltracija vode onemogućena ili neznatna.



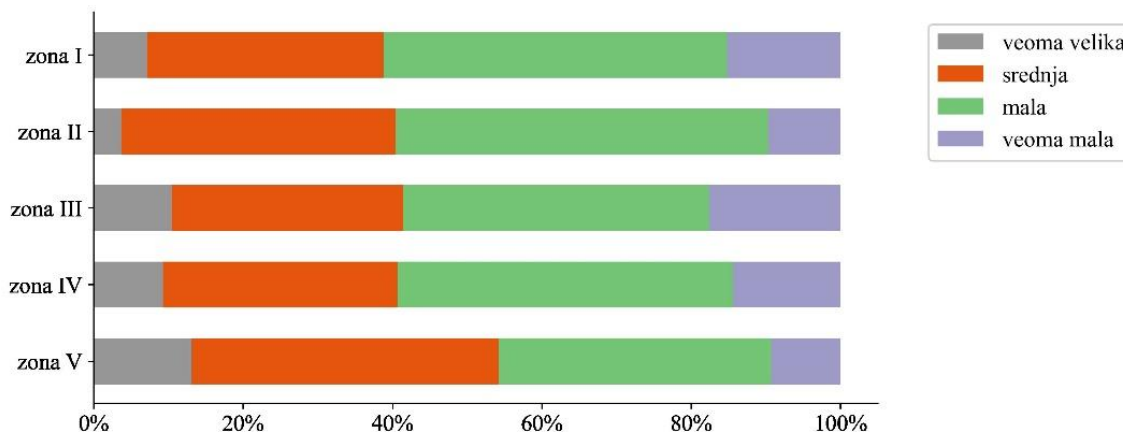
Grafikon 20. Zastupljenost klasa iskoristivosti zemljišta po zonama potencijala podzemnih voda u opštini Titel

Površinsko oticanje zavisi od stepena nagiba terena, što je ključno za infiltraciju do podzemnih vodenih horizonata. Pri većim nagibima intenzivnije je površinsko oticanje padavinskih voda i posledično manja infiltracija. S druge strane, ako su nagibi manji, infiltracija do zone podzemnih voda će biti veća (Arulbalaji et al., 2019; Das, 2017; De Reu et al., 2013). U istraživanom području, *zona I* potencijala podzemnih voda se u potpunosti prostire u delovima opštine koji imaju ravan teren, dok je 75% *zona II* rasprostranjeno u delovima opštine sa srednjim nagibom. Loš potencijal (*zona V*) je prepoznat u delovima istraživane teritorije sa blagim nagibom (56%) i u oblastima sa strmim nagibom (42%) (grafikon 21).



Grafikon 21. Zastupljenost klasa nagiba terena po zonama potencijala podzemnih voda u opštini Titel

Kretanje i infiltracija takođe zavise od gustine drenaže nekog područja (Andualet & Demeke, 2019). Veća gustina drenaže obično ukazuje na niži potencijal pojave podzemnih voda. Niska gustina drenaže znači visoka infiltracija i stoga više doprinosi pojavi podzemnih voda. U opštini Titel, 80% *zone I i II* nalazi se u delovima teritorije okarakterisanim sa niskom i umerenom gustinom drenaže (grafikon 22).

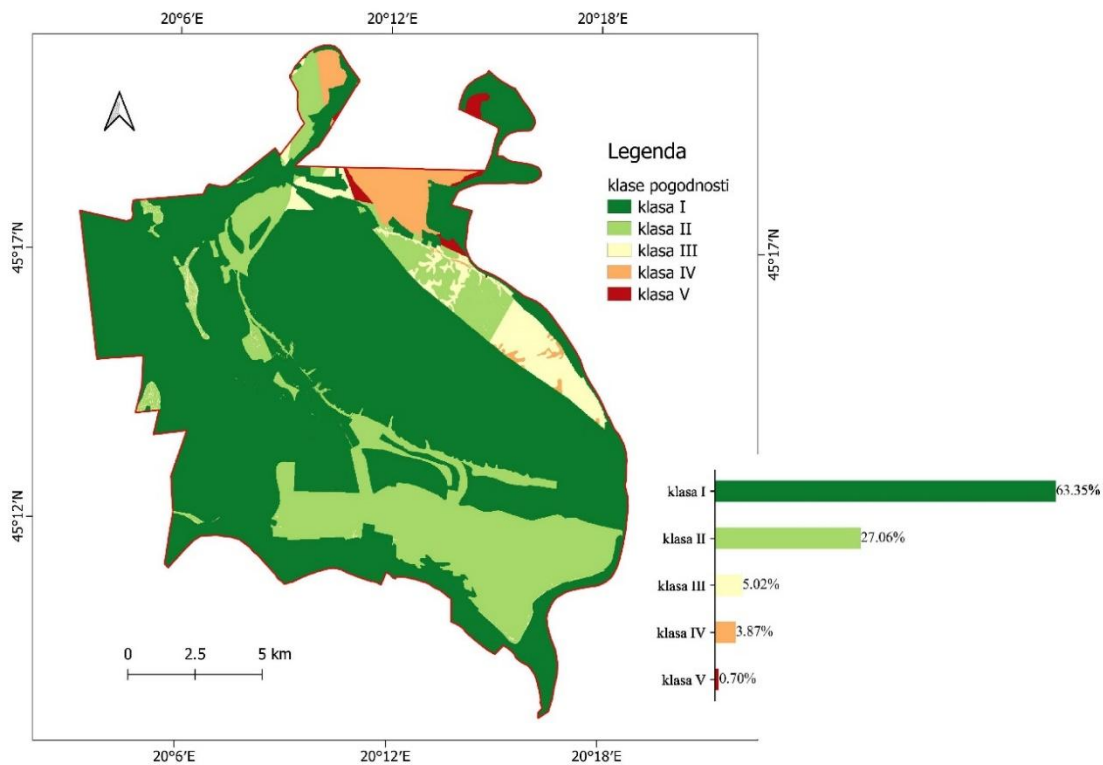


Grafikon 22. Zastupljenost klasa gustine drenaže po zonama potencijala podzemnih voda u opštini Titel

ODRŽIVA POLJOPRIVREDA U OPŠTINI TITEL – RAZVOJ NAVODNЈAVANJA I MOGUĆNOST KORIŠĆENJA PODZEMNIH VODA

Upravljanje vodnim resursima u opštini Titel koja je pretežno poljoprivrednog karaktera (83,4%) od suštinskog je značaja jer voda predstavlja jedan od glavnih resursa za poljoprivrednu proizvodnju. Ovde se većina stanovništva oslanja na poljoprivredu, a održivo korišćenje vodnih resursa direktno utiče na ekonomski razvoj i životni standard. Pored toga, pravilno upravljanje vodom pomaže u očuvanju ekosistema, sprečavanju degradacije zemljišta i smanjenju zagađenja, čime se osigurava dugoročna produktivnost poljoprivrednih površina i očuvanje životne sredine.

Prema nacrtu Plana razvoja opštine Titel 2022–2030. (Subić i sar., 2021) u opštini se navodnjava ukupno 732 ha, odnosno 2,8% teritorije, dok prema istraživanju u doktorskoj disertaciji ova opština ima 90% teritorije koja je u *klasi I i II* potencijala za navodnjavanje (karta 55). Ovakva statistika govori koliko je potrebno raditi na unapređenju navodnjavanja i iskorišćavanja prirodnog i ekonomskog potencijala u opštini. Stoga, korišćenje podzemnih voda za navodnjavanje u opštini Titel može biti značajna opcija, posebno u situacijama kada površinski izvori vode nisu dovoljni ili su nepouzdana. Podzemne vode mogu pružiti stabilan i relativno čist izvor vode, što je posebno važno tokom sušnih perioda kada se smanjuje dostupnost vode iz reka i akumulacija. Zbog stabilnosti ovog resursa, kao i mogućnosti dugoročne održivosti, a pružajući mogućnost proširenja navodnjavanja, u ovoj disertaciji analizirana je mogućnost korišćenja podzemnih voda za navodnjavanje u opštini Titel, dok površinske vode ovom prilikom nisu razmatrane.



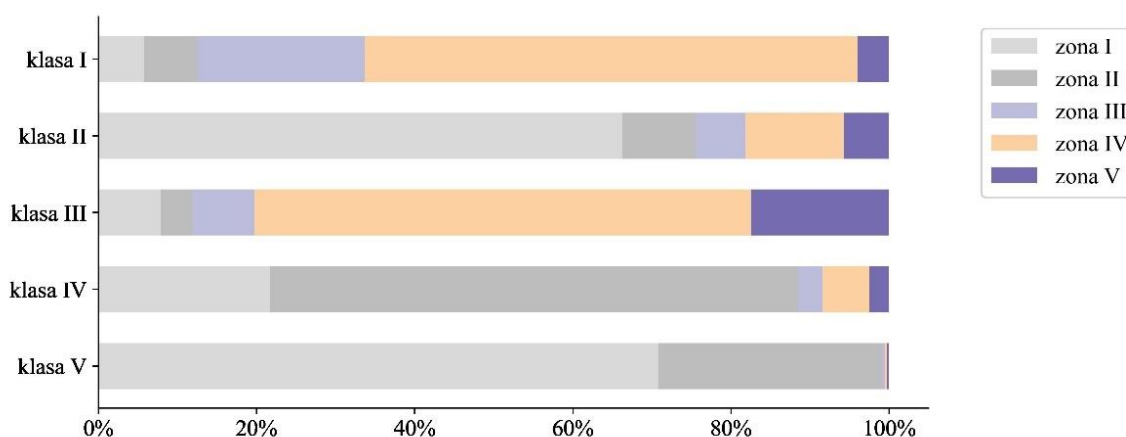
Karta 55. Potencijalne lokacije za navodnjavanje iz podzemnih voda na teritoriji opštine Titel i njihova procentualna zastupljenost

Podaci o potencijalnim lokacijama za navodnjavanje i zonama sa potencijalom podzemnih voda imaju ključnu ulogu u razvoju poljoprivrede u opštini Titel. Precizna identifikacija ovih lokacija omogućava efikasno planiranje i implementaciju sistema za navodnjavanje. Takođe, poznavanje zona podzemnih voda i njihovog kapaciteta omogućava dugoročno održivo korišćenje vodnih resursa, sprečavajući prekomerno iscrpljivanje zaliha i degradaciju zemljišta.

Na karti 55 je predstavljena zastupljenost svake klase potencijalnih lokacija za navodnjavanje u opštini Titel. Jasno je da najveći procenat pokriva *klasa I* (63,35%), odnosno teritorija sa najvećim potencijalom za navodnjavanje. Nakon toga slede delovi opštine sa dobrim potencijalom za navodnjavanje (*klasa II*) sa 27,06%. Opština ima veoma mali procenat teritorije koji nije pogodan za navodnjavanje (*klase IV i V* sa ukupno 4,57% teritorije). Međutim, preklapanjem dobijenih rezultata potencijalnih lokacija za navodnjavanje i potencijalnih zona podzemnih voda dobijena je jasnija slika o tome koje lokacije imaju najpovoljnije uslove za efikasno navodnjavanje koristeći podzemne vode. Ovakva detaljna analiza omogućava identifikaciju oblasti gde se preklapaju visoka pogodnost za navodnjavanje i dostupnost podzemnih voda, što je ključ za održivo i produktivno korišćenje ovog resursa.

Analizom grafikona 23 uočava se da je u najpogodnijoj klasi PLZN (*klasa I*) najviše zastupljena zona lošeg potencijala podzemnih voda (*zona IV*) koja se javlja na 62,38% teritorije. Ovakav slučaj najviše se javlja u delovima lesnog platoa, višoj rečnoj terasi i u nekim delovima niže rečne terase. Razlog ovog neslaganja u PLZN i ZPPV jeste što je lesni plato

prepoznat kao potencijal kad je u pitanju razvoj navodnjavanja. Međutim, ova reljefna celina nije pogodna za sakupljanje podzemnih voda te je u ZPPV prepoznata kao nepogodna. Slična situacija javlja se i u *klasi III* PLZN gde se *zona IV* ZPPV zastupljena sa 62,76%. Najlošija situacija je u *klasama IV i V* PLZN koje predstavljaju najnepogodnije za navodnjavanje, a na čijoj teritoriji u opštini se javljaju veoma dobre i dobre zone potencijala podzemnih voda (*zona I* u *klasi V* sa 70,82% i *zona II* u *klasi IV* sa 66,72%). Ovde je slučaj da se dobar i veoma dobar potencijal podzemnih voda javlja u aluvijalnoj ravni Tise, severno od lesnog platoa. Međutim, ovi delovi aluvijalne ravni pripadaju lošijim irigabilnim klasama i odlikuju se slabo izdašnim akviferima i samim tim potencijal za navodnjavanje nije velik, dok je zbog svojih prirodno-geografskih karakteristika aluvijalna ravan već prepoznata kao veoma dobar „kolektor” podzemnih voda. Situacija kao ova govori o tome da iako postoji potencijal za iskoristivost podzemnih voda za navodnjavanje, ova mera na ovakvim terenima nije prioritet, ili može da se kaže, nije potrebna.



Grafikon 23. Zastupljenost zona podzemnih voda (ZPPV) u klasama potencijalnih lokacija za navodnjavanje (PLZN) – zalivanje iz podzemnih voda

S druge strane, takođe u aluvijalnim ravnima ovih reka se nalazi i veoma pogodna površina za navodnjavanje iz podzemnih voda. Ovde se nalazi *klasa II* PLZN u kojoj je *zona I* ZPPV sa pokrivenošću od 66,23%. Površina je takođe okarakterisana sa srednjim nivoom irigabilnosti, ali je ovde zastupljena akvifer visoke izdašnosti i to ovaj deo opštine čini pogodnijim za navodnjavanje, a sa veoma visokim potencijalom podzemnih voda.

U ovoj detaljnoj studiji slučaja opštine Titel identifikovani su značajni potencijali koji ukazuju na izuzetne mogućnosti razvoja navodnjavanja. Prostorna analiza pokazuje da se četvrtina teritorije nalazi u zonama visokog i veoma visokog potencijala podzemnih voda, dok čak 90% područja pripada najvišim kategorijama pogodnosti za navodnjavanje. Uprkos ovako povoljnim okolnostima, postojeće stanje nameće potrebu za strateškim ulaganjima u infrastrukturu, naročito u zoni Titelskog brega. Ovo područje zahteva specifičan pristup razvoju navodnjavanja usled kompleksnih geomorfoloških, geoloških i hidroloških uslova, pre svega dubljih nivoa podzemnih voda i ograničenih mogućnosti korišćenja površinskih vodnih resursa.

Prema nacrtu Plana razvoja opštine Titel 2022–2030. (Subić i sar., 2021), jedan od prioriternih ciljeva jeste unapređenje poljoprivrednog sektora i bolji plasman poljoprivrednih proizvoda kroz nove investicije i brendiranje poljoprivrednih proizvoda na teritoriji opštine. Pored mera koje se tiču izgradnje i sprovođenja Programa razvoja poljoprivrede u opštini Titel, stvaranja uslova za razvoj i unapređenje organske i integralne poljoprivredne proizvodnje, kao i unapređenja poljoprivrednog zemljišta komasacijom, jedna od predviđenih mera jeste i izgradnja sistema za navodnjavanje u opštini. Ovakve mere su u skladu sa Ciljevima održivog razvoja Ujedinjenih Nacija – Agenda 2030, pre svega Cilju 2 – Svet bez gladi (United Nations, n.d.). Rezultati i analize iz ove doktorske disertacije u velikoj meri mogu da pomognu sprovođenju ovih mera na teritoriji opštine Titel što uključuje planiranje i izgradnju sistema za navodnjavanje, planiranje iskoristivosti resursa podzemnih voda, kao i planiranje unapređenja i održivog razvoja poljoprivredne proizvodnje.

ZAKLJUČAK

U ovoj doktorskoj disertaciji analizirane su mogućnosti planskog razvoja navodnjavanja u Vojvodini kroz tri ključne komponente: detekciju i kartiranje postojećih navodnjavanih površina kao fundamentalne osnove za evaluaciju trenutnog stanja strukture navodnjavanja, zatim određivanje potencijalnih lokaliteta za izgradnju novih sistema za navodnjavanje u regionu kao i određivanje zona sa različitim potencijalom podzemnih voda na lokalnom nivou.

Ispitivanje mogućnosti primene mašinskog učenja za klasifikovanje navodnjavanih parcela među različitim poljoprivrednim kulturama pokazalo se uspešnim uz određene razlike. Rezultati dobijeni u disertaciji ukazali su na to da uspešnost klasifikacije varira u zavisnosti od vrste useva pri čemu su najbolji rezultati postignuti kod soje i šećerne repe, dok je klasifikacija kod kukuruza nešto zahtevnija. Razlika u preciznosti klasifikacije dolazi do izražaja u zavisnosti od klimatskih uslova. Naime, klasifikacija navodnjavanih i nenavodnjavanih useva u umereno-kontinentalnim klimatskim regionima pokazuje veću preciznost tokom sušnih godina, poput 2022. godine, nego što je to slučaj u godinama koje se karakterišu optimalnim količinama padavina tokom sezone navodnjavanja, kao što je bila 2020. godina. Pored klimatskog faktora, istraživanje je identifikovalo i druge značajne uticaje na preciznost klasifikacije, uključujući mikro zemljišne karakteristike na parceli (tekstura, struktura, poroznost, kapacitet zadržavanja vode i sl.), nagib terena, podzemne vode i blizinu vodenih površina poput reka, jezera ili kanala. Ovi faktori mogu značajno uticati na pouzdanost klasifikatora pri razlikovanju navodnjavanih od nenavodnjavanih parcela. Međutim, i pored ovih uticaja, može se zaključiti da klasifikacija navodnjavanih i nenavodnjavanih kultura kukuruza, soje i šećerne repe u Vojvodini daje zadovoljavajuće rezultate korišćenjem isključivo podataka sa satelita.

Dodatno, ispitivanje efikasnosti jedinstvenog modela za sve tri kulture u odnosu na pojedinačne modele pokazalo je da zajednički model daje zadovoljavajuće rezultate samo u sušnim godinama, dok u ostalim uslovima njegova preciznost opada. Zbog toga ovo istraživanje preporučuje korišćenje zasebnih modela za svaku kulturu. Time se obezbeđuje veća pouzdanost rezultata nezavisno od toga kako se klimatski uslovi menjaju iz godine u godinu, ali ne isključujući mogućnost primene i zajedničkog modela za ostvarivanje optimalnih rezultata.

Značajan napredak u određivanju potencijalnih lokacija za navodnjavanje postignut je kombinovanjem AHP i GIS tehnologija. Analizom je ustanovljeno da više od polovine teritorije Vojvodine ima izuzetan potencijal za razvoj navodnjavanja, bilo zalivanjem iz površinskih ili podzemnih izvora vode. Kad je u pitanju navodnjavanje iz površinskih izvora vode, prema *prioritetu 1* – ulaganje u nove sisteme i razvoj poljoprivrede u svim opštinama, Vojvodina ima 50,38% teritorije koja se nalazi u *klasi I i II* pogodnosti za navodnjavanje. Još povoljniji rezultati dobijeni su za *prioritet 2* – unapređenje postojeće infrastrukture, gde 59,56% teritorije ima visok potencijal za razvoj navodnjavanja. Kada je reč o navodnjavanju iz podzemnih voda, 52,34% teritorije Vojvodine svrstano je u najviše klase pogodnosti. Regionalna analiza pokazala je da Srem prednjači u pogodnosti za navodnjavanje iz površinskih izvora vode prema *prioritetu 1*, sa 65% teritorije u najvišim klasama pogodnosti, dok Bačka dominira prema

prioritetu 2 sa 73,19% visoko pogodne teritorije. Bačka takođe pokazuje najveći potencijal za navodnjavanje iz podzemnih voda, sa 73,61% teritorije u najvišim klasama pogodnosti.

Analiza studije slučaja opštine Titel ukazala je na to da četvrtina teritorije pripada zoni veoma dobrog i dobrog potencijala podzemnih voda, dok 90% teritorije spada u prve dve najviše klase potencijala za razvoj navodnjavanja. S obzirom na to, jasno je da teritorija opštine ima povoljne uslove za razvoj navodnjavanja iz podzemnih voda. Međutim, njen značajan deo, posebno područje Titelskog brega, zahteva izgradnju nove infrastrukture za navodnjavanje zbog dubljeg zaleganja podzemnih voda, i otežanih uslova za korišćenje površinskih vodnih resursa.

Sprovedena istraživanja u doktorskoj disertaciji pokazala su značajan potencijal u primeni savremenih tehnologija za unapređenje sistema navodnjavanja u poljoprivredi. Kroz kombinaciju mašinskog učenja, AHP i GIS tehnologija, stvorena je pouzdana osnova za identifikaciju i klasifikaciju navodnjavanih površina, kao i za procenu potencijala za budući razvoj sistema kako sa aspekta korišćenja različitih izvora vode, tako i sa aspekta ulaganja u nove sisteme i unapređenje poljoprivredne proizvodnje na teritoriji Vojvodine. Studija slučaja opštine Titel ukazuje na to da se detaljnom analizom mogu identifikovati specifične potrebe i potencijal za razvoj sistema navodnjavanja na lokalnom nivou. Rezultati pokazuju i to da je trenutna iskorišćenost prirodnih resursa i postojeće infrastrukture u Vojvodini daleko ispod stvarnog kapaciteta, što otvara prostor za znatno intenzivniju i rasprostranjeniju primenu navodnjavanja u budućnosti. Ovo je posebno značajno jer bi se time povećala produktivnost poljoprivrednog zemljišta i ekonomska dobit proizvođača, uz napomenu da je optimalno korišćenje vodnih resursa veoma važno. Dodatno, ovi rezultati predstavljaju vrednu osnovu za buduće strateško planiranje i razvoj ne samo održivih sistema za navodnjavanje, već i poljoprivredne proizvodnje u Vojvodini, čime je potvrđena poslednja hipoteza 6 – *Poznavanje prostorne distribucije navodnjavanih površina može značajno da doprinese optimizaciji i planskom razvoju navodnjavanja u AP Vojvodini i sprovođenju ciljeva definisanih nacionalnom strategijom navodnjavanja.*

LITERATURA I IZVORI

- Abesser, C., & Lewis, M. (2015). A semi-quantitative technique for mapping potential aquifer productivity on the national scale: example of England and Wales (UK). *Hydrogeology Journal*, 23(8), 1677–1694. <https://doi.org/10.1007/s10040-015-1295-5>.
- Aczél, J., & Roberts, F. S. (1989). On the possible merging functions. *Mathematical Social Sciences*, 17(3), 205–243. [https://doi.org/10.1016/0165-4896\(89\)90054-1](https://doi.org/10.1016/0165-4896(89)90054-1).
- Aczél, J., & Saaty, L. T. (1983). Procedures for synthesizing ratio judgements. *Journal of Mathematical Psychology*, 27(1), 93–102. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(83\)90028-7](https://doi.org/10.1016/0022-2496(83)90028-7).
- Akpoti, K., Higginbottom, T. P., Foster, T., Adhikari, R., & Zwart, S. J. (2022). Mapping land suitability for informal, small-scale irrigation development using spatial modelling and machine learning in the Upper East Region, Ghana. *Science of The Total Environment*, 803, 149959. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149959>.
- Alamanos, A., Mylopoulos, N., Loukas, A., & Gaitanaros, D. (2018). An Integrated Multicriteria Analysis Tool for Evaluating Water Resource Management Strategies. *Water*, 10(12), 1795. <https://doi.org/10.3390/w10121795>.
- Alphonse, C. B. (1997). Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries. *Agricultural Systems*, 53(1), 97–112. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(96\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(96)00035-2).
- Ambika, A. K., Wardlow, B., & Mishra, V. (2016). Remotely sensed high resolution irrigated area mapping in India for 2000 to 2015. *Scientific Data*, 3(1), 160118. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.118>.
- Andualem, T. G., & Demeke, G. G. (2019). Groundwater potential assessment using GIS and remote sensing: A case study of Guna tana landscape, upper blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 24, 100610. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100610>.
- Arabameri, A., Rezaei, K., Cerda, A., Lombardo, L., & Rodrigo-Comino, J. (2019). GIS-based groundwater potential mapping in Shahroud plain, Iran. A comparison among statistical (bivariate and multivariate), data mining and MCDM approaches. *Science of The Total Environment*, 658, 160–177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.115>.
- Arulbalaji, P., Padmalal, D., & Sreelash, K. (2019). GIS and AHP Techniques Based Delineation of Groundwater Potential Zones: a case study from Southern Western Ghats, India. *Scientific Reports*, 9(1), 2082. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38567-x>.
- Attarzadeh, R., & Amini, J. (2019). Towards an object-based multi-scale soil moisture product using coupled Sentinel-1 and Sentinel-2 data. *Remote Sensing Letters*, 10(7), 619–628. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1590872>.
- Ayalew, G. (2014). Land Suitability Evaluation for surface and sprinkler irrigation Using Geographical Information System (GIS) in Guang Watershed, Highlands of Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, 4(22), 140–150. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20153285758>.

- Balfe, E., & Smyth, B. (2005). An analysis of query similarity in collaborative web search. In *Advances in Information Retrieval: 27th European Conference on IR Research, ECIR 2005 Santiago de Compostela, Spain, March 21-23, 2005 Proceedings* (Vol. 3408, pp. 330–344). https://doi.org/10.1007/978-3-540-31865-1_24.
- Bazzi, H., Baghdadi, N., Ienco, D., El Hajj, M., Zribi, M., Belhouchette, H., Escorihuela, M. J., & Demarez, V. (2019). Mapping Irrigated Areas Using Sentinel-1 Time Series in Catalonia, Spain. *Remote Sensing*, 11(15), 1836. <https://doi.org/10.3390/rs11151836>.
- Bégué, A., Arvor, D., Bellon, B., Betbeder, J., De Aballeyra, D., P. D. Ferraz, R., Lebourgeois, V., Lelong, C., Simões, M., & R. Verón, S. (2018). Remote Sensing and Cropping Practices: A Review. *Remote Sensing*, 10(1), 99. <https://doi.org/10.3390/rs10010099>.
- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>.
- Benjmel, K., Amraoui, F., Boutaleb, S., Ouchchen, M., Tahiri, A., & Touab, A. (2020). Mapping of Groundwater Potential Zones in Crystalline Terrain Using Remote Sensing, GIS Techniques, and Multicriteria Data Analysis (Case of the Ighrem Region, Western Anti-Atlas, Morocco). *Water*, 12(2), 471. <https://doi.org/10.3390/w12020471>.
- Bezdan, A., Blagojevic, B., Vranesevic, M., Benka, P., Savic, R., & Bezdan, J. (2019). Defining Spatial Priorities for Irrigation Development Using the Soil Conservation and Water Use Efficiency Criteria. *Agronomy*, 9(6), 324. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060324>.
- BGR, & UNESCO. (2013). *International Hydrogeological Map of Europe 1:1,500,000*, 25 sheets and 18 explanatory notes.
- Biggs, T. W., Thenkabail, P. S., Gumma, M. K., Scott, C. A., Parthasaradhi, G. R., & Turrall, H. N. (2006). Irrigated area mapping in heterogeneous landscapes with MODIS time series, ground truth and census data, Krishna Basin, India. *International Journal of Remote Sensing*, 27(19), 4245–4266. <https://doi.org/10.1080/01431160600851801>.
- Blagojevic, B., Srdjevic, Z., Bezdan, A., & Srdjevic, B. (2016). Group decision-making in land evaluation for irrigation: a case study from Serbia. *Journal of Hydroinformatics*, 18(3), 579–598. <https://doi.org/10.2166/hydro.2015.141>.
- Bogdanović, Ž., i Marković, S. (2005). *Vode Banata*. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad.
- Bousbih, S., Zribi, M., El Hajj, M., Baghdadi, N., Lili-Chabaane, Z., Gao, Q., & Fanise, P. (2018). Soil Moisture and Irrigation Mapping in A Semi-Arid Region, Based on the Synergetic Use of Sentinel-1 and Sentinel-2 Data. *Remote Sensing*, 10(12), 1953. <https://doi.org/10.3390/rs10121953>.
- Bradley, R. S., Vuille, M., Diaz, H. F., & Vergara, W. (2006). Threats to Water Supplies in the Tropical Andes. *Science*, 312(5781), 1755–1756. <https://doi.org/10.1126/science.1128087>.
- Breiman, L. (2001). Random Forest. *Machine Learning*, 45, 5–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.

- Bruinsma, J. (2017). *World Agriculture: Towards 2015/2030: an FAO study*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315083858>.
- Brunelli, M. (2015). *Introduction to the Analytic Hierarchy Process*. Springer.
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233–247. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(85\)90090-9](https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9).
- Bugarski, D., Davidović, R., Tomić, P., Bogdanović, Ž., Plavša, J., Lazić, L., i Marković, S. (1998). Morfogenetska klasifikacija reljefa Srema. In *Reljef Srema* (pp. 1–96). Prirodno-matematički fakultet, Institut za geografiju, Novi Sad.
- Bukurov, B. (1950). Tri Bačke doline: Krivaja, Jegrička i Mostonga. *Glasnik Srpskog Geografskog Društva*, 30(2), 77–86.
- Bukurov, B. (1953). Geomorfološke prilike Vojvodine. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, Novi Sad.
- Bukurov, B. (1972). Geomorfološke karakteristike područja SAP Vojvodine. *Regionalni prostorni plan SAP Vojvodine* Novi Sad.
- Bukurov, B. (1975). Fizičko-geografski problemi Bačke. *Posebna izdanja Srpske akademije nauka i umetnosti, Odeljenje prirodno-matematičkih nauka*, Beograd.
- Bukurov, B. (1984). Geomorfološki problemi Banata. *Vojvođanska akademija nauka i umetnosti*, Novi Sad.
- Chen, H.-L., Hu, Y.C., & Lee, M.Y. (2021). Evaluating Appointment of Division Managers Using Fuzzy Multiple Attribute Decision Making. *Mathematics*, 9(19), 2417. <https://doi.org/10.3390/math9192417>.
- Climate Data Store. (n.d.). Copernicus Interactive Climate Atlas. Retrieved November 1, 2023, from <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>.
- Crnojevic, V., Lugonja, P., Brkljac, B., i Brunet, B. (2014). Classification of small agricultural fields using combined Landsat-8 and RapidEye imagery: case study of northern Serbia. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 083512. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.083512>.
- Cutler, D. R., Edwards, T. C., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J., & Lawler, J. J. (2007). Random Forests for classification in ecology. *Ecology*, 88(11), 2783–2792. <https://doi.org/10.1890/07-0539.1>.
- Dalmacija, B., Kolakovic, S., Klačnja, M., Ivančev-Tumbas, I., Benak, J., Vasiljević, M., Kulačin, S., Cinker, R., Milosavljević, S., i Repac, S. (2009). Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda AP Vojvodina.
- Danbara, T. T., & Zewdie, M. (2022). Assessment of suitable land for surface irrigation using spatial information systems: Case of Bilate River Basin in the Rift Valley Lakes Basin, Ethiopia. *Computers and Electronics in Agriculture*, 202(August), 107402. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107402>.
- Das, S. (2017). Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain in Gangajalghati block, Bankura district, India using remote sensing and GIS techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(4), 1589–1599. <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0396-7>.

- Davidović, R., Miljković, L., i Ristanović, B. (2003). Reljef Banata. Prirodno-matematički fakultet, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad.
- Davidović, R., Miljković, L., i Ristanović, B. (2005). Reljef Bačke. Prirodno-matematički fakultet, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad.
- De Reu, J., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., De Smedt, P., Chu, W., Antrop, M., De Maeyer, P., Finke, P., Van Meirvenne, M., Verniers, J., & Crombé, P. (2013). Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. *Geomorphology*, 186, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.015>.
- Deines, J. M., Kendall, A. D., Crowley, M. A., Rapp, J., Cardille, J. A., & Hyndman, D. W. (2019). Mapping three decades of annual irrigation across the US High Plains Aquifer using Landsat and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 233(October), 111400. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111400>.
- Dinesh Kumar, P. K., Gopinath, G., & Seralathan, P. (2007). Application of remote sensing and GIS for the demarcation of groundwater potential zones of a river basin in Kerala, southwest coast of India. *International Journal of Remote Sensing*, 28(24), 5583–5601. <https://doi.org/10.1080/01431160601086050>.
- Djurdjević, V., Stosic, B., Tošić, M., Lazić, I., Putniković, S., Stosic, T., & Tošić, I. (2024). Analysis of recent trends and spatiotemporal changes of droughts over Serbia using high-resolution gridded data. *Atmospheric Research*, 304, 107376. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107376>.
- Dragović, S., Gregorović, V., i Jovanović, M. (1989). Stanje i perspektive navodnjavanja u Vojvodini. *Vodoprivreda*, 119–120.
- Dragović, S., Maksimović, L., Radojević, V., Cicmil, M., i Pantelić, S. (2005). Istorijski razvoj uređenja vodnog režima zemljišta primenom odvodnjavanja i navodnjavanja u vojvodini. *Vodoprivreda*, 37, 287–298.
- EEA. (2017). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016; An indicator-based report* (EEA Report No 1/2017). <https://doi.org/10.2800/534806>.
- El Hajj, M., Baghdadi, N., Zribi, M., & Bazzi, H. (2017). Synergic Use of Sentinel-1 and Sentinel-2 Images for Operational Soil Moisture Mapping at High Spatial Resolution over Agricultural Areas. *Remote Sensing*, 9(12), 1292. <https://doi.org/10.3390/rs9121292>.
- European Space Agency. (n.d.). Sentinel-2. Retrieved July 1, 2024, from https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2.
- FAO. (n.d.). Irrigation needs & potential mapping. Retrieved November 27, 2024, from <https://sdgs.un.org/partnerships/irrigation-needs-potential-mapping#description>.
- FAO. (2003). *Review of World Water Resources by Country*. Water Reports 23. <http://www.fao.org/docrep/005/y4473e/y4473e06.htm>.
- Ferrant, S., Selles, A., Le Page, M., Herrault, P.-A., Pelletier, C., Al-Bitar, A., Mermoz, S., Gascoin, S., Bouvet, A., Saqalli, M., Dewandel, B., Caballero, Y., Ahmed, S., Maréchal, J.C., & Kerr, Y. (2017). Detection of Irrigated Crops from Sentinel-1 and Sentinel-2 Data to Estimate Seasonal

- Groundwater Use in South India. *Remote Sensing*, 9(11), 1119. <https://doi.org/10.3390/rs9111119>.
- 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*, 140, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>.
- Fitts, C. R. (2002). *Groundwater science*. Elsevier.
- Forman, E., & Peniwati, K. (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 108(1), 165–169. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00244-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00244-0).
- Fox, D. M., Bryan, R. B., & Price, A. G. (1997). The influence of slope angle on final infiltration rate for interrill conditions. *Geoderma*, 80(1–2), 181–194. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00075-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00075-X).
- Ganapuram, S., Kumar, G. T. V., Krishna, I. V. M., Kahya, E., & Demirel, M. C. (2009). Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Advances in Engineering Software*, 40(7), 506–518. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2008.10.001>.
- Gao, Q., Zribi, M., Escorihuela, M., Baghdadi, N., & Segui, P. (2018). Irrigation Mapping Using Sentinel-1 Time Series at Field Scale. *Remote Sensing*, 10(9), 1495. <https://doi.org/10.3390/rs10091495>.
- Gavrilov, M. B., Lukić, T., Janc, N., Basarin, B., & Marković, S. B. (2019). Forestry Aridity Index in Vojvodina, North Serbia. *Open Geosciences*, 11(1), 367–377. <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0029>.
- Gavrilov, M. B., Markovic, S., Jarad, A., & Korac, V. (2015). The analysis of temperature trends in Vojvodina (Serbia) from 1949 to 2006. *Thermal Science*, 19(suppl. 2), 339–350. <https://doi.org/10.2298/TSCI150207062G>.
- Gavrilov, M. B., Tošić, I., Marković, S. B., Unkašević, M., & Petrović, P. (2016). Analysis of annual and seasonal temperature trends using the Mann-Kendall test in Vojvodina, Serbia. *Idojaras*, 120(2), 183–198.
- Gavrilović, L., & Dukić, D. (2002). *Reke Srbije*. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.
- Ghorbani Nejad, S., Falah, F., Daneshfar, M., Haghizadeh, A., & Rahmati, O. (2016). Delineation of groundwater potential zones using remote sensing and GIS-based data-driven models. *Geocarto International*, 32(2), 1–21. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1132481>.
- Gitz, V. (2016). *Climate change and food security: risks and responses*. FAO. <https://www.fao.org/3/i5188e/i5188e.pdf>.
- Graf, L., Bach, H., & Tiede, D. (2020). Semantic Segmentation of Sentinel-2 Imagery for Mapping Irrigation Center Pivots. *Remote Sensing*, 12(23), 3937. <https://doi.org/10.3390/rs12233937>.
- Gumma, M. K., & Pavelic, P. (2013). Mapping of groundwater potential zones across Ghana using remote sensing, geographic information systems, and spatial modeling. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(4), 3561–3579. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2810-y>.

- Hagos, Y. G., Mengie, M. A., Andualem, T. G., Yibeltal, M., Linh, N. T. T., Tenagashaw, D. Y., & Hewa, G. (2022). Land suitability assessment for surface irrigation development at Ethiopian highlands using geospatial technology. *Applied Water Science*, 12(5), 98. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01618-2>.
- Haile, M. M., & Abebe, A. K. (2022). GIS and fuzzy logic integration in land suitability assessment for surface irrigation: the case of Guder watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Applied Water Science*, 12(10), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01761-w>.
- Hoffman, R., Edwards, D., Wallin, G., & Burton, T. (1975). Remote sensing instrumentation and methods used for identifying center pivot sprinkler irrigation systems and estimating crop water use. In *Proceedings of the International Seminar and Exposition on Water Resources Instrumentation*.
- Hrnjak, I., Lukić, T., Gavrilov, M. B., Marković, S. B., Unkašević, M., & Tošić, I. (2014). Aridity in Vojvodina, Serbia. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1–2), 323–332. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0893-1>.
- Huang, Q., Xu, Y., Kovacs, K., & West, G. (2017). Analysis of factor that influence the use of irrigation technologies and water management practice in Arkansas. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 49(2), 159–185. <https://doi.org/10.1017/aae.2017.3>.
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).
- Hunt Jr, E., & Rock, B. (1989). Detection of changes in leaf water content using Near- and Middle-Infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30(1), 43–54. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1).
- Ibrahim-Bathis, K., & Ahmed, S. A. (2016). Geospatial technology for delineating groundwater potential zones in Doddahalla watershed of Chitradurga district, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 19(2), 223–234. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.06.002>.
- Jha, M. K., Chowdhury, A., Chowdary, V. M., & Peiffer, S. (2007). Groundwater management and development by integrated remote sensing and geographic information systems: prospects and constraints. *Water Resources Management*, 21(2), 427–467. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9024-4>.
- Jhariya, D. C., Kumar, T., Gobinath, M., Diwan, P., & Kishore, N. (2016). Assessment of Groundwater Potential Zone Using Remote Sensing, GIS and Multi Criteria Decision Analysis Techniques. *Journal of the Geological Society of India*, 88(4), 481–492. <https://doi.org/10.1007/s12594-016-0511-9>.
- Jin, N., Tao, B., Ren, W., Feng, M., Sun, R., He, L., Zhuang, W., & Yu, Q. (2016). Mapping Irrigated and Rainfed Wheat Areas Using Multi-Temporal Satellite Data. *Remote Sensing*, 8(3), 207. <https://doi.org/10.3390/rs8030207>.

- JVP „Vode Vojvodine” (2023). Navodnjavanje. <https://vodevojvodine.com/ona/delatnosti/navodnjavanje>.
- JVP „Vode Vojvodine” (2024). Odvodnjavanje. <https://vodevojvodine.com/ona/delatnosti/odvodnjavanje>.
- Karayalçin, I. I. (1982). The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. *European Journal of Operational Research*, 9(1), 97–98. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(82\)90022-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(82)90022-4).
- Katić, P., i Dunderov, N. (1972). Raspodela padavina u Vojvodini. *Zbornik Matice Srpske Za Prirodne Nauke Srpske*, 42.
- Kljaić, N., Vuković, P., i Arsić, S. (2011). Irrigation in Serbia - Development conditions and perspectives. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 11(1), 100–106.
- Kolaković, S., i Fabian, Đ. (2001). Akumulacije u Vojvodini i mogućnost njihovog korišćenja u borbi protiv suše. *Suša i Poljoprivreda*, 2001, 204–2011.
- Konkul, J., Rojborwornwittaya, W., & Chotpantararat, S. (2014). Hydrogeologic characteristics and groundwater potentiality mapping using potential surface analysis in the Huay Sai area, Phetchaburi province, Thailand. *Geosciences Journal*, 18(1), 89–103. <https://doi.org/10.1007/s12303-013-0047-6>.
- Košćal, M., Menković, L., Mijatović, M., i Knežević, M. (2005). Geomorfološka karta AP Vojvodine 1:200000. Geozavod-Gemini, Beograd.
- Kulkarni, A. D., & Lowe, B. (2016). Random Forest Algorithm for Land Cover Classification. *Computer Science Faculty Publications and Presentations*, 4(3), 58–63.
- Kumar, S. V., Peters-Lidard, C. D., Santanello, J. A., Reichle, R. H., Draper, C. S., Koster, R. D., Nearing, G., & Jasinski, M. F. (2015). Evaluating the utility of satellite soil moisture retrievals over irrigated areas and the ability of land data assimilation methods to correct for unmodeled processes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(11), 4463–4478. <https://doi.org/10.5194/hess-19-4463-2015>.
- Kurnik, B., Kajfež-Bogataj, L., & Horion, S. (2015). An assessment of actual evapotranspiration and soil water deficit in agricultural regions in Europe. *International Journal of Climatology*, 35(9), 2451–2471. <https://doi.org/10.1002/joc.4154>.
- Lebourgeois, V., Dupuy, S., Vintrou, É., Ameline, M., Butler, S., & Bégué, A. (2017). A Combined Random Forest and OBIA Classification Scheme for Mapping Smallholder Agriculture at Different Nomenclature Levels Using Multisource Data (Simulated Sentinel-2 Time Series, VHRS and DEM). *Remote Sensing*, 9(3), 259. <https://doi.org/10.3390/rs9030259>.
- Lee, S., Kim, Y.S., & Oh, H.J. (2012). Application of a weights-of-evidence method and GIS to regional groundwater productivity potential mapping. *Journal of Environmental Management*, 96(1), 91–105. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.09.016>.
- Li, H., & Chen, Y. (2020). Assessing potential land suitable for surface irrigation using groundwater data and multi-criteria evaluation in Xinjiang inland river basin. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168, 105079. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105079>.

- Likić, B. (2002). Opšti prikaz Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav. In *Hidrosistem Dunav-Tisa-Dunav - 25 godina posle* (pp. 41–58). JVP “Srbijavode” Beograd, VPC “Dunav” Novi Sad.
- Lugonja, P., Brdar, S., Simović, I., Mimić, G., Palamarchuk, Y., Sofiev, M., & Šikoparija, B. (2019). Integration of in situ and satellite data for top-down mapping of *Ambrosia* infection level. *Remote Sensing of Environment*, 235(December 2018), 111455. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111455>.
- Machiwal, D., Jha, M. K., & Mal, B. C. (2011). Assessment of Groundwater Potential in a Semi-Arid Region of India Using Remote Sensing, GIS and MCDM Techniques. *Water Resources Management*, 25(5), 1359–1386. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9749-y>.
- Magesh, N. S., Chandrasekar, N., & Soundranayagam, J. P. (2012). Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques. *Geoscience Frontiers*, 3(2), 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.10.007>.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons.
- Malinovic-Milicevic, S., Mihailovic, D., Radovanovic, M., & Dreskovic, N. (2018). Extreme precipitation indices in Vojvodina region (Serbia). *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic SASA*, 68(1), 1–15. <https://doi.org/10.2298/ijgi1801001m>.
- Manap, M. A., Sulaiman, W. N. A., Ramli, M. F., Pradhan, B., & Surip, N. (2013). A knowledge-driven GIS modeling technique for groundwater potential mapping at the Upper Langat Basin, Malaysia. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(5), 1621–1637. <https://doi.org/10.1007/s12517-011-0469-2>.
- Marković, S. (1996). Vodni režim freatske izdani u jugoslovenskom delu Banata. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Institut za geografiju, Novi Sad.
- Marković, S. (1999). Freatska izdan. U *Vode Srema* (pp. 1–112). Prirodno-matematički fakultet, Institut za geografiju, Novi Sad.
- Marković, S. (1999). Kraška izdan. U *Vode Srema* (pp. 1–112). Prirodno-matematički fakultet, Institut za geografiju, Novi Sad.
- Marković, S. (2000). Paleogeografija kvartara na teritoriji Vojvodine. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Institut za geografiju, Novi sad.
- Martin, D., Kincaid, D., & Lyle, W. (2007). Chapter 16. Design and Operation of Sprinkler Systems. In *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, 2nd Edition (pp. 557–631). American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/2013.23699>.
- Masina, M., Lambertini, A., Daprà, I., Mandanici, E., & Lamberti, A. (2020). Remote Sensing Analysis of Surface Temperature from Heterogeneous Data in a Maize Field and Related Water Stress. *Remote Sensing*, 12(15), 2506. <https://doi.org/10.3390/rs12152506>.
- Massari, C., Modanesi, S., Dari, J., Gruber, A., De Lannoy, G. J. M., Giroto, M., Quintana-Seguí, P., Le Page, M., Jarlan, L., Zribi, M., Ouaadi, N., Vreugdenhil, M., Zappa, L., Dorigo, W., Wagner, W., Brombacher, J., Pelgrum, H., Jaquot, P., Freeman, V., Volden, E., Fernandez Prieto, D., Tarpanelli, A., Barbaretta, S., & Brocca, L. (2021). A Review of Irrigation Information Retrievals from Space and Their Utility for Users. *Remote Sensing*, 13(20), 4112. <https://doi.org/10.3390/rs13204112>.

- Mihailović, D., Lalić, B., Malinović, S., i Arsenić, I. (2004). Upotreba klimatskih modela za potrebe ratarsko-povrtnarske proizvodnje. Zbornik Radova Naučnog Instituta Za Ratarstvo i Povrtarstvo, 40, 35–45.
- Milić, S., Banjac, D., Vasin, J., Ninkov, J., Pejić, B., Bajić, I., & Mijić, B. (2021). Assessment of irrigation water quality at the territory of Vojvodina Province (Serbia). Zbornik Matice Srpske Za Prirodne Nauke, 1(140), 85–101. <https://doi.org/10.2298/ZMSPN2140085M>.
- Miljković, N. (2005). Meliorativna pedologija. Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Univerzitet u Novom Sadu.
- Miloradović, M. (2002). Vodoprivredna problematika Bačke i Banata pre izgradnje Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav. In Hidrosistem Dunav-Tisa-Dunav - 25 godina posle (pp. 23–39). JVP “Srbijavode” Beograd, VPC “Dunav” Novi Sad.
- Milošev, Ž. (2002). Hidrotehnički radovi u Banatu i Bačkoj pre izgradnje Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav. In Hidrosistem Dunav-Tisa-Dunav - 25 godina posle (pp. 1–21). JVP “Srbijavode” Beograd, VPC “Dunav” Novi Sad.
- Milovanov, D. (1972). Hidrosistem DTD. VP DTD, Novi Sad.
- Mirkov, N. (1951). Isušenje žitnice Jugoslavije (Vojvodina) i Kanal Dunav – Tisa – Dunav. Vode Vojvodine, Novi Sad.
- Mogaji, K. A., Lim, H. S., & Abdullah, K. (2015). Regional prediction of groundwater potential mapping in a multifaceted geology terrain using GIS-based Dempster–Shafer model. Arabian Journal of Geosciences, 8(5), 3235–3258. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1391-1>.
- Mostafa, S. M., Wahed, O., El-Nashar, W. Y., El-Marsafawy, S. M., & Abd-Elhamid, H. F. (2021). Impact of climate change on water resources and crop yield in the middle egypt region. Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 70(7), 1066–1084. <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.019>.
- Muluneh, A., Tadesse, T., & Girma, R. (2022). Assessing potential land suitable for surface irrigation using GIS and AHP techniques in the Rift Valley Lakes Basin, Ethiopia. Sustainable Water Resources Management, 8(2), 46. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00632-1>.
- Murthy, K. S. R. (2000). Ground water potential in a semi-arid region of Andhra Pradesh - a geographical information system approach. International Journal of Remote Sensing, 21(9), 1867–1884. <https://doi.org/10.1080/014311600209788>.
- Nampak, H., Pradhan, B., & Manap, M. A. (2014). Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. Journal of Hydrology, 513, 283–300. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.053>.
- Nejgebauer, V., Živković, B., Tanasijević, Đ., i Miljković, N. (1971). Pedološka karta Vojvodine razmera 1:50000. Institut za poljoprivredna istraživanja, Novi Sad.
- Nikolić, M., i Zečević, A. (2019). Mašinsko učenje.
- Ninkov, J., Marković, S., Banjac, D., Vasin, J., Milić, S., Banjac, B., & Mihailović, A. (2017). Mercury content in agricultural soils (Vojvodina Province, Serbia). Environmental Science and Pollution Research, 24(12), 10966–10975. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7897-1>.

- Novaković, J. Đ. (2013). Rešavanje klasifikacionih problema mašinskog učenja. Fakultet tehničkih nauka u Čačku.
- Oliphant, A. J., Thenkabail, P. S., Teluguntla, P., Xiong, J., Gumma, M. K., Congalton, R. G., & Yadav, K. (2019). Mapping cropland extent of Southeast and Northeast Asia using multi-year time-series Landsat 30-m data using a random forest classifier on the Google Earth Engine Cloud. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 81(November 2018), 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.11.014>.
- Orynbaikyzy, A., Gessner, U., & Conrad, C. (2022). Spatial Transferability of Random Forest Models for Crop Type Classification Using Sentinel-1 and Sentinel-2. *Remote Sensing*, 14(6), 1493. <https://doi.org/10.3390/rs14061493>.
- Otropec, S. (1980). *Agrometeorologija*. Nolit.
- Ozdogan, M., & Gutman, G. (2008). A new methodology to map irrigated areas using multi-temporal MODIS and ancillary data: An application example in the continental US. *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3520–3537. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.04.010>.
- Ozdogan, M., Yang, Y., Allez, G., & Cervantes, C. (2010). Remote Sensing of Irrigated Agriculture: Opportunities and Challenges. *Remote Sensing*, 2(9), 2274–2304. <https://doi.org/10.3390/rs2092274>.
- Pageot, Y., Baup, F., Inglada, J., Baghdadi, N., & Demarez, V. (2020). Detection of Irrigated and Rainfed Crops in Temperate Areas Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Time Series. *Remote Sensing*, 12(18), 3044. <https://doi.org/10.3390/rs12183044>.
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 217–222. <https://doi.org/10.1080/01431160412331269698>.
- Paul, M., Negahban-Azar, M., Shirmohammadi, A., & Montas, H. (2020). Assessment of agricultural land suitability for irrigation with reclaimed water using geospatial multi-criteria decision analysis. *Agricultural Water Management*, 231, 105987. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105987>.
- Pavić, D. (2006). *Vodni režim i pravci oticanja freatske izdani Bačke*. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad.
- Pavić, D., Dolinaj, D., & Dragičević, S. (2009). Thermal regime of water and ice on the Tisza river in Serbia. *Zbornik Radova - Geografski Fakultet Univezriteta u Beogradu*, 57, 35–46.
- Pavić, D., Lazić, L., Bogdanović, Ž., & Plavša, J. (2006). Water regime and the direction of drainage of phreatic aquifer in the Backa loess plateau. *Geographica Pannonica*, 49(10), 26–31. <https://doi.org/10.5937/GeoPan0610026P>.
- Pavić, D., Mészáros, M., & Ćurčić, G. (2012a). Main characteristics of Water Regime of the Phreatic Aquifer in Subotica Municipality (Vojvodina, Serbia). *Geographica Pannonica*, 16(4), 136–144.
- Pavić, D., Mészáros, M., & Stojanović, V. (2012b). Dewatering melioration measures as a factor of geographic landscape transformation of the Danube and Tisa alluvial planes in Bačka. *Zbornik Radova - Geografski Fakultet Univerziteteta u Beogradu*, 60, 131–144.

- Pelletier, C., Valero, S., Inglada, J., Champion, N., & Dedieu, G. (2016). Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high resolution satellite image time series over large areas. *Remote Sensing of Environment*, 187, 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.010>.
- Peña-Arancibia, J. L., McVicar, T. R., Paydar, Z., Li, L., Guerschman, J. P., Donohue, R. J., Dutta, D., Podger, G. M., van Dijk, A. I. J. M., & Chiew, F. H. S. (2014). Dynamic identification of summer cropping irrigated areas in a large basin experiencing extreme climatic variability. *Remote Sensing of Environment*, 154, 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.08.016>.
- Polomcic, D., Stevanovic, Z., Dokmanović, P., Ristić Vakanjac, V., Hajdin, B., Milanović, S., & Bajić, D. (2011). Optimization of groundwater supply in Serbia. In *Proceedings of the XIV Serbian Symposium on Hydrogeology, Zlatibor, Serbia* (pp. 17-20).
- Preeja, K. R., Joseph, S., Thomas, J., & Vijith, H. (2011). Identification of Groundwater Potential Zones of a Tropical River Basin (Kerala, India) Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 39(1), 83–94. <https://doi.org/10.1007/s12524-011-0075-5>.
- Purnell, M. F. (1979). *The FAO approach to land evaluation and its application to land classification for irrigation*. FAO.
- Radulović, M., Brdar, S., Mesaroš, M., Lukić, T., Savić, S., Basarin, B., Crnojević, V., & Pavić, D. (2022). Assessment of Groundwater Potential Zones Using GIS and Fuzzy AHP Techniques—A Case Study of the Titel Municipality (Northern Serbia). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/ijgi11040257>.
- Radulović, M., Brdar, S., Pejak, B., Lugonja, P., Athanasiadis, I., Pajević, N., Pavić, D., & Crnojević, V. (2023). Machine learning-based detection of irrigation in Vojvodina (Serbia) using Sentinel-2 data. *GIScience & Remote Sensing*, 60(1). <https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2262010>.
- Radulović, M., Marković, M., Brdar, S., Athanasiadis, I., & Mimić, G. (2025). The first geospatial dataset of irrigated fields (2020–2024) in Vojvodina (Serbia). *Scientific Data*, 12(1), 105. <https://doi.org/10.1038/s41597-025-04443-9>.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Melesse, A. M. (2016). Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: A case study at Mehran Region, Iran. *CATENA*, 137, 360–372. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.10.010>.
- Rajaveni, S. P., Brindha, K., & Elango, L. (2017). Geological and geomorphological controls on groundwater occurrence in a hard rock region. *Applied Water Science*, 7(3), 1377–1389. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0327-6>.
- Rajić, D. (2002). Snabdevanje vodom Hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav. In *Hidrosistem Dunav-Tisa-Dunav - 25 godina posle* (pp. 115–129). JVP „Srbijavode” Beograd, VPC „Dunav” Novi Sad.
- Ramanathan, R., & Ganesh, L. S. (1994). Group preference aggregation methods employed in AHP: An evaluation and an intrinsic process for deriving members’ weightages. *European Journal of Operational Research*, 79(2), 249–265. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)90356-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90356-5).
- Razandi, Y., Pourghasemi, H. R., Neisani, N. S., & Rahmati, O. (2015). Application of analytical hierarchy process, frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential

- mapping using GIS. *Earth Science Informatics*, 8(4), 867–883. <https://doi.org/10.1007/s12145-015-0220-8>.
- Rodić, D., i Pavlović, M. (1994). *Geografija Jugoslavije I. Savremena administracija*, Beograd.
- Saaty, L. T. (1987). The analytic hierarchy process - what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).
- Saaty, L. T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- Savić, R., Pejić, B., Ondrašek, G., Vranešević, M., i Bezdan, A. (2013). Iskorišćenost prirodnih resursa Vojvodine za navodnjavanje. *Agroznanje*, 14(1), 133. <https://doi.org/10.7251/-AGRSR1301133S>.
- Savić, R., i Vranešević, M. (2011). Količine i kvalitet vode za navodnjavanje. In *Upotrebljivost voda za navodnjavanje* (pp. 28–64).
- Schaldach, R., Koch, J., Aus der Beek, T., Kynast, E., & Flörke, M. (2012). Current and future irrigation water requirements in pan-Europe: An integrated analysis of socio-economic and climate scenarios. *Global and Planetary Change*, 94–95, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.06.004>.
- Schmitter, P., Kibret, K. S., Lefore, N., & Barron, J. (2018). Suitability mapping framework for solar photovoltaic pumps for smallholder farmers in sub-Saharan Africa. *Applied Geography*, 94(February), 41–57. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.02.008>.
- Şener, E., Şener, Ş., & Davraz, A. (2018). Groundwater potential mapping by combining fuzzy-analytic hierarchy process and GIS in Beyşehir Lake Basin, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(8), 187. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3510-x>.
- Shaban, A., Khawlie, M., & Abdallah, C. (2006). Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. *Hydrogeology Journal*, 14(4), 433–443. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0437-6>.
- Shahriar Pervez, M., Budde, M., & Rowland, J. (2014). Mapping irrigated areas in Afghanistan over the past decade using MODIS NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 149, 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.008>.
- Shalev-Shwartz, S., & Ben-David, S. (2014). *Understanding Machine Learning*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107298019>.
- Sharma, A. K., Hubert-Moy, L., Buvaneshwari, S., Sekhar, M., Ruiz, L., Bandyopadhyay, S., & Corgne, S. (2018). Irrigation History Estimation Using Multitemporal Landsat Satellite Images: Application to an Intensive Groundwater Irrigated Agricultural Watershed in India. *Remote Sensing*, 10(6), 893. <https://doi.org/10.3390/rs10060893>.
- Shi, T., & Horvath, S. (2006). Unsupervised Learning With Random Forest Predictors. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 15(1), 118–138. <https://doi.org/10.1198/106186006X94072>.
- Siebert, S., Kummu, M., Porkka, M., Döll, P., Ramankutty, N., & Scanlon, B. R. (2015). A global data set of the extent of irrigated land from 1900 to 2005. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(3), 1521–1545. <https://doi.org/10.5194/hess-19-1521-2015>.

- Smith, R. J., Uddin, M. J., & Gillies, M. H. (2018). Estimating irrigation duration for high performance furrow irrigation on cracking clay soils. *Agricultural Water Management*, 206, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.014>.
- Sophocleous, M., Townsend, M. A., Vogler, L. D., McClain, T. J., Marks, E. T., & Coble, G. R. (1988). Experimental studies in stream-aquifer interaction along the Arkansas River in Central Kansas - Field testing and analysis. *Journal of Hydrology*, 98(3–4), 249–273. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(88\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(88)90017-0).
- Srđević, Z., Bojan, S., Blagojević, B., & Bajčetić, R. (2010). Combining GIS and Analytic hierarchy process for evaluating land suitability for irrigation: A case study from Serbia. 2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, November, 247–250. <https://doi.org/10.1109/ICBEE.2010.5653402>.
- Srđević, Z., i Srđević, B. (2008). Dvonamenski sistemi (za navodnjavanje i odvodnjavanje) i asocijacije korisnika u Vojvodini. *Vodoprivreda*, 40, 69–80.
- Stojanović, V., Pavić, D., i Mesaroš, M. (2014). Ritovi Bačke: geografske karakteristike, isušivanje, korišćenje i zaštita prirode. Matica srpska, Odeljenje za prirodne nauke.
- Stojić, M. (1994). Režimi i bilansi podzemnih voda u Vojvodini. Zbornik Radova Sa Savetovanja: “Voda, Zemljište i Agrikulturna Hemija”, 28–37.
- Stojić, M. (1995). Podzemna voda – glavno izvoriste snabdevanja vodom stanovništva Vojvodine. Zbornik radova Eko konferencije, 95, 123–128.
- Story, M., & Congalton, R. G. (1986). Remote Sensing Brief Accuracy Assessment: A User’s Perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3), 397–399.
- Subić, J., Rajnović, L., Jeločnik, M., Vuković, P., Kuzman, B., Puškarić, A., Paraušić, V., Popović, V., Nastić, L., Grujić Vučkovski, B., Kljajić, N., Simonović, Z., Mihailović, B., Kovačević, V., Arsić, S., Jovanović Todorović, M., Mijajlović, N., Bekić Šarić, B., Potrebić, V., ... Ćurčić, N. (2021). Plan razvoja Opštine Titel za period 2022-2030. godine.
- Tang, J., Arvor, D., Corpetti, T., & Tang, P. (2021). Mapping Center Pivot Irrigation Systems in the Southern Amazon from Sentinel-2 Images. *Water*, 13(3), 298. <https://doi.org/10.3390/w13030298>.
- Tomić, P. (1999a). Termomineralne vode. U *Vode Srema* (pp. 1–112). Prirodno-matematički fakultet, Institut za geografiju, Novi Sad.
- Tomić, P. (1999b). Arteške vode. U *Vode Srema* (pp. 1–112). Prirodno-matematički fakultet, Institut za geografiju, Novi Sad.
- Topcu, S. (2011). Turkey’s Water Policy: National Frameworks and International Cooperation. In A. Kibaroglu, A. Kramer, & W. Scheumann (Eds.), *Turkey’s Water Policy: National Frameworks and International Cooperation* (pp. 93–115). Springer Berlin Heidelberg.
- Tošić, I., Hrnjak, I., Gavrilov, M. B., Unkašević, M., Marković, S. B., & Lukić, T. (2014). Annual and seasonal variability of precipitation in Vojvodina, Serbia. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(1–2), 331–341. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1007-9>.
- United Nations. (n.d.). Sustainable Development Goals. Retrieved August 8, 2024, from https://sdgs.un.org/goals/goal2#targets_and_indicators.

- Varghese, D., Radulović, M., Stojković, S., & Crnojević, V. (2021). Reviewing the Potential of Sentinel-2 in Assessing the Drought. *Remote Sensing*, 13(17), 3355. <https://doi.org/10.3390/rs13173355>.
- Vogels, M. F. A., de Jong, S. M., Sterk, G., Douma, H., & Addink, E. A. (2019). Spatio-temporal patterns of smallholder irrigated agriculture in the horn of Africa using GEOBIA and Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/rs11020143>.
- Wada, Y., Wisser, D., Eisner, S., Flörke, M., Gerten, D., Haddeland, I., Hanasaki, N., Masaki, Y., Portmann, F. T., Stacke, T., Tessler, Z., & Schewe, J. (2013). Multimodel projections and uncertainties of irrigation water demand under climate change. *Geophysical Research Letters*, 40(17), 4626–4632. <https://doi.org/10.1002/grl.50686>.
- Wang, G., Bibi, S., Zhu, T., Tian, F., & Olivares, M. A. (2023). Review Analysis of Irrigation and Application of Remote Sensing in the Lower Mekong River Basin. *Remote Sensing*, 15(15), 3856. <https://doi.org/10.3390/rs15153856>.
- Wang, L., & Qu, J. J. (2007). NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. *Geophysical Research Letters*, 34(20), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2007GL031021>.
- World Meteorological Organization. (2024). State of the Global Climate 2023.
- Worqlul, A. W., Dile, Y. T., Jeong, J., Adimassu, Z., Lefore, N., Gerik, T., Srinivasan, R., & Clarke, N. (2019). Effect of climate change on land suitability for surface irrigation and irrigation potential of the shallow groundwater in Ghana. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157(December 2018), 110–125. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.040>.
- Worqlul, A. W., Jeong, J., Dile, Y. T., Osorio, J., Schmitter, P., Gerik, T., Srinivasan, R., & Clark, N. (2017). Assessing potential land suitable for surface irrigation using groundwater in Ethiopia. *Applied Geography*, 85, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.05.010>.
- Wu, B., Tian, F., Zhang, M., Piao, S., Zeng, H., Zhu, W., Liu, J., Elnashar, A., & Lu, Y. (2022). Quantifying global agricultural water appropriation with data derived from earth observations. *Journal of Cleaner Production*, 358, 131891. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131891>.
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*, 2017, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>.
- You, L., Ringler, C., Wood-Sichra, U., Robertson, R., Wood, S., Zhu, T., Nelson, G., Guo, Z., & Sun, Y. (2011). What is the irrigation potential for Africa? A combined biophysical and socioeconomic approach. *Food Policy*, 36(6), 770–782. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2011.09.001>.
- Zhang, C., Dong, J., & Ge, Q. (2022). IrriMap_CN: Annual irrigation maps across China in 2000–2019 based on satellite observations, environmental variables, and machine learning. *Remote Sensing of Environment*, 280, 113184. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113184>.
- Zhang, K., Ge, X., Shen, P., Li, W., Liu, X., Cao, Q., Zhu, Y., Cao, W., & Tian, Y. (2019). Predicting Rice Grain Yield Based on Dynamic Changes in Vegetation Indexes during Early to Mid-Growth Stages. *Remote Sensing*, 11(4), 387. <https://doi.org/10.3390/rs11040387>.

Živković, B., Nejgebauer, V., Tanasijević, Đ., Miljković, N., Stojković, L., i Drezgić, P. (1972).
Zemljišta Vojvodine. Institut za poljoprivredna istraživanja, Novi Sad.

Internet izvori

<https://vodevojvodine.com/>

<https://sentinel.esa>

<https://github.com/justinelliotmeyers/Sentinel-2-Shapefile-Index>

<https://dataspace.copernicus.eu/>

<https://spacedata.copernicus.eu/>

<https://www.bgr.bund.de>

<https://land.copernicus.eu/en>

<https://geoliss.mre.gov.rs/prez/OGK/RasterSrbija/>

<https://tinyurl.com/banyjj8h>

<https://tinyurl.com/2ta34bhx>

<https://tinyurl.com/52jsm3ht>

<https://tinyurl.com/mvy3856s>

PRILOZI

Prilog 1. Upitnik za određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje

UPITNIK

(potencijalne lokacija za navodnjavanje)



Poštovani, hvala Vam što ste izdvojili vreme da popunite anketu koja se tiče određivanja potencijalnih lokacija za navodnjavanje u Vojvodini prema prioritetu zalivanja iz površinskih i podzemnih izvora vode. Dobijeni podaci biće korišćeni isključivo u svrhu naučno-stručne obrade. Ova anketa je deo istraživanja za potrebe izrade doktorske disertacije pod nazivom “Geoprostorna analiza u funkciji planskog razvoja navodnjavanja u AP Vojvodini” kandidatkinje Mirjane Radulović.

Unapred se zahvaljujem na saradnji!

Kratko uputstvo

Molim Vas da popunite sledeće dve tabele koje predstavljaju parno poređenje indikatora u zavisnosti od njihovog krajnjeg značaja, a to je a) zalivanje korišćenjem površinskih voda; b) zalivanje korišćenjem podzemnih voda. Poređenje se vrši upisivanjem ocena u zavisnosti koliko je neki indikator (npr. nagib terena) dominantan u odnosu na drugi indikator (npr. irigabilne klase) kad je u pitanju određivanje potencijalnih lokacija za navodnjavanje. Za ocenjivanje se koristi standardna Satijeva skala od 1-9.

| <i>opis ocene</i> | <i>ocena</i> |
|------------------------|--------------|
| Isti značaj | 1 |
| Slaba dominantnost | 3 |
| Jaka dominantnost | 5 |
| Vrlo jaka dominantnost | 7 |
| Apsolutna dominantnost | 9 |
| <i>Međuvrednosti</i> | 2, 4, 6, 8 |

| Potencijalne lokacije za navodnjavanje iz površinskih izvora vode u Vojvodini | | | | | |
|--|--------------|------------------|---|---------------------------------|---|
| | Nagib terena | Irigabilne klase | Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta | Površine pod zalivnim sistemima | Udaljenost od površinskog izvora vode (reka/kanala) |
| Nagib terena | 1 | | | | |
| Irigabilne klase | x | 1 | | | |
| Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta | x | x | 1 | | |
| Površine pod zalivnim sistemima | x | x | x | 1 | |
| Udaljenost od površinskog izvora vode (reka/kanala) | x | x | x | x | 1 |

| Potencijalne lokacije za navodnjavanje iz podzemnih izvora vode u Vojvodini | | | | |
|--|--------------|------------------|---|------------------------|
| | Nagib terena | Irigabilne klase | Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta | Produktivnost akviferi |
| Nagib terena | 1 | | | |
| Irigabilne klase | x | 1 | | |
| Zastupljenost poljoprivrednog zemljišta | x | x | 1 | |
| Produktivnost akviferi | x | x | x | 1 |

Prilog 2. Upitnik za određivanje zona potencijala podzemnih voda

UPITNIK*(zone potencijala podzemnih voda)*

Poštovani, hvala Vam što ste izdvojili vreme da popunite anketu koja se tiče određivanja potencijala zona podzemnih voda u opštini Titel. Dobijeni podaci biće korišćeni isključivo u svrhu naučno-stručne obrade. Ova anketa je deo istraživanja za potrebe izrade doktorske disertacije pod nazivom “Geoprostorna analiza u funkciji planskog razvoja navodnjavanja u AP Vojvodini” kandidatkinje Mirjane Radulović.

Unapred se zahvaljujem na saradnji!

Kratko uputstvo

Molim Vas da popunite sledeće dve tabele koje predstavljaju parno poređenje indikatora u zavisnosti od njihovog krajnjeg značaja. Poređenje se vrši upisivanjem ocena u zavisnosti koliko je neki indikator i podindikator (npr. geomorfologija) dominantan u odnosu na drugi indikator i podindikator (npr. zemljište) kad je u pitanju određivanje potencijala zona podzemnih voda. Za ocenjivanje se koristi standardna Satijeva skala od 1-9.

| <i>opis ocene</i> | <i>ocena</i> |
|------------------------|--------------|
| Isti značaj | 1 |
| Slaba dominantnost | 3 |
| Jaka dominantnost | 5 |
| Vrlo jaka dominantnost | 7 |
| Apsolutna dominantnost | 9 |
| <i>Međuvrednosti</i> | 2, 4, 6, 8 |

Parno poređenje na nivou indikatora

| | Geomorfološke karakteristike | Zemljište | Geološka struktura | Način korišćenja zemljišta | Nagib terena | Gustina drenaže |
|------------------------------|------------------------------|-----------|--------------------|----------------------------|--------------|-----------------|
| Geomorfološke karakteristike | 1 | | | | | |
| Zemljište | x | 1 | | | | |

| | | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Geološka struktura | x | x | 1 | | | |
| Način korišćenja zemljišta | x | x | x | 1 | | |
| Nagib terena | x | x | x | x | 1 | |
| Gustina drenaže | x | x | x | x | x | 1 |

Parno poređenje na nivou podindikatora – Geomorfološke karakteristike

| | Depresije bara i močvara | Korita reka | Mrtvaje – veći napušteni meandri | Rečno ostrvo – ada | Aluvijalna ravan | Lesna zaravan | Područje umerenog spiranja i jaruženja | Niža rečna terasa | Proluvijalne lepeze | Viša rečna terasa |
|--|--------------------------|-------------|----------------------------------|--------------------|------------------|---------------|--|-------------------|---------------------|-------------------|
| Depresije bara i močvara | 1 | | | | | | | | | |
| Korita reka | x | 1 | | | | | | | | |
| Mrtvaje – veći napušteni meandri | x | x | 1 | | | | | | | |
| Rečno ostrvo – ada | x | x | x | 1 | | | | | | |
| Aluvijalna ravan | x | x | x | x | 1 | | | | | |
| Lesna zaravan | x | x | x | x | x | 1 | | | | |
| Područje umerenog spiranja i jaruženja | x | x | x | x | x | x | 1 | | | |
| Niža rečna terasa | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | |
| Proluvijalne lepeze | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | |
| Viša rečna terasa | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 |

Parno poređenje na nivou podindikatora – Geološka struktura

| | ap-w | ap' | ap'' | Pl ₂₊₃ | b | a-w | a' | al | a'' | a _{1m} | ls-w | d | ls-rw |
|-------------------|------|-----|------|-------------------|---|-----|----|----|-----|-----------------|------|---|-------|
| ap-w | 1 | | | | | | | | | | | | |
| ap' | x | 1 | | | | | | | | | | | |
| ap'' | x | x | 1 | | | | | | | | | | |
| Pl ₂₊₃ | x | x | x | 1 | | | | | | | | | |
| b | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | |
| a-w | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | |
| a' | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | |
| al | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | |
| a'' | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | |
| a _{1m} | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | |
| ls-w | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | |
| d | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | |
| ls-rw | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 |

Parno poređenje na nivou podindikatora – Zemljište

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 1. Aluvijalno alkalizovano zemljište | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Aluvijalno ilovasto zemljište | x | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Aluvijalno peskovito zemljište | x | x | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. Aluvijalno zabareno zemljište | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. Aluvijalno zemljište na ritskoj crnici | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. Černoziem beskarbonatni | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. Černoziem karbonatni na aluvijalnim nanosima | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8. Černoziem karbonatni (micelarni) na lesnom platou | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9. Černoziem karbonatni (micelarni) na lesnoj terasi | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10. Černoziem na peskovitom lesu | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11. Černoziem ogajnjaceni na aluvijalnim nanosima | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12. Černoziem slabo ogajnjaceni | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 13. Deluvijalno karbonatno zemljište | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 14. Haplic Regosol (Calcaric, Siltic) | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | | |
| 15. Inicijalno zemljište na lesu | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | | |
| 16. Livadska crnica sa značima zaslanjivanja | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | | |
| 17. Močvarno glejno zemljište | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | | |
| 18. Ritska crnica beskarbonatna mestimično zaslanjena | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | | |
| 19. Ritska crnica karbonatna | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | | |
| 20. Ritska crnica karbonatna peskovita | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | | |
| 21. Ritska smonica | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | | |
| 22. Ritska smonica zaslanjena | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | | |
| 23. Ritska smonica zaslanjena i alkalizovana | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | | |
| 24. Solončak | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 | |
| 25. Solonjec | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 1 |

Parno poređenje na nivou podindikatora – Način korišćenja zemljišta

| | Vodeni objekti | Močvare | Poljoprivredne površine | Šume | Veštačke površine |
|-------------------------|----------------|---------|-------------------------|------|-------------------|
| Vodeni objekti | 1 | | | | |
| Močvare | x | 1 | | | |
| Poljoprivredne površine | x | x | 1 | | |
| Šume | x | x | x | 1 | |
| Veštačke površine | x | x | x | x | 1 |

Parno poređenje na nivou podindikatora – Gustina drenaže

| | 0-1 km ² | 1-2 km ² | 2-3 km ² | 3-4 km ² |
|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0-1 km/km ² | 1 | | | |
| 1-2 km/km ² | x | 1 | | |
| 2-3 km/km ² | x | x | 1 | |
| 3-4 km/km ² | x | x | x | 1 |

Parno poređenje na nivou podindikatora – Nagib terena

| | Ravno | Blagi nagib | Strmo |
|-------------|-------|-------------|-------|
| Ravno | 1 | | |
| Blagi nagib | x | 1 | |
| Strmo | x | x | 1 |

Prilog 3. Fazifikovana matrica parnog poređenja na nivou indikatora – Geomorfološke karakteristike

| Geomorfološke karakteristike | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Težina |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------|-------------|-----------|-----------|--------|
| Depresije bara i močvara | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/1/1 | 4/5/6 | 3/4/5 | 1/2/3 | 3/4/5 | 2/3/4 | 0.170 |
| Korita reka | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/1/1 | 4/5/6 | 3/4/5 | 1/2/3 | 3/4/5 | 2/3/4 | 0.157 |
| Mrtvaje – veći napušteni meandri | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 3/4/5 | 2/3/4 | 1/2/3 | 2/3/4 | 1/2/3 | 0.120 |
| Rečno ostrvo – ada | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/2/3 | 2/3/4 | 1/2/3 | 0.100 |
| Aluvijalna ravan | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/1/1 | 5/6/7 | 4/5/6 | 2/3/4 | 3/4/5 | 2/3/4 | 0.184 |
| Lesna zaravan | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/5,1/4,1/3 | 1/1/1 | 1/7,1/6,1/5 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 0.036 |
| Područje umerenog spiranja i jaruženja | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/6,1/5,1/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 0.037 |
| Niža rečna terasa | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/4,1/3,1/2 | 3/4/5 | 1/2/3 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/2/3 | 0.090 |
| Proluvijalne lepeze | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/5,1/4,1/3 | 1/2/3 | 1/1/1 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 0.041 |
| Viša rečna terasa | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/4,1/3,1/2 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/3,1/2,1 | 1/2/3 | 1/1/1 | 0.065 |

Prilog 4. Fazifikovana matrica parnog poređenja na nivou indikatora – Geološka struktura

| Geološka struktura | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | Težina |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|--------|
| ap-w | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 2/3/4 | 3/4/5 | 1/2/3 | 0.123 |
| ap' | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 2/3/4 | 4/5/6 | 3/4/5 | 0.131 |
| ap'' | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 2/3/4 | 5/6/7 | 3/4/5 | 0.133 |
| Pl ₂₊₃ | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 4/5/6 | 2/3/4 | 0.074 |
| b | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 4/5/6 | 2/3/4 | 0.074 |
| a-w | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 4/5/6 | 2/3/4 | 0.072 |
| a' | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 4/5/6 | 2/3/4 | 0.074 |
| al | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 4/5/6 | 2/3/4 | 0.074 |
| a'' | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 4/5/6 | 2/3/4 | 0.074 |
| a _m | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 4/5/6 | 2/3/4 | 0.074 |
| ls-w | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 3/4/5 | 1/2/3 | 0.048 |
| d | 1/5,1/4,1/3 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/5,1/4,1/3 | 1/1/1 | 1/4,1/3,1/2 | 0.016 |
| ls-rw | 1/3,1/2,1 | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 2/3/4 | 1/1/1 | 0.032 |

Prilog 5. Fazifikovana matrica parnog poređenja na nivou indikatora – Način korišćenja zemljišta

| Način korišćenja zemljišta | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Težina |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|--------|
| Vodeni objekti | 1/1/1 | 1/2/3 | 2/3/4 | 4/5/6 | 7/8/9 | 0.419 |
| Močvare | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 3/4/5 | 6/7/8 | 0.285 |
| Poljoprivredne površine | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 4/5/6 | 0.179 |
| Šume | 1/6,1/5,1/4 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 2/3/4 | 0.080 |
| Veštačke površine | 1/9,1/8,1/7 | 1/8,1/7,1/6 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 0.037 |

Prilog 6. Fazifikovana matrica parnog poređenja na nivou indikatora – Gustina drenaže

| Gustina drenaže (km/km ²) | 1 | 2 | 3 | 4 | Težina |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-----------|-------|--------|
| 0-1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 3/4/5 | 5/6/7 | 0.496 |
| 1-2 | 3/1, 2/1,1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 3/4/5 | 0.284 |
| 2-3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 0.143 |
| 3-4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/5,1/4,1/3 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 0.077 |

Prilog 7. Fazifikovana matrica parnog poređenja na nivou indikatora – Nagib terena

| Nagib terena | 1 | 2 | 3 | Težina |
|--------------|-------------|-------------|-------|--------|
| Ravno | 1/1/1 | 4/5/6 | 9/9/9 | 0.732 |
| Blagi nagib | 1/6,1/5,1/4 | 1/1/1 | 4/5/6 | 0.210 |
| Strmo | 9/9/9 | 1/6,1/5,1/4 | 1/1/1 | 0.058 |

Prilog 8. Fazifikovana matrica parnog poređenja na nivou indikatora – Zemljište

| Zemljište | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| 1. Aluvijalno alkalizovano zemljište | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/3,1/2,1 | 1/2/3 | 2/3/4 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 4/5/6 | 1/2/3 | 2/3/4 |
| 2. Aluvijalno ilovasto zemljište | 1/1/1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 4/5/6 | 1/2/3 | 2/3/4 |
| 3. Aluvijalno peskovito zemljište | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/5,1/4,1/3 | 2/3/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 |
| 4. Aluvijalno zabareno zemljište | 1/2/3 | 1/1/1 | 3/4/5 | 1/1/1 | 1/2/3 | 3/4/5 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/1/1 | 5/6/7 | 2/3/4 | 3/4/5 |
| 5. Aluvijalno zemljište na ritskoj crnici | 1/1/1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 4/5/6 | 1/2/3 | 2/3/4 |
| 6. Černoziem beskarbonatni | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/5,1/4,1/3 | 2/3/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 |
| 7. Černoziem karbonatni na aluvijalnim nanosima | 1/1/1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 4/5/6 | 1/2/3 | 2/3/4 |
| 8. Černoziem karbonatni (micelarni) na lesnom platou | 1/1/1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 4/5/6 | 1/2/3 | 2/3/4 |
| 9. Černoziem karbonatni (micelarni) na lesnoj terasi | 1/2/3 | 1/2/3 | 3/4/5 | 1/1/1 | 1/2/3 | 3/4/5 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/1/1 | 5/6/7 | 2/3/4 | 3/4/5 |
| 10. Černoziem na peskovitom lesu | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/7,1/6,1/5 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/1/1 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 |
| 11. Černoziem ogajnjaceni na aluvijalnim nanosima | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/2/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/2/3 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/4,1/3,1/2 | 3/4/5 | 1/1/1 | 1/2/3 |
| 12. Černoziem slabo ogajnjačeni | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/5,1/4,1/3 | 2/3/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 |
| 13. Deluvijalno karbonatno zemljište | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/7,1/6,1/5 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/1/10 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 |
| 14. Haplic Regosol (Calcaric, Siltic) | 1/7,1/6,1/5 | 1/7,1/6,1/5 | 1/5,1/4,1/3 | 1/7,1/6,1/5 | 1/7,1/6,1/5 | 1/5,1/4,1/3 | 1/7,1/6,1/5 | 1/7,1/6,1/5 | 1/7,1/6,1/5 | 1/3,1/2,1 | 1/6,1/5,1/4 | 1/5,1/4,1/3 |
| 15. Inicijalno zemljište na lesu | 1/1/1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 4/5/6 | 1/2/3 | 2/3/4 |
| 16. Livadska crnica sa znacima zaslanjavanja | 1/1/1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 4/5/6 | 1/2/3 | 2/3/4 |
| 17. Močvarno glejno zemljište | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/1/1 | 5/6/7 | 2/3/4 | 1/2/3 |
| 18. Ritska crnica beskarbonatna mestimično zaslanjena | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/5,1/4,1/3 | 2/3/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 |
| 19. Ritska crnica karbonatna | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/3,1/2,1 | 1/6,1/5,1/4 | 1/5,1/4,1/3 | 1/3,1/2,1 | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/6,1/5,1/4 | 1/2/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 |
| 20. Ritska crnica karbonatna peskovita | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/7,1/6,1/5 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/1/1 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 |
| 21. Ritska simonica | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/7,1/6,1/5 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/1/1 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 |
| 22. Ritska simonica zaslanjena | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/7,1/6,1/5 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/1/1 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 23. Ritska smonica zaslanjena i alkalizovana | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/7,1/6,1/5 | 1/6,1/5,1/4 | 1/4,1/3,1/2 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/1/1 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 |
| 24. Solončak | 1/7,1/6,1/5 | 1/7,1/6,1/5 | 1/5,1/4,1/3 | 1/8,1/7,1/6 | 1/7,1/6,1/5 | 1/5,1/4,1/3 | 1/7,1/6,1/5 | 1/7,1/6,1/5 | 1/8,1/7,1/6 | 1/3,1/2,1 | 1/6,1/5,1/4 | 1/5,1/4,1/3 |
| 25. Solonjec | 1/9,1/8,1/7 | 1/9,1/8,1/7 | 1/7,1/6,1/5 | 9/9/9 | 1/9,1/8,1/7 | 1/7,1/6,1/5 | 1/9,1/8,1/7 | 1/9,1/8,1/7 | 9/9/9 | 1/5,1/4,1/3 | 1/8,1/7,1/6 | 1/7,1/6,1/5 |

| Zemljište | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | Težina |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|--------|
| 1 | 4/5/6 | 5/6/7 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 2/3/4 | 3/4/5 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 5/6/7 | 7/8/9 | 0.067 |
| 2 | 4/5/6 | 5/6/7 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 2/3/4 | 3/4/5 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 5/6/7 | 7/8/9 | 0.056 |
| 3 | 2/3/4 | 3/4/5 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 2/3/4 | 2/3/4 | 2/3/4 | 2/3/4 | 3/4/5 | 5/6/7 | 0.038 |
| 4 | 5/6/7 | 5/6/7 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/1/1 | 3/4/5 | 4/5/6 | 5/6/7 | 5/6/7 | 5/6/7 | 5/6/7 | 6/7/8 | 9/9/9 | 0.067 |
| 5 | 4/5/6 | 5/6/7 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 2/3/4 | 3/4/5 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 5/6/7 | 7/8/9 | 0.056 |
| 6 | 2/3/4 | 3/4/5 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 2/3/4 | 2/3/4 | 2/3/4 | 2/3/4 | 3/4/5 | 5/6/7 | 0.038 |
| 7 | 4/5/6 | 5/6/7 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 2/3/4 | 3/4/5 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 5/6/7 | 7/8/9 | 0.056 |
| 8 | 4/5/6 | 5/6/7 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 2/3/4 | 3/4/5 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 5/6/7 | 7/8/9 | 0.056 |
| 9 | 5/6/7 | 5/6/7 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/1/1 | 3/4/5 | 4/5/6 | 5/6/7 | 5/6/7 | 5/6/7 | 5/6/7 | 6/7/8 | 9/9/9 | 0.067 |
| 10 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 3/4/5 | 0.022 |
| 11 | 3/4/5 | 4/5/6 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/4,1/3,1/2 | 1/2/3 | 2/3/4 | 3/4/5 | 3/4/5 | 3/4/5 | 3/4/5 | 4/5/6 | 6/7/8 | 0.045 |
| 12 | 2/3/4 | 3/4/5 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 2/3/4 | 2/3/4 | 2/3/4 | 2/3/4 | 3/4/5 | 5/6/7 | 0.038 |
| 13 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 3/4/5 | 0.022 |
| 14 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/7,1/6,1/5 | 1/7,1/6,1/5 | 1/8,1/7,1/6 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 0.018 |
| 15 | 4/5/6 | 5/6/7 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 2/3/4 | 3/4/5 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 5/6/7 | 7/8/9 | 0.056 |
| 16 | 4/5/6 | 5/6/7 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 2/3/4 | 3/4/5 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 4/5/6 | 5/6/7 | 7/8/9 | 0.056 |
| 17 | 5/6/7 | 6/7/8 | 1/2/3 | 1/2/3 | 1/1/1 | 3/4/5 | 4/5/6 | 5/6/7 | 5/6/7 | 5/6/7 | 5/6/7 | 6/7/8 | 9/9/9 | 0.065 |
| 18 | 2/3/4 | 3/4/5 | 1/4,1/3,1/2 | 1/4,1/3,1/2 | 1/5,1/4,1/3 | 1/1/1 | 1/2/3 | 2/3/4 | 2/3/4 | 2/3/4 | 2/3/4 | 3/4/5 | 5/6/7 | 0.035 |
| 19 | 1/2/3 | 2/3/4 | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/6,1/5,1/4 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 4/5/6 | 0.026 |
| 20 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 3/4/5 | 0.022 |
| 21 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 3/4/5 | 0.022 |
| 22 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/3,1/2,1 | 3/4/5 | 0.021 |
| 23 | 1/1/1 | 1/2/3 | 1/6,1/5,1/4 | 1/6,1/5,1/4 | 1/7,1/6,1/5 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/1/1 | 1/2/3 | 3/4/5 | 0.022 |
| 24 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 1/7,1/6,1/5 | 1/7,1/6,1/5 | 1/8,1/7,1/6 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/3,1/2,1 | 1/3,1/2,1 | 1/2/3 | 1/3,1/2,1 | 1/1/1 | 2/3/4 | 0.018 |
| 25 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/9,1/8,1/7 | 1/9,1/8,1/7 | 9/9/9 | 1/7,1/6,1/5 | 1/6,1/5,1/4 | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/5,1/4,1/3 | 1/4,1/3,1/2 | 1/1/1 | 0.011 |

BIOGRAFIJA

Mirjana Radulović rođena je 5. marta 1994. godine u Kikindi. Osnovnu školu „Ivo Lola Ribar” završila je u Novim Kozarcima, a srednju Ekonomsko-trgovinsku školu 2013. godine u Kikindi. Iste godine upisuje osnovne akademske studije, smer profesor geografije, na Univerzitetu u Novom Sadu, na Prirodno-matematičkom fakultetu, Departmanu za geografiju, turizam i hotelijerstvo. Osnovne studije završava 2017. godine sa prosečnom ocenom 9,33. Nakon toga, na istom fakultetu 2018. godine završava master studije, smer geograf, sa prosečnom ocenom 10. Doktorske studije, smer doktor nauka - geonauke upisuje iste 2018. godine na matičnom Departmanu.



Svoju karijeru kandidatkinja nastavlja na BioSens Institutu na kom je angažovana od marta 2019. godine. Trenutno radi kao istraživač-saradnik u Centru za informacione tehnologije, gde primenjuje tehnologije daljinske detekcije i geografskih informacionih sistema u oblasti navodnjavanja, upravljanja vodnim resursima, poljoprivrede, životne sredine i hidrologije. Aktivno učestvuje u međunarodnim, nacionalnim i pokrajinskim projektima iz kojih su proizašle mnoge naučne publikacije među kojima su najistaknutije publikovane u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti (M21a), vrhunskom međunarodnom časopisu (M21) kao i istaknutom međunarodnom časopisu (M22). Osim toga, učestvovala je na brojnim međunarodnim naučnim konferencijama gde je izlagala svoja istraživanja. Usavršavanje na polju naučno-istraživačkog rada ogleda se i kroz prisustvo brojnim radionicama, obukama, seminarima i treninzima. Učestvovala je u Erasmus+ programu razmene studenata gde je na masteru jedan semestar provela na Univerzitetu Pakackog u Olomoucu (Češka). Pored toga, provela je tri meseca na Univerzitetu u Vageningenu (Holandija), gde je radila u oblasti mašinskog učenja i daljinske detekcije. Poseta Državnom Univerzitetu Grand Valley u Mičigenu zaokružila je njeno usavršavanje u toku doktorskih studija.

Pored navedenog, kandidatkinja se volonterski bavila mnogim drugim aktivnostima usmerenim na populaciju i promociju nauke. Od samog početka studija bila je član organizacije Društva mladih istraživača „Branislav Bukurov“ gde je bila član predsedništva i sekretar Društva. Bila je deo Nevladine organizacije „River Collective“ gde se kao aktivista bavila promocijom zaštite divljih reka i sprečavanjem izgradnje mini hidroelektrana na Balkanu.

Mirjana Radulović

Ovaj Obrazac čini sastavni deo doktorske disertacije, odnosno dokorskog umetničkog projekta koji se brani na Univerzitetu u Novom Sadu. Popunjen Obrazac ukoričiti iza teksta doktorske disertacije, odnosno dokorskog umetničkog projekta.

PLAN TRETMANA PODATAKA

| |
|---|
| Naziv projekta/istraživanja |
| Geoprostorna analiza u funkciji planskog razvoja navodnjavanja u AP Vojvodini |
| Naziv institucije/institucija u okviru kojih se sprovodi istraživanje |
| a) Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo b) Univerzitet u Novom Sadu, BioSens Institut, Centar za informacione tehnologije |
| Naziv programa u okviru kog se realizuje istraživanje |
| Doktorske akademske studije, studijski program doktor nauka – geonauke, doktorska disertacija |
| 1. Opis podataka |
| <p><i>1.1 Vrsta studije</i></p> <p><i>Ukratko opisati tip studije u okviru koje se podaci prikupljaju</i></p> <p>Ova doktorska disertacija predstavlja sveobuhvatno istraživanje mogućnosti i dometa primene geoprostorne analize kao metodološkog pristupa u procesu planskog razvoja navodnjavanja na teritoriji AP Vojvodine. U okviru istraživanja sprovedeno je prikupljanje podataka na terenu o navodnjavanjima i nenavodnjavanjima parcelama koji su dalje uz integraciju satelitskih podataka korišćeni za treniranje modela mašinskog učenja. Prikupljeni geoprostorni podaci pripremljeni u GIS softveru poslužili su za kreiranje anketa domenskim ekspertima kako u svrhu određivanja potencijalnih lokacija za navodnjavanje, tako i za određivanje zona potencijala podzemnih voda. Nakon sprovedene ankete, odgovori eksperata su obrađeni korišćenjem AHP metode, a zatim analizirani i vizualizovani u GIS softveru.</p> <p>1.2 Vrste podataka</p> <p>a) <u>kvantitativni</u></p> <p>b) <u>kvalitativni</u></p> <p>1.3. Način prikupljanja podataka</p> <p>a) <u>ankete, upitnici, testovi</u></p> <p>b) kliničke procene, medicinski zapisi, elektronski zdravstveni zapisi</p> <p>c) genotipovi</p> <p>d) administrativni podaci</p> <p>e) uzorci tkiva</p> <p>f) <u>snimci, fotografije</u>: satelitski snimci</p> <p>g) <u>tekst</u>: sekundarni izvori podataka (naučni radovi, studije, monografije, knjige)</p> |

- h) **mapa**: karta navodnjavanih površina od JVP „Vode Vojvodine”, osnovna i detaljna kanalska mreža od JVP „Vode Vojvodine”, karta zemljišta Vojvodine, karta izdašnosti akviferi, geološka karta opštine Titel, geomorfološka karta opštine Titel, karte klasifikacije kultura u Vojvodini
- i) **ostalo**: podaci sa terena o navodnjavanim parcelama u Vojvodini

1.3 Format podataka, upotrebljene skale, količina podataka

1.3.1 Upotrebljeni softveri i format datoteke:

- a) **Excel fajl**, datoteka Microsoft Office Excel Worksheet (.xlsx)
- b) SPSS fajl, datoteka _____
- c) **PDF fajl**, datoteka Adobe Acrobat Document (.pdf)
- d) **Tekst fajl**, datoteka Microsoft Office Word Document (.docx)
- e) JPG fajl, datoteka _____
- f) **Ostalo**, datoteka Tagged Image File Format (.tiff), Shapefile (.shp)

1.3.2. Broj zapisa (kod kvantitativnih podataka)

- a) broj varijabli: 1276 parcela
- b) broj merenja (ispitanika, procena, snimaka i sl.): 2 ankete, 7 ispitanika

1.3.3. Ponovljena merenja

- a) da
- b) **ne**

Ukoliko je odgovor da, odgovoriti na sledeća pitanja:

- a) vremenski razmak između ponovljenih mera je _____
- b) varijable koje se više puta mere odnose se na _____
- c) nove verzije fajlova koji sadrže ponovljena merenja su imenovane kao _____

Napomene: _____

Da li formati i softver omogućavaju deljenje i dugoročnu validnost podataka?

- a) **Da**
- b) **Ne**

Ako je odgovor ne, obrazložiti _____

2. Prikupljanje podataka

2.1 Metodologija za prikupljanje/generisanje podataka

2.1.1. U okviru kog istraživanog nacrta su podaci prikupljeni?

- a) eksperiment, navesti tip _____
- b) korelaciono istraživanje, navesti tip _____
- c) **analiza teksta**: analiza naučnih radova, knjiga, monografija
- d) **ostalo**: monitoring navodnjavanih useva u Vojvodini koje je izvršeno na terenu; anketiranje ispitanika

2.1.2 Navesti vrste mernih instrumenata ili standarde podataka specifičnih za određenu naučnu disciplinu (ako postoje)

2.2 Kvalitet podataka i standardi

2.2.1. Tretman nedostajućih podataka

a) Da li matrica sadrži nedostajuće podatke? Da **Ne**

Ako je odgovor da, odgovoriti na sledeća pitanja:

- a) Koliki je broj nedostajućih podataka? _____
 b) Da li se korisniku matrice preporučuje zamena nedostajućih podataka? Da Ne
 c) Ako je odgovor da, navesti sugestije za tretman zamene nedostajućih podataka
-

2.2.2. Na koji način je kontrolisan kvalitet podataka? Opisati

Svaki prikupljeni podatak na terenu o navodnjavanim i nenavodnjavanim usevima je detaljno pregledan korišćenjem satelitskih snimaka i dostupnih podataka Nacionalne baze. Svaki upitnik od ispitanika je pregledan, a odgovarajućom metodologijom ispitana je njegova validnost.

2.2.3. Na koji način je izvršena kontrola unosa podataka u matricu?

Podaci sa terena o navodnjavanim i nenavodnjavanim površinama su prikupljeni, pregledani i uneseni u GIS softver. Ankete su pregledane, ispitana je njihova validnost i podaci su uneseni u Excel tabelu, a zatim prebačeni u GIS formate (.shp i .tiff)

3. Tretman podataka i prateća dokumentacija

3.1. Tretman i čuvanje podataka

3.1.1. Podaci će biti deponovani u _____ repozitorijum.

3.1.2. URL adresa _____

3.1.3. DOI _____

3.1.4. Da li će podaci biti u otvorenom pristupu?

- a) Da
 b) Da, ali posle embarga koji će trajati do _____
 c) Ne

Ako je odgovor ne, navesti razlog _____

3.1.5. Podaci neće biti deponovani u repozitorijum, ali će biti čuvani.

Obrazloženje

3.2 Metapodaci i dokumentacija podataka

3.2.1. Koji standard za metapodatke će biti primenjen? _____

3.2.1. Navesti metapodatke na osnovu kojih su podaci deponovani u repozitorijum.

Ako je potrebno, navesti metode koje se koriste za preuzimanje podataka, analitičke i proceduralne informacije, njihovo kodiranje, detaljne opise varijabli, zapisa itd.

3.3 Strategija i standardi za čuvanje podataka

3.3.1. Do kog perioda će podaci biti čuvani u repozitorijumu? _____

3.3.2. Da li će podaci biti deponovani pod šifrom? Da Ne

3.3.3. Da li će šifra biti dostupna određenom krugu istraživača? Da Ne

3.3.4. Da li se podaci moraju ukloniti iz otvorenog pristupa posle izvesnog vremena?

Da Ne

Objasni

4. Bezbednost podataka i zaštita poverljivih informacija

Ovaj odeljak MORA biti popunjen ako vaši podaci uključuju lične podatke koji se odnose na učesnike u istraživanju. Za druga istraživanja treba takođe razmotriti zaštitu i sigurnost podataka.

4.1 Formalni standardi za sigurnost informacija/podataka

Istraživači koji sprovode ispitivanja s ljudima moraju da se pridržavaju Zakona o zaštiti podataka o ličnosti (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) i odgovarajućeg institucionalnog kodeksa o akademskom integritetu.

4.1.2. Da li je istraživanje odobreno od strane etičke komisije? Da **Ne**

Ako je odgovor Da, navesti datum i naziv etičke komisije koja je odobrila istraživanje

4.1.2. Da li podaci uključuju lične podatke učesnika u istraživanju? Da **Ne**

Ako je odgovor da, navedite na koji način ste osigurali poverljivost i sigurnost informacija vezanih za ispitanike:

- a) Podaci nisu u otvorenom pristupu
- b) Podaci su anonimizirani
- c) Ostalo, navesti šta

5. Dostupnost podataka

5.1. Podaci će biti

a) javno dostupni

b) **dostupni samo uskom krugu istraživača u određenoj naučnoj oblasti**

γ) zatvoreni

Ako su podaci dostupni samo uskom krugu istraživača, navesti pod kojim uslovima mogu da ih koriste:

Istraživači mogu da koriste podatke uz zahtev autoru podataka

Ako su podaci dostupni samo uskom krugu istraživača, navesti na koji način mogu pristupiti podacima:

Istraživači će moći da pristupe podacima na zahtev putem mejla, a podacima će moći da se pristupi kroz direktorijum na koji će biti smešteni

5.4. Navesti licencu pod kojom će prikupljeni podaci biti arhivirani.

Custom License (Prilagođena licenca) - Podaci su dostupni samo na zahtev.

6. Uloge i odgovornosti

6.1. Navesti ime i prezime i mejl adresu vlasnika (autora) podataka

Mirjana Radulović, mirjana.radulovic@biosense.rs

6.2. Navesti ime i prezime i mejl adresu osobe koja održava matricu s podacima

Mirjana Radulović, mirjana.radulovic@biosense.rs

6.3. Navesti ime i prezime i mejl adresu osobe koja omogućuje pristup podacima drugim istraživačima

Mirjana Radulović, mirjana.radulovic@biosense.rs