



DOI: 10.5937/topola2414059V

UDK: 631:528.8.044(497.11)

Originalni naučni rad

Uticaj vetrozaštitnih pojaseva na vegetacijske pokazatelje ratarskih useva

Vladimir Višacki^{1*}, Lazar Pavlović², Srđan Stojnić¹, Dejan B. Stojanović¹,
Lazar Kesić¹, Lazar Turšijan², Saša Orlović¹

¹ Univerzitet u Novom Sadu, Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Novi Sad, Srbija

² Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Srbija

* Autor za korespondenciju: Vladimir Višacki; E-mail: vladimir.visacki@gmail.com

Datum prispeća rukopisa u uredništvo: 02.12.2024; **Datum recenzije:** 13.12.2024; **Datum prihvatanja rukopisa za publikovanje:** 17.12.2024.

Apstrakt: U ovom istraživanju analizirani su vegetacijski indeksi (VI), kao alati za procenu stanja vegetacije, korišćenjem satelitskih snimaka sistema Sentinel-2 i Planet Explorer. Ovi snimci omogućavaju kvantifikaciju refleksije elektromagnetnog sunčevog zračenja, čime se dobija detaljan uvid u zdravstveno stanje i dinamiku rasta biljaka. Cilj rada predstavlja opservaciju uticaja vetrozaštitnog pojasa na poljoprivredni usev. U istraživanju su izračunati VI kao što su NDVI, GNDVI, GLI i TVI, i indeksi hlorofila lista, koji se koriste za ocenu gustine, zdravstvenog stanja i stresa vegetacije na različitim lokacijama. Svaki indeks ima specifičnu primenu u analizi biljnog pokrivača i zdravstvenog stanja biljaka, a rezultati variraju u zavisnosti od lokacije i stanja vegetacije. Uticaj vetrozaštitnog pojasa, na okolni poljoprivredni usev je zabeležen i uslovljen je dimenzijama stabala, stanja i površine pojasa. Vetrozaštitni pojasevi koji su jedan oblik agrošumarskih sistema, imaju pozitivan uticaj na useve u neposrednoj blizini. Analizom odgovarajućih VI utvrđeno je da su njihove vrednosti veće od ostalog dela parcele. Suprotno ovome, tamo gde vetrozaštitni pojasevi nisu uspostavljeni, pozitivan efekat po pitanju biomase, sadržaja hlorofila ili opšteg stanja useva je izostao. Satelitske tehnologije i VI omogućavaju brzo i efikasno praćenje stanja vegetacije, ali preciznost ovih analiza zavisi od prikupljanja dodatnih terenskih podataka. Korišćenje satelitskih snimaka sa različitim sistema omogućava efikasno praćenje vegetacije u realnom vremenu, dok detaljnije analize mogu pružiti uvid u uticaj vetrozaštitnog pojasa na okolni biljni pokrivač. Preporučuje se dalje usavršavanje metodologije kako bi se povećala tačnost i pouzdanost zaključaka.

Ključne reči: vegetacijski indeksi, satelitski snimci, multispektralni snimci, vetrozaštitni pojas, agrošumarski sistemi, poljoprivredni usev.

Original scientific paper

The impact of windbreaks on vegetation indices of field crops

Abstract: In this research, vegetation indices (VI) were analyzed as tools for assessing the vegetative growth, using satellite images from the Sentinel-2 and Planet Explorer systems. These images allow the

quantification of the reflection of electromagnetic radiation, which provides a detailed insight into the health and dynamics of plants. The aim of the study is to observe the impact of a windbreak on agricultural crops. The research calculated indices such as NDVI, GNDVI, GLI and TVI, and leaf chlorophyll indices, which are used to assess the density, health and stress of vegetation at different locations. Each index has a specific application in the analysis of plant cover and plant health, and the results vary depending on the location and the vegetation phenophase. The impact of agroforestry systems on the surrounding agricultural crop has been recorded, and depends on the size of the trees, condition and area of the windbreaks. Windbreaks have a positive impact on crops in the immediate vicinity. The analysis of the relevant vegetation indices revealed that their values are higher than the rest of the plot. Contrary to this, where windbreaks were not established, a positive effect in terms of biomass, chlorophyll content or general condition was absent. Satellite technologies and vegetation indices enable fast and efficient monitoring of the vegetative growth, but the accuracy of these analyzes depends on the incorporation of additional field data. The use of satellite images from different systems enables effective monitoring of vegetation in real time, while more detailed analyzes can provide insight into the impact of windbreaks on the surrounding plant cover. Further refinement of the methodology is recommended in order to increase the accuracy and reliability of the conclusions.

Keywords: vegetation indices, satellite images, multispectral images, windbrakes, agroforestry systems, agricultural crops.

1. Uvod

Agrošumarstvo predstavlja održivi sistem upravljanja zemljištem koji integriše uzgoj drveća, useva i/ili životinja na istoj parceli, pri čemu navedeni činioци ostvaruju međusobnu interakciju. Ova interakcija pruža značajne ekološke, ekonomske i socijalne koristi, kao što su unapređenje biodiverziteta, očuvanje prirodnih resursa i povećanje tolerantnosti na klimatske promene (Nair et al., 2008). Ključni deo definicije agrošumarstva naglašava njegovu ulogu u pružanju ekoloških koristi i usluga, dok sekundarno omogućava proizvodnju dobara za konzumaciju ili preradu. Tokom osamdesetih i devedesetih godina prošlog veka agrošumarstvo dolazi u fokus kao odgovor na izazove u poljoprivredi, posebno zaštitu od klimatskih promena (Nair, 1993; Gordon, 2018). Kasnije je prepoznato kao ključni alat za očuvanje biodiverziteta i sve češće postaje sastavni deo intenzivne poljoprivredne proizvodnje (Jose, 2012). Agrošumarski sistemi se često klasifikuju na osnovu njihove funkcionalnosti i ciljeva. Četiri ključne reči opisuju suštinu agrošumarstva: namerno, intenzivno, interaktivno i integrisano. „Namerno“ podrazumeva da su sistemi projektovani i vođeni kao jedna celina, dok „intenzivno“ označava aktivno upravljanje radi maksimizacije koristi. „Interaktivno“ se odnosi na ekološku i ekonomsku interakciju komponenti, a „integrisano“ označava usklađeno funkcionisanje različitih delova sistema (Cialdella et al., 2023). U agrošumarskim sistemima naglasak se stavlja na produktivnost, održivost i prilagodljivost. Produktivnost uključuje proizvodnju poželjnih dobara, poput hrane, drvene građe i drugih resursa, dok održivost obuhvata očuvanje proizvodnog potencijala baze resursa (Garrett et al., 2022).

Vetrozaštitni pojasevi predstavljaju najrasprostranjeniji tip agrošumarskih sistema u Vojvodini. Njihova osnovna funkcija je zaštita oranica od eolske erozije i stvaranje povoljne mikroklimе za poljoprivredne useve. Ovi pojasevi su primer kako agrošumarstvo može doprineti očuvanju prirodnih resursa i unapređenju proizvodnje (EURAF, 2023). Iako nisu prvobitno nastali kao odgovor na klimatske promene, vetrozaštitni pojasevi danas imaju značajnu ulogu u njihovom ublažavanju. Osim ekoloških funkcija, agrošumarski sistemi mogu doneti i ekonomske i socijalne koristi. Bolja oplodnja, oprašivanje, proizvodnja meda i plodova voćnih i žbunastih vrsta neki su od dodatnih razloga za implementaciju ovakvih sistema (Schoeneberger et al., 2018). U agrošumarskim sistemima postoji značajna ekološka i ekonomska interakcija između drveća i ostalih komponenti. Ovi sistemi

omogućavaju stvaranje sopstvene mikroklike, koja može doprineti ublažavanju efekata suše, visokih temperatura i neravnomernog rasporeda padavina (Waldron, 2023).

Praćenje uticaja agrošumarskih sistema na okolinu može se vršiti iz različitih aspekata, uključujući interakciju sa usevima, uticaj na mikroklimu, biodiverzitet i doprinos u borbi protiv klimatskih promena. Jedan od najvažnijih benefita ogleda se u povećanju produktivnosti poljoprivrednih useva u neposrednoj blizini. Metode praćenja mogu uključivati direktna merenja, poput analize uzoraka na terenu, ili indirektna tehnike, poput korišćenja satelitskih sistema za daljinsku detekciju (Shao, 2012).

Multispektralna slika je tehnologija koja snima refleksiju objekata u više opsega elektromagnetnog spektra. Ova vrsta slika obično uključuje 5 do 10 delova spektra, talasnih dužina (boje spektra), kao što su crvena, zelena i plava (RGB), koje se koriste za kreiranje slika u boji (Tang and Shao, 2015). Standardni multispektralni senzori mogu prikupljati podatke u vidljivom, bliskom infracrvenom i kratkotalasnom infracrvenom opsegu. Multispektralne slike pomažu u proceni stanja i vitalnosti vegetacije tako što detektuju i kvantifikuju reflektovanu svetlost od biljaka. Ove informacije mogu otkriti stres, bolest ili nedostatke hranljivih materija u usevima. Procena se obavlja tako što se izračunavaju određeni vegetacijski indeksi. Pomoću vegetacijskih indeksa moguće je odrediti različite vrste, vigor i stanje useva, biomasu, potencijalni prinos, moguće je odrediti klasifikaciju varijabilnosti useva, analizu životne sredine, pa čak se mogu identifikovati i područja koja su ugrožena usled klimatskih promena ili drugih faktora (Buchelt et al. 2024; Afghah et al. 2019; Mori et al. 2017). Prednost korišćenja satelitskih snimaka ogleda se u dostupnosti i lakog povlačenja podataka iz istorije od prethodnih 10 vegetacijskih sezona, lake manipulacije, malog skladišnog prostora i moguće korekcije. Ne iziskuje odlaske na teren, fizičko angažovanje i ne zahteva pretplatu. Glavni nedostatak satelitskih sistema je taj što je period snimanja 7 ili 14 dana sa određenim odstupanjima (Sentinel 2) ili svakodnevno (Planet explorer) samo kada oblaci ne zaklanjaju područje od interesa za opservaciju. Niska rezolucija snimaka onemogućava bilo kakvu detaljnu analizu, već samo trendove ili opservacije niskog stepena pouzdanosti (Vélez et al. 2023; Vélez et al. 2022; Ruan et al. 2021; Wang et al. 2005; Govedar et al. 2024).

Indeks normalizovane razlike vegetacije (NDVI) je najčešće korišćeni vegetacijski indeks i on daje uvid u sadržaj hlorofila u biljkama. Objašnjava varijacije u osvetljenosti tla i uslove vlažnosti, posebno u oblastima niskog vegetacionog pokrivača, a takođe je osetljiv na atmosferske efekte aerosola (Gandhi et al. 2015). Nije pogodan za agrošumarske sisteme, ali je široko u upotrebi i daje opšte informacije o zelenom pokrivaču bilo kog tipa. Indeks zelene normalizovane razlike vegetacije (GNDVI) - ovaj indeks koristi zeleni spektar za izračunavanje sadržaja hlorofila umesto crvenog u NDVI, i pokazalo se u istraživanju da je stabilniji od NDVI indeksa. Ima skoro istu osetljivost i minimizira uticaj zelene refleksije na slici. Indeks normalizovane razlike crvenog dela spektra (NDRE) - ovaj indeks daje uvid u sadržaj hlorofila u usevima srednje do kasne sezone. Osetljiv je na sadržaj hlorofila u listovima, varijabilnost u površini listova i efekte pozadine tla. Indeks vidljive atmosferske tolerantnosti (VARI) je dizajniran i testiran da radi sa RGB podacima, a ne sa blisko infracrvenim (NIR) podacima (spektrum svetlosti). To je mera „koliko je zelena“ slika, odnosno usev (Di Gennaro et. 2020; Gao et al. 2023; Weihua et al. 2021).

Cilj istraživanja je da se odredi uticaj vetrozaštitnih pojaseva, koji se javljaju u različitim prostornim konfiguracijama, poput višerednih drvoreda i neuređenih, nepravilnih sistema rasporeda vegetacije, odnosno izduženog „šumarka“, na okolne poljoprivredne površine preuzimanjem satelitskih snimaka i izračunavanjem vegetacijskih indeksa. Ovi indeksi trebalo bi da kvantifikuju razlike u stanju useva koji se nalaze u neposrednoj blizini vetrozaštitnih pojaseva u odnosu na ostatak parcele. Očekuje se da varijabilnost useva između centralnog dela parcele i područja blizu vetrozaštitnih pojaseva bude različita, što bi vegetacijski indeksi trebali da potvrde. Cilj istraživanja je, takođe, da se utvrde razlike u vegetacijskim indeksima useva kako bi se procenio uticaj vetrozaštitnih pojaseva na poljoprivredne površine i identifikovali njihovi potencijalni benefiti.

2. Materijal i metode

U svrhu izračunavanja vegetacijskih indeksa, koriste se multispektralni snimci sa satelitskog sistema *Sentinel 2* u rezoluciji 10x10 m/pikselu kao i multispektralni satelitski snimci sa satelitskog sistema *Planet explorer* u rezoluciji 3x3 m/pikselu (tabela 1). Snimci su zabeleženi tokom juna, jula i avgusta meseca 2023. i 2024. godine.

Tabela 1. Talasne dužine (bandovi) multispektralnih snimaka sa satelita Sentinel 2 i Planet Explorer (Wang et al. 2016; Mitchell et al. 2017; Xue et al. 2017; Vorovencii et al. 2023).

	Sentinel 2 https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/	Planet Eksplorer https://www.planet.com/explorer/
B02	Band 2 je koristan za klasifikaciju zemljišta i vegetacije, mapiranje tipova šuma i identifikaciju karakteristika koje je napravio čovek. Raspršen je atmosferom, osvetljava objekte u senci bolje od dužih talasnih dužina i prodire u čistu vodu bolje od drugih boja.	Blue
B03	Reflektuje značajno jače zelenu svetlost nego bilo koji drugi spektar vidljive svetlosti.	Green
B04	Snažno se odražava u mrtvom lišću i korisno je za identifikaciju tipova vegetacije, zemljišta i urbanih (Seoskih i gradskih) područja.	Red
B05	Koristi se za klasifikaciju vegetacije	Red Edge
B08	Bliski infracrveni opseg je dobar za mapiranje obala i sadržaja biomase, kao i za otkrivanje i analizu vegetacije.	NIR

Istraživanje je sprovedeno na tri lokaliteta u regionu Novog Sada: Rimski šančevi 1, Rimski šančevi 2 i AD Pionir Srbobran (tabela 2). Na prva dva lokaliteta vetrozaštitni pojasevi su u formi šume, dok je na trećem lokalitetu vetrozaštitni pojas u formi drvoreda. Na slici 1 prikazane su lokacije drvoreda i šuma koji su bili predmet istraživanja.

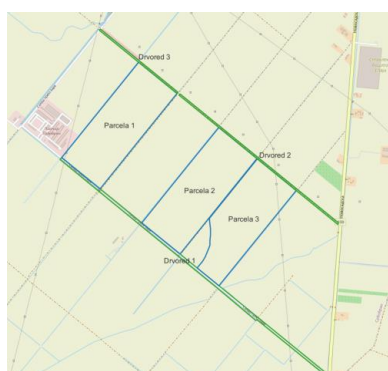
Tabela 2. Lokaliteti istraživanja i klimatski uslovi koji vladaju na njima.

Naziv lokaliteta <i>Location</i>	Geografska širina <i>Latitude, N</i>	Geografska dužina <i>Longitude, E</i>	Nadmorska visina (m) <i>Altitude (m)</i>	Prosečna temp. vazduha tokom leta (°C) <i>Mean temp. during summer (°C)</i>	Suma padavina (mm) <i>Sum of precipitation (mm)</i>	UV indeks <i>UV index</i>
Rimski šančevi 1	45.326317	19.859499	84	24.2	87.9	6
Rimski šančevi 2	45.331943	19.859634	84	24.2	87.9	6
AD Pionir Srbobran	45.513169	19.766039	76	28.6	42.0	6

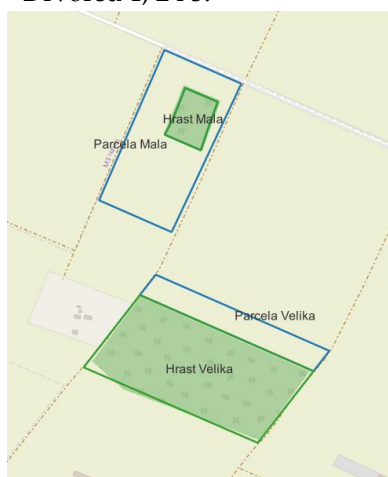
Korišćenjem kvantifikovanih podataka refleksije elektromagnetnog zračenja sunčeve svetlosti u odnosu na biljku dobijaju se vegetacijski indeksi tako što se izračunavaju kao odnos između određenih talasnih dužina. U tabeli 3 prikazane su formule za izračunavanje različitih vegetacijskih indeksa. Vegetacijski indeksi su izračunati korišćenjem raster podataka i kalkulatora u programu Quantum GIS v. 3.36.

Tabela 3. Formule za izračunavanje vegetacijskih indeksa (Bendig et al. 2015; Xue et al. 2017; Lizaga et al. 2022; Radočaj et al. 2023).

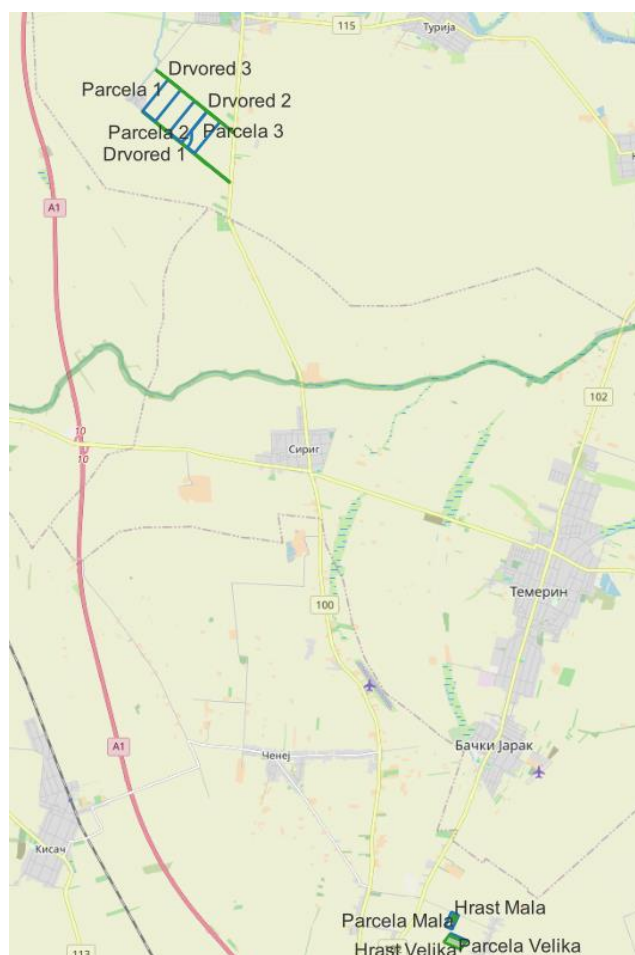
Vegetacijski indeks <i>Vegetation index</i>	Formula <i>Formula</i>
NDVI	$\text{NIR} - \text{Red} / \text{NIR} + \text{Red}$
GNDVI	$\text{NIR} - \text{Green} / \text{NIR} + \text{Green}$
GLI Green leaf index	$(2\text{GREEN} - \text{RED} - \text{BLUE}) / (2\text{GREEN} + \text{RED} + \text{BLUE})$
TVI	$0.5(120(\text{NIR}1 - \text{Green}) - 200(\text{Red} - \text{Green}))$
CI	$(\text{NIR}/\text{GREEN}) - 1$
Simple ratio 1	NIR/Green
Chlorophyll Vegetation index	$\text{NIR} \times (\text{Red}/\text{Green}^2)$
Simple ratio 2	NIR/Red



a) Lokacija gde su vetrozaštitni pojasevi u formi drvoreda. Drvored 1, 2 i 3.



b) Lokacija gde su vetrozaštitni pojasevi u formi šume. Hrast Mala i Hrast Velika.



c) Geografski položaj opserviranih površina.

Slika 1. Lokacije opserviranih površina.

GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) je vegetacijski indeks koji se koristi za procenu stanja biljaka, a posebno je koristan u analizi biljne proizvodnje i stanja biljaka u uslovima suše. Ovaj indeks je posebno koristan za analizu stresa kod biljaka jer se refleksija zelene svetlosti menja u zavisnosti od stanja biljke. TVI (Triangular Vegetation Index) je vegetacijski indeks koji se koristi za procenu kvaliteta vegetacije. GLI (Green Leaf Index) je indeks koji se koristi za određivanje količine zelenog lišća na određenoj lokaciji. Ovaj indeks je ključan za razumevanje dinamičnosti biljnog pokrivača i za identifikaciju područja koja su podložna biljnim bolestima ili stresu. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) je najpoznatiji i najčešće korišćen vegetacijski indeks. NDVI se široko koristi u ekološkim, agronomskim i šumarskim istraživanjima jer omogućava jednostavnu identifikaciju zdravih biljaka i njihovog stresa. CI (Chlorophyll Index) je vegetacijski indeks koji meri koncentraciju hlorofila u biljkama. CI se koristi za procenu količine fotosintetičke aktivnosti u biljkama, što može biti koristan indikator za agronomske i ekološke studije. SR1 (Simple Ratio 1) je jednostavan vegetacijski indeks koji se koristi za procenu stanja vegetacije. CVI (Chlorophyll Vegetation Index) je specifičan indeks koji se koristi za precizno praćenje hlorofila u vegetaciji i za procenu opšteg stanja biljnog pokrivača. Vrednosti CVI-a su obično veće za područja sa zdravim, gustim biljkama koje imaju visok sadržaj hlorofila, dok niže vrednosti ukazuju na slabiju vegetaciju. SR2 (Simple Ratio 2) indeks se često koristi za analizu vegetacije u specifičnim uslovima, kao što su pri analizi efekata stresa ili praćenje zdravlja biljaka u različitim fazama rasta.

Na sledećim slikama prikazane su lokacije drvoreda i šuma kao i veća mapa ne bi li se uočio položaj u odnosu na naseljena mesta Turija i Bački Jarak.

3. Rezultati i diskusija

Vegetacijski indeksi (VI) su važni alati u proceni stanja vegetacije i monitoringu biljnih zajednica. Ovi indeksi se koriste u istraživanjima vezanim za poljoprivredu, šumarstvo, ekološke studije, ali i za analize uz pomoć satelitskih snimaka. Četiri najvažnija indeksa koja su predstavljena u tabeli 3 su NDVI, GNDVI, GLI i TVI. Svaki od njih pruža specifične informacije o stanju, gustini i rastu i dinamici predela. Navedene su definicije svakog indeksa, kao i njihove karakteristike na osnovu podataka sa lokacija AD Pionir Srbobran i Rimski šančevi. U nastavku tabele 3 date su vrednosti vegetacijskih indeksa specifičnih za list i sadržaj hlorofila, koji se smatraju ključnim alatima za procenu stanja biljaka, dinamike rasta i efikasnosti fotosinteze. U ovom slučaju, tabela se fokusira na četiri indeksa: CI (Chlorophyll Index), SR1 (Simple Ratio 1), SR2 (Simple Ratio 2), i CVI (Chlorophyll Vegetation Index). Ovi indeksi se široko koriste u poljoprivredi, šumarstvu i ekološkim studijama kako bi se procenili parametri biljnog pokrivača, stresa i stanja vegetacije. U nastavku su objašnjenja svakog od ovih indeksa, zajedno sa komentarima o podacima iz tabele za lokacije Šuma, Rimski šančevi i Drvoredi, Srbobran.

Naredna tabela 3 podeljena je na dva dela. Prva polovina se odnosi na rezultate dobijene proračunom opštih vegetacijskih indeksa pomoću kojih se mogu doneti generalni zaključci o predmetnoj lokaciji opservacije. Vegetacijski indeksi koji govore više o stanju biljaka, hlorofilu, stepenu rasta i razvića, stresu i karakteristikama lista, prikazani su u drugoj polovini tabele. U tabeli 3 rezultati se odnose na lokaciju AD Pionir Srbobran, odnosno lokaciju gde su vetrozaštitni pojasevi u formi drvoreda. Što se tiče opšteg stanja, gustine biomase, stanja hlorofila i rasta i razvoja drveća, zabeleženo je da su u Drvoredu 1 vegetacijski indeksi sa najvišom vrednošću. NDVI indeks za Drvored 1 iznosi 0.74, TVI indeks za isti Drvored iznosi 17, dok najniže vrednosti zabeležene su kod drvoreda 3 za pomenute indekse, 0.5 odnosno 11.68. U drugoj polovini tabele gde su navedeni indeksi koji su osetljivi na promenu hlorofila, isti trend je zabeležen. CI indeks i CVI indeks za Drvored 1 iznose 4.92 odnosno 4.86 dok SR1 i SR2 iznose 5.92 i 7.36. Niže vrednosti indeksa zabeležene su kod drvoreda 3, sa vrednostima između 2.77 (CI) i 3.82 (CVI). Primena vegetacijskih indeksa za opštu ocenu stanja u šumama pokazala se kao dobra praksa (Huang et al. 2021). Na osnovu prikazanih vrednosti vegetacijskih indeksa može se zaključiti da Drvored 1 ima značajno gušći sklop, više drveća, veću površinu listova i da je sinteza hlorofila značajno izraženija što je Khunrattanasiri (2022) naveo kao

benefite korišćenja pomenutih vegetacijskih indeksa. Primena vegetacijskih indeksa u poljoprivredi za ocenu stanja useva već je poznata i dugo u upotrebi (Radočaj et al. 2023). S obzirom da se radi drugačijim morfološkim karakteristikama biljaka, za očekivati je da indeksi imaju drugačije vrednosti. Usevi su gušći, te vegetacijski indeksi imaju više vrednosti (Velez et al. 2023). Indeks opšteg stanja NDVI ukazuje ujednačeno stanje useva na opserviranim parcelama 1, 2 i 3 sa visokom vrednosti koja se kretala od 0.89 do 0.91 i veoma malom razlikom. TVI indeks ukazuje značajnu razliku u usevu parcele budući da je zabeležena razlika između vrednosti TVI indeksa na Parceli 1 i Parceli 2. TVI indeks za Parcelu 1 iznosi 29.75 dok za parcelu 2 iznosi 22.96. Vrednosti ukazuju da Parcela 1 ima izuzetno dobar usev, veoma dobro razvijen i gust. Vegetacijski indeksi koji su u vezi sa hlorofilom (CI i CVI) imaju raspon vrednosti indeksa od 5.68 do 10.37. Svrha prikazivanja pomenutih vrednosti jeste da se ukaže na mogućnost korišćenja istih vegetacijskih indeksa bez obzira na karakteristike opservirane površine (Velez et al. 2023).

Tabela 3. Vrednosti vegetacijskih indeksa za lokaciji AD Pionir, Srbobran.

Vegetacijski indeks <i>Vegetation index</i>	NDVI		GNDVI		GLI		TVI	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
Drvored 1	0.74	12.12	0.70	8.84	0.15	34.22	17.00	15.94
Drvored 2	0.63	27.91	0.63	18.93	0.11	63.09	14.60	34.67
Drvored 3	0.50	39.56	0.53	30.26	0.07	71.28	11.68	42.10
Parcela 1	0.89	8.46	0.82	7.16	0.30	16.92	29.75	15.49
Parcela 2	0.89	3.11	0.83	3.30	0.26	11.82	22.96	7.28
Parcela 3	0.91	4.92	0.83	4.12	0.34	14.89	27.33	10.54
	CI		SR1		CVI		SR2	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
Drvored 1	4.92	25.99	5.92	21.60	4.86	12.96	7.36	33.75
Drvored 2	3.82	40.88	4.82	32.40	4.36	18.99	5.51	48.18
Drvored 3	2.77	58.09	3.77	42.68	3.78	33.88	3.82	52.82
Parcela 1	9.62	19.48	10.62	17.65	5.68	10.62	20.10	23.73
Parcela 2	10.37	16.11	11.37	14.69	7.01	11.61	18.54	19.56
Parcela 3	10.21	14.21	11.21	12.94	5.69	7.45	22.40	19.77

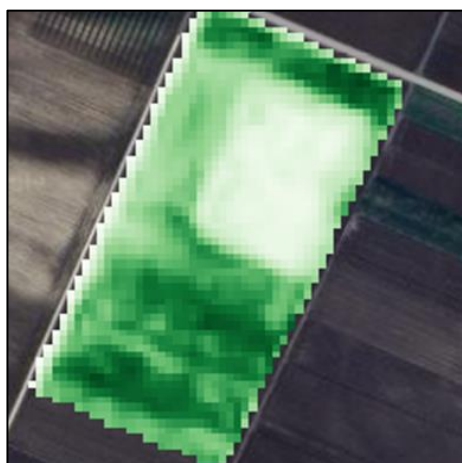
U tabeli 4 prikazane su vrednosti vegetacijskih indeksa sa druge lokacije. Na drugoj lokaciji u potesu Rimski šančevi, vetrozaštitni pojasevi su se formirali u obliku površina kao deo agrošumarskog sistema. Zbog raznolikosti vegetacije na vetrozaštitnoj površini, opšti indeksi poput NDVI i TVI ukazuju na slične vrednosti obe površine. Vrednosti se kreću od 0.77 do 0.79. GNDVI indeks i GLI imaju skoro slične vrednosti za površine Hrast mala i Hrast velika, 0.71 i 0.72 odnosno 16.37 i 16.78. Raznolikost je veća na Hrast velika površini. Navedeni indeksi se mogu koristiti za opštu ocenu stanja vetrozaštitnih površina kada su u formi određene površine kvadratnog ili pravougaonog oblika. Formiraju površine koje imaju karakteristike šumaraka. Vegetacijski indeksi koji ukazuju na hlorofil, rast i razvoj drveća, stanje lišća, prikazani su u drugom delu tabele. Trend je zadržan kao što je zabeležen i u prvom delu tabele, vrednosti CI i CVI indeksa se ne razlikuju značajno kod obe površine, 4.92 i 5.17 odnosno 4.41 i 4.47. Prikazane vrednosti ukazuju na ne veliku biološku aktivnost, loše stanje pojasa i nisku vrednost biomase što su zaključili Fang et al. (2023), Gao et al. (2023) i Macedo et al (2018) koristeći istu metodologiju. U svojim istraživanjima koriste iste vegetacijske indekse radi ospervacije terena i donošenja zaključka o stanju vegetacije. Parcela mala i Parcela velika beleže slične vrednosti pomenutih vegetacijskih indeksa koji se kreću u intervalu od 0.81 do 0.82 (NDVI), 21.11 do 22.63 (TVI), 6.09 do 6.47 (CI) i 5.0 do 5.11 (CVI). Vrednosti vegetacijskih indeksa su više kod useva, na parcelama, jer usevi imaju mnogo veću gustinu, površinu lista i biomasu (Li et al. 2023).

Tabela 4. Vrednosti vegetacijskih indeksa za lokaciji Rimski šančevi.

Vegetacijski indeks <i>Vegetation index</i>	NDVI		GNDVI		GLI		TVI	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
Hrast mala	0.79	2.50	0.72	2.23	0.18	12.24	16.37	7.05
Parcela mala	0.82	8.17	0.76	7.29	0.20	18.39	21.11	14.76
Hrast velika	0.77	7.13	0.71	5.42	0.15	21.65	16.78	12.30
Parcela velika	0.81	6.87	0.75	5.68	0.17	20.20	22.63	12.34
	CI		SR1		CVI		SR2	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
Hrast mala	5.17	8.19	6.17	6.87	4.47	6.79	8.55	10.79
Parcela mala	6.47	20.34	7.47	17.61	5.11	11.93	10.99	23.61
Hrast velika	4.92	16.27	5.92	13.52	4.41	7.69	8.02	22.19
Parcela velika	6.09	19.15	7.09	16.45	5.00	8.86	10.19	25.67

U tabelama 3 i 4 date su vrednosti vegetacijskih indeksa koji su opšteg i specifičnog tipa, za procenu specifičnog stanja i vrednosti vegetacijskih indeksa, senzitivnih u vezi promene hlorofila u listovima drveća ili biljaka. Vrednosti služe kako bi se dobio utisak o prosečnim vrednostima indeksa za lokaciju, njihovu varijabilnost na osnovu koeficijenta varijacije. Usevi imaju više, dok vetrozaštitni pojasevi imaju niže vrednosti vegetacijskih indeksa. To ukazuje na niži nivo biološke aktivnosti, manju biomasu, površinu lista i sadržaj hlorofila. Razlike između vetrozaštitnih pojaseva u drvoredima i vetrozaštitnim pojasevima koji su formirani u obliku površina, evidentne su jer je raspored i distribucija drveća različita. Vrednosti vegetacijskih indeksa vetrozaštitnih pojaseva koji su u formi drvoreda ukazuju na različitost, bujnost i veličinu ovog pojasa u Drvoredu 1, 2 i 3. Na narednim slikama predstavljen je TVI vegetacijski indeks koji se pokazao da je najbolje kvantifikovao promene na usevima, odnosno uticaj vetrozaštitnog pojasa na okolne poljoprivredne površine, useve.

Na slici 2 prikazana je parcela na kojoj se vetrozaštitni pojas nalazi u centralnom delu. Međutim, ne može se reći da je ovo pravi vetrozaštitni pojas, s obzirom na to da ovaj primer ima vrlo malo elemenata koji bi ga kvalifikovali kao takvog. Ovakvi primitivni sistemi često se smatraju vetrozaštitnim pojasevima zbog funkcija koje su stekli tokom godina opstanka, rasta i razvoja, dok su jasno definisani i potpuno funkcionalni, pa tako i vetrozaštitni pojasevi, retko prisutni u praksi kod nas. Na slici 2 razlikuju se dve dominantne nijanse: svetlo zelena i tamno zelena boja. Svetlo zelena ukazuje na loš kvalitet useva ili drveća, dok tamno zelena predstavlja vrlo dobar kvalitet vegetacije, bilo da se radi o usevima ili drveću. U ovom slučaju, radi se o maloj površini prekrivenoj šibljem, niskim rastinjem ili slabije razvijenim drvećem. S obzirom na loše karakteristike ove površine, njen uticaj na okolinu je relativan i diskutabilan.

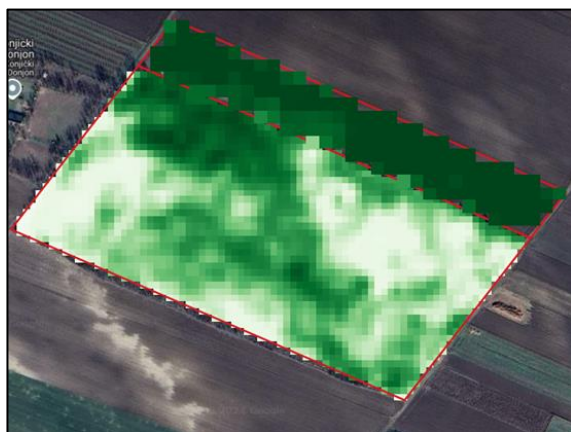
**Slika 2.** Mala površina vetrozaštitnog pojasa unutar parcele bez konačnog efekta na usev - lokacija Rimski šančevi.

Izvor podataka: Copernicus

(https://browser.dataspace.copernicus.eu/, pristupljeno: avgust 2024. & Planet explorer www.planet.com), pristupljeno: avgust 2024.

Analizom slike 2, svetlo zelena boja na zapadnoj strani parcele ukazuje na loš kvalitet useva, dok tamno zelena boja sa severne i južne strane ukazuje na vrlo dobar kvalitet vegetacije. Na osnovu ovih podataka, ne može se jasno zaključiti da vetrozaštitni pojas ima pozitivan efekat na okolni usev, što ovu površinu čini upitnom u kontekstu funkcionalnog agrošumarskog sistema.

Nedaleko od prve lokacije nazvane *mala parcela*, nalazi se *velika parcela* (Sl. 3.), koju karakteriše veći agrošumarski zasad odnosno vetrozaštitni pojas. Poljoprivredna površina se nalazi sa severne strane zasada. Uticaj vetrozaštitnog pojasa je evidentan, jer je tamnija zelena boja daleko više prisutna. Tamnija boja ukazuje na više vrednosti TVI indeksa što znači da su biljke sa mnogo više biomase, hlorofila i boljeg opšteg stanja. Pretpostavka je da značajno veća pošumljena površina ima uticaj na okolinu, formirajući povoljan mikroklimat, zaštitu za okolinu, odgovarajući pozitivan uticaj. Konstatacija je opšteg tipa, jer se samo toliko može zaključiti na osnovu snimka. Za detaljnije analize potrebno je opservaciju izvršiti direktno na terenu, odraditi određena merenja fizičkih i hemijskih karakteristika, a potom kalibrisati snimke i doneti preciznije zaključke. Opisana metodologija u ovom radu služi za donošenje opštih i brzih zaključaka čija pouzdanost nije na visokom nivou i daleko je manje pouzdan zaključak nego da se radila i opservacija na terenu.



Slika 3. Veća površina vetrozaštitnog pojasa sa očiglednim uticajem na poljoprivredno zemljište - lokacija Rimski šančevi.

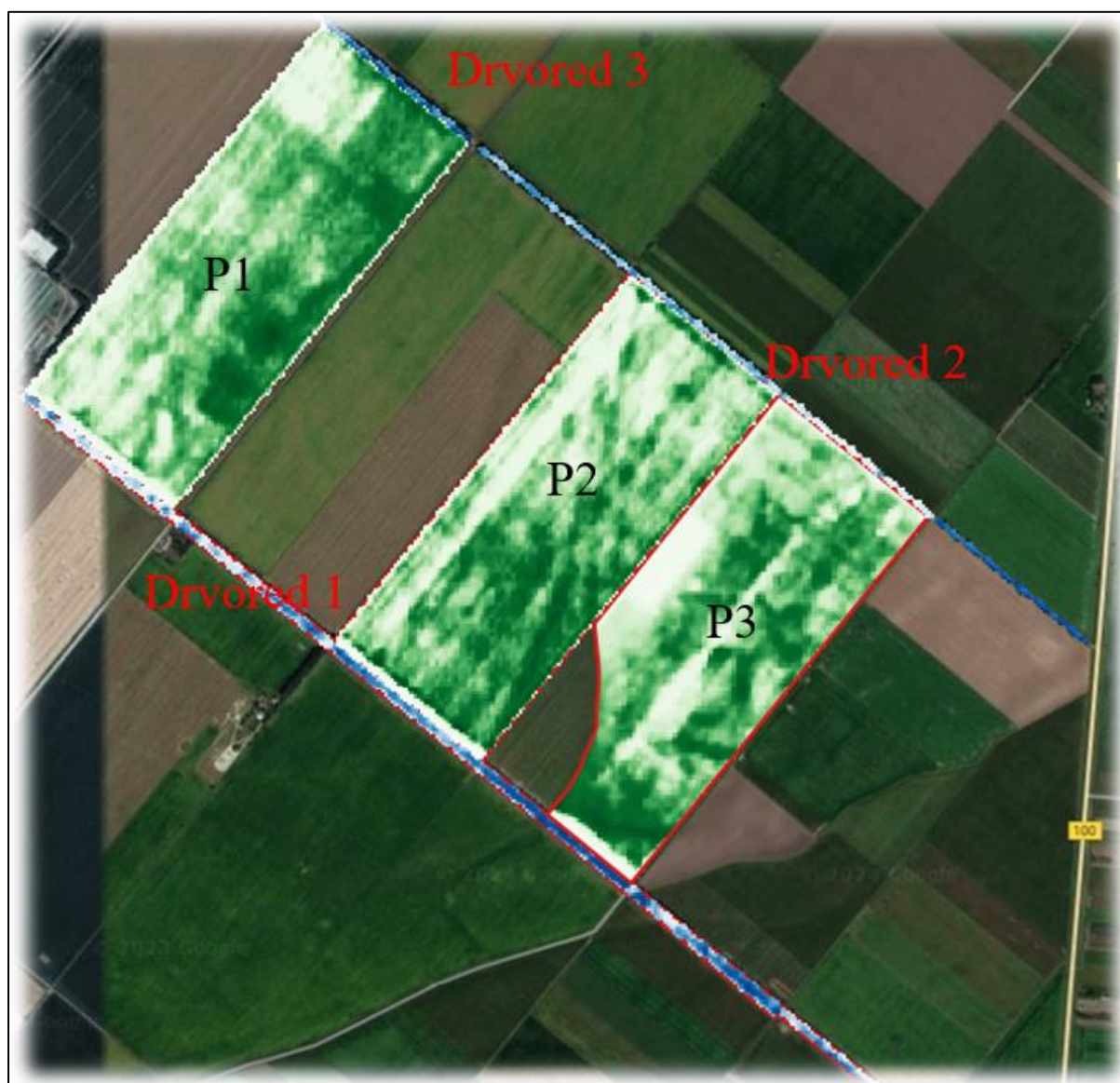
Izvor podataka: Copernicus

(<https://browser.dataspace.copernicus.eu/>, pristupljeno: avgust 2024. & Planet explorer www.planet.com), pristupljeno: avgust 2024.

Na lokaciji Srbobran (slika 4), drvoređi su označeni plavom bojom, pri čemu tamnoplava boja predstavlja odlično stanje drvoređi (Drvoređ 3), svetloplava boja označava loše stanje drvoređi (Drvoređ 2), dok bela boja ukazuje na odsustvo drvoređi (Drvoređ 1). Za razliku od prethodna dva slučaja, ovde je vetrozaštitni pojas formiran od četiri do osam redova drveća (Drvoređ 1) u kvadratnom rasporedu što i jeste karakteristika ovog tipa agrošumarskih sistema. Nijanse zelene boje na slici 4 prikazuju stanje useva u neposrednoj blizini drvoređi. Za utvrđivanje efekta pojasa na usev, neophodno je analizirati područja gde se preklapaju tamnoplava boja i tamnozeleno boje. Na uvratinama parcela, u centralnom delu jasno se uočava prisustvo tamnoplave boje u drvoređi i tamnozeleno boje na uvratinama, što ukazuje na moguće korelacije između stanja drvoređi i kvaliteta useva na tim mestima. Može se zabeležiti uticaj pojasa na okolni usev. Suprotan slučaj se uočava na desnoj parceli, na gornjoj uvratini, gde dominiraju svetlije nijanse plave boje ili čak bela boja, što ukazuje na loše stanje drvoređi ili njihov potpuni izostanak (Drvoređ 2). Ovaj obrazac prati i svetlozelena ili bela boja useva, što jasno pokazuje da drvoređi nema i da njegov pozitivan efekat na okolni usev izostaje. Nasuprot tome, u donjem delu iste parcele, na uvratini, bele se tamnija zelena boja useva i tamnoplava boja drvoređi (Parcela 3 i Drvoređ 1). Ova kombinacija ukazuje na značajan uticaj dobro formiranog drvoređi na zdravlje useva. Međutim, treba napomenuti da su i drugi agroekološki uslovi verovatno doprineli tamnozeleno boji useva, što označava visok nivo biomase i sadržaja hlorofila, odnosno veoma zdrav i produktivan usev. Na srednjoj i desnoj parceli, na donjoj uvratini, prisustvo bele boje ukazuje na prividno odsustvo useva. Međutim, ovo je rezultat senke drvoređi na severnoj strani, koja utiče na refleksiju sunčeve svetlosti. Uprkos tome, tamnozeleni pojas u neposrednoj blizini bele boje potvrđuje pozitivan uticaj vetrozaštitnog pojasa (Drvoređ 2 i Parcela 2). Slična opservacija može se izvesti na levoj parceli, gde na gornjoj uvratini tamnoplava i

tamnozeleno boja ukazuju na prisustvo dobro formiranog pojasa koji povoljno deluje na usev. Nasuprot tome, na donjoj uvratini ove parcele dominiraju svetlo plava, bela i svetlozeleno boja, što ukazuje na odsustvo drvoreda i lošije stanje useva u poređenju sa delovima parcele pod uticajem drvoreda (Drvored 2).

Kod svih analiziranih parcela primećuje se da je uticaj vetrozaštitnog pojasa ograničen na vrlo uzak pojas, što je posledica male širine drvoreda. Ovo ograničenje smanjuje mogućnost ispoljavanja značajnijih pozitivnih efekata, što nije slučaj na prethodno opisanoj slici 4, gde je efekat šireg i bolje razvijenog vetrozaštitnog pojasa bio znatno izraženiji.



Slika 4. Efekat vetrozaštitnih uskih drvoreda na poljoprivredne površine, usev - lokacija AD Pionir, Srbobran. Izvor podataka: Copernicus (<https://browser.dataspace.copernicus.eu/>, pristupljeno: avgust 2024. & Planet explorer www.planet.com), pristupljeno: avgust 2024.

Metoda opisana u ovom radu ima svoje značajne nedostatke koje se ogledaju u tome da se ne mogu izvesti zaključci sa visokim stepenom pouzdanosti. Radi se o brzom metodi opservacije, za donošenje brzih zaključaka u svrhu monitoringa. Prednost ove metode se ogleda u brzini i besplatnoj analizi, jer su izvori podataka besplatni kao i softveri gde se analiza odrađuje. Sa aspekta posmatranja velikih površina, ovakav monitoring je svrsishodan, jer se na osnovu njega mogu odabrati lokacije gde se može izvršiti detaljna analiza (Giniyatullin et al. 2023; Sun et al. 2023). Detaljnom analizom

mikrolokacija će poslužiti za kalibraciju vrednosti satelitskih snimaka te će kasniji monitoring biti pouzdaniji. Za dalja istraživanja, podaci se koriste za dobijanje modela promena i detekcija efekta vetrozaštitnih pojaseva na poljoprivredno zemljište i usev.

Vegetacijski indeksi (VI) predstavljaju važne alate u proceni stanja vegetacije i monitoringu biljnih zajednica, što je potvrđeno u brojnim istraživanjima (Sheffield et al. 2012; Ebinne et al. 2020; Vélez et al. 2023). Ovi indeksi se široko koriste u istraživanjima vezanim za poljoprivredu, šumarstvo, ekološke studije i analize pomoću satelitskih snimaka. Analiza rezultata u ovom radu pokazuje značajne razlike u vegetaciji na različitim lokacijama, što je u skladu sa nalazima drugih studija. Na primer, visoke vrednosti GNDVI i TVI na lokaciji Drvored 1 ukazuju na dobro formiran drvored. U odnosu na druge drvorede, Drvored 1 ima bolju vegetaciju i veći broj zelenih listova. Vrednosti NDVI ukazuju da su lokacije Drvored 1 i Parceli 1 karakteristične po izuzetno zdravoj vegetaciji, što je u skladu sa nalazima drugih studija koje su koristile NDVI kao indikator opšteg stanja vegetacije (Sheffield et al. 2012; Ebinne et al. 2020; Vélez et al. 2023). Analiza specifičnih vegetacijskih indeksa vezanih za sadržaj hlorofila, poput CI, SR1, CVI i SR2, dodatno potvrđuje prethodne nalaze. Visoke vrednosti ovih indeksa na lokacijama Parcela 1 i Parcela 2, ukazuju na izuzetno zdravu vegetaciju sa visokim sadržajem hlorofila, što je u skladu sa istraživanjima koja su koristila slične indekse za procenu zdravlja biljaka (Ebinne et al. 2020; Vélez et al. 2023). Suprotno tome, niže vrednosti na lokaciji Drvored 2 mogu ukazivati na vegetaciju koja nije u optimalnom stanju ili se nalazi u fazi niže fotosintetičke aktivnosti. Analiza satelitskih snimaka pomoću vegetacijskih indeksa omogućila je procenu uticaja vetrozaštitnih pojaseva na okolne poljoprivredne površine. Prikazani rezultati su u skladu sa istraživanjima koja su koristila slične metode za procenu uticaja vegetacije na mikroklimatske uslove i produktivnost useva (Fan et al. 2016). Na primer, veća površina vetrozaštitnog pojasa na slici 3 pokazuje očigledan pozitivan uticaj na kvalitet vegetacije na okolnom poljoprivrednom zemljištu, što je u skladu sa nalazima studija koje su ukazale na značaj šumskih pojaseva u zaštiti useva (Fan et al. 2016).

Međutim, treba napomenuti da metoda korišćena u ovom radu ima određene nedostatke u pogledu pouzdanosti zaključaka, što je u skladu sa nalazima drugih istraživanja koja su ukazala na ograničenja brze opservacije i potrebu za terenskim merenjima i kalibracijom podataka (Tefaye et al. 2021). Ova metodologija može poslužiti za identifikaciju lokacija gde je potrebno sprovesti detaljnija istraživanja, a rezultati mogu biti korišćeni za razvoj modela promena i detekciju efekata vetrozaštitnih pojaseva na poljoprivredno zemljište i useve.

4. Zaključak

Upotreba satelitskih snimaka i vegetacijskih indeksa, kao što su NDVI, GNDVI, GLI i TVI, kao i indeksi hlorofila, pokazala se kao efikasna metoda za procenu stanja vegetacije u poljoprivredi i šumarstvu. Ovi indeksi omogućavaju kvantitativnu analizu različitih aspekata biljnog stanja, uključujući fotosintetičku aktivnost, gustinu i dinamiku vegetacije. Istraživanje na dve lokacije sa vetrozaštitnim pojasem pokazalo je njihov uticaj na poljoprivredne useve, koji je kvantifikovan sa aspekta površine, fizičke veličine i biomase pojasa. Ove razlike su posebno izražene kroz vegetacione indekse poput TVI i indeksa hlorofila. Međutim, rezultati, iako korisni za opštu analizu, nisu zamena za terensku opservaciju. Preciznost procena može se značajno unaprediti integracijom satelitskih podataka sa dodatnim informacijama i fizičkim merenjima na terenu. Ovo bi omogućilo potpunije razumevanje uticaja vetrozaštitnih pojaseva i pružilo tačnije smernice za njihovu optimizaciju i primenu.

Zahvalnica

Ovo istraživanje je podržano je od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, ugovori br. 451-03-66/2024-03/200117, 451-03-65/2024-03/200117 i 451-03-66/2024-03/200197. Pored toga, ovaj rad pokriva jednu od istraživačkih tema koju realizuju istraživači okupljeni u Centru izvrsnosti Agro-Ur-

For na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, uz podršku Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija, ugovor br. 451-03-4551/2024-04/17.

Literatura

1. Afghah, A., Razi, J., Chakareski, J., Ashdown, J. (2019): Wildfire monitoring in remote areas using autonomous unmanned aerial vehicles. IEEE INFOCOM 2019 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs), Paris, France. pp. 835-840
2. Aklilu Tesfaye, A., Gessesse Awoke, B. (2021): Evaluation of the saturation property of vegetation indices derived from sentinel-2 in mixed crop-forest ecosystem. Spatial Information Research 29: 109-121.
3. Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Gnyp, M.L., Bareth, G. (2015): Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 39: 79-87.
4. Buchelt, A., Adrowitzer, A., Kieseberg, P., Gollob, C., Nothdurft, A., Eresheim, S., Tschatschek, S., Stampfer, K., Holzinger, A. (2024): Exploring artificial intelligence for applications of drones in forest ecology and management. Forest Ecology and Management 551: 121530.
5. Calvet J.-C. (2019): Vegetation. In: Maggioni, V., Massari, C. (eds.). Extreme hydroclimatic events and multivariate hazards in a changing environment. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. pp. 145-159.
6. Cialdella, N., Jacobson, M. Penot, E. (2023): Economics of agroforestry: links between nature and society. Agroforestry Systems 97: 273-277.
7. Di Gennaro, S.F., Nati, C., Dainelli, R., Pastonchi, L., Berton, A., Toscano, P., Matese, A. (2020): An automatic UAV based segmentation approach for pruning biomass estimation in irregularly spaced chestnut orchards. Forests 11(3): 308.
8. Ebinne, E., Apeh, O., Ndukwu, R., Abah, E. (2020): Assessing the health of akamkpa forest reserves in southeastern part of nigeria using remote sensing techniques. International Journal of Forestry Research: 1-15.
9. Belanović Simić, S., Lukić, S. (2023): Agroforestry in practice - guide for practical use. Center for Information Technologies of the University of Belgrade Faculty of Forestry. Belgrade, Serbia.
10. Fan, D., Chen, X., Li, Y., Du, K., Liu, S., Dang, S., Peng, G., Dong, G. (2016): Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Jinghe river basin. Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Engineering: 1058-1061
11. Fang H., Liang S. (2014): Leaf Area Index models. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences: 405-445. doi:10.1016/b978-0-12-409548-9.09076-x
12. Fang, W., Zhu, H., Li, S., Ding, H., Bi, R. (2023): Rapid identification of main vegetation types in the Lingkong Mountain Nature Reserve based on multi-temporal modified vegetation indices. Sensors 23(2): 659.
13. Gandhi, G.M., Parthiban, S., Tummalu, N., Christy, A. (2015): NDVI: vegetation change detection using remote sensing and GIS - a case study of Vellore District. Procedia Computer Science 57: 1199-1210.
14. Gao, S., Zhong, R., Yan, K., Ma, X., Chen, X., Pu, J., Gao, S., Qi, J., Yin, G., Myneni, R.B. (2023): Evaluating the saturation effect of vegetation indices in forests using 3D radiative transfer simulations and satellite observations. Remote Sensing of Environment 295: 113665.
15. Garrett, H.E., Jose, S., Gold, M.A. (eds). (2022): North American Agroforestry. 3rd Edition. Agronomy Society of America, Madison, WI, USA.
16. Giniyatullin, K.G., Sahabiev, I.A., Ryazanov, S.S., Smirnova, E.V., Tishin, D.V., Latypova, L.I. (2023): Possibility of using zoning of fallow vegetation by vegetation indices to assess organic matter accumulation in post agrogenic soils. Eurasian Soil Science 56: 1130-1138.

17. Gordon, A.M., Newman, S.M., Coleman, B. (eds). (2018). Temperate agroforestry systems. CABI, p. 326.
18. Govedar, Z., Anikić, N. (2024). Vegetation indices monitoring by using copernicus data in the old-growth forests of the Republic of Srpska/Bosnia and Herzegovina. *Frontiers in Forests and Global Change* 7: 1354769.
19. 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: 1-6.
20. Khunrattanasiri, W. (2022). Application of remote sensing vegetation indices for forest cover assessments. In: Suratman, M.N. (eds.) *Concepts and applications of remote sensing in forestry*. Springer, Singapore. pp. 153-166.
21. Li, W., Mu, X. (2021): Using fractal dimension to correct clumping effect in leaf area index measurement by digital cover photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 311: 108695.
22. Li, W., Weiss, M., Garric, B., Champolivier, L., Jiang, J., Wu, W., Baret, F. (2023): Mapping crop leaf area index and canopy chlorophyll content using UAV multispectral imagery: impacts of illuminations and distribution of input variables. *Remote Sensing* 15(6): 1539.
23. Lizaga, I., Latorre, B., Gaspar, L., Ramos, M.C., Navas, A. (2022): Remote sensing for monitoring the impacts of agroforestry practices and precipitation changes in particle size export trends. *Frontiers in Earth Science* 10: 923447.
24. Macedo, F.L., Sousa, A.M.O., Gonçalves, A.C., Marques da Silva, J.R., Mesquita, P.A., Rodrigues, R.A.F. (2018): Above-ground biomass estimation for *Quercus rotundifolia* using vegetation indices derived from high spatial resolution satellite images. *European Journal of Remote Sensing* 51(1): 932-944.
25. Mitchell, L., Rosenqvist, A., Mora, B. (2017): Current remote sensing approaches to monitoring forest degradation in support of countries measurement, reporting and verification (MRV) systems for REDD. *Carbon Balance and Management* 12(1): 9.
26. Mori, S., Lertzman, K.P., Gustafsson, L. (2017): Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *Journal of Applied Ecology* 54(1): 12-27.
27. Nair, P.K.R. (1993): *Introduction to Agroforestry*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
28. Nair, P.K.R. (2013): *Agroforestry: trees in support of sustainable agriculture*. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier.
29. Radočaj, D., Šiljeg, A., Marinović, R., Jurišić, M. (2023): State of major vegetation indices in precision agriculture studies indexed in web of science: a review. *Agriculture* 13(3): 707.
30. Ruan, Y., Zhang, X., Xin, Q., Sun, Y., Ao, Z., Jiang, X. (2021): A method for quality management of vegetation phenophases derived from satellite remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing* 42: 5811-5830.
31. Schoeneberger, M.M., Bentrup, G., Patel-Weynand, T. (eds). (2018): *Agroforestry: Enhancing resiliency in U.S. agricultural landscapes under changing conditions*. Gen. Tech. Report WO-96. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
32. Shao, G.F. (2012): *Remote Sensing: Encyclopedia of Environmetrics*. Wiley, Chichester.
33. Sheffield, K., Abuzar, M., Whitfield, D., McAllister, A., O'Connell, M. (2012): Riparian vegetation status and rates of water use from satellite data. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX-B8*: 351-356.
34. Shibu J. (2012): Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 86(3): 195-204.
35. Sun, H. (2023). Crop vegetation indices. In: Zhang, Q. (eds). *Encyclopedia of Digital Agricultural Technologies*. Springer, Cham.
36. Tang, L., Shao, G. (2015). Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research* 26: 791-797.

37. Vélez, S., Rançon, F., Barajas, E., Brunel, G., Rubio, J.A., Tisseyre, B. (2022): Potential of functional analysis applied to Sentinel-2 Time-Series to assess relevant agronomic parameters at the within-field level in viticulture. *Computers and Electronics in Agriculture* 194: 106726.
38. Vélez, S., Martínez-Peña, R., Castrillo, D. (2023): Beyond vegetation: a review unveiling additional insights into agriculture and forestry through the application of vegetation indices. *J* 6(3): 421-436.
39. Vorovencii, I., Dinca, L., Crisan, V. E., Postolache, R. G., Codrean, C.L., Catalin, C., Greșiță, C.I., Chima, S., Gavrilesco, I. (2023): Local-scale mapping of tree species in a lower mountain area using Sentinel-1 and-2 multitemporal images, vegetation indices, and topographic information. *Frontiers in Forests and Global Change* 6: 1220253.
40. Waldron, A., Garrity, J., Stoate, T. (2023): Agroforestry systems as a tool for climate resilience. In: Gupta, R. (ed.). *Agroforestry: sustainable land use for a changing Climate*. Cham: Springer. pp. 231-249.
41. Wang, Q., Adiku, S., Tenhunen, J., Granier, A. (2005): On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment* 94: 244-255.
42. Wang, Z., Wang, T., Darvishzadeh, R., Skidmore, A. K., Jones, S., Suarez, L., Woodgate, W., Heiden, U., Heurich, M., Hearne, J. (2016): Vegetation indices for mapping canopy foliar nitrogen in a mixed temperate forest. *Remote Sensing* 8(6): 491.
43. Wilson, M., Lovell, S.T., Carter, T. (2018): *Perennial pathways: planting tree crops. Designing & installing farm-scale edible agroforestry*. Savanna Institute. Madison, USA.
44. Xu, X., Liu, L., Han, P., Gong, X., Zhang, Q. (2022): Accuracy of vegetation indices in assessing different grades of grassland desertification from UAV. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19: 16793.
45. Xue, J., Su, B. (2017): Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. *Journal of Sensors*: 1353691.
46. Ying, L., Jiabin, Q., Hui, Y. (2021): Comparison and evaluation of different dryness indices based on vegetation indices-land surface temperature/albedo feature space. *Advances in Space Research* 68(7): 2791-2803.

ORCID

Vladimir Višacki: 0000-0003-3698-9140

Lazar Pavlović: 0000-0003-2249-8201

Srđan Stojnić: 0000-0001-5014-7244

Dejan B. Stojanović: 0000-0003-2967-2049

Lazar Kesić: 0000-0003-2643-9727

Saša Orlović: 0000-0002-2724-1862