

Mogućnost procjene prinosa lucerne i djetelinsko-travnih smjesa korištenjem satelitskih snimaka Landsat 8 i 9

Batur, Tin

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:123847>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

**MOGUĆNOST PROCJENE PRINOSA LUCERNE I
DJETELINSKO-TRAVNIH SMJESA KORIŠTENJEM
SATELITSKIH SNIMAKA LANDSAT 8 I 9**

DIPLOMSKI RAD

Tin Batur

Zagreb, rujan, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:

Agroekologija

**MOGUĆNOST PROCJENE PRINOSA LUCERNE I
DJETELINSKO-TRAVNIH SMJESA KORIŠTENJEM
SATELITSKIH SNIMAKA LANDSAT 8 I 9**

DIPLOMSKI RAD

Tin Batur

Mentor:

doc. dr. sc. Hrvoje Kutnjak

Zagreb, rujan, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Tin Batur**, JMBAG 0178109406, rođen 15.7.1997. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

MOGUĆNOST PROCJENE PRINOSA LUCERNE I DJETELINSKO-TRAVNIH SMJESA
KORIŠTENJEM SATELITSKIH SNIMAKA LANDSAT 8 I 9

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;

- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice Tin Batur, JMBAG 0178109406, naslova

MOGUĆNOST PROCJENE PRINOSA LUCERNE I DJETELINSKO-TRAVNIH SMJESA
KORIŠTENJEM SATELITSKIH SNIMAKA LANDSAT 8 I 9

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. **doc. dr. sc. Hrvoje Kutnjak** mentor _____
2. **izv. dr. sc. Boris Lazarević** član _____

3. izv. dr. sc. Aleksandra Perčin član

Zahvala

Ovime zahvaljujem doc. dr. sc. Hrvoju Kutnjaku na mentorstvu prilikom pisanja diplomskoga rada, ali i na buđenju entuzijazma oko primjene daljinskog motrenja i novih tehnologija u poljoprivredi. Zahvaljujem se svim profesorima i djelatnicima Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, a posebice nekolicini, zbog kojih sam shvatio važnost naše struke u izazovima koji su ispred svih nas.

Bez moje obitelji ovo nebi bilo moguće te sam neizmjereno zahvalan što ih imam i za sve što su mi pružili.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Cilj rada i hipoteza	3
2. Pregled literature	4
2.1. Predviđanje prinosa lucerne	4
2.2. Predviđanje prinosa riže.....	5
2.3. Primjena Landsat satelita u poljoprivredi	6
3. Materijali i metode.....	8
3.1. Lokacija i pokusna shema	8
3.2. Prikupljanje biljnih uzoraka na terenu i izračun prinosa suhe tvari	9
3.3. Tehnička specifikacija Landsat 8 i 9 satelita i podataka	10
3.4. Obrada satelitskih podataka	12
3.4.1. Preuzimanje satelitskih podataka	12
3.4.2. Priprema podataka	13
3.4.3. Vegetacijski indeksi	15
3.4.4. Zonalna statistika i statistička obrada podataka	15
4. Rezultati i rasprava	17
Zaključak	23

Popis literature..... 24

Životopis 28

Sažetak

Diplomskog rada studenta/ice **Tin Batur**, naslova

MOGUĆNOST PROCJENE PRINOSA LUCARNE I DJETELINSKO-TRAVNIH SMJESA

KORIŠTENJEM SATELITSKIH SNIMAKA LANDSAT 8 I 9

Precizna poljoprivreda se oslanja na moderne tehnologije poput GNSS-a i daljinskog motrenja za racionalnije upravljanje vrijednim resursima na poljoprivrednom gospodarstvu. Korištenjem podataka o refleksiji svjetlosti s lista dobivamo uvid u bujnost vegetacije i varijabilnost unutar usjeva. Informaciju o varijabilnosti možemo iskoristiti za prilagodbu agrotehničkih mjera u svrhu povećanja kvalitete i količine prinosa. Cilj ovog rada bio je utvrditi korelaciju vrijednosti vegetacijskih indeksa dobivenih analizom satelitskih snimaka Landsat 8 i 9 s gravimetrijski izmjerenim prinosom lucerne i djetelinsko-travnih smjesa. Kao pokazatelj reprezentativnosti regresije korišten je koeficijent determinacije između vrijednosti triju različitih vegetacijskih indeksa i količine prinosa suhe tvari i zelene mase u tri košnje usjeva. Rezultati su pokazali čvršće veze vegetacijskih indeksa s prinosom zelene mase nego s prinosom suhe tvari i time imaju mjesto kao obećavajuć alat u planiranju proizvodnje daljinskim motrenjem.

Ključne riječi: precizna poljoprivreda, Landsat 8 i 9, prognoza prinosa, lucerna, DTS

Summary

Of the master's thesis - student **Tin Batur**, entitled

EVALUATING THE YIELD OF ALFALFA AND CLOVER-GRASS MIXTURES USING LANDSAT 8 AND 9 SATELLITE IMAGERY

Precision agriculture relies on modern technologies such as GNSS and remote sensing to efficiently manage valuable farm resources. Using data on light reflected from leaves, we gain insights into the vegetation density and variability within the crop. Information about this variability can be used to adjust agrotechnical measures in order to increase yield quality and quantity. The aim of this study was to determine the correlation between the values of vegetation indices obtained through the analysis of Landsat 8 and 9 satellite images and gravimetrically measured yields of alfalfa and clover-grass mixtures. The coefficient of determination was used as an indicator of the regression representativeness between the values of three different vegetation indices and the yield of dry matter and fresh cut biomass in three crop harvests. The results showed stronger connections of vegetation indices with fresh cut biomass yield than with dry matter yield, indicating their potential as a promising tool in production planning through remote sensing.

Keywords: precision agriculture, Landsat 8 and 9, yield prediction, Landsat, Alfalfa, CGM

1. Uvod

Precizna poljoprivreda je koncept gospodarenja usjevom uz pomoć modernih tehnologija poput globalnog navigacijskog satelitskog sustava (GNSS) te senzora raznih namjena integriranim na poljoprivrednim strojevima u svrhu kartiranja površine, uzorkovanja, zaštite bilja ili navodnjavanja kao odgovor na varijabilnosti unutar usjeva (Auernhammer 2001.).

Daljinsko motrenje je metoda prikupljanja i bilježenja reflektirane, apsorbirane ili emitirane energije od Zemljine površine te postavljanje u vezu izmjerenih podataka s obilježjima na Zemljinoj površini ili atmosferi bez direktnog kontakta. Za korištenje daljinskog motrenja u poljoprivrednoj praksi potrebne su satelitske snimke ili snimke bespilotnih letjelica iz kojih se dobivaju podatci o tlu, klasificira zemljište i vegetacija te interpretiraju parametri poljoprivrednih kultura (Olujčić 2001.). Većina instrumenata u daljinskim istraživanjima su elektronički uređaji odnosno senzori na zrakoplovima, bespilotnim letjelicama ili satelitskim sustavima koji bilježe prirodnu reflektiranu energiju (pasivni senzor) sa promatranog objekta odnosno fenomena ili odaslanu sa instrumenta (aktivni senzor). Ta energija može biti u obliku elektromagnetskog zračenja, čestica i zvučnih valova. Primljena energija se pretvara u elektronički zapis, odnosno digitalni oblik poznatog raspona vrijednosti . Senzori mjere energiju u specifičnim intervalima valnih duljina elektromagnetskog spektra koje nazivamo spektralne vrpce (bendovi - eng. Bands). Kombiniranjem više slika pojedinačnih vrpca , vidljivog ili infracrvenog zračenja u zaslon koji ima tri ulaza: plavo, zeleno i crveno (RGB) dobivamo kompozitne slike za različite namjene. Vegetacijski indeks je spektralna transformacija jedne ili više vrpca u svrhu praćenja stanja i zdravlja vegetacije (Tepfili i sur. 2009.). Klorofil u biljci apsorbira elektromagnetsku energiju od 0,4 do 0,7 μm uglavnom crvene i plavo-ljubičaste svjetlosti te reflektira zelene i žute valne duljine, a smanjenjem količine slobodne vode u listu uzrokuje propadanje tkiva, biljka reflektira manje infracrvenog zračenja. Mjerenjem reflektiranog infracrvenog zračenja moguće je procijeniti stanje ili gustoću promatrane vegetacije. Općenito ako je zabilježeno da vegetacija više reflektira infracrveno zračenje, a manje u vidljivom spektru, vegetacija je u dobrom stanju, . Kvaliteta podataka satelitskih snimaka je definirana njihovom prostornom; veličina jednog piksela u rasterskom obliku u stvarnom prostoru, spektralnom; broj spektralnih vrpca u kojima senzor bilježi reflektiranu vrijednost, radiometrijskom; raspon intenziteta zabilježene reflektirane radijacije

koji senzor može razlikovati i vremenskom rezolucijom; frekvencija preleta satelita nad jednim područjem (NASA 2000., 2023.).

Prognoziranje prinosa usjeva u poljoprivredi ključno je za rješavanje novih izazova u opskrbi hranom, osobito uzimajući u obzir klimatske promjene. Točna predviđanja prinosa pomažu poljoprivrednicima da donesu ispravne upravljačke i ekonomske odluke. Predviđanje prinosa usjeva je istraživačko pitanje u poljoprivredi, a podrazumjeva da je fenotip biljke određen genotipom (G), okolišem (E), upravljanjem (M) i njihovim međusobnim interakcijama (G × E × M) (Ansarifar i sur. 2021.). Mnogi modeli su u ovu svrhu postavljeni i primjenjeni no kako su potrebni različiti skupovi podataka poput klime, vremenski uvjeta, tla, gnojiva i sorta kulture, predviđanje prinosa je još uvijek izazov u preciznoj poljoprivredi (Xu i sur. 2019.). Analiza i evaluacija tkiva ili strukturalnih karakteristika ovisnih o prirodi koje utječu na refleksiju zemljine površine pruža put za poboljšanje interpretacije podataka dobivenih daljinskim motrenjem i informacija koje pomažu u razvoju novih metoda i tehnologija (Ashner 1998.).

1.1. Cilj rada i hipoteza

Cilj rada:

Utvrđiti korelaciju vrijednosti vegetacijskih indeksa dobivenih analizom satelitskih snimaka Landsat 8 i 9 s gravimetrijski izmjerenim prinosom lucerne i djetelinsko travnih-smjesa.

Hipoteza:

Moguće je procijeniti prinos suhe tvari i zelene mase lucerne i djetelinsko travnih-smjesa vegetacijskim indeksom korištenjem vegetacijskih indeksa: NDVI, MSAVI i SR dobivenih iz satelitskih snimaka Landsata 8 i 9 .

2. Pregled literature

Prognoziranje prinosa usjeva prije žetve omogućuje donošenje kvalitetnijih odluka pri trgovini, nacionalnim ili regionalnim procjenama prinosa i statusa dostupnosti hrane te pri razvitku profitabilnijih tržišnih planova (Horie i sur. 1992.) Također, poljoprivrednicima se otvara mogućnost da primjenjuju inpute poput navodnjavanja, prihrane ili zaštite po kartama varijabilne primjene ukoliko imaju informacije o varijablnostima unutar i između poljoprivrednih površina (Haghverdi i sur. 2015.).

2.1. Predviđanje prinosa lucerne

Lucerna, kao jedna od važnijih krmnih kultura, uzgaja se na više od 35 milijuna hektara u 80 država diljem svijeta (Radović i sur. 2016.). U Hrvatskoj su tri vrste lucerne: plava (*Medicago sativa*), žuta (*Medicago falcata*) i hibridna lucerna (*Medicago x varia*) često korištene u prehrani životinja zbog svoje svestranosti te kvalitetne hranidbene vrijednosti (Rapčan 2014., Popović i sur. 2001.).

Zbog značaja za prehranu stoke i velikih površina pod kojim se uzgaja često se koriste satelitske snimke u monitoringu usjeva lucerne. U radu naslova: „Assessing the Spatial Variability of Alfalfa Yield Using Satellite Imagery and Ground Based Data“, autori Kayad, Al-Gaadi, Tola, Madugundu, Zeyada i Kalaitzidis su uvidjeli potrebu za predviđanjem usjeva velikih površina te istražuju varijabilnost prinosa lucerne na površini veličine 23,5 hektara u Saudijskoj Arabiji. Korišteni su satelitske snimke Landsata 8 i podaci dobiveni senzorom za praćenje prinosa sijena, s ciljem analize tehnologija za predviđanje prinosa. Kalibrirani senzor za praćenje prinosa, montiran na traktorskoj preši za sijeno, koristio se za mjerenje stvarnog prinosa lucerne tijekom četiriju otkosa u razdoblju od listopada 2013. do svibnja 2014. Ukupno je korišteno 18 satelitskih snimaka Landsat-8 koji su obuhvatili specifične faze rasta usjeva. Na temelju ovih snimaka izračunati su različiti vegetacijski indeksi. Podaci dobiveni senzorom za praćenje prinosa omogućili su izradu karata prinosa lucerke, koje su jasno prikazale prostornu varijabilnost prinosa na eksperimentalnom polju za četiri različita otkosa. Analizom su utvrđene visoke prostorne korelacije prinosa lucerne između otkosa, potvrđene visokim koeficijentima korelacije (0,75 do 0,97) i niskim P-vrijednostima. Istraživanje je također analiziralo odnos između stvarnog prinosa lucerne i različitih vegetacijskih indeksa izračunatih

iz snimaka Landsata 8. Među različitim indeksima, kao što su NDVI, SAVI i GNDVI, utvrđena je izražena korelacija s prinosom lucerke. Ovi indeksi su pokazali koeficijente korelacije koji su varirali od 0,33 do 0,66, s P-vrijednostima od 0,00002 do 0,00351. Nadalje, istraživanje se usredotočilo na mogućnost predviđanja prinosa lucerke pomoću satelitskih snimaka i vegetacijskih indeksa. Utvrđeno je da su refleksija u blizini infracrvenog spektralnog kanala (NIR), SAVI i NDVI pokazali najvišu korelaciju s prinosom lucerke u određenim fazama rasta. Za žetve broj 8, 9 i 10, najviši koeficijenti korelacije postignuti su pri uzgoju od 14 (vegetativna faza), 16 (vegetativna faza) i 23 (rana faza pupanja) dana. Zaključno, ova studija pruža dublje razumijevanje prostorne varijabilnosti prinosa lucerke i istražuje mogućnost predviđanja prinosa pomoću vegetacijskih indeksa iz satelitskih snimaka. Studija bi mogla biti od ključnog značaja za unapređenje praksi precizne poljoprivrede i optimizaciju planiranja usjeva.

2.2. Predviđanje prinosa riže

Kao najuzgajanja svjetska kultura, riža također predstavlja kulturu za koju se navodnjavanjem potroši i najviše pitke vode u svijetu, ali i vrstu koja je često proučavana daljinskim motrenjem (de Lima i sur. 2021., Duan i sur. 2019.).

U znanstvenom radu naziva: "Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt" autori Nouredin, Aboelghar, Saady i Ali istražuju mogućnost predviđanja prinosa riže prije žetve korištenjem satelitskih snimaka. Autori su koristili spektralne podatke o refleksiji lišća i različite indekse vegetacije u kombinaciji s indeksom površine lišća (LAI) kako bi razvili modele za predviđanje prinosa riže putem satelitskih podataka. Podaci o LAI, spektralni podaci dobiveni iz dvije SPOT snimke prikupljenih 24. kolovoza 2008. i 23. kolovoza 2009. te stvarni prinos riže korišteni su kao glavni ulazni podaci za modele. Svaki pojedinačni faktor dobiven satelitskim promatranjem koristio se zasebno i u kombinaciji s LAI-em kako bi se generirali modeli. Rezultati pokazuju da zelena spektralna vrpca, srednja infracrvena spektralna vrpca i indeks zelene vegetacije (GVI) nisu pokazali dovoljnu sposobnost kao procjenitelji prinosa riže, dok su drugi ulazni faktori poput crvene spektralne vrpce, infracrvene spektralne vrpce i vegetacijskih indeksa koji su algebarski omjeri ovih dviju spektralnih traka, kada se koriste pojedinačno ili u kombinaciji s LAI-em, proizveli modele visoke točnosti procjene prinosa riže. Validacija modela provedena je pomoću dvaju statističkih testova: standardna pogreška procjene i koeficijent korelacije između modeliranog i predviđenog prinosa. Rezultati ukazuju

da korištenje NDVI-a u kombinaciji s LAI-em daje model s najvećom točnošću i stabilnošću tijekom dvije vegetacijske sezone. Autori zaključuju da predviđanje prinosa usjeva nekoliko mjeseci prije žetve može biti od velike važnosti za pravovremeno pokretanje trgovine hranom kako bi se osigurala nacionalna potražnja i pravovremeno organizirao prijevoz hrane unutar zemalja. Ovaj rad ukazuje na mogućnost korištenja daljinskog motrenja za precizniju procjenu prinosa usjeva prije žetve, uzimajući u obzir različite spektralne karakteristike kulture i okolišnih uvjeta.

2.3. Primjena Landsat satelita u poljoprivredi

Početak šezdesetih godina prošlog stoljeća prepoznat je potencijal civilnih satelita za promatranje Zemlje u svrhu istraživanja geografije, geologije, hidrologije te općenito upravljanja prirodnim resursima. Odjel za unutarnje poslove (eng. Department of the Interior), Državna i civilna uprava za zrakoplovna, svemirska istraživanja i razvoj (eng. National Aeronautics and Space Administration) te Odjel za poljoprivredu Sjedinjenih Američkih Država (eng. United States Department of Agriculture) započinju razvoj prvog civilnog satelita za promatranje Zemlje. Lansiran 23. srpnja 1972. i prvotno zvan Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1), kasnije je preimenovan u Landsat 1, simbol je početka internacionalne suradnje u tehnologiji i znanosti daljinskog motrenja. Tokom prve misije autori Rouse, Haas, Schell i Deering dolaze do matematičkog izraza koji opisuje bujnost vegetacije korištenjem podataka sa Landsata 1 i time stvaraju NDVI dok 1988. godine Alfredo Huete prezentira SAVI, također važan indeks za praćenje vegetacije. Nakon Landsata 1 uslijedilo je još osam satelita, tehnički sve sposobniji, od kojih su posljednja tri još uvijek u funkciji te kontinuirano bilježe podatke o Zemljinoj površini i na taj način pomažu pri upravljanju prirodnim resursima i okolišem. Misiju vodi Američki geološki zavod (USGS) kao dio Nacionalnog programa za snimanje zemljišta, a podatci se analiziraju u Centru za promatranje Zemlje i znanost zemaljskih resursa u Sjevernoj Dakoti (USGS, 2022.).

Prema istraživanju Holly M. Miller iz 2014 naslova: Users and Uses of Landsat 8 Satellite Imagery — 2014 Survey Results, Landsat podatci se u 5-10% svih zahtjeva za podacima koriste primarno u poljoprivredne svrhe, sa ciljem predviđanja ili upravljanja u poljoprivrednoj proizvodnji, a sekundarno u 10-25% svih slučajeva. Autorica zamjećuje rast korištenja podataka u poljoprivredne svrhe u usporedbi sa prošlim anketnim istraživanjima. Prebrojati

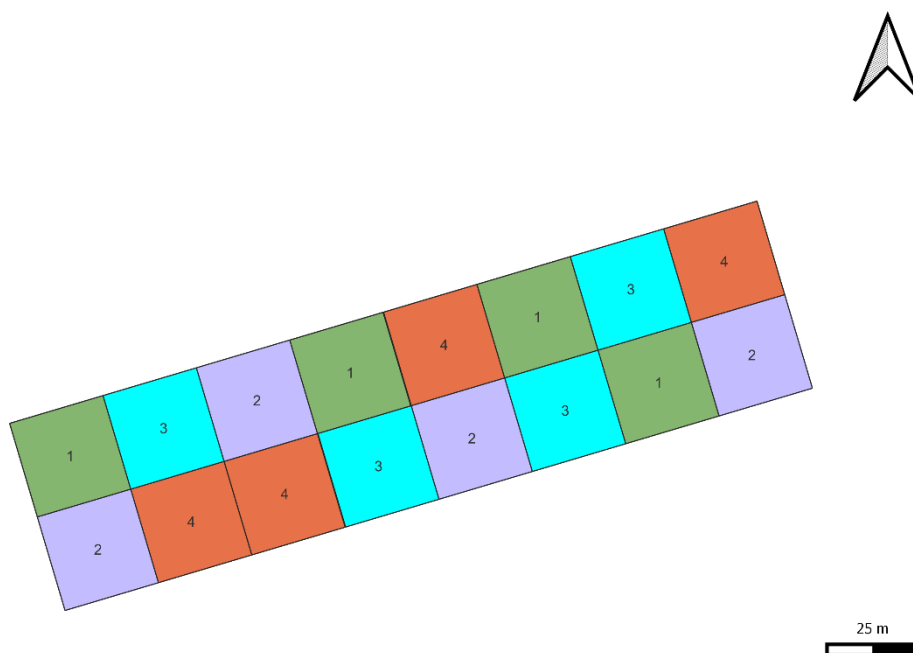
sve radove kroz povijest gdje su se Landsat podatci koristili bilo bi iznimno teško, što pokazuje njihov značaj znanstvenoj zajednici.

3. Materijali i metode

3.1. Lokacija i pokusna shema

Pokus je postavljen na pokušalištu „Maksimir“ (ARKOD ID: 1295292) Agronomskog fakulteta u Zagrebu (45°49'43.2"N 16°01'59.1"E) od proljeća 2020. godine do kraja 2022. godine bloknom slučajnom rasporedu na 16 parcelica (četiri tretmana u četiri ponavljanja), ukupne površine od jednog hektra. Svaka osnovna parcela imala je površinu od 25 x 25 metara (Slika 1., Tablica 1.).

U istraživanju su u svojstvu tretmana korištena dva kultivara lucerne (*Medicago sativa*), tržišnih naziva: Sibemol i Power 4.2, sjetvene norme od 25 kg/ha te dvije smjese mahunarki i trava, tržišnih naziva: CutMax Original (15% crvena djetelina, 20% festulolium, 25% engleski ljulj tetraploidni, 10% mačji repak, 20% klupčasta oštrica, 10% trstikasta vlasulja) i CutMax Protein (10% crvena djetelina, 30% lucerna, 25% festulolium, 10% tetraploidni engleski ljulj, 15% mačji repak, 10% klupčasta oštrica), sjetvene norma od 35 kg/ha.



Slika 1. Shema pokusnog polja na pokušalištu Maksimir. Brojevima su označeni tretmani odnosno sorte lucerne i djetelinsko travnih smjese.

Tablica 1. Shema pokusa

Tretman 1	CutMax Original
Tretman 2	CutMax Alfa Protein
Tretman 3	Lucerna Power 4.2 (Medicago sativa)
Tretman 4	Lucerna Sibemol (Medicago sativa)

3.2. Prikupljanje biljnih uzoraka na terenu i izračun prinosa suhe tvari

Košnja se obavljala tri puta godišnje, u jutranjim satima. U ovo istraživanje uzeti su podatci o prinosima triju košnju: 31. svibnja 2021., 15. svibnja 2022. i 28. lipnja 2022. godine. Zbog robusnosti traktora i kose kao i nemogućnosti apsolutno preciznog upravljanja, zbog jednostavnosti izračuna, uz prihvaćanje zanemarive pogreške na razini mjerenja, je umjesto 9,8 m² u obračunu suhe tvari kao zahvat kosilice uzeta površina od 10 m².



Slika 2. Vaganje zelene mase obračunske parcele, Izvor: Josip Leto

Pokošena biomasa sa obračunske parcele prenesena je vilama na šatorsko krilo te je visećom poteznom vagom izmjerena zelena masa (Slika 2.) kako bi se dobio izračunao podatak o prinosu svježe mase ($t\ ZM\ ha^{-1}$). Također je uzet uzorak od oko 1000 g svježe mase, koja je zatim sušena u sušioniku na temperaturi od 60°C tijekom 48 sati. Nakon sušenja, uzorci su ponovno izvagani i preračunati u tonama suhe mase po hektaru ($t\ ST\ ha^{-1}$).

3.3. Tehnička specifikacija Landsat 8 i 9 satelita i podataka

Landsat 8 i Landsat 9 su sateliti dizajnirani za prikupljanje podataka o Zemljinoj površini putem senzora koji mjere reflektiranu svjetlost u različitim dijelovima elektromagnetskog spektra. Orbitiraju oko Zemlje u paru u istoj orbiti, ali na suprotnim položajima. Svaki satelit ima vremensku rezoluciju od 16 dana, odnosno svakih 8 dana Landsat 8 ili Landsat 9 prelete isto područje snimanja, 12 bit-nu radiometrijsku rezoluciju za svaku spektralnu vrpcu te prostornu rezoluciju od 30 m za multispektralne vrpce i 15 m za pankromatsku vrpcu (NASA, 2023). OLI i TIRS su dva odvojena senzora koji se koriste na satelitima Landsat 8 i Landsat 9 za prikupljanje podataka o Zemljinoj površini u različitim dijelovima elektromagnetskog spektra (Tablica 2.):

OLI (Operational Land Imager):

Ovaj senzor sadrži 9 spektralnih vrpca koje pokrivaju širok raspon elektromagnetskog spektra, uključujući vidljivu svjetlost i infracrvene valne duljine. OLI omogućuje detaljnije snimanje različitih karakteristika površine, kao što su vegetacija, voda, stijene i drugi elementi. Zahvaljujući većem broju spektralnih vrpca, OLI pomaže u boljoj karakterizaciji različitih tipova zemljišta i vegetacije (USGS 2023.).

TIRS (Thermal Infrared Sensor):

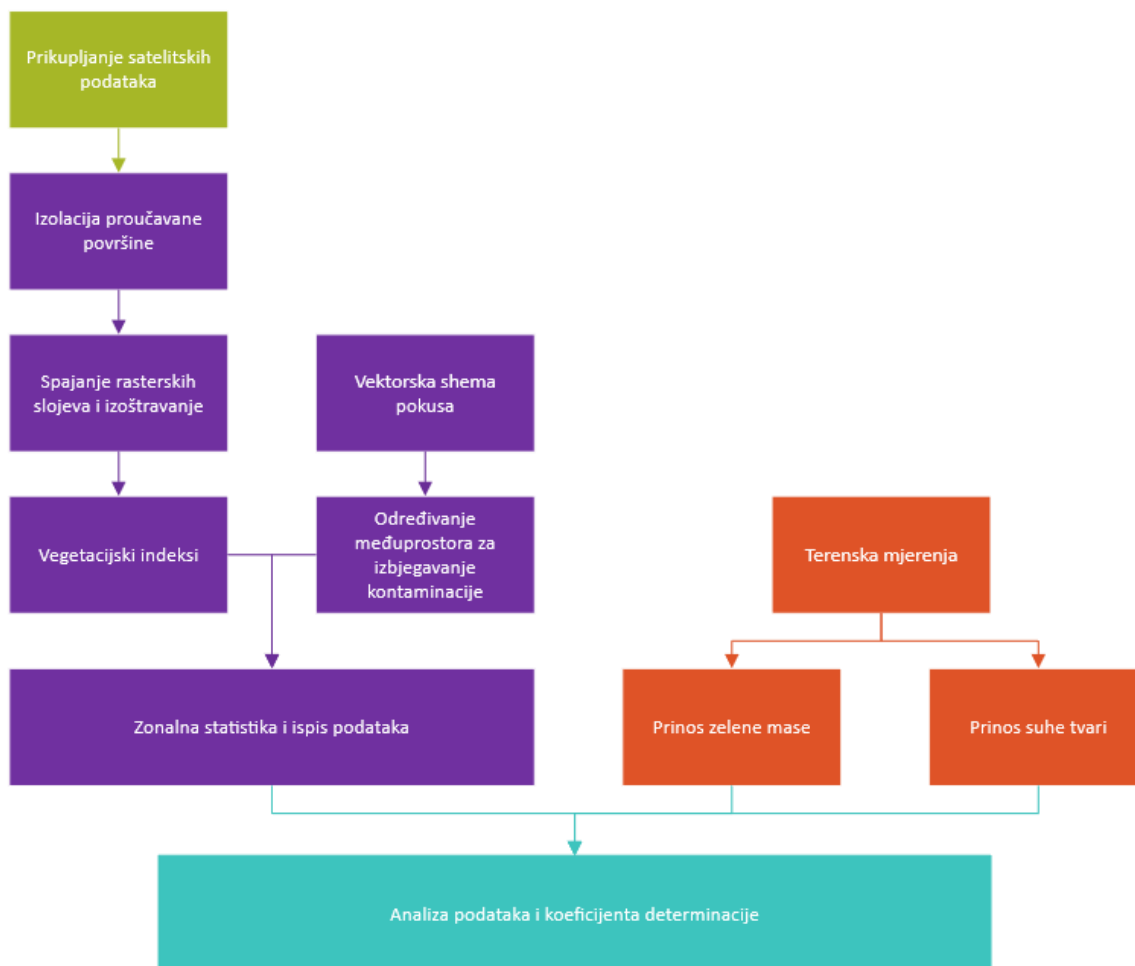
TIRS bilježi termalne podatke sa zemljine površine u dvije spektralne vrpce koje omogućuju precizno mjerenje temperature površine. Ovaj senzor je posebno koristan za praćenje termalnih svojstava površine Zemlje, kao što su promjene u temperaturi tla, vode i drugih objekata. TIRS omogućuje detekciju termalnih anomalija, termalne inercije i drugih procesa koji se odvijaju na površini Zemlje (USGS 2023.).

Tablica 2. Spektralne vrpce Landsat 8 i 9 satelita, Izvor: USGS

Bend	Valna duljina (nm)	Rezolucija (m)
1 – Obalni aerosol	430-450	30
2 – Plava	450-510	30
3 – Zelena	530-590	30
4 – Crvena	640-670	30
5 – Blizu infracrvena (NIR)	850-880	30
6 – Kratkovalno infracrvena (SWIR) 1	1570-1650	30
7 – Kratkovalno infracrvena (SWIR) 2	2110-2290	30
8 – Pankromatska	500-680	15
9 – Cirrus	1360-1380	30
10 – Termalna infracrvena (TIRS) 1	10600-11190	100
11 – Termalna infracrvena (TIRS) 2	11500-12510	100

3.4. Obrada satelitskih podataka

Nakon gravimetrijskih ispitivanja uslijedila je obrada podataka satelitskih snimaka Landsat 8 i 9 satelita radi određivanja koeficijenta determinacije između vrijednosti vegetacijskih indeksa i stvarnih prinosa, a cijeli postupak odvijao se po dijagramu 1.



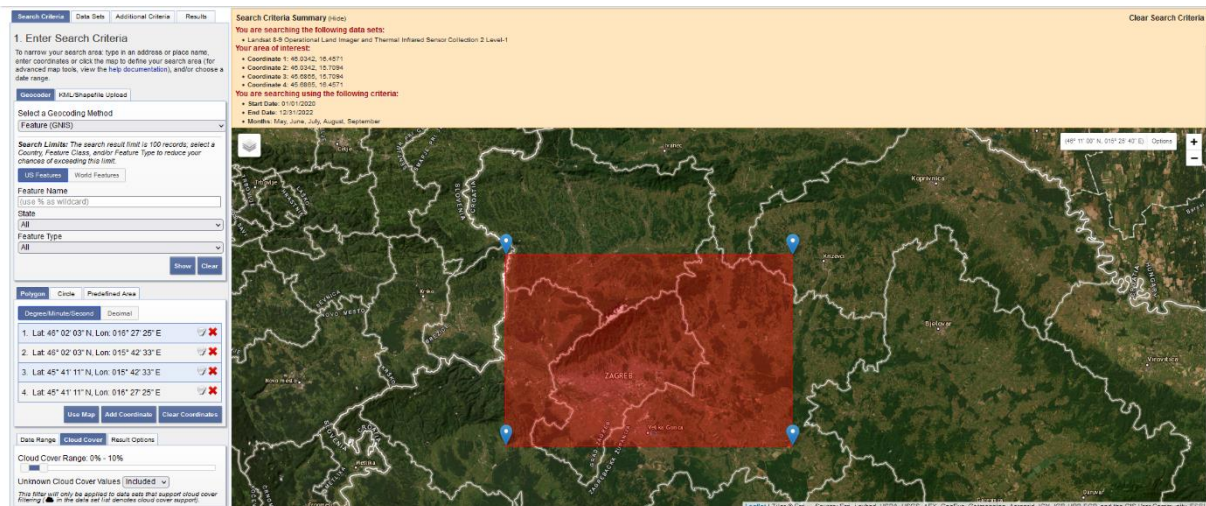
Dijagram 1. Tijek rada obrade satelitskih podataka

3.4.1. Preuzimanje satelitskih podataka

Satelitski podatci preuzeti su koristeći internetski alat EarthExplorer (EE) Geološkog Instituta Sjedinjenih Američkih Država (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Za pristup arhivi prikupljenih satelitskih podataka potrebna je registracija korisničkog računa. Prilikom odabira kriterija pretraživanja postavljeno je generalno geografsko područje grada Zagreba, a za traženi vremenski period odabrani su mjeseci: svibanj, lipanj, srpanj, kolovoz i rujanj od 2020.

do 2022. godine, maksimalna pokrivenost oblaka od 10% te skup podataka naziva „Landsat 8-9 Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor Collection 2 Level-1“ (Slika 3.).

Rezultati pretraživanja preuzeti su na osobno računalo koristeći aplikaciju za skupno preuzimanje (Bulk Download Web Application) gdje su odabrane spektralne vrpce za preuzimanje: B2 (plava), B3 (zelena), B4 (crvena), B5 (blizu infracrvena) te B8 (pankromatska) u .tiff oblik.



Slika 3. EarthExplorer, Izvor: USGS

3.4.2. Priprema podataka

Radi lakšeg snalaženja snimke su imenovane prema shemi: GGGGMMDD_BX i sortirane u mape po datumima.

GGGGMMDD = godina, mjesec i dan prikupljanja

BX = broj spektralne vrpce; B = vrpca, X = broj

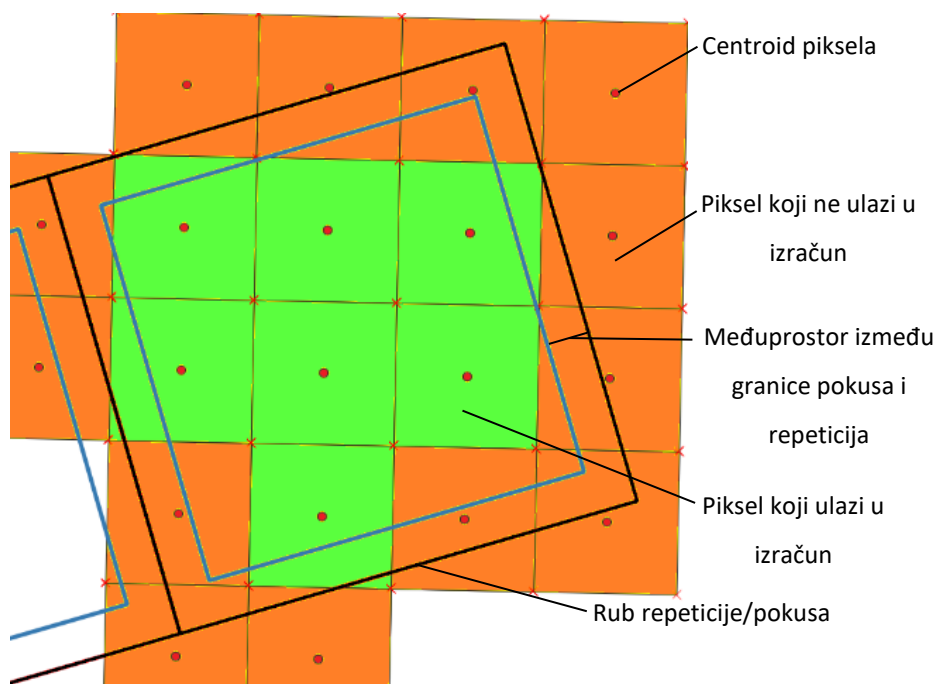
Za svaki pojedinačni otkos korištene su snimke koje su prikupljene u razdoblju od najviše deset dana prije same košnje.

Daljnja priprema izvršena je u programu QGIS izrezivanjem površine pokušališta iz cijele snimke. Prvo je napravljen okvir pokušališta u vektorskom obliku, a zatim su snimke izrezane po tom sloju (Raster → Extraction → Clip raster by mask layer) kako bi snimke bile manje veličine i brže za obradu. Izrezani bendovi B2, B3, B4 i B5 (B-G-R-NIR) su objedinjene u jedan višeslojni raster (Raster → Miscellaneous → Merge, place each input file into a separate band),

zatim im je izoštrena rezolucija s 30 m na 15 m koristeći algoritam obrade „Pansharpning“ (Processing → GDAL → Raster miscellaneous → Pansharpning).

Landsat 8 i 9 imaju orbitalnu inklinaciju oko Zemlje od 98.2° što je razlog da snimljeni pikseli padaju skoro okomito na Zemljine paralele. Proučavana parcela je relativno mala, svega jedan hektar i nije u vodoravnom položaju nego u smjeru zapad-jugozapad i istok-sjeveroistok, a pikseli su prilično veliki (15 metara), stoga neki pikseli ne ulaze cijeli ili na povoljan način u shemu pokusa.

Taj problem je riješen na način da je prema shemi pokusa napravljen vektorski sloj koji predstavlja četiri repeticije unutar pokusa te je određen međuprostor unutar svake repeticije (Processing → Vector geometry → Multi-ring buffer, distance between rings = - 4,5) od 4,5 metara kako prilikom kasnijeg ispisa podataka nema kontaminacije podataka pikselima izvan pokusa ili među repeticijama. Određivanjem međuprostora između repeticija i rubova pokusa osigurano je grupiranje podataka po repeticijama na način da samo pikseli kojima je centroid smješten unutar ruba međuprostora su korišteni u analizi. Pikseli kojima se centroid nalazi u međuprostoru ne ulaze u analizu jer im se dio površine nalazi izvan pokusa ili u drugoj repeticiji



Slika 4. Shema određivanja pikseli koji ulaze i ne ulaze u izračun vegetacijskih indeksa

(Slika 4.).

3.4.3. Vegetacijski indeksi

Iz višeslojnih B-G-R-NIR) rastera računati su vegetacijski indeksi z korištenjem alata „Raster calculator“ (Processing → Raster → Raster Calculator), Računati indeksi su:

Normalizirani diferencirani vegetacijski indeks, eng. Normalised Differentiated Vegetation Index- NDVI (Kriegler i sur., 1969., Rouse i sur., 1973.).

$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$$

B5 – NIR svjetlost

B4 – crvena svjetlost

Modificirani tlu prilagođeni vegetacijski indeks, eng. Modified Soil Adjusted Vegetation Index – MSAVI (Huete 1988.).

$$MSAVI = \frac{(2 * B5 + 1 - \sqrt{(2 * B5 + 1)^2 - 8 * (B5 - B4)})}{2}$$

B5 – NIR svjetlost

B4 – crvena svjetlost

Jednostavni omjer, eng. Simple Ratio – SR (Maccioni i sur 2001.).

$$SR = \frac{B5}{B4}$$

B5 – NIR svjetlost

B4 – crvena svjetlost

3.4.4. Zonalna statistika i statistička obrada podataka

Zonalna statistika za pokusnu površinu je računata korištenjem analitičkog alata u QGIS-u „Zonal statistics“ (Processing → Raster analysis → Zonal statistics) gdje je za ulazni sloj odabran vektorski sloj s međuprostorom između repeticija i rubom pokus, a za rasterske slojeve su odabrani prethodno izračunati vegetacijski indeksi za svaki od datuma košnje. Kao izlazni podaci zonalne statistike odabrani su, srednja vrijednost i broj piksela koji je ušao u izračun te izvezeni u .xls datoteku.

Statistička obrada podataka određena je Excel-u gdje su podatci o prinosima grupirani, izračunata im je srednja vrijednost za svaku repetaciju te je utvrđena jakost korelacije srednje vrijednosti indeksa i srednje vrijednosti prinosa kroz koeficijent determinacije kao pokazatelj reprezentativnosti regresije. Korelacija je vizualizirana koristeći „Scatter plot“ graf u Excelu te je korištena Chadockova ljestvica za određivanje značenja veze (Tablica 3.)

Tablica 3. Chadockova ljestvica određivanja značenja veze po vrijednosti koeficijenta determinacije

Koeficijent determinacije	Značenje
0,00	Odsutnost veze
0,00 - 0,25	Slaba veza
0,25 – 0,64	Veza srednje jakost
0,64 – 1,00	Čvrsta veza
1,00	Potpuna veza

4. Rezultati i rasprava

Najveći prinos suhe tvari i zelene mase po hektaru bio je u otkosu 19. svibnja 2022. na drugoj repeticiji dok su najmanji prinosi bili 28. lipnja 2022. u prvoj repeticiji. U tom su otkosu u svim repeticijama niži prinosi, to je bio drugi otkos te godine te je i za očekivati niže prinose. Prinosi 31. svibnja 2021. su slični kao i prinosi 19. svibnja 2022. s malim razlikama u prinosu zelene mase u drugoj repeticiji i nešto većim razlikama u prinosu suhe tvari po svim repeticijama (Tablica 4.).

Tablica 4. Prinos suhe tvari i zelene mase u t/ha dobiveni gravimetrijskim mjerenjima po datumu otkosa i repeticijama

Repeticija	31. svibnja 2021.		19. svibnja 2022.		28. lipnja 2022.	
	ZM t/ha	ST t/ha	ZM t/ha	ST t/ha	ZM t/ha	ST t/ha
1	25,37	5,65	25,40	6,09	8,67	2,62
2	27,17	5,24	30,15	7,04	11,05	3,35
3	27,39	5,65	27,38	6,81	9,30	3,01
4	26,83	5,75	25,65	6,04	10,23	3,26

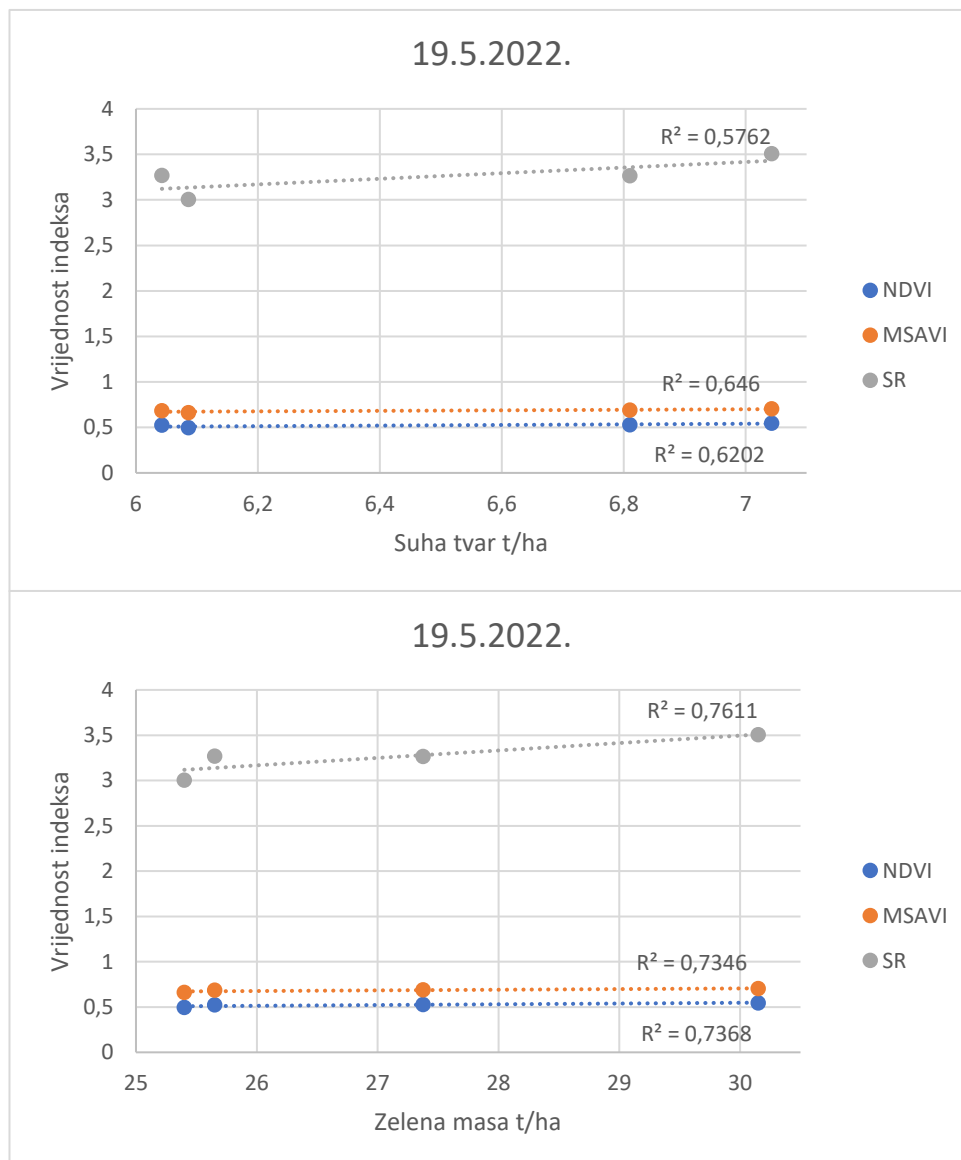
Najveća vrijednost vegetacijskih indeksa zabilježena je u drugoj repeticiji 19. svibnja 2022. dok je najniža bila 28. lipnja 2022. u prvoj repeticiji. Takav trend se poklapa sa gravimetrijski izmjerenim prinosom (Tablica 5.).

Tablica 5. Srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa NDVI, MSAVI i SR izvedenih iz satelitskih snimaka pokusne površine po datumu otkosa i repeticiji

Repeticija	31. svibnja 2021.			19. svibnja 2022.			28. svibnja 2022.		
	NDVI	MSAVI	SR	NDVI	MSAVI	SR	NDVI	MSAVI	SR
1	0,4959	0,6606	3,0270	0,4952	0,6607	3,0034	0,4337	0,6048	2,5336
2	0,5287	0,6882	3,3478	0,5466	0,7040	3,5073	0,4659	0,6355	2,7478
3	0,5377	0,6983	3,3606	0,5274	0,6896	3,2640	0,4471	0,6179	2,6181
4	0,5314	0,6930	3,2975	0,5236	0,6845	3,2688	0,4537	0,6239	2,6659

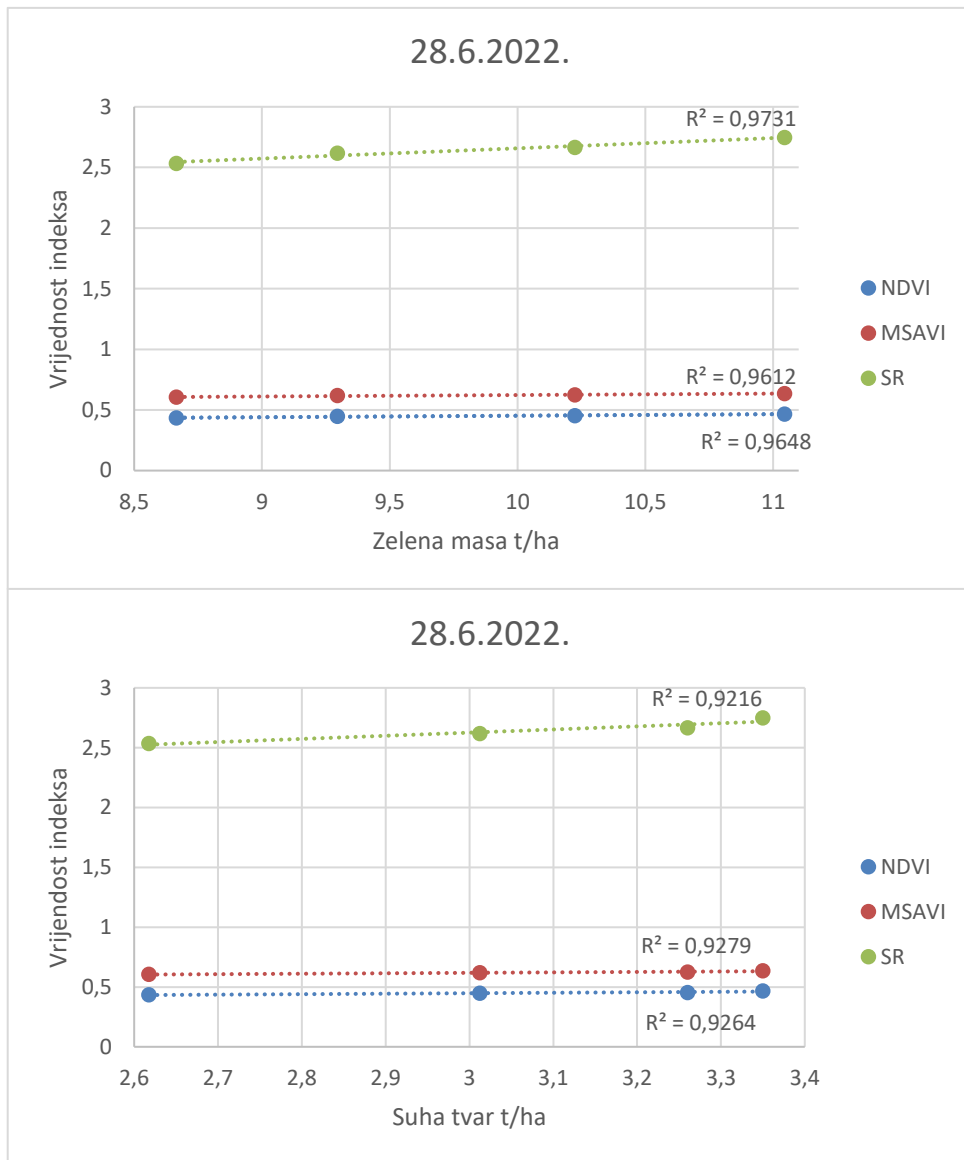
Prinos suhe tvari i vrijednost vegetacijskih indeksa 19. svibnja 2022. godine imali su koeficijente determinacije od: 0,5762 za SR indeks, 0,646 za MSAVI i 0,6202 za NDVI dok je

prinos zelene mase istog otkosa imao nešto veće koeficijente: 0,7611 za SR indeks, 0,7346 za MSAVI te 0,7368 za NDVI (Graf 1. i 2.).



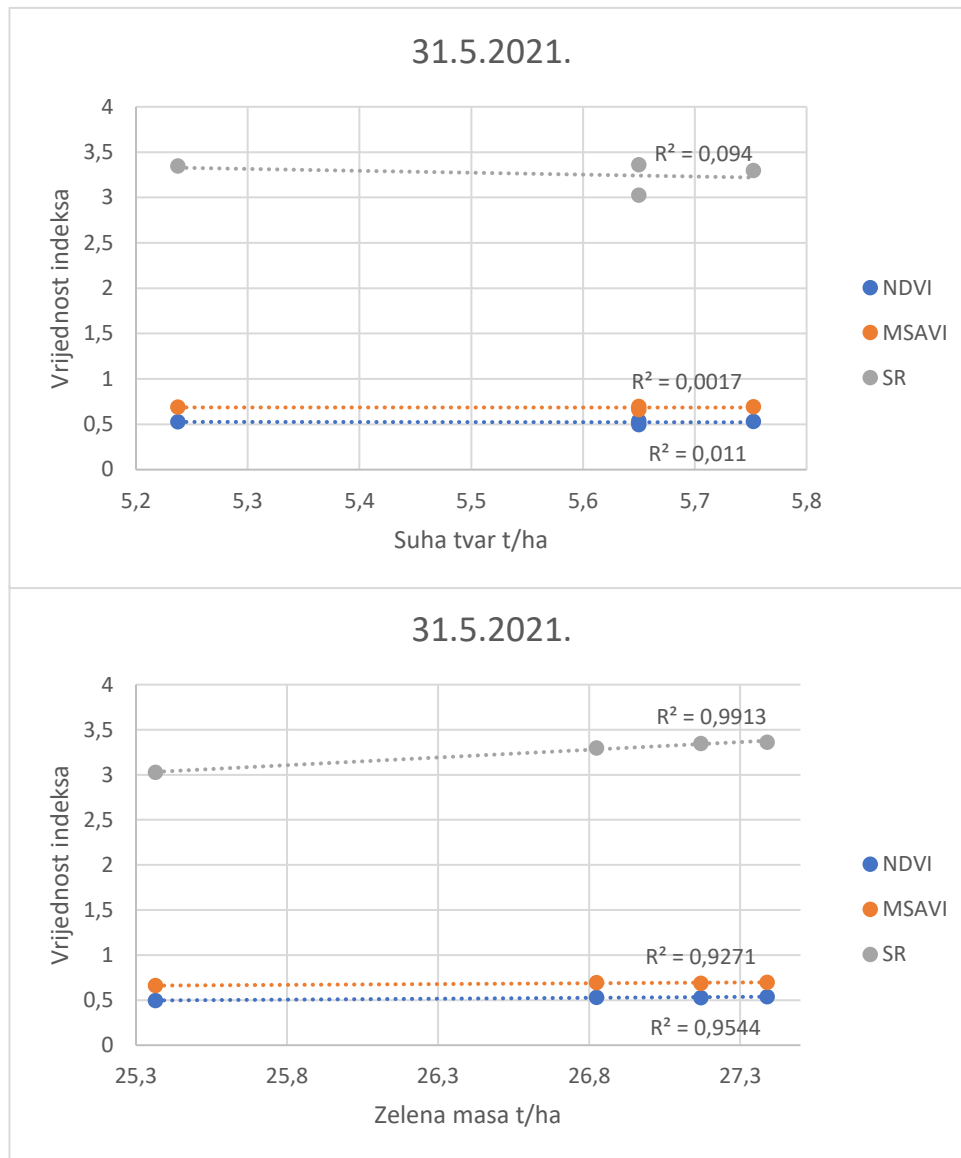
Graf 1. i 2. Korelacija vrijednosti vegetacijskih indeksa i stvarnih prinosa za otkos 19. svibnja 2022. godine

Otkos 28. lipnja 2022. godine je dao rezultate s najvišim koeficijentima determinacije. Prinos suhe tvari i vrijednosti vegetacijskih indeksa dali su koeficijente: 0,9216 za SR indeks, 0,9279 za MSAVI i 0,9264 za NDVI dok su prinos zelene mase i vrijednost vegetacijskih indeksa dali koeficijente: 0,9731 za SR indeks, 0,9612 za MSAVI te 0,9648 za NDVI (Graf 3. i 4.)



Graf 3. i 4. Korelacija vrijednosti vegetacijskih indeksa i stvarnih prinosa za otkos 28. lipnja 2022. godine

Rezultati otkosa 31. svibnja 2021. godine dali su visoke koeficijente determinacije između zelene mase i vegetacijskih indeksa: 0,9913 sa SR indeksom, 0,9271 sa MSAVI-om i 0,9544 sa NDVI-om, no iznimno niske između suhe tvari i vegetacijskih indeksa: 0,094 s SR-om, 0,0017 s MSAVI-om i 0,011 s NDVI-om (Graf 3. i 4.).



Graf 5. i 6. Korelacija vrijednosti vegetacijskih indeksa i stvarnih prinosa za otkos 31. svibnja 2021. godine

U tri otkosa dobiveni su različiti koeficijenti determinacije gdje značajnih razlika s obzirom na korištene indekse nije bilo što je u skladu i sa prijašnjim istraživanjima (Kayad i sur. 2016., Noureldin i sur. 2013). Općenito gledajući, koeficijenti determinacije između vegetacijskih indeksa i prinosa zelene mase viši su od onih između vegetacijskih indeksa i prinosa suhe tvari. Prema Chadockovoj ljestvici indeksi i: prinosi zelene mase iz svibnja 2022. godine ukazuju na čvrstu vezu, prinosi suhe tvari iz iste godine na vezu srednje jakosti, dok prinosi i zelene mase i suhe tvari iz lipnja 2022. godine ukazuju na čvrstu vezu. Na kraju, prinosi zelene mase iz svibnja 2021. godine ukazuju na čvrstu vezu, a prinosi suhe tvari iz iste godine ukazuju na slabu vezu (Tablica 6.).

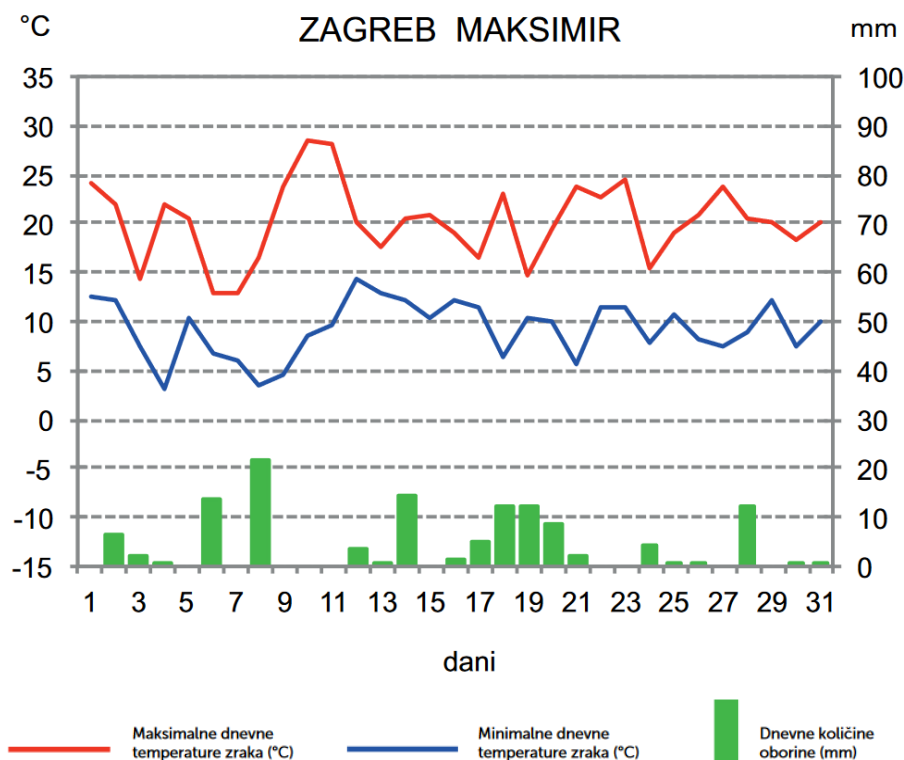
Tablica 6. Koeficijenti determinacije korelacije prinosa lucerne i djetelinsko travnih smjesa sa vrijednosti vegetacijskih indeksa po datumu otkosa

Datum otkosa	$\bar{R}^2_{\text{zelena masa}}$	$\bar{R}^2_{\text{suha tvar}}$
31. svibanj 2021.	0,9574	0,0356
15. svibanj 2022.	0,7442	0,6141
28. lipanj 2022.	0,9664	0,9253

Više pažnje zahtjevaju rezultati otkosa iz svibnja 2021. godine gdje se mogu zamjetiti značajne razlike između koeficijenata determinacije zelene mase i suhe tvari sa vegetacijskim indeksima. Stavljanjem zelene mase i suhe tvari u odnos dobiven je isti trend niske korelacije ($R^2=0,0875$) sličan kao i odnosu Indeks/Suha tvar. Moguće je da je visoka razina klorofila u biljci saturirala vegetacijske indekse i te dala krivi rezultat (Hanna i sur. 1999., Trotter i sur. 2008.).

Saturacija je pojava kod vegetacijskih indeksa gdje vrijednosti indeksa ne prate linearno varijacije u biomasi (Huete i sur. 1993.).

Također, mali uzorak i niska prostorna rezolucija promatranog usjeva predstavljaju faktore koji mogu rezultirati nižom korelacijom vrijednosti indeksa i količine prinosa (Noureldin i sur.



Slika 5. Dnevne temperature i količine oborina za svibanj 2021. godine

2013., Ferencz i sur. 2004.). Svibanj 2021. godine bio je vrlo kišan (DHMZ, 2021.), ta činjenica ide u prilog pretpostavci da je došlo do saturacije indeksa pošto je sa usjev imao stalni pristup vodi te je temperatura bila povoljna za jak rast i razvoj vegetacije (Slika 5.).

Zaključak

- Gravimetrijski izmjeren prinos zelene mase lucerne i djetelinsko travnih smjesa čvrsto korelira sa vrijednostima vegetacijskih indeksa te je njihovim korištenjem moguće procijeniti prinos prije same košnje.
- Saturacija indeksa može negativno utjecati na korelaciju prinosa suhe tvari lucerne i djetelinsko travnih smjesa i vrijednosti vegetacijskih indeksa.
- Vegetacijski indeksi mogu biti važan i koristan alat u procjeni prinosa i istraživanjima o razvoju usjeva.

Kako bi se bolje razumjela veza između vegetacijskih indeksa i prinosa, posebice za određivanje suhe tvari u biomasi, potrebna su daljnja istraživanja koja uzimaju u obzir različite faktore i varijable, sa velikim naglaskom na vremenske uvjete, prostornu rezoluciju i biološke aspekte biljaka.

Popis literature

1. Ansarifar, J., Wang, L., Archontoulis, S.V. (2021): An interaction regression model for crop yield prediction. *Sci Rep* 11, 17754 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97221-7>
2. Auernhammer, H. (2001). Precision farming — the environmental challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30, 31-43.
3. de Lima I.P., Jorge R.G., de Lima J.L.M.P. (2021): Remote Sensing Monitoring of Rice Fields: Towards Assessing Water Saving Irrigation Management Practices. *Front. Remote Sens.* 2:762093. doi: 10.3389/frsen.2021.762093
4. Duan B., Liu Y., Gong Y., Peng Y., Wu X., Zhu R. (2019): Remote Estimation of rice LAI Based on Fourier Spectrum Texture from UAV Image. *Plant Methods* 15, 124. doi:10.1186/s13007-019-0507-8
5. Ferencz C., Bognár P., Lichtenberger J., Hamar D., Tarcsai G., Timár G., Molnár G., Pásztor S., Steinbach P., Székely B., Ferencz O.E., Ferencz-Árkos I. (2004): Crop yield estimation by satellite remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 25. 4113-4149. 10.1080/01431160410001698870.
6. Gregory P. A. (1998): Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance, *Remote Sensing of Environment*, Volume 64, Issue 3, 1998, Pages 234-253, ISSN 0034-4257
7. Haghverdi A., Leib B. G., Washington-Allen R. A., Ayers, P. D., Buschermohle M. J. (2015): Perspectives on delineating management zones for variable rate irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 117, 154–167. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.06.019>
8. Hanna M.M., Steyn-Ross D.A., Sten-Ross M. (1999): Estimating biomass for New Zealand pasture using optical remote sensing techniques. *Geocarto International*. 1999; 14: 89–94.
9. Horie T., Yajima M., Nakagawa H. (1992): Yield forecasting. *Agricultural Systems*, 40(1), 211–236. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(92\)90022-G](https://doi.org/10.1016/0308-521X(92)90022-G)

10. Huete A. R. (1988): A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), *Remote Sensing of Environment* 25, 295-309
11. Huete A., Liu H.Q., Van Leeuwen W. (1997): Use of vegetation indices in forested regions: Issues of linearity and saturation. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. 4. 1966 - 1968 vol.4. 10.1109/IGARSS.1997.609169.
12. Kayad A.G., Al-Gaadi K.A., Tola E.K., Madugundu R., Zeyada A.M., Kalaitzidis C. (2016): Assessing the Spatial Variability of Alfalfa Yield Using Satellite Imagery and Ground-Based Data, *PLOS ONE* | DOI:10.1371/journal.pone.0157166 June 9, 2016
13. Kriegler F. J., Malila W. A., Nalepka R. F., Richardson W. (1969): Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. in: *Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment*. University of Michigan. Ann Arbor. MI. 97-131.
14. Maccioni A., Agati G., Mazzinghi P. (2001): New vegetation indices for remote measurement of chlorophylls based on leaf directional reflectance spectra. *Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology*. 61. 52-61. 10.1016/S1011-1344(01)00145-2.
15. Miller H. (2016): Users and Uses of Landsat 8 Satellite Imagery— 2014 Survey Results. 10.3133/ofr20161032.
16. Olujić M. (2001): *Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira: sateliti, senzori, primjena*, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, GEOSAT, 2001
17. Popović, S., Grljušić, S., Čupić, T., Tucak, M. i Stjepanović, M. (2001). *Proizvodnja sjemena lucerne u Hrvatskoj u 2000. godini*. *Sjemenarstvo*, 18 (1-2), 87-91.
18. Radović J., Sokolović D., Marković J. (2009): Alfalfa-most important perennial forage legume in animal husbandry. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 25. 465-475. 10.2298/BAH0906465R.
19. Rahman M., Muir J., Robson A. (2017): Multi-temporal Landsat algorithms for the yield prediction of sugarcane crops in Australia. 10.5281/zenodo.891091.
20. Rapčan, I. (2014). *Bilinogostvo sistematika, morfologija i agroekologija važnijih ratarskih kultura*. Poljoprivredni fakultet Osijek

21. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W. (1973): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Third ERTS Symposium. NASA SP-351 I., 309-317
22. Tepfili K., Kerle N., Huurneman G. C., Janssen L. L. F. (2009): Principles of remote sensing: an introductory textbook, The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), 2009., drugo izdanje
23. Trotter T.F., Fraizer P.S., Trotter M.G., Lamp D.W. (2008): Objective biomass assessment using an active plant sensor (crop circle™)- preliminary experiences on a variety of agricultural landscapes. 9th International Conference on Precision Agriculture (ICPA). Denver, Colorado, USA. July 20–23, 2008.
24. Xu, X., Gao, P., Zhu, X., Guo, W., Ding, J., Li, C., Wu, X., 2019. Design of an integrated climatic assessment indicator (ICAI) for wheat production: a case study in Jiangsu Province, China. Ecol. Ind. 101, 943–953. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.059>.

Popis korištenih poveznica:

1. DHMZ (2021) , Državni hidrometeorološki zavod, https://meteo.hr/proizvodi.php?section=publikacije¶m=publikacije_publicacije_dhmz&el=bilteni
2. NASA (2000) - Earth Observatory, https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php Pristupljeno 11. rujna.2023.
3. NASA (2023) - Earth Data, <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing#resolution> Pristupljeno 11. rujna.2023.
4. NASA (2023), Landsat Science:
<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/> Pristupljeno 11. rujna.2023.
<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/> Pristupljeno 11. rujna.2023.
5. Slika 1. - <https://earthexplorer.usgs.gov/> Pristupljeno 11. rujna.2023.
6. USGS (2023) – United States Geological Survey:

<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions> Pristupljeno 11. rujna.2023.

<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8> Pristupljeno 11. rujna 2023.

<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9> Pristupljeno 11. rujna.2023.

<https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites>
Pristupljeno 11. rujna 2023.

Životopis

Tin Batur rođen je 15. srpnja 1997. godine u Zagrebu. Pohađao je osnovnu školu u Velikoj Mlaci te 2012. godine upisuje odjel gimnazije Prirodoslovne škole Vladimira Preloga. Srednju školu završava 2016. godine i upisuje prediplomski studij Agroekologija na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Tokom prediplomskog studija postaje član pa dopredsjednik Kluba studenata Agronomskog fakulteta, a 2018. godine odlazi na studijski boravak na Mendel University u Brnu (MendelU). Zajedno sa kolegama, 2019. godine dobiva Dekanovu nagradu za studentski istraživački rad naslova „Kompeticija u prehrani između unesene kalifornijske pastrve (*Oncorhynchus mykiss*) i ugrožene Europske jegulje (*Anguilla anguilla*) iz rijeke Žrnovnice“. Završava prediplomski studij 2020. godine završnim radom naslova: „Pregleda vegetacijskih indeksa i njihova primjena u poljoprivredi“. Te godine nastavlja sa diplomskim studijem Agroekologija na istom fakultetu gdje odrađuje poslove preko student servisa poput proizvodnje mikrobiološkog preparata za predstjvenu bakterizaciju soje, digitalizacija studentske arhive te kao ispomoć pri pripremama za obnovu fakulteta nakon potresa. Stručnu praksu odrađuje 2022. godine na Institutu za ekologiju Nizozemske kraljevske akademije znanosti i umjetnosti (NIOO-KNAW).