

Klasifikacija potencijala pogodnosti za uzgoj mandarina na mikro razini primjenom bezpilotnog zrakoplova

Gelenčir, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:167192>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-04**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marko Gelnčir

Diplomski studij Mehanizacije

**KLASIFIKACIJA POTENCIJALA POGODNOSTI ZA UZGOJ MANDARINA NA
MIKRO RAZINI PRIMJENOM BESPILOTNOG ZRAKOPLOVA**

Diplomski rad

Osijek, 2022.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marko Gelnčir

Diplomski studij Mehanizacije

**KLASIFIKACIJA POTENCIJALA POGODNOSTI ZA UZGOJ MANDARINA NA
MIKRO RAZINI PRIMJENOM BESPILOTNOG ZRAKOPLOVA**

Diplomski rad

Osijek, 2022.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Marko Gelenčir

Diplomski studij Mehanizacije

**KLASIFIKACIJA POTENCIJALA POGODNOSTI ZA UZGOJ MANDARINA NA
MIKRO RAZINI PRIMJENOM BESPILOTNOG ZRAKOPLOVA**

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof.dr.sc. Mladen Jurišić
2. izv.prof.dr.sc. Ivan Plaščak
3. prof.dr.sc. Irena Rapčan

Osijek, 2022.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1 Primjena i važnost bespilotnih zrakoplova u poljoprivredi	1
1.2 Važnost određivanja pogodnosti poljoprivrednog zemljišta	2
1.3 Važnost uzgoja mandarina u Hrvatskoj i utjecaj na prehranu ljudi	3
1.4 Budućnost daljinskih istraživanja	4
2. PREGLED LITERATURE	6
2.1 Bespilotni zrakoplovi i senzori daljinskih istraživanja u poljoprivredi	6
2.1.1 Refleksija, apsorpcija i transmisija.....	8
2.1.2 Dijelovi bespilotnog zrakoplova	9
2.1.3 Vrste bespilotnih zrakoplova.....	10
2.1.4 Senzori.....	14
2.2 Određivanje prinosa pomoću vegetacijskih indeksa	18
2.2.1 Odnos između prinosa i različitih čimbenika	18
2.3 Određivanje fenoloških svojstava pomoću vegetacijskih indeksa	20
2.3.1 Razlike u refleksiji biljnog pokrova riže sa različitim udjelom dušika	21
2.3.2 Refleksije biljnog pokrova u različitim fenološkim fazama.....	22
3. MATERIJALI I METODE	24
3.1 Područje istraživanja i oprema	24
3.2 Spektralni indeksi	25
3.2.1 Normalised Green-Red Difference Index (NGRDI)	26
3.2.2 Triangular Greenness Index (TGI)	27
3.2.3 Brightness index (BI)	27
3.3 Topografski indeksi	27
3.4 Nenadzirana klasifikacija	28
4. REZULTATI	29
5. RASPRAVA	34
6. ZAKLJUČAK	37
7. POPIS LITERATURE	38
8. POPIS TABLICA	46
9. POPIS SLIKA	47

1. UVOD

Moderna daljinska istraživanja su započela izumom kamere sredinom 19. stoljeća. Vojska je prva započela korištenjem fotografija koje su slikane iz balona na topli zrak, te iz aviona kao metode izviđanja. Većina napretka daljinskih istraživanja i obrade podataka je nastala zbog vojne uporabe. Infracrvene fotografije u boji su se koristile za vrijeme Drugog svjetskog rata za prepoznavanje vojne opreme i objekata skrivenih iza kamuflažnih materijala jer vegetacija stvara snažan odsjaj u bliskom infracrvenom spektru u usporedbi sa vidljivim dijelom spektra. Ova osobina biljaka se opsežno koristi danas u procjeni stanja poljoprivrednih usjeva zbog razlike u odsjaju između vidljivog i bliskog infracrvenog dijela spektra što je povezano sa zdravljem i rastom usjeva (Slonecker i sur., 2001).

Moderna era digitalnih daljinskih istraživanja je započela lansiranjem Landsat serije satelita ranih 1970-ih godina i ta se misija nastavila skroz do danas. Prostorna razlučivost satelita za promatranje površine Zemlje je u rasponu 1-30 metara. Vremenske ili povratne frekvencije senzora umjerene rezolucije koji se često koriste u poljoprivredi je od nekoliko dana do približno mjesec dana. Jedan od najvećih izazova pri korištenju satelita u promatranju Zemljine površine za uporabu u poljoprivredu je taj što je većina regija u svijetu često prekrivena oblacima, što otežava pogled na Zemlju iz svemira. Uobičajeno je da se oblaci nalaze iznad područja interesa u ključno vrijeme u proizvodnom ciklusu usjeva (Tucker i Sellers, 1986.).

Drugi izazov je prostorna razlučivost koja je previše gruba da bi se razlučile važne točke interesa. Ovo je posebno važno kada se razlike u razvoju vegetacije mogu prepoznati samo pomoću prostornih obrazaca ili tekstura koje postaju vidljive samo na relativno visokoj prostornoj razlučivosti. Sateliti stoga ne pružaju potpuno rješenje za daljinska istraživanja potrebna u poljoprivredi. Stoga su nam potrebne drugi načini, uključujući pilotne i bespilotne zrakoplove, kako bi se popunile rupe. U proteklim godinama bespilotni zrakoplovi su postali praktično i široko primijenjeno sredstvo kod daljinskih istraživanja u poljoprivredi (Van der Merwea i sur., 2020.).

1.1 Primjena i važnost bespilotnih zrakoplova u poljoprivredi

Poljoprivrednici uvijek traže za jeftine i efektivne metode za svakodnevno praćenje usjeva. Infracrveni senzori koji se postavljaju na bespilotne zrakoplove mogu biti podešeni za praćenje zdravlja usjeva, omogućujući poljoprivrednicima da reagiraju na vrijeme i

apliciraju potrebno gnojivo i insekticid. Također poboljšava upravljanje i djeluje bolje na prinos usjeva (Ahirwar i sur., 2019.).

Bespilotni zrakoplovi se mogu koristiti kao alat na početku ciklusa prije sjetve. Kreiraju precizne 3D karte za ranu analizu tla koje se koriste za planiranje sjetve, slika 1. Nakon sjetve te karte se koriste za planiranje navodnjavanja, te za potrebne količine dušika na određenom dijelu obradive površine. Bespilotni zrakoplovi se također mogu koristiti i za prskanje usjeva, pomoću senzora apliciraju točno određenu količinu potrebnu na određenom mjestu. Kao rezultat toga imamo smanjenu količinu insekticida i pesticida koji se apliciraju i zagađuju podzemne vode. Neki stručnjaci navode kako se zračnim prskanjem pomoću bespilotnih zrakoplova vrijeme trajanja smanjuje i do pet puta u odnosu na tradicionalno prskanje pomoću prskalica (Ahirwar i sur., 2019.).

Od velike je važnosti praćenje zdravlja usjeva i uočavanje bakterijske ili gljivične zaraze. Skeniranjem usjeva koristeći vidljivi spektar kao i bliski infracrveni spektar, pomoću bespilotnih zrakoplova, moguće je uočiti koje biljke reflektiraju različite količine zelenog spektra i bliskog infracrvenog spektra. Pomoću tih informacija kreiraju se karte na kojima su vidljive promjene na usjevima i koje upućuju na njihovo zdravlje (Ahirwar i sur., 2019.).

1.2 Važnost određivanja pogodnosti poljoprivrednog zemljišta

Dobro je poznato da je za ekonomski rast potrebno racionalno i održivo korištenje neobnovljivih prirodnih resursa kao što je tlo. Svjetska komisija za okoliš i razvoj povezuje održivost tla sa održivim razvojem i definira održivi razvoj kao zadovoljavanje potreba sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti budućim generacijama za njihove potrebe (Feizizadeh i Blaschke, 2012.). Nadalje, nagli rast populacije i migracije zahtijevaju nova područja u smislu zadovoljavanja primarnih potreba, posebice u metropolama. Zbog toga se prirodni resursi kao što su šume, pašnjaci, močvare i poljoprivredna zemljišta preobražuju u naselja ili industrijska područja i time uzrokuju da se ta područja koriste na način koji nije pogodan za njihov potencijal. Zbog toga je iznimno važno napraviti plan korištenja zemljišta koji omogućuje prijenos prirodnih resursa budućim generacijama i koji omogućuje održivo korištenje tih prirodnih resursa na način koji odgovara njihovom potencijalu (Halil i sur., 2013.).

Preduvjet planiranja korištenja tla je određivanje pogodnosti poljoprivrednog zemljišta. Određivanje pogodnosti pruža informacije o prilikama i ograničenjima u korištenju nekog

zemljišta i uključuje odluku o korištenju raspoloživih resursa na temelju njihovog procijenjenog potencijala (Mokarram i Aminzadeh, 2010.). Za ovu procjenu, najprikladnija vrsta korištenja zemljišta se prvo utvrđuje kroz analize prikladnosti zemljišta koje razmatraju svojstva zemljišta i potrebe korisnika. Određivanje pogodnosti poljoprivrednog zemljišta je proces utvrđivanja prikladnosti zadane površine zemljišta za određenu vrstu namjene (poljoprivreda, šuma, rekreacija i slično) i stupnja održivosti. Prema Wang (1994.) određivanje pogodnosti poljoprivrednog zemljišta uključuje analizu velikog broja fiziografskih podataka uključujući klimatske karakteristike (temperatura i padaline), unutarnje karakteristike tla (temperatura, vlažnost, prozračnost, prirodna plodnosti, dubina, tekstura i slanost) i vanjske karakteristike tla (nagib, poplavljanje i pristupačnost).

1.3 Važnost uzgoja mandarina u Hrvatskoj i utjecaj na prehranu ljudi

Najrasprostranjenija mandarina u našim krajevima, posebice u dolini Neretve je mandarina Unshiu. Karakterizira ju rano cvjetanje s mirisnim bijelim cvjetovima. Plod je sočan, sladak i nema sjemenke. Sazrijeva u jesen, tijekom listopada i studenog. Na tablici 1. se nalazi kemijski sastav mandarine Unshiu (Kaleb, 2014.).

Tablica 1. Kemijski sastav mandarine (Kaleb, 2014.)

100 g mandarine sadrži							
kcal	kJ	voda (H ₂ O)	masnoće	kalij (K)	kalcij (Ca)	magnezij (Mg)	vitamin C
46-50	195-210	85-87 g	0,3 g	210 mg	33 mg	11 mg	30 mg

Na području doline Neretve je zasađeno oko 2.500 ha sa oko 2,5 milijuna stabala mandarine sa kojih se u najboljim godinama ubere oko 50.000 tona mandarina, što čini oko 90% ubranih mandarina u Republici Hrvatskoj. Potrebe domaćeg tržišta su oko 20.000 tona godišnje, što znači da se proizvede dovoljno mandarina i za izvoz na europsko tržište, gdje zbog svoje kvalitete neretvanska mandarina kotira iznimno dobru u usporedbi sa na primjer Španjolskom (Kaleb, 2014.).

Prepoznatljiva zlatno-žuta boja ploda koja sazrijevanjem prelazi u narančastu, potječe od visokog sadržaja karotenoida, te ima visok sadržaj soka u mesu ploda, kao i visok sadržaj suhe tvari. Skladan odnos šećera i kiselina im daje osvježavajući okus, te jako izraženu aromu. Zbog velikog udjela vitamina B i C, karotenoida i fenolnih spojeva ima veoma

snažna antioksidacijska svojstva. Pored svega do sad navedenog sadrži i veliku količinu minerala. Velik udio karotenoida u jestivom dijelu ploda je jedna od najvažnijih karakteristika mandarina s područja Neretve (Crnomarković i sur., 2014.).

1.4 Budućnost daljinskih istraživanja

Mnoge buduće primjene koje uključuju daljinska istraživanja u agronomski menadžment će se graditi na temeljima tradicionalnih pristupa. Jedan od ne dovoljno razvijenih mogućnosti daljinskih istraživanja je mogućnost kombiniranja različitih vegetacijskih indeksa za procjenu produktivnosti usjeva (Gitelson i sur. 1997.). Pojedini vegetacijski indeksi se koriste u opisanju prostorno-vremenskih uzoraka kod biljaka i tla, ali ti podatci moraju biti upareni sa drugim izvorom podataka, kao što su modeli usjeva ili meteorološki podaci kako bi pružili značajne informacije za donošenje odluka. Primjer ovakvog pristupa je primijenjen od strane Claverie i sur., (2012.) za kukuruz i suncokret, gdje su oni kombinirali sezonske uzorke zelenih površina lista sa biomasom biljke kroz sezonu rasta. Kombinirali su faze rasta i starenja kod razvoja biljke kako bi procijenili prinos koristeći daljinska istraživanja pomoću modela rasta usjeva. Slaganje s promatranim prinosima je bilo prihvatljivo za suncokret, ali je pokazalo značajnu razliku za usjev kukuruza. Dok su Guan i sur. (2017.) pronašli da različite valne duljine mogu procijeniti prinos usjeva, uparivanje podataka sa meteorološkim podacima je bilo potrebno kako bi se procijenili parametri rasta usjeva. Zarco-Tejada i sur. (2016.) su proučavali korištenje fluorescencije klorofila za procjenu neto fotosinteze kao temelj za odlučivanje u preciznoj poljoprivredi. Bruto primarna produktivnost je istraživana puno puta, a jedan od posljednjih pokušaja je bio kombiniranje klorofila sa fotokemijskim reflektirajućim indeksom. Jedan od glavnih ograničavajućih čimbenika za korištenje alata daljinskih istraživanja je činjenica da razvoj usjeva ostavlja velik dio površine vidljiv dok usjev potpuno ne pokrije tlo. Prije nego usjev prekrije tlo, vegetacijski indeksi predstavljaju kombinaciju refleksije biljke i tla. Korištenje indeksa klorofila za određivanje dušika je bila tema mnogih radova koji su iskoristili uže vrijednosti pojasne refleksije (Daughtry i sur., 2000.).

Buduće primjene daljinskih istraživanja za poljoprivredne probleme će početi koristiti umjetnu inteligenciju i strojno učenje za razvoj odnosa kako bi prikupili informacije sa prostorno-vremenskim atributima. Primjena umjetne inteligencije se već počela koristiti u daljinskim istraživanjima i može se koristiti za poboljšanje sučelja podataka daljinskih istraživanja sa drugim izvorima podataka, kao i poboljšati nadogradnju podataka koji se

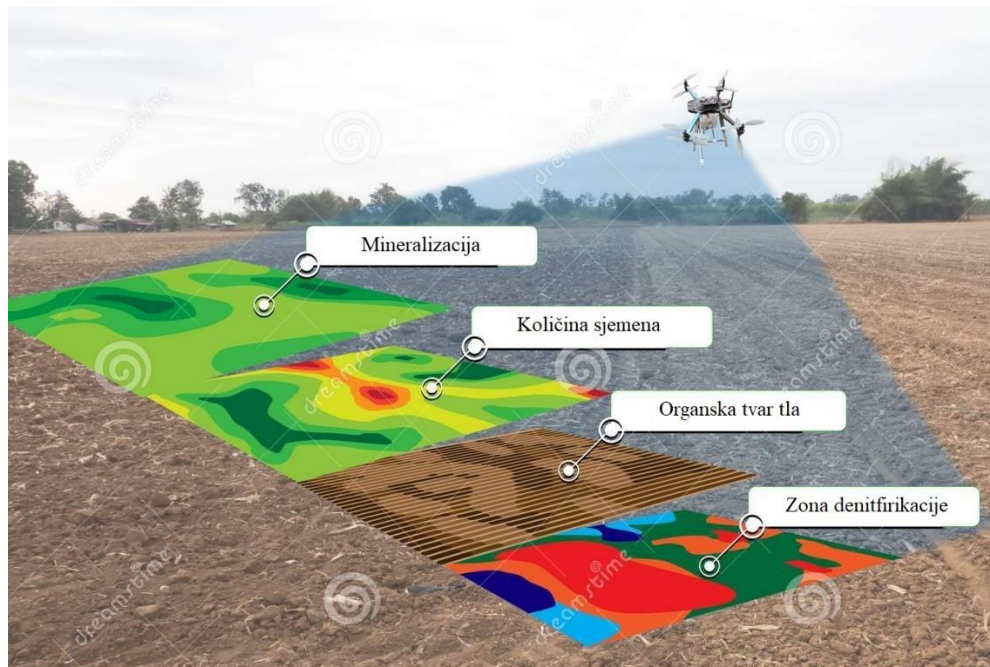
prikupljaju na daljinu. Primjer strojnog učenja primijenjenog na podatke prikupljene daljinskim istraživanjem imamo u radu Debats i sur. (2016.). Oni su koristili nasumične šume primijenjene na podatke daljinskih istraživanja za klasifikaciju površine zemljišta i primjenu ovog pristupa na širokom području zemljišta različitih veličina za procjenu poljoprivrednih zemljišta u Sub-Saharnoj Africi. Ova vrsta pristupa može se primijeniti na procjenu promjena nicanja usjeva tijekom vremena, snagu usjeva i odgovor usjeva na klimatske stresove.

2. PREGLED LITERATURE

2.1 Bespilotni zrakoplovi i senzori daljinskih istraživanja u poljoprivredi

Bespilotni zrakoplovi se koriste za prikupljanje podataka i bolje donošenje odluka, predstavljaju sigurnije okruženje za rad. Mogu letjeti duže, koliko to specifikacije letjelice dopuštaju, izbacuje se ljudski faktor koji određuje trajanje leta. Korištenjem bespilotnih zrakoplova nema potrebe za visoko kvalificiranim pilotima, što znači da neke letjelice mogu ostati u zraku i do 30 sati obavljajući ponavljajuće zadatke sa velikom preciznošću u bilo koje doba dana pomoću računalne kontrole. (Ahirwar i sur., 2019.)

Uporaba bespilotnih zrakoplova je postala veoma zastupljena u poljoprivredi, slika 1., povezuje se sa jedinstvenim prilikama i izazovima koje donosi. Najčešća uporaba bespilotnih zrakoplova u poljoprivredi je za daljinsko promatranje i pristup biljkama, ali pruža i mogućnost distribucije poljoprivrednih kemikalija i bioloških sredstava za kontrolu, kontrolu stoke i daljinsko uzorkovanje. Koriste se razni oblici bespilotnih zrakoplova i senzora, svaki sa svojim prednostima i ograničenjima. Korištenje širokokutnih senzora na malim visinama iznad tla predstavlja izazove koji zahtijevaju poseban način prikupljanja i obrade podataka. (Van der Merwea i sur., 2020.)



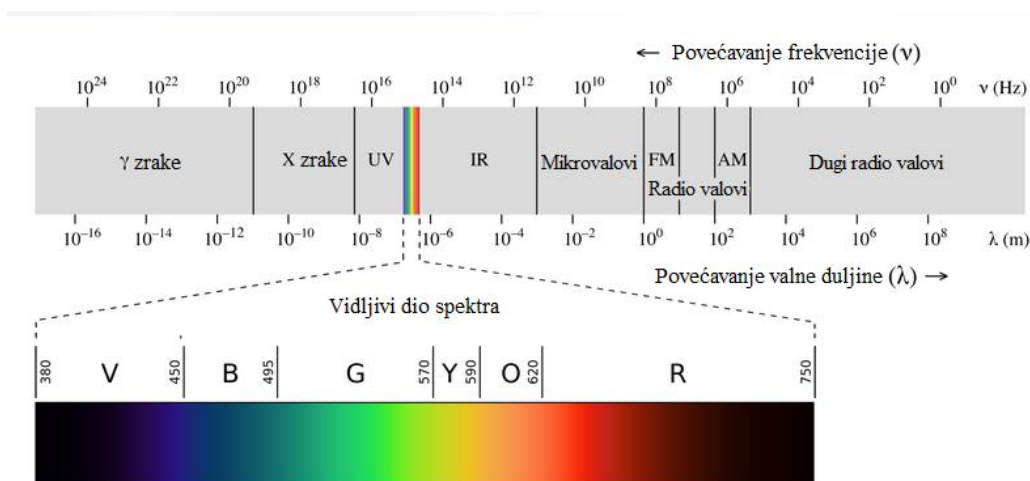
Slika 1. Primjena bespilotnih zrakoplova za planiranje sjetve

(Izvor: <https://thumbs.dreamstime.com/z/smart-agriculture-concept-farmer-use-infrared-drone-hig-high-definition-soil-mapping-planting-conduct-deep-scan-102927849.jpg>)

Bespilotni zrakoplovi sa hiperspektralnim, multispektralnim ili termalnim sensorima mogu otkriti na kojim je dijelovima poljoprivredne površine potrebno navodnjavanje. Nadalje kada usjev krene rasti moguće je računanje vegetacijskih indeksa kojim se određuje relativna gustoća i zdravlje usjeva. (Ahirwar i sur., 2019.)

Primjena bespilotnih zrakoplova u poljoprivredi postaje uobičajena kao i korištenje ostale mehanizacije za poljoprivrednu proizvodnju. Najveći razlog zašto je to tako je relativno niska cijena bespilotnih zrakoplova u usporedbi sa ostalom poljoprivrednom mehanizacijom, a omogućuje napredno praćenje usjeva koje poljoprivredniku daje puno informacija s kojima može raditi. Korištenjem tih informacija poljoprivrednici mogu povećati urod i smanjiti štetu na usjevima. Također se smanjuje i količina pesticida što pozitivno utječe na okoliš. (Ahirwar i sur., 2019.)

Tijekom dana izložene površine Zemlje su konstantno preplavljene elektromagnetskim zračenjem čiji je izvor Sunce i ono obuhvaća širok raspon valnih duljina. Za većinu daljinskih istraživanja u poljoprivredi se koriste mali raspon valnih duljina u vidljivom dijelu spektra, te u dijelu bliskog infracrvenog spektra. Relevantne valne duljine mogu se otkriti pomoću optičkih slikovnih senzora na bazi silicija koji se koriste u modernim digitalnim fotoaparatom. Iako je dio spektra od 400 do 700 nm vidljiv ljudskom oku, slika 2., kada kažemo da je senzor detektirao svjetlo to se odnosi na dio spektra koji silicijski senzor može prikupiti, a to je od 380 do 1150 nm. (Van der Merwea i sur., 2020.)



Slika 2. Vidljivi dio spektra

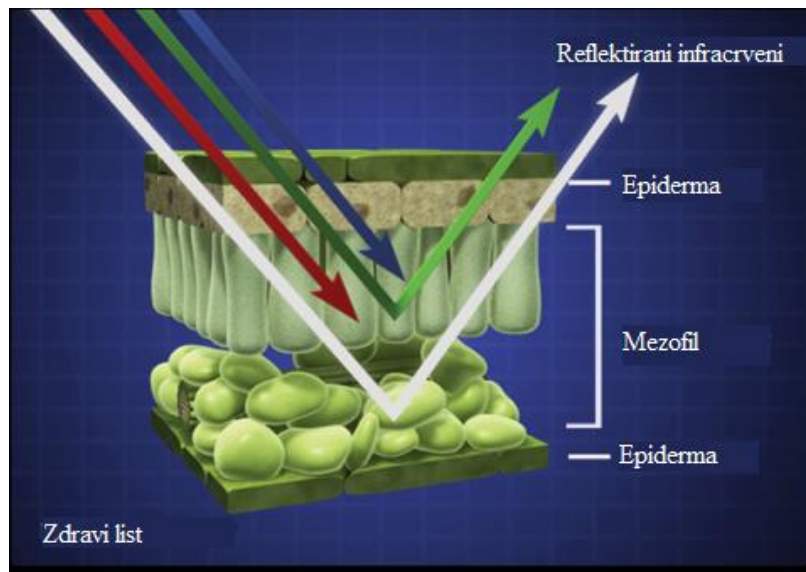
(Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:EM_spectrumrevised.png)

Bespilotni zrakoplovi koji se koriste u poljoprivredi uglavnom imaju senzore usmjerene prema tlu i prikupljaju svjetlo koje se reflektira od površine u smjeru senzora. Jačina svjetla koja dopire do senzora ovisi o dijelu svjetlosti Sunca koji prodire kroz Zemljinu atmosferu do tla i učinkovitosti refleksije ovog svjetla od tla u smjeru senzora. Informacije koje se mogu skupiti iz fotografija u vezi karakteristika površine je zbog razlika u karakteristikama svjetla nakon što dođe u doticaj sa površinom zajedno s prostornim obrascima odraza. Iako većina svjetla koja dolazi do senzora je zbog refleksije, dio može doći i zbog drugih procesa, posebno fluorescenciju dobivenu od ultraljubičastog svjetla u slučaju biljaka. (Buschmann i sur., 2000.)

2.1.1 Refleksija, apsorpcija i transmisija

Svjetlo koje stupa u interakciju sa tlom ili površinom biljke može biti reflektirano, apsorbirano ili transmitirano. Efekt apsorpcije različitih valnih duljina je određeno kvantnom prirodom svjetlosne interakcije sa tvari. Posebne valne duljine uzrokuju posebne energetske prijelaze u atomima i molekulama što vodi do promjene energije svjetla u druge oblike, kao što je toplina. U slučaju biljaka, apsorbirana energija se također može iskoristiti za pokretanje fotosinteze. (Kiang i sur., 2007.) Ako svjetlo ne stupi u kontakt sa atomskom ili molekularnom strukturom koja može apsorbirati energiju, bit će reflektirano ili transmitirano.

Stupanj svjetlosne transmisije je tipičan za većinu zelene vegetacije, transmitirano svjetlo koje prolazi kroz površinski dio biljnog tkiva stupa u kontakt sa donjim dijelovima tkiva, fotografija 4. Sekundarna interakcija uključuje stupanj refleksije natrag na površinski sloj gdje može stupiti u kontakt sa površinskim slojem ponovno. Ovaj proces rezultira u stupnju dodatne prividne refleksije površinskog sloja, samim time i ukupno reflektiranom svjetlu koje dolazi do senzora na bespilotnom zrakoplovu. (Yamada i Fujimura, 1991.)



Slika 3. Refleksija svjetlosti od biljke

(Izvor: https://science.nasa.gov/ems/08_nearinfraredwaves)

Primarna refleksija svjetla s površine je glavni izvor informacija koji dolazi do senzora na bespilotnom zrakoplovu. Informacije izvedene iz analize relativne učinkovitosti refleksije na različitim valnim duljinama, s toga se najčešće povezuje se najčešće sa sastavom materijala najgornjeg sloja površine tla i biljaka. (Van der Merwea i sur., 2020.)

2.1.2 Dijelovi bespilotnog zrakoplova

Bespilotni zrakoplov leti uz pomoć četiri propelera koji su fiksirani na šasiju i vertikalno orijentirani. Svaki propeler je neovisan i može se kretati različitom brzinom što omogućuje letjelici kretanje u svim smjerovima. (Ahirwar i sur., 2019.)

Prema Ahirwar i sur. (2019.) osnovni dijelovi od kojih se sastoji bespilotni zrakoplov su:

- Šasija: to je „skeleton“ bespilotnog zrakoplova na koji se sve ostale komponente povezuju. Dizajn šasije je kompromis između snage (pogotovo kada se dodaju kamere koje pridonose još većoj masi) i dodatne mase koji zahtijevaju duže propelere i jače motore kako bi omogućili polijetanje.
- Propeleri: određuju brzinu kojom se bespilotni zrakoplov može kretati, te brzinu kojom se bespilotni zrakoplov može upravljati. Duljine propelera mogu biti različite, duži propeleri mogu omogućiti uzlijetanje pri manjim okretajima, ali im treba duže da se ubrzaju ili usporu. Kraći propeleri mogu brže promijeniti brzinu i samim time su više upravljivi, međutim oni zahtijevaju veću rotacijsku brzinu da bi postigli istu

snagu kao dulji propeleri. To za posljedicu ima veće trošenje motora, te se time smanjuje njegov vijek trajanja. Agresivniji nagib bespilotnih zrakoplova omogućuje brže kretanje, ali smanjuje učinkovitost lebdenja.

- Motori: po jedan na svakom propeleru, snaga motora mjeri se u „kV“ jedinicama koja je jednaka broju okretaja u minuti koji motor ostvaruje pri snazi od 1 volta bez opterećenja. Brže okretanje motora daje više snage, ali zahtijeva više snage od baterija te samim time smanjuje vrijeme leta.

- Elektronički regulator brzine (eng. *Electronic Speed Controller - ESC*): osigurava kontroliranu snagu svakom motoru kako bi osigurao točnu brzinu i smjer okretanja

- Radio prijemnik: prima kontrolne signale od pilota

- Baterija: uglavnom se koriste baterije od litij polimera zbog kapaciteta i mogućnosti punjenja

- Ostala oprema: na bespilotne zrakoplove se mogu dodati razni senzori poput akcelerometara, žiroskopa, GPS-a i barometri za pozicioniranje. Često se koriste i kamere za navigaciju i snimanje iz zraka.

2.1.3 Vrste bespilotnih zrakoplova

Multirotor bespilotni zrakoplovi su najpopularnija vrsta koja se koristi u profesionalne i u hobi svrhe. Primjena multirotor bespilotnih zrakoplova je raznolika, a neki od primjera su fotografiranje iz zraka, video nadzor, razna daljinska istraživanja i slično. Najbolja primjena im je za potrebe zračnog fotografiranja, jer daju kontrolu nad pozicioniranjem kamere na točno određenu poziciju potrebnu za fotografiranje (*engl. The Different Types of Drones Explained*).

Multirotori se mogu još podijeliti prema broju propelera koji se koriste. Tricopter koristi tri propelera, quadcopter, slika 4., koristi četiri propelera, hexacopter koristi 6 propelera, a octocopter, koristi 8 propelera. Quadcopter su najpopularniji i oni se najviše koriste (*engl. The Different Types of Drones Explained*).

Najveći nedostatak multirotora je ograničeno vrijeme letenja zbog baterije, smanjena izdržljivost i brzina. Nisu primjenjivi za istraživanja na velikim područjima. Najveći problem je to što se većina energije, koja dolazi iz baterije, koristi za održavanje bespilotnog

zrakoplova stabilnim. Trenutno multirotori mogu letjeti maksimalno 20 do 30 minuta sa nošenjem najmanjeg tereta (*engl. The Different Types of Drones Explained*).



Slika 4. Quadcopter

(Izvor: <https://droneomega.com/wp-content/uploads/2018/01/multirotor2.jpg>)

Bespilotni zrakoplov s fiksnim krilima, slika 5., su jedina vrsta bespilotnih zrakoplova koja koristi isti princip leta kao i avioni, uzlijeću uz pomoć krila, a ne pomoću propelera. Vertikalno podizanje se ostvaruje kao posljedica kretanja bespilotnog zrakoplova i krila kroz zrak, što čini ovo učinkovitijim načinom vertikalnog podizanja (*engl. The Different Types of Drones Explained*).

Bespilotni zrakoplovi sa fiksnim krilima mogu letjeti dulje, te samim time pokriti puno veće područje snimanja i ostati u blizini točaka interesa. Uz to što su učinkovitiji, bespilotni zrakoplovi sa fiksnim krilima mogu koristiti motore s unutarnjim izgaranjem. Zbog gustoće energije ove vrste goriva, takvi bespilotni zrakoplovi mogu ostati u zraku i do 15 sati (*engl. The Different Types of Drones Explained*).

Glavni nedostatak bespilotnih zrakoplova s fiksnim krilima je njihova nemogućnost zadržavanja iznad jedne točke interesa, što znači da se ne mogu koristiti za fotografiranje i snimanje videa. Također uzlijetanje i slijetanje takvih bespilotnih zrakoplova može biti problematično. da bi uzletjeli potrebna im je pista ili katapult, dok je za slijetanje također potrebna pista, padobran ili mreža kojom bi se mogao sigurno uhvatiti kako se ne bi oštetio. Jedino se vrlo mali bespilotni zrakoplovi mogu lansirati iz ruke i sletjeti na tlo bez da se oštete (*engl. The Different Types of Drones Explained*).

Bespilotni zrakoplovi sa fiksnim krilima su skupi za letenje i puno je teže naučiti upravljati njima. Multirotori su postali rašireni jer ih je lakše nabaviti i lakše je naučiti kako letjeti s njima. Da bi mogli upravljati bespilotnim zrakoplovom s fiksnim krilima potrebno je poznavanje osnova leta i uzlijetanja aviona. Također snimanje fotografija je iznimno teško zbog teškoće usmjeravanja kamere prema objektu koji trebamo fotografirati, stoga je potrebno snimiti velik broj fotografija kako bi se na kraju to spojilo u fotografiju koju možemo koristiti (*engl. The Different Types of Drones Explained*).



Slika 5. Bespilotni zrakoplov sa fiksnim krilima

(Izvor: <https://droneomega.com/wp-content/uploads/2018/01/fixedwing1.jpg>)

Za razliku od multirotor bespilotnih zrakoplova, bespilotni zrakoplovi s jednim rotorom koriste samo jedan rotor za vertikalno podizanje, uz to imaju dodatni propeler na repu nosača koji se koristi za upravljanje. Helikopteri se više koriste kao letjelice sa pilotom, dok se rijetko koriste kao bespilotni zrakoplovi (*engl. The Different Types of Drones Explained*).

Bespilotni zrakoplovi sa jednim rotorom, slika 6., stvaraju uzgon puno efektivnije od multirotor bespilotnih zrakoplova, te također mogu biti pogonjeni pomoću motora s unutarnjim izgaranjem, za dulje vrijeme letenja. Jedan rotor na helikopteru sa dugim propelerima je više nalik rotirajućim krilima nego propelerima, što za rezultat ima visoku učinkovitost u ostvarivanju uzgona (*engl. The Different Types of Drones Explained*).

Ako primjena zahtijeva lebdjenje sa teretom veće mase, kao što je LIDAR senzor, ili ako je potrebna kombinacija velike izdržljivosti sa mogućnošću leta prema naprijed, onda su

bespilotni zrakoplovi sa jednim rotorom odlično rješenje (engl. *The Different Types of Drones Explained*).

Naravno postoje i negativne strane kao što su velika kompleksnost, cijena, vibracije i opasnost od velikog propelera koji se rotira. Treba se pristupati sa velikim oprezom kako bi se spriječile ozljede uzrokovane propelerom (engl. *The Different Types of Drones Explained*).

Što se tiče težine leta, bespilotni zrakoplovi sa jednim rotorom su između multirotora i bespilotnih zrakoplova sa fiksnim krilima. Lebdjenje iznad jedne točke je relativno lagano, a kretanje u naprijed je relativno lagano za svladati. No helikopteri nisu veoma stabilni prilikom leta i zahtijevaju dobru vještinu kako bi ih se zadržalo u zraku. Također zahtijevaju puno održavanja zbog kompleksnosti izrade (engl. *The Different Types of Drones Explained*).



Slika 6. Bespilotni zrakoplov s jednim rotorom pogonjen elektromotorom

(Izvor: <https://droneomega.com/wp-content/uploads/2018/01/singlerotor1.jpg>)

Nova vrsta hibridnih bespilotnih zrakoplova, koja može uzletjeti i sletjeti vertikalno je u razvoju. Oni spajaju prednosti bespilotnih zrakoplova sa fiksnim krilima sa mogućnošću lebdjenja iznad jedne točke (engl. *The Different Types of Drones Explained*).

Neki od hibridnih bespilotnih zrakoplova, slika 7., su zapravo bespilotni zrakoplovi sa fiksnim krilima sa rotorom za vertikalno podizanje. Drugi oblik je letjelica koja je postavljena na rep i usmjerena vertikalno za polijetanje prije prebacivanja da može letjeti horizontalno. Postoji još izvedbi koje imaju rotor koji može biti usmjeren prema gore za

polijetanje i horizontalno za let prema naprijed (*engl. The Different Types of Drones Explained*).

Trenutno na tržištu nema puno ovakvih bespilotnih zrakoplova, međutim kako tehnologija napreduje možemo očekivati sve veći broj hibridnih bespilotnih zrakoplova. Jedan primjer takve vrste bespilotnog zrakoplova je Amazon Prime dostavni bespilotni zrakoplov (*engl. The Different Types of Drones Explained*).

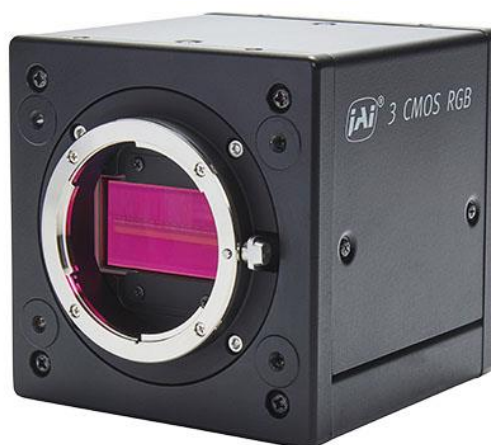


Slika 7. Hibridni bespilotni zrakoplov

(Izvor: <https://droneomega.com/wp-content/uploads/2018/01/hybrid1.jpg>)

2.1.4 Senzori

Crveni, zeleni, plavi (*engl. red, green, blue [RGB]*) senzori, slika 8., su najjeftinija i najčešće korištena vrsta pasivnih senzora na bespilotnim zrakoplovima. Ovi senzori prikupljaju vidljivo svjetlo (400-700 nm valnih duljina) preklapajući crveni, zeleni i plavi spektar oponašajući ljudski vid. Omjeri snage signala ta tri kanala se koriste za računanje boje svakog piksela na fotografiji. Najkorisniji su u primjeni gdje različitosti u karakteristikama od interesa stvaraju različite refleksije u vidljivom svjetlosnom spektru. Podatci dobiveni od sensorima vidljivog dijela spektra su relativno lagani za kvalitativnu interpretaciju, čak i relativno neiskusnim ljudima jer je takav tip informacija svima poznat. Međutim, neki vegetacijski indeksi, poput *engl. Green leaf index (GLI)*, se mogu izračunati iz tih podataka za više kvantitativnih primjena. (Broge i sur., 2001.)



Slika 8. RGB senzor

(Izvor: <https://www.jai.com/products/line-scan-cameras/3-sensor-r-g-b-prism/>)

Širokopojasni infracrveni senzori su izmijenjena varijanta RGB senzora. *Notch* i *band pass* filteri se koriste za izoliranje bliskog infracrvenog spektra (engl. *near infrared [NIR]*) u jedan kanal (crveni ili plavi, ovisno o dizajnu), dok se preostalo vidljivo svjetlo prikuplja u ostala dva kanala. Ova metoda koristi relativno visok stupanj ulaganja i razvoja povezanih s razvojem kamera za potrošače, što za rezultat ima senzore visoke kvalitete s velikom prostornom rezolucijom za relativno nisku cijenu. Mjerenje NIR spektra u usporedbi sa vidljivim dijelom spektra, čak i ako se radi korištenjem relativno širokih valnih duljina, je sjajan indikator fotosintetske aktivnosti biljaka. (Vina i sur. 2011.)

Modificiranje RGB senzora je najisplativija metoda prikupljanja ovakvog tipa podataka u relativno visokoj kvaliteti fotografija, pogotovo kada postoji potreba za preciznom prostornom rezolucijom i postala je široko upotrebljavana u poljoprivredi. (Rasmussen i sur., 2016.)

Ne postoji izričita definicija ili različitost između multispektralnog i hiperspektralnog senzora, multispektralni senzori uglavnom prikupljaju 4-10 pojasa svjetla, dok hiperspektralni senzori, slika 9., prikupljaju više od 10 pojaseva. Hiperspektralni senzori mogu prikupiti stotine pojaseva na uskim valnim duljinama. Ova precizna spektralna rezolucija dolazi sa većom cijenom opreme, kompleksnošću, duljim vremenom obrade podataka i većom potrebom za prostorom pohrane podataka. (Mulla, 2013.)

Hiperspektralni senzori su i dalje najkorišteniji u istraživačke svrhe zbog visoke cijene i kompleksnosti. Multispektralni senzori se poboljšavaju zbog relativno visoke razine

ulaganja u istraživanje i razvoj. Kvaliteta podataka se poboljšava, u spoju sa smanjenom cijenom koštanja i kompleksnosti uporabe, rezultira u njihovom velikom porastu uporabe u poljoprivredi. (Van der Merwea i sur., 2020.)



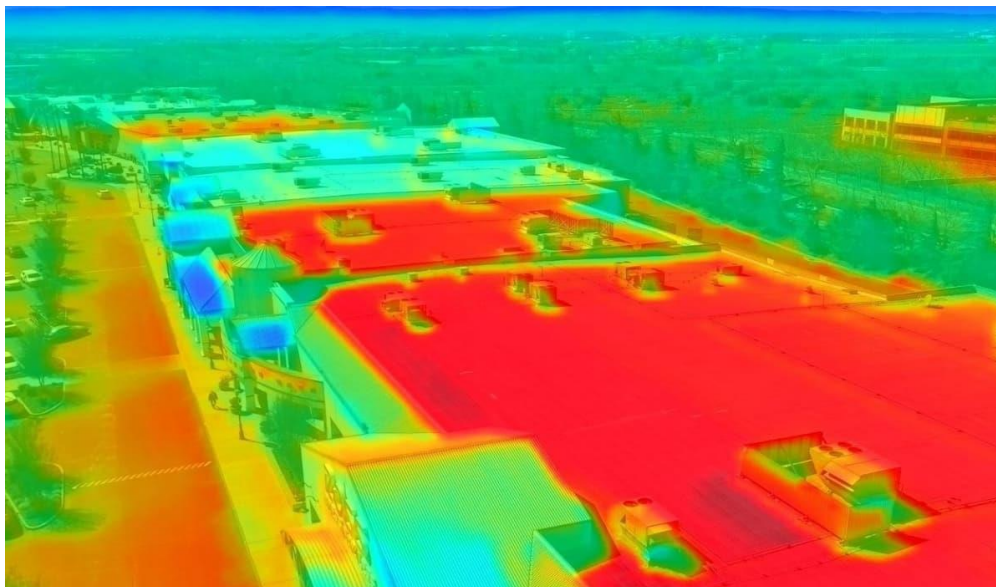
Slika 9. Hiperspektralni senzor

(Izvor: <https://www.acalbfi.com/be/Photonics/Spectroscopy/Grating-based-spectrometer/p/Multispectral-SWIR-Imaging-Camera--500-1700nm/0000003FJV>)

Objekti emitiraju svjetlo u infracrvenom spektru na temelju njihove temperature, slika 10. Termalne kamere koje se koriste u poljoprivredi su pasivni, mikrobolometarski fotografski senzori bez hlađenja koji prikupljaju infracrveno svjetlo u rasponu valne duljine 7.5-13 μm . Ovakvi senzori uglavnom imaju nisku prostornu razlučivost u usporedbi sa RGB i NIR sensorima. Radiometrijska razlučivost je dobra, uglavnom do 14-bitova. Dobivena termalna preciznost je dovoljna za većinu poljoprivrednih primjena gdje se temperature promatraju usporedno. (Berni i sur., 2009.)

Ciljane poznate temperature u području interesa mogu se koristiti za kalibraciju toplinske fotografije za aplikacije koje zahtijevaju apsolutnu temperaturnu točnost. Termalne kamere i objektivi se trebaju pažljivo odabrati da bi se osigurala odgovarajuća prostorna razlučivost fotografija s obzirom na promatrani objekt ili područja interesa, parametri kamere moraju biti točno implementirani i misija leta mora biti primjereno osmišljena kako bi snimili točne podatke sa potrebnom količinom preklapanja fotografija i prostorne razlučivosti. Razlikovanje površinske temperature objekta ili prostora interesa je jedino moguće ako je prikladan broj piksela unutar površine objekta ili prostora interesa (minimalno četiri za objekt ili prostor sa

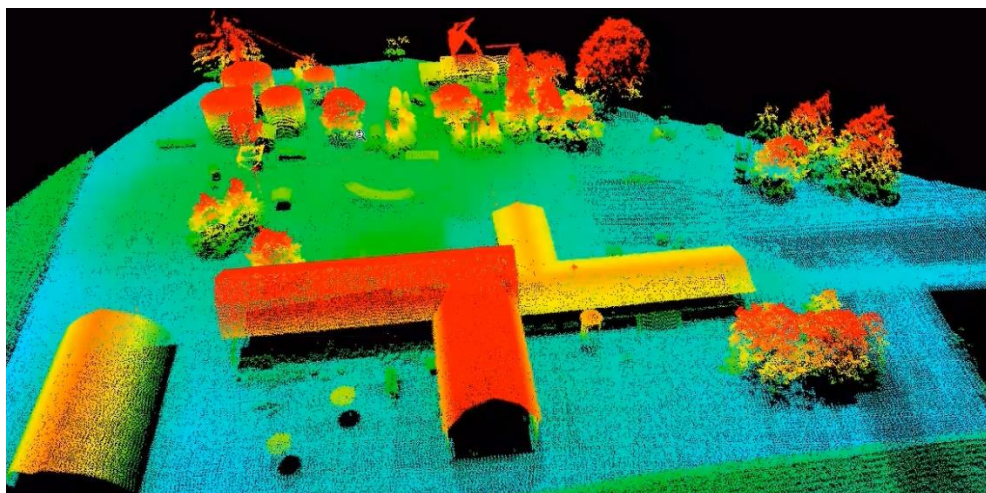
homogenom površinom, a više ako je temperatura promjenjiva i potrebno je izračunati prosječnu temperaturu). Ako se ne provede pravilno, podatci se mogu prikazati netočno zbog rubnog efekta i nedovoljnog broja točaka prikupljanja podataka za računanje prosječne ili srednje vrijednosti. Računajući temperature pomoću modernih termalnih senzora ima očekivani pojas pogreške od $\pm 1^{\circ}\text{C}$ od stvarne temperature biljke. (Sangha i sur., 2018.)



Slika 10. Snimka nastala termalnom kamerom

(Izvor: <https://uavcoach.com/thermal-drones/>)

LiDAR je vrsta aktivnog senzora koja se može definirati kao portmanto svjetlosti i radar, koristi laser pomoću kojeg emitira svjetlo te mjeri potrebno vrijeme da se svjetlo reflektira od objekta natrag do senzora. Ovakvo mjerenje vremena potrebnog da se signal vrati stvara 3-D točke, slika 11., ukazujući na udaljenost od senzora, uglavnom tisuću puta u sekundi. Dobiveni podatci se mogu koristiti za opisivanje površine, najčešće u obliku oblaka točaka. Ako je dostupno, može se kombinirati sa drugim informacijama, kao što su intenzitet i boja reflektiranog svjetla vidljivog spektra. LiDAR podaci se ističu u pružanju topografskih podataka bez potrebe za preklapanjem fotografija kao kod običnog zračnog snimanja, time povećava korisnost topografskog kartiranja. Također može definirati razliku između biljnog pokrivača i tla, omogućujući izračunavanje volumena biljnog pokrivača. (Rosell i sur., 2009.)



Slika 11. Snimka nastala LiDAR senzorom

(Izvor: <https://www.microdrones.com/en/content/5-compelling-applications-for-lidar-technology/>)

2.2 Određivanje prinosa pomoću vegetacijskih indeksa

Od početka 1980.-ih godina, daljinska istraživanja su jedan od glavnih izvora za praćenje razvoja i određivanje konačne količine prinosa na velikom prostornom kontekstu. Izvedeni spektralni vegetacijski indeksi poput NDVI indeksa i biofizički parametri poput LAI indeksa ili frakcija apsorbiranog fotosintetskog aktivnog zračenja (*engl. Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation - FAPAR*), su povezani sa stanjem biljke i njenom produktivnošću te se stoga koriste za određivanje količine prinosa. (Maselli i sur., 1992.)

NDVI je najkorišteniji vegetacijski indeks za ovu svrhu. Od 2000. godine mjerenja spektrometra za snimanje umjerene rezolucije (*engl. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS*) je postalo jedan od najpopularnijih izvora podataka, zbog njegovih sofisticiranih *on-board* kalibracija i visoke radiometrijske i prostorne preciznosti što ga čini pogodnim za poboljšanu procjenu prinosa (Justice i sur., 1998.)

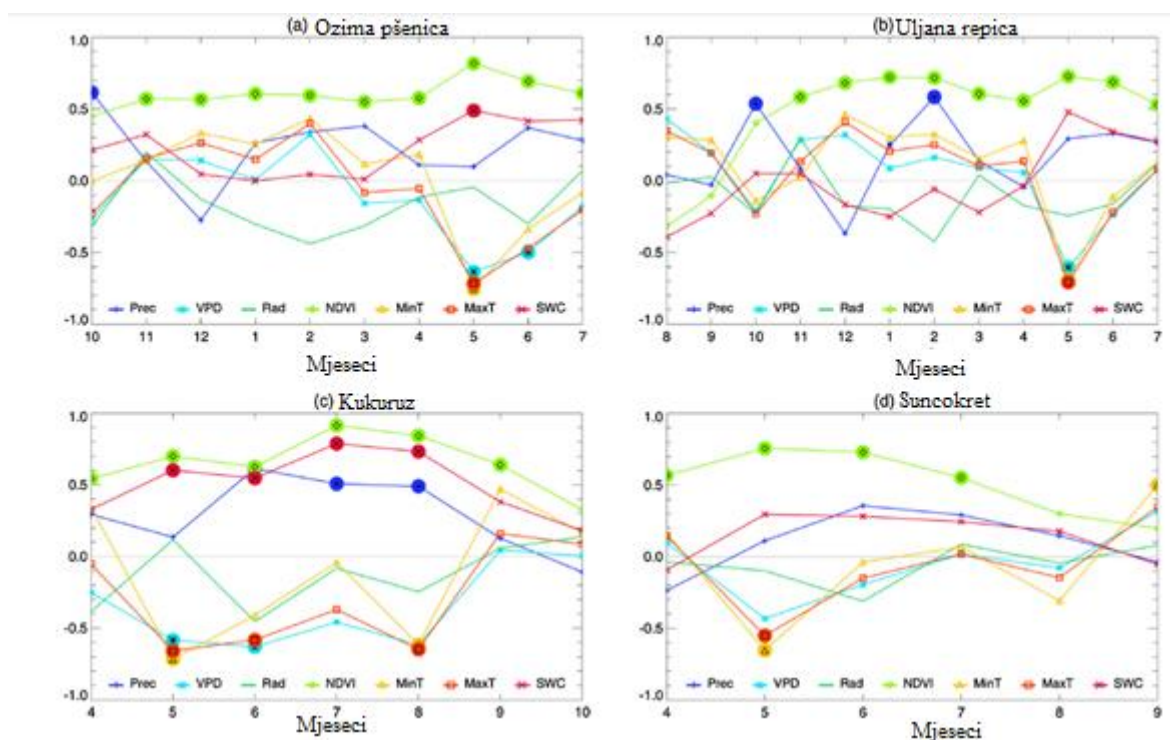
Također su predloženi i neki drugi indeksi daljinskih istraživanja za procjenu prinosa, poput *engl. Normalized Difference Water Index (NDWI)* (Gu i sur., 2007.). NDWI je osjetljiv na količinu vode na i u tlu što je izravno povezano sa stanjem biljke i njenim prinosom.

2.2.1 Odnos između prinosa i različitih čimbenika

Prema istraživanju Kern i sur. (2018.) koje je provedeno u Mađarskoj na usjevima ozime pšenice, uljane repice, kukuruza i suncokreta prije konstruiranja modela, potrebno je

napraviti jednostavnu analizu korelacije kako bi se procijenili efekti varijabli okoline, kao i daljnja istraživanja temeljena na vegetacijskim indeksima, na prinos. Slika 12. prikazuje rezultate korelacijske analize za ciklus rasta individualnih tipova usjeva koristeći mjesečne okolišne varijable i NDVI anomalije.

Brojke pokazuju da temperatura, ovisno o mjesecu, ima varijabilni efekt na prinos. Kovarijacija VDP-a i temperature izražena je za sve usjeve. Oborine i RAD su u negativnoj korelaciji, njihov efekt je suprotan u svim mjesecima. Za zimske usjeve (ozima pšenica i uljana repica) oborine imaju varijabilan efekt. Suprotno tome, za ljetne usjeve (kukuruz i suncokret) oborine imaju izvanredan pozitivan efekt tijekom ljetnih mjeseci. NDVI je u velikoj kovarijaciji sa prinosom (R vrijednosti su uglavnom iznad 0.5 tijekom životnog vijeka određenog usjeva). Svibanjska NDVI anomalija pokazuje prikazuje najveće R vrijednosti prinosa za ozimu pšenicu, uljanu repicu i suncokret. Za kukuruz, srpanjski NDVI je najuzjecajniji sa visokim R vrijednostima od 0.92.



Slika 12. Korelacijski koeficijenti mjesečnih anomalija činitelja (varijable okoline i NDVI) i prinosa odabranih usjeva tijekom ciklusa rasta (Kern i sur., 2018.)

U radu koji su napravili Kern i sur. (2018.) uključivanje NDVI indeksa (kao pokazatelj faze razvoja biljke) poboljšava svojstva modela prinosa usjeva na bazi cijele države (Mađarska). Korištenjem preferiranog modela na modelu države, poboljšanje je vrijedno pažnje samo u

slučaju ozime pšenice (sa prosječnim povećanjem od 0.25 u R_{CV}^2). Za ostale usjeve rezultati nisu pokazivali nedvosmisleno poboljšanje. Rezultati pokazuju da je uključivanje NDVI indeksa najviše potpomoglo u procjeni prinosa za ozimu pšenicu. Jedno moguće objašnjenje za ovo otkriće je zasićenost NDVI indeksa kod većih vrijednosti biomase. Kako bi se riješio taj problem svi izračuni su ponovljeni temeljeni na EVI podacima također (uključujući MOD13 također). EVI podatci su dali slične rezultate kao oni koju su dobiveni pomoću NDVI indeksa, što podržava korisnost korištenja samo NDVI indeksa.

Važno je za napomenuti da primjena NDVI indeksa u procjeni prinosa nije izravna. Visok NDVI se može povezati sa velikom zelenom biomasom (Reeves i sur., 2005.), ali to može biti povezano sa niskim (ili nikakvim) prinosima, uzrokovano na primjer toplinskim stresom tijekom cvjetanja i/ili za vrijeme punjenja zrna. Rezultati rada Kern i sur. (2018.) indiciraju da se kod uljane repice i kukuruza vlažniji uvjeti bili povezani s višom dodanom vrijednošću NDVI indeksa kao pokazatelja prinosa. Ovi rezultati sugeriraju da negativan efekt minT nije povezan sa smanjenom biomasom već sa smanjenom težinom zrna. Drugim riječima, NDVI je bolji pokazatelj prinosa kroz biomasu ako pozitivna minT anomalija ne utječe na prinos zbog bolje dostupnosti vode. U svakom slučaju vidljivo je da korištenje samo NDVI indeksa za procjenu prinosa nije dovoljno.

2.3 Određivanje fenoloških svojstava pomoću vegetacijskih indeksa

Zdravi biljni pokrov vizualno izgleda zeleno jer pigmenti lista snažno apsorbiraju plavu i crvenu svjetlost a reflektiraju zelenu svjetlost, a krivulja refleksije u crvenoj i plavoj boji prikazuje dolinu. Zbog toga se povećana refleksija bliskog infracrvenog spektra povezuje sa vegetacijskim pokrovom, biomasom, unutarnjom strukturom lista, sadržajem vode u listu i LAI indeksom, dok se granični dio crvenog spektra snažno apsorbira zbog klorofila u listu, koncentracije dušika i refleksija zbog stanica mezofila u rastućim biljkama (Datt, 1998.).

Brojni načini su korišteni kako bi se odredila poveznica između biofizičkih parametara i refleksije biljnog pokrova, no dva načina koja se koriste najviše za procjenu LAI indeksa pomoću spektralnih podataka su: (1) empirijski odnos između spektralnih vegetacijskih indeksa i biofizičke varijable i (2) inverzija modela radijativnog biljnog pokrova, poput PROSAIL modela (Jacquemoud i sur., 2009.)

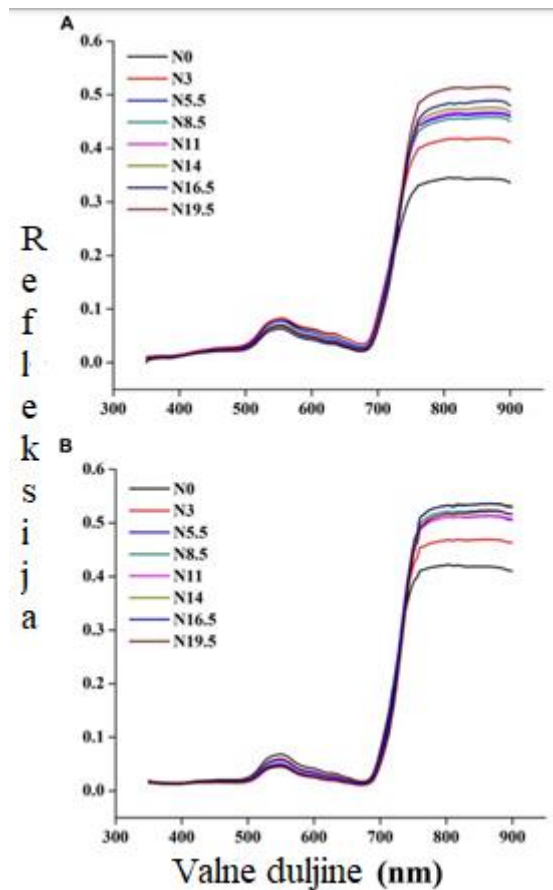
Efektivniji način za izračunavanje LAI indeksa iz spektralnih podataka je baziran na prvom (1) načinu pronalazjenja empirijskog odnosa između vegetacijskih indeksa i LAI indeksa

(Xie i sur., 2014.). Ova metoda je računski ne zahtjevna i sekvencijalno jednostavna za korištenje uz zahvaćanje širokog niza varijacija značajki biljnog pokrova, i korištenje je rašireno za procjenu biofizičkih varijabli vegetacije, uključujući LAI indeks (Le Maire i sur., 2008.). Međutim, širokopojasni vegetacijski indeksi (širina pojasa > 50 nm) su uglavnom pod utjecajem jake refleksije tla i vode u pozadini kada je vegetacijski pokrov rijedak. Nadalje, integrirajuća obrada spektra za izvođenje širokopojasnih podataka rezultira gubitkom detalja vegetativnog odgovora spektra (Broge i Leblanc, 2000.). Stoga su se uskopojasni indeksi (širina pojasa < 10 nm) smatrali obećavajućim načinima za poboljšanje točnosti procjene parametara biljnog pokrova (Li i sur., 2012.).

Hiperspektralna refleksija omogućuje mjerenja preko brojnih uskopojasnih valova (<10 nm) koji sadržavaju dodatne pojaseve unutar vidljivog dijela spektra, bliskog infracrvenog i kratkovalnog infracrvenog dijela spektra (400 – 2500 nm). Nadalje, podatci hiperspektralne refleksije omogućuju prikupljanje više od 100 pojaseva na visokoj rezoluciji (Sahoo i sur., 2015.). Tako se odabiranjem bitnih valnih pojaseva u hiperspektralnim podacima stvaraju precizniji vegetacijski indeksi što je ključno za maksimiziranje djelotvornosti procjene LAI indeksa (Ryu i sur., 2009.)

2.3.1 Razlike u refleksiji biljnog pokrova riže sa različitim udjelom dušika

Prema istraživanju Din i sur. (2017.) refleksija biljnog pokrova riže pokazuje razliku sa različitim udjelom dušika u svakoj uzastopnoj godini, prikazano na slici 13. Ponašanje različitih dijelova spektra se mijenja zbog razlika u količini dušika, analogno kao i sve zelene biljke. Ovo istraživanje Din i sur (2017.) pokazuje da aplikacija dušika od N 0 do N 19.5 kroz fenološke faze povećava refleksiju u bliskom infracrvenom dijelu spektra (> 720 nm) i smanjuje refleksiju u ultraljubičastom dijelu spektra (350 – 400 nm) kao i u vidljivom dijelu spektra (400 – 720 nm). Unutar vidljivog spektra, refleksija zelene boje (490 – 560 nm) je uvijek bila malo veća od ljubičasto – plave (400 – 425 nm) i crvene (640 – 685 nm). Štoviše, vrijednosti refleksije blizu 680 – 900 i 530 – 560 nm rezultat su reakcije biljnog pokrova riže pod različitim stopama količine dušika. Utjecaj povećane pokrivenosti listova i smanjenja tla i vode ispod pokrova na refleksiju biljnog pokrova je umanjen korištenjem prosjeka svih spektralnih jedinica izmjerenih pod svakom stopom opskrbe dušika tijekom cijele vegetacijske sezone.

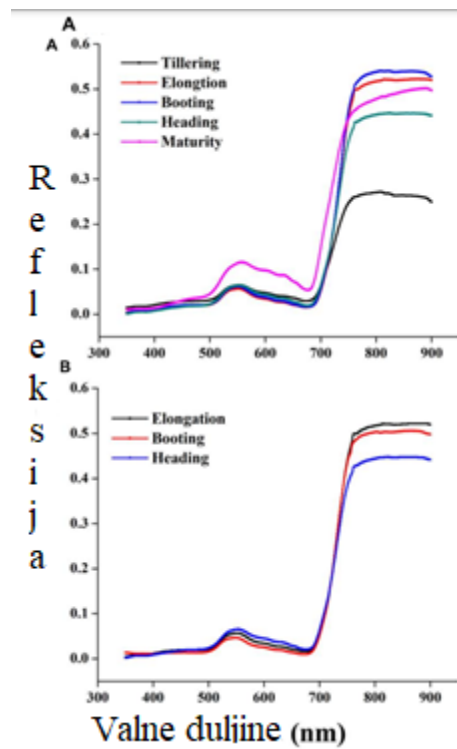


Slika 13. Razlike u refleksiji biljnog pokrova riže sa različitim udjelom dušika u kritičnim dijelovima razvoja 2015 (A) i 2016 (B) godine, gdje N0, N3, N5.5, N8.5, N11, N14, N16.5 i N19.5 predstavljaju količinu dušika od 0, 45, 83, 128, 165, 210, 248 i 293 kg N ha⁻¹ (Din i sur., 2017.)

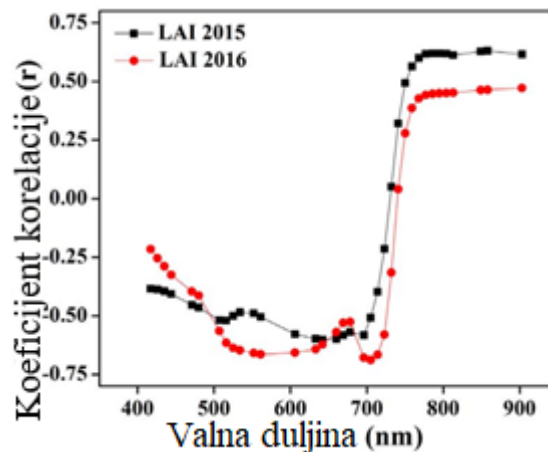
2.3.2 Refleksije biljnog pokrova u različitim fenološkim fazama

Prema istom istraživanju Din i sur. (2017.) refleksija biljnog pokrova riže nije bila konstantna ali se konstantno mijenjala u kritičnim fazama rasta tijekom fenološkog razdoblja 2015. i 2016. godine, kako je prikazano na slici 14. Uzorci refleksije pokazuju smanjenje u vidljivom dijelu spektra, a povećanje u bliskom infracrvenom dijelu spektra. Posebice refleksije u crvenom i zelenom dijelu vidljivog spektra se mijenjaju zbog starenja biljke. Razlog ove promjene je taj što gusti biljni pokrov u ranijim fazama razvoja uzrokuje povećanje zelenog pigmenta, posebice u listu, smanjujući refleksiju. Zbog toga se fenološke faze kod biljaka mogu lako razlikovati. Promjene u boji lišća, npr. zelena- žuta kada biljka stari i ponovno pokreće dušik od lista u zrno, uzrokuje povećanje refleksije u NIR spektru pod različitim primjenama dušika. Takve promjene refleksije u vidljivom i NIR dijelu spektra se slažu sa razlikama u odnosu između koeficijenta korelacije i LAI indeksa kod

kombiniranih kao i kod pojedinačnih kritičnih faza u razvoju riže kao što je prikazano na slici 15.



Slika 14. Refleksije biljnog pokrova u različitim fenološkim fazama 2015.(A) i 2016.(B) godine sa različitim udjelom dušika (Din i sur., 2017.)



Slika 15. Korelacija između LAI indeksa i refleksije biljnog pokrova na valnim duljinama od 440 do 900 nm (Din i sur., 2017.)

3. MATERIJALI I METODE

3.1 Područje istraživanja i oprema

Područje istraživanja se nalazi u južnoj Hrvatskoj, točnije u dolini rijeke Neretve. Ovo područje je prepoznatljivo po brojnim melioracijama koje su rađene tijekom godina kako bi se mogao uspostaviti odgovarajući sustav navodnjavanja za poljoprivrednu proizvodnju. Specifičnost poljoprivredne proizvodnje u ovom području je blizina mora te s toga toplije vrijeme tijekom ljeta se produljuje u jesen, isto tako nakon zime hladnije vrijeme se zadržava dulje tijekom proljeća. Jedan od problema s kojim se poljoprivrednici u ovom području susreću je prosječna količina padalina koja iznosi oko 1300 mm godišnje, ali 65-75 % te količine padalina padne tijekom zime. Stoga je sustav navodnjavanja koji je napravljen od iznimne važnosti za poljoprivrednu proizvodnju.

Za prikupljanje podataka je korišten bespilotni zrakoplov Mavic 2 Pro, slika 16., sa P4 multispektralnim senzorom. P4 multispektralni senzor je proizveden za korištenje u poljoprivredi kako bi pomogao poljoprivrednicima pratiti usjeve i pomoći im u donošenju odluka tijekom rasta i razvoja usjeva. Senzor se sastoji od 6 individualnih senzora a to su RGB senzor, te senzori plavog, zelenog, crvenog, rubnog crvenog i bliskog infracrvenog dijela spektra. Svi senzori su od 2 megapiksela s globalnim zatvaračem na 3-osnom stabilizatoru. Snimanje fotografija je bilo sa relativne visine od 50 metara, te je bespilotni zrakoplov prikupio 137 fotografija. Kada je obrada podataka bila završena bilo je 80 % prednjeg i 70 % bočnog preklapanja, gusti oblak točaka se sastojao od 5,316,064 točaka. Prostorna razlučivost digitalnog ortofota je 1,1 centimetar, a digitalnog modela površine 8,9 centimetara.

Obrada podataka je napravljena u dva računalna programa, SAGA GIS i QGIS. Oba programa su besplatni software dostupan svima. Većina prošlog i trenutnog razvoja SAGA GIS programa dolazi od tima J. Böhnera i O. Conrada, obojica trenutno zaposleni na Institutu geografije, odjel za fizikalnu geografiju, na sveučilištu u Hamburgu, Njemačka. Program je dostupan od ljeta 2007. godine (*engl. System for Automated Geoscientific Analyses*). QGIS je službeni projekt *engl. Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)*. QGIS je projekt koji pokreću volonteri, te svi oni koji žele sudjelovati u projektu pisanjem koda, popravljanjem problema programa. QGIS omogućava svojim korisnicima stvaranje karata koje zahtijevaju više slojeva i koji se koriste za različite projekcije, mogu biti u različitim formatima i za

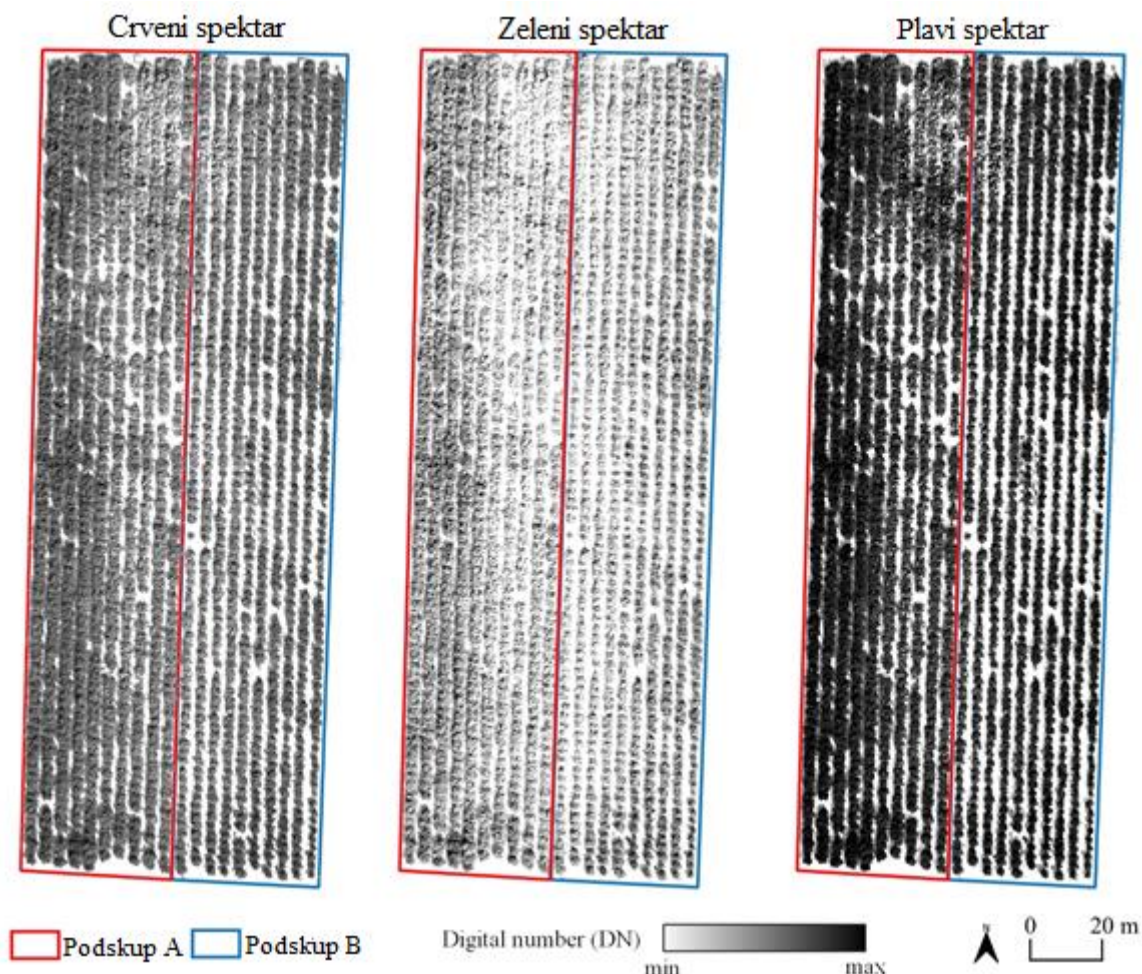
različite namjene. Moguće je stvaranje karata koji se sastoje od rasterskih i vektorskih slojeva (*engl. QGIS - The Leading Open Source Desktop GIS*).



Slika 16. Беспилотни зракoплов Mavic 2 Pro (vlastiti izvor)

3.2 Spektralni indeksi

Za izračun spektralnih indeksa korišteni su crveni, zeleni i plavi spektar, slika 17. Spektralni indeksi koji su korišteni u ovom radu su *engl. Normalised Green-Red Difference Index (NGRDI)*, *engl. Triangular Greenness Index (TGI)* i *engl. Brightness index (BI)*. Spektralni indeksi su korišteni kako bi se usporedili mlađi i stariji dio nasada, u daljnjem tekstu označeni kao Podskup A i Podskup B. Podskup A je stariji dio nasada, dok je Podskup B mlađi dio nasada.



Slika 17. Crveni, zeleni i plavi spektar (vlastiti izvor)

3.2.1 Normalised Green-Red Difference Index (NGRDI)

Izračunava se pomoću refleksije iz zelenog i crvenog dijela spektra koji se mogu izvesti iz fotografija snimljenim RGB kamerama. Ovaj indeks se primjenjuje u praćenju fenologije biljaka, za određivanje nadzemne biomase i statusa hranjivih tvari i za nadziranje korova specifično na nekom mjestu. Računa se prema formuli:

$$NGRDI = \frac{G - R}{G + R}$$

Međutim indeksi poput NGRDI indeksa, koji koriste vidljivi dio spektra za izračunavanje se ne koriste toliko često kao vegetacijski indeksi koji za izračunavanje koriste bliski infracrveni spektar, jer su razlike u digitalnim brojevima za zeleni i crveni dio spektra za vegetaciju i tlo vrlo mali u usporedbi sa bliskim infracrvenim i crvenim dijelom spektra (Hunt i sur., 2005.).

Bliski infracrveni dio spektra pruža više informacija o geometrijskim značajkama biljaka i više biofizičkih parametara, kao što je indeks pokrivenosti lišća (*engl. leaf area indeks, LAI*). Također, tehnologije daljinskih istraživanja u kombinaciji s prostornom analizom omogućuju dobivanje detaljnijeg razumijevanja prostorne složenosti proizvodne površine i uroda na njoj (Zhang i sur., 2011.).

3.2.2 Triangular Greenness Index (TGI)

Ovaj indeks se temelji na matričnim determinantama koristeći vrhove: (λ_r, R_r) , (λ_g, R_g) i (λ_b, R_b) , gdje je R_b refleksija, a λ_b je centar valne duljine plavog spektra. Počevši od crvenog spektra radi praktičnosti, TGI se računa:

$$TGI = -0.5[(\lambda_r - \lambda_b)(R_r - R_g) - (\lambda_r - \lambda_g)(R_r - R_b)]$$

koristeći širinu pojasa od 10 nm sa središtem na 670, 550 i 480 nm. Ove tri valne duljine su odabrane kako bi približno označile određeni integral u spektru klorofila od 480 do 670 nm valne duljine (Oppelt i Mauser, 2004.). Kada je refleksija zelene veća od linije između crvenih i plavih vrhova, to je za zelenu vegetaciju pozitivan TGI, vrijedi i suprotno kada je refleksija zelene manja od crveno-plave linije, na primjer crvenkasta tla, TGI je negativan. Kada su široki pojasevi i pojasevi digitalnog fotoaparata zamijenjeni za uže pojaseve, TGI se smanjuje jer je zelena refleksija smanjena, a crvena refleksija je povećana u prosjeku zbog većih intervala valnih duljina (Hunt i sur., 2011.).

3.2.3 Brightness index (BI)

BI indeks se računa kao euklidska udaljenost u prostoru od n spektralnih dimenzija i stoga određuje globalnu refleksiju proučavanog objekta. Krivulje refleksije tla su tipično monotone i povećavaju se u vidljivom dijelu spektra, a u prirodi postoji ograničen raspon boja tla i vegetacije. BI daje mjeru veličine refleksije tla ili vegetacije. Računa se prema slijedećoj formuli (Mathieu i sur., 1998.):

$$BI = \sqrt{\frac{G^2 + R^2}{2}}$$

3.3 Topografski indeksi

Podaci koji se uzimaju u obzir pri izradi topografskih indeksa su sliv i nagib terena. Topografski indeksi se koriste za mjerenje opsega akumulacije protoka na bilo kojoj specifičnoj točki na topografskoj površini. Kako se područje sliva povećava, a gradijent

nagiba smanjuje, topografski indeksi rastu. Topografski indeksi koji su korišteni u ovom radu su potencijalno sunčevo dolazno zračenje, akumulacija protoka vode i ekspozicija vjetra. Ovi indeksi su važni jer su sunčevo zračenje i tok akumulacije vode najvažniji faktori u rastu biljaka i općenitoj količini prinosa.

3.4 Nenadzirana klasifikacija

Prepoznavanje uzoraka omogućuje važnih obrazaca koji se mogu koristiti za indeksiranje slika u spremištu. Primjenjivi pristupi učenju mogu se grubo kategorizirati kao nadzirani ili nenadzirani (Hastie i sur., 2008.). Pristup nenadziranom učenju može se primijeniti u rudarenju sličnosti slika izravno iz zbirke slika, stoga može identificirati svojstvene kategorije slika prirodno iz skupa slika (Huang i sur., 2011.). Zbog mogućnosti podržavanja klasifikacije bez potrebe za obučavanjem uzoraka, nenadzirane klasifikacije su jednostavnije pri rukovanju velikim, nestrukturiranim spremištima slika kao što je Web. Stoga studija Datta i sur. (2008.) smatra nenadziranu klasifikaciju slika važnim korakom u semantičkom označavanju slika u velikoj i nestrukturiranoj kolekciji jer omogućuje grupiranje slika na temelju semantičkog sadržaja u svrhu masovnog semantičkog označavanja. Zbog sposobnosti nenadzirane kategorizacije slike da podrži klasifikaciju bez upotrebe uzoraka za obuku, identificirana je kao sredstvo za poboljšanje vizualizacije i učinkovitosti u pronalaženju slika. Također je identificiran kao sredstvo za usklađivanje značajki niske razine sa semantikom visoke razine, posebno u aplikacijama temeljenim na učenju (Huang i sur., 2011.).

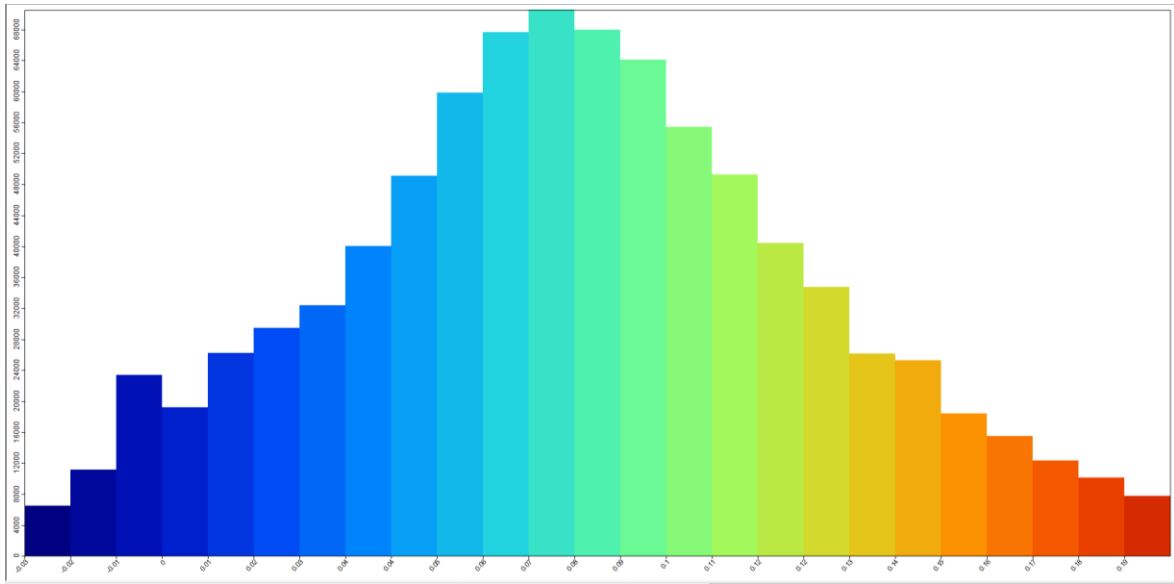
4. REZULTATI

Kao što je prethodno spomenuto, osnova za sve izračune spektralnih indeksa, slika 21., su bili crveni, zeleni i plavi spektar. Za dobivanje RGB spektra potrebna je osnova koja je bila digitalni ortofoto snimljen pomoću bespilotnog zrakoplova. U programu SAGA GIS koristeći naredbu *engl. Extract Grids from Grid Collection* iz digitalnog ortofota se dobiju crveni, zeleni i plavi spektar, označeni brojkama 0 (plavi), 1 (zeleni) i 2 (crveni). Nakon toga se izračunavaju spektralni indeksi odabirom stavke *engl. Geoprocessing* na alatnoj traci, nakon toga se odabire *engl. Grid*, zatim *engl. Calculus* i na kraju *engl. Grid Calculator*. Nakon odabira *engl. Grid Calculatora* otvara se prozor u koji se unosi formula za svaki spektralni indeks. Formule korištene u radu za izračunavanje spektralnih indeksa prikazane su u tablici 2.

Prvi spektralni indeks je NGRDI za koji su DN (*engl. Digital number*) vrijednosti u rasponu od -0,027 do 0,194, većina vrijednosti se nalazi u sredini tog raspona, od 0,06 do 0,09 kao što je vidljivo na slici 18.

Tablica 2. RGB spektar, spektralni indeksi i topografski indeksi

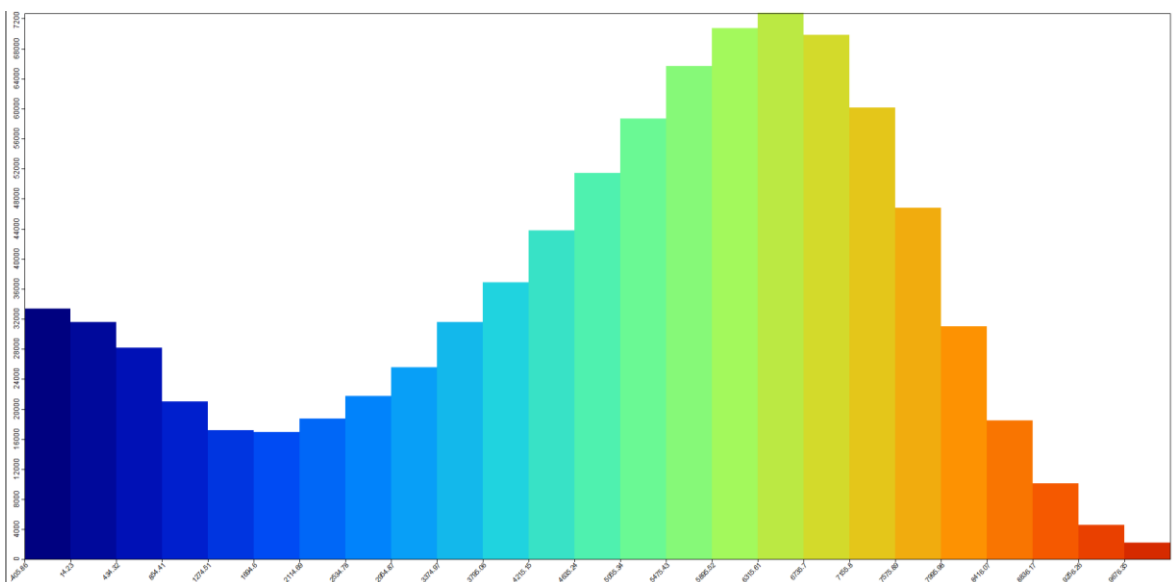
Vrsta podataka	Naziv	Izvor/formula
Spektralni kanali	Plava	Digitalni ortoforo
	Zelena	Digitalni ortoforo
	Crvena	Digitalni ortoforo
Spektralni indeksi	<i>engl. Normalised Green Red Difference Index (NGRDI) (Tucker, 1979)</i>	$NGRDI = \frac{G - R}{G + R}$
	<i>engl. Triangular greenness index (TGI) (Hunt et al., 2011.)</i>	$TGI = -0.5[(\lambda_r - \lambda_b)(R_r - R_g) - (\lambda_r - \lambda_g)(R_r - R_b)]$
	<i>engl. Brightness Index (BI) (Mathieu et al., 1998)</i>	$BI = \sqrt{\frac{G^2 + R^2}{2}}$
Topografski indeksi	Potencijalna solarna insolacija	Digitalni model površine
	Model slijevanja padalina	Digitalni model površine
	Indeks izloženosti vjetru	Digitalni model površine



Slika 18. Histogram NGRDI DN vrijednosti dobivenih u SAGA GIS programu

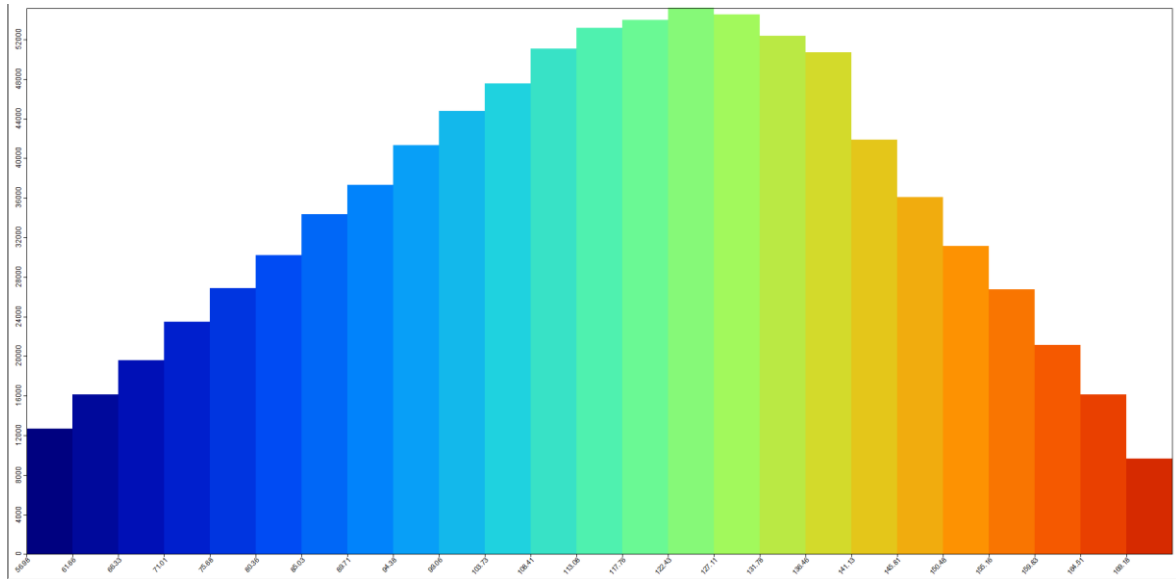
(vlastiti izvor)

DN vrijednosti za TGI spektralni indeks iznose od -2,740 do 11,465, većina vrijednosti se nalazi bliže maksimalnoj vrijednosti u rasponu od 6,5 do 7,5 kako je prikazano na slici 19. Posljednji spektralni indeks je BI čije su vrijednosti u rasponu od 18,344 do 186,387, dok se većina vrijednosti nalazi u rasponu od 117 do 136 što je vidljivo na slici 20.



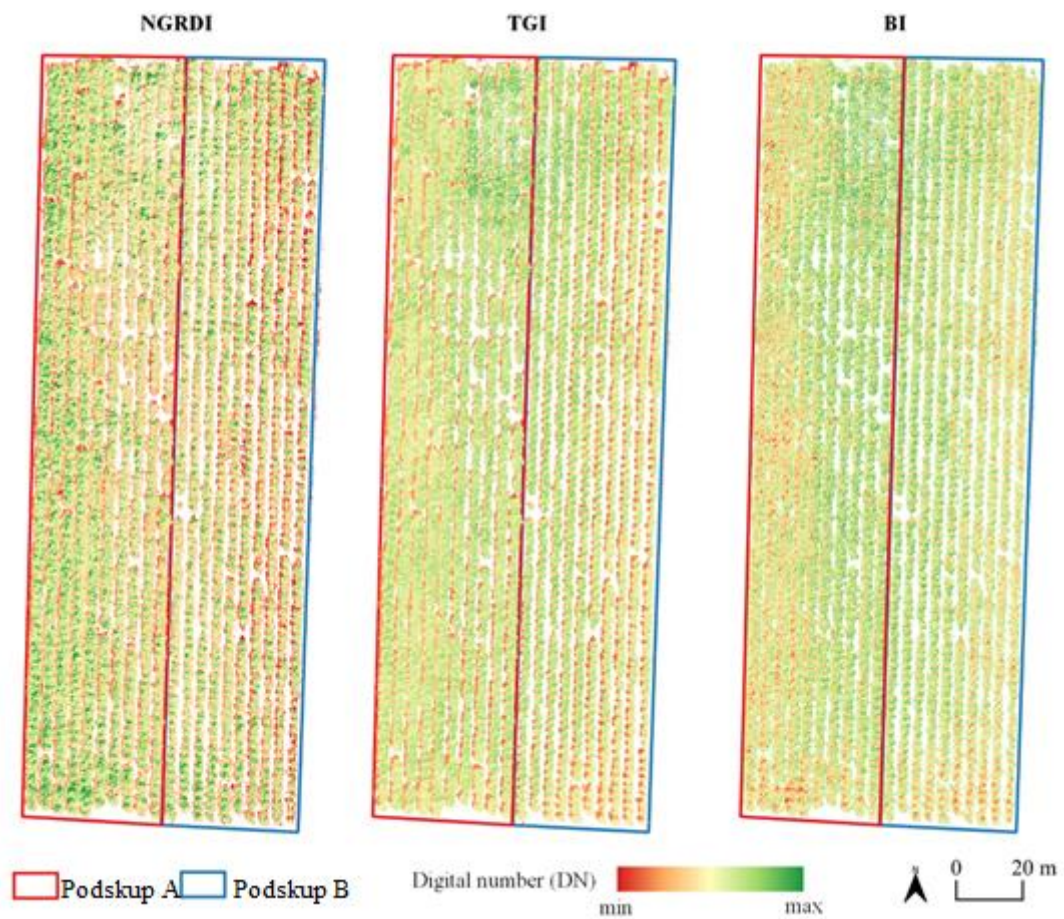
Slika 19. Histogram TGI DN vrijednosti dobivenih u SAGA GIS programu

(vlastiti izvor)



Slika 20. Histogram BI DN vrijednosti dobivenih u SAGA GIS programu

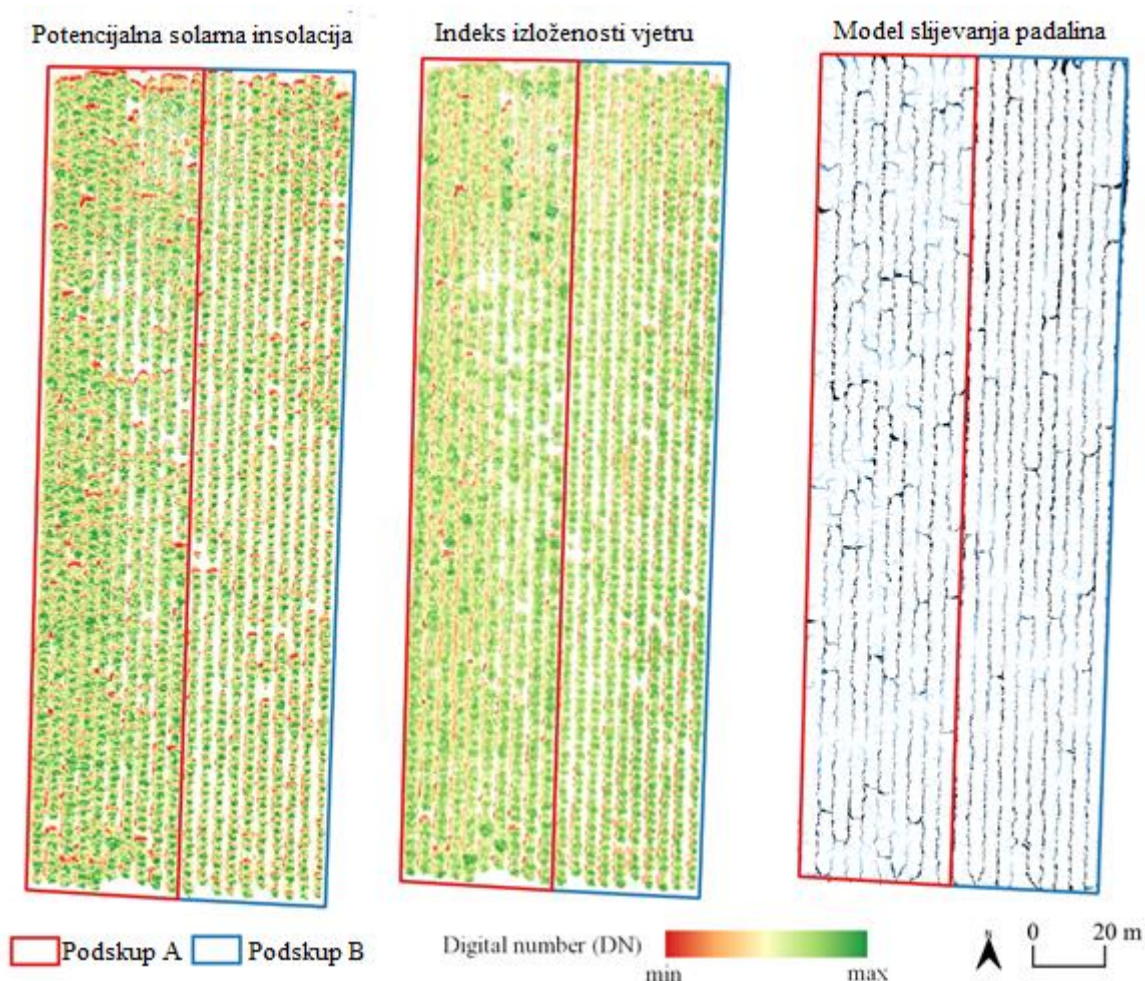
(vlastiti izvor)



Slika 21. Spektralni indeksi (vlastiti izvor)

Osnova za izračunavanje topografskih indeksa je digitalni model terena. Topografski indeksi su također izračunati u SAGA GIS programu. Potencijalna solarna insolacija se računa tako da se na alatnoj traci odabere naredba *engl. Potential Solar Incoming Radiation*, te se u skočnom prozoru naredbom *engl. Time period – range of days* odabere cijela 2021. godina. Zatim se naredbom *engl. Flow Accumulation (one step)* izračuna model slijevanja padalina. Posljednji indeks je indeks izloženosti vjetru, koji se računa naredbom *engl. Wind Exposition Index*.

Potencijalna solarna insolacija je prvi topografski indeks koji iskazan na slici 22., u radu je izračunato potencijalno dolazno sunčevo zračenje za cijelu 2021. godinu. DN vrijednosti se kreću u rasponu od 0 do 1.175,59. DN vrijednosti za indeks izloženosti vjetru se kreću u rasponu 0,81 do 1,19. Izračun modela slijevanja padalina prikazuje rezultate vidljive na slici 19.



Slika 22. Topografski indeksi (vlastiti izvor)

Određivanje prikladnosti za uzgoj mandarina nenadziranom klasifikacijom provedeno je u SAGA GIS softveru. Prvi korak bio je korištenje grupiranja *engl. K-means* za mreže u dvije klase, zatim se odabire vektoriziranje razreda mreže i označava se klasa tla te se ona izbriše. Nakon toga možemo izrezati 9 ulaznih rastera (3 spektralna RBG kanala, 3 spektralna indeksa i 3 topografska indeksa) na vegetacijsko područje koristeći naredbu *engl. Clip Grid with Polygon*. Drugi korak je provođenje nenadzirane klasifikacije u 5 klasa (*engl. K-means* grupiranje za mreže) i rangiranje klasa prema TGI vrijednostima iz datoteke *engl. Cluster Analysis*. Treći korak je izvršiti reklasificiranje vrijednosti od 1 do 5, tako da broj 5 označava najprikladniji dio za uzgoj (naredba *engl. Reclassify Grid Values – Simple table*). Četvrti korak bio je napraviti dva poligona koji razdvajaju dva dijela nasada (Podskup A i Podskup B). Peti i posljednji korak bio je korištenje naredbe *engl. Zonal grid statistics* za određivanje udjela klase u Podskup u A i Podskup u B kao što je vidljivo u tablici 3.

Tablica 3. Pogodnost za uzgoj mandarina (vlastiti izvor)

	Podskup A	Podskup B
5	19,92 %	18,42 %
4	30,05 %	25,74 %
3	22,36 %	21,30 %
2	13,39 %	14,33 %
1	14,27 %	20,22 %

5. RASPRAVA

Pravovremeno otkrivanje stresa kod usjeva omogućuje brže i pravovremeno donošenje odluka i planiranje agrotehničkih zahvata, te se tako sprječavaju negativni učinci na prinos, što predstavlja osnovni koncept precizne poljoprivrede (Mulla, 2013.). Predviđanje vremenskih uvjeta i modeliranje usjeva omogućilo je napredak u razvoju tehnologije za predviđanje potencijalnih prinosa (Raun i sur., 2001.). Na primjeru pšenice točno predviđanje prinosa i kvalitete usjeva prije žetve je važno zbog upravljanja lancima opskrbe, kao i zbog sigurnosti hrane i procjene kvalitete (Lee i sur., 2013.)

Hunt i sur. (2005.) su u svome radu proučavali povezanost NGRDI indeksa sa razinama biomase za lucernu, kukuruz i soju. Gdje je NGRDI bio linearno povezan sa razinom biomase do 120 gm^{-2} . Na višim razinama biomase za kukuruz i soju, NGRDI je bio zasićen na maksimalnoj vrijednosti, za koju je DN vrijednost bila u prosjeku 0.05 za kukuruz i 0.13 za soju. Maksimalna količina biomase za lucernu je bila niska, te zbog toga nije bilo zasićenosti kada je promatran NGRDI. Nizak sadržaj klorofila povezan je s povećanjem intenziteta, na što ukazuju veće srednje vrijednosti vidljive refleksije za dati NGRDI. Kada bi crveni spektar digitalnog fotoaparata bio pomaknut na dužu valnu duljinu (oko 680 nm), tada bi NGRDI bio osjetljiviji na razlike u koncentraciji klorofila.

Prema radu Hunt i sur. (2011.) korelacije TGI indeksa sa sadržajem klorofila u lišću ili vrijednostima koje daje klorofil-metar bile su dosljedno dobre uz korištenje uskih, širokih i pojasa digitalne kamere. Odnosi između uskopojasnih TGI vrijednosti i vrijednosti klorofil-metra su bili nelinearni i varirali su među vrstama. Uz kalibraciju, radi uzimanja u obzir promjena debljine listova i staničnog rasporeda uzrokovanih različitim vrstama ili istim vrstama koje rastu u različitim uvjetima, procjene sadržaja klorofila u lišću, pomoću TGI mogu biti točnije. Ali napor potreban za točnije procjene možda neće biti potreban ako se TGI koristi kao relativni pokazatelj N statusa biljke.

U radu García-Martínez i sur. (2020.) zeleni pokrov je digitalno procijenjen objektivno orijentiranom klasifikacijom i korištenjem TGI indeksa, te je prikazan koeficijent korelacije od 0,77 s obzirom na prinos zrna kukuruza. Dok je relativna važnost ove varijable u procjeni prinosa bila 0,080 i 0,093 za 47. i 79. dan nakon sjetve.

Iz rada Hunt i sur. (2013.) su vidljiva tri rezultata koji ukazuju da TGI ima potencijal za upravljanje dušičnim gnojivima. Prvi je korelacija između vrijednosti TGI i količine

klorofila koja je konstantna među najboljim spektralnim indeksima za tri različita datuma snimanja podataka. Drugi je taj da TGI nije osjetljiv na promjene kada je LAI iznad vrijednosti 2.0, stoga je TGI dosljedan pokazatelj količine klorofila u listu. Treći je taj da korelacija nije ovisila o spektralnoj razlučivosti senzora, skroz dok TGI nije bio zasićen pri visokim vrijednostima sadržaja u klorofilu.

Roy i Ravan (1996.) u svome radu navode da je među indeksima razvijenim transformacijom kape s resicama, samo BI indeks pokazao značajnu korelaciju s biomasom. DN vrijednosti koje su dobili u svome radu su bile u rasponu od 65 do 83.

Uz analizu vegetacijskih indeksa, preporučljivo bi bilo provesti i analizu tla kako bi se povećali prinosi i smanjili troškovi proizvodnje. Prema radu Gluhić (2006.) je napravljeno utvrđivanje stanja opskrbljenosti tala hranivima za uzgoj mandarina na Neretvanskom području. Uzorci tla su uzeti sa osam reprezentativnih područja, te ih je obradila tvrtka Phosyn iz Velike Britanije gdje je analizirano 17 parametara važnih za uzgoj mandarina. Tla na svim područjima su alkalnih vrijednosti uz pH vrijednosti 8,18 i uz visoke količine kalcija. pH vrijednost je vrlo važno svojstvo tla jer utječe na usvajanje hranidbenih elemenata iz tla. Tla na ovom području su loše opskrbljena fosforom, te se preporučuje posebna lokalizirana gnojidba, a može čak i gnojidba šireg prostora uz svako pojedino stablo. Odnos kalija i magnezija je prosječno 1,4:1, to je zadovoljavajući odnos, koji je preporučljivo održavati daljnjom gnojidbom. Skoro svi mikroelementi koji su važni za rast i razvoj mandarina (željezo, bor, mangan i molibden) su u nedostatku. Mandarine su jako osjetljive na natrij, te visoka količina natrija može predstavljati problem. Natrij ima negativan utjecaj na fiziološke procese u biljci te i na organoleptička svojstva ploda (Garcia-Sanchez i sur., 2006., Nieves i sur., 1992.). Kako bi se smanjio negativan utjecaj natrija potrebno je redovno provoditi analizu voda za natapanje, te pratiti količinu natrija u tlu. Primjenjujući mikroelemente preko folijarne gnojidbe mandarine dobivaju dovoljne količine elemenata potrebnih za rast i razvoj neovisno o lošim uvjetima tla. Najviše se preporučuje upotreba gnojiva na bazi željeza, bora i mangana (Gluhić, 2006.).

Uporaba vegetacijskih indeksa se može proširiti korištenjem multispektralne kamere. Multispektralni senzor prikuplja crvene, zelene i plave valne duljine svjetlosnog spektra (vidljivi dio spektra), kao i valne duljine koje nisu vidljive ljudskom oku. U poljoprivredi se pomoću ovakvih senzora može provoditi efektivnije praćenje usjeva sa statistikom na razini parcele o broju biljaka, visini, snazi, površini lišća i pokrovnosti krošnje. Korištenje

multispektralne kamere se najviše koristi za izračunavanje NDVI vegetacijskog indeksa, koji je najkorišteniji vegetacijski indeks za procjenu stanja usjeva (Schmeitz, 2020.).

Izračunavanje nenadzirane klasifikacije provodi *engl. software* dok korisnik samo definira broj klasifikacija koje želi (Everitt i sur., 1992.). Podaci za obradu se sastoje od skupa ulaznih vektora bez ciljnih vrijednosti. Cilj kod nenadzirane klasifikacije je identifikacija grupa sličnih skupova podataka. To se zove grupiranje (*engl. clustering*) ili procjena gustoće (za određivanje distribucije podataka unutar ulaznog prostora) ili vizualizacija (za projiciranje podataka iz visoko dimenzionalnog prostora u dvodimenzijalni ili trodimenzijalni prostor) (Bishop, 2006.).

Još jedan način poboljšanja rezultata bi bila primjena ocjene točnosti (*engl. accuracy assessment*). Od sredine 1980. godina matrica grešaka je prihvaćena kao standardni opisni alat za procjenu točnosti kod daljinski snimljenih podataka. Korištenje matrice pogrešaka je znatno poboljšalo našu mogućnost procjene točnosti. Alati za analizu uključujući diskretne multivarijantne tehnike omogućili su usporedbu i razvoj različitih metodologija, algoritama i pristupa. Mnogi čimbenici utječu na sastavljanje matrice pogrešaka i moraju se uzeti u obzir prilikom provođenja svake procjene točnosti (Congalton, 2004.).

6. ZAKLJUČAK

Razvoj bespilotnih zrakoplova omogućuje široku primjenu u svim područjima, tako i u poljoprivredi. Daljnjim razvojem bespilotnih zrakoplova i računalnih programa (*engl. softwarea*) namijenjenih za obradu podataka prikupljenih bespilotnim letjelicama biti će više mogućnosti primjene tih sustava u poljoprivredi. Razvoj bespilotnih zrakoplova trenutno je najviše vidljiv u sve većem korištenju precizne poljoprivrede što podrazumijeva obavljanje poljoprivrednih radova unutar agrotehničkih rokova, visoku produktivnost, smanjen broj operacija te najnižu cijenu rada.

Vegetacijski indeksi su dodatni alat koji omogućuje poljoprivrednicima još točnije podatke u donošenju odluka, te apliciranju hraniva kao i kod zaštite biljaka kako bi ostvarili što bolje rezultate. Također vegetacijski indeksi olakšavaju pravovremeno uočavanje bolesti usjeva, te tako omogućuju poljoprivrednicima da pravovremeno donose odluke kako bi iskoristili puni potencijal usjeva.

Kao što je vidljivo u ovom radu, za dobivanje što točnijih podataka potrebno je koristiti nekoliko različitih vegetacijskih indeksa. Uz to je potrebno primijeniti procjenu točnosti podataka, a preporučljivo je napraviti i analizu uzorka tla kako bi imali što veći broj podataka koji olakšavaju pravovremeno donošenje odluka.

Korištenje RGB kamera u nekim slučajevima nije dovoljno, te se količina prikupljenih podataka može proširiti korištenjem multispektralnih, hiperspektralnih i termalnih senzora, kao i korištenjem LiDAR senzora, time se povećava količina prikupljenih podataka i omogućava izračunavanje još većeg broja vegetacijskih indeksa. Korištenjem većeg broja senzora povećava se cijena samog bespilotnog zrakoplova, stoga prilikom kupovine bespilotnog zrakoplova treba pažljivo odabrati koji su senzori potrebni na određenom gospodarstvu s obzirom na količinu obradivih površina i način primjene.

U današnje vrijeme iznimno visokih ulaznih troškova poljoprivredne proizvodnje postoji velika potreba za preciznom poljoprivredom kako bi se pravilnim strategijama poboljšala proizvodnja usjeva i značajno smanjili troškovi proizvodnje. Uz to, veliki naglasak se stavlja i na zaštitu okoliša i podzemnih voda primjenom precizne poljoprivrede.

7. POPIS LITERATURE

Ahirwar, S., Swarnkar, R., Bhukya, S. i Namwade, G. (2019.): Application of Drone in Agriculture, International Jurnal of Current Microviology and Applied Sciences, 8: 2500-2505

Berni, J.A.J., Zarco-Tejada, P.J., Suarez, L., Fereres, E., (2009.): Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 47: 722–738.

Bishop C. M. (2006.): Pattern Recognition and Machine Learning, Singapore, Springer Science+Business Media, LLC

Broge, N. H., and Leblanc, E. (2000).: Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. Remote Sens. Environ. 76: 156–172.

Broge, N.H., Leblanc, E., (2001.): Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. Remote Sens. Environ. 76: 156–172.

Buschmann, C., Langsdorf, G., Lichtenthaler, H.K., (2000.): Imaging of the blue, green, and red fluorescence emission of plants: an overview. Photosynthetica 38: 483–491.

Claverie, M.; Demarex, V.; Duchemin, B.; Hagolle, O.; Ducrot, D.; Marais-Sicre, C.; Dejoux, J.-F.; Huc, M.; Keravec, P.; Béziat, P.; et al. (2012.): Maize and sunflower biomass estimation in southwest France using high spatial and temporal resolution remote sensing data. Remote Sens. Environ. 124: 844–857

Congalton, R. G. (2004.): Putting the Map Back in Map Accuracy Assasment. U: Lunetta, R.S., Lyon J.G., Remote Sensing and GIS Accuracy Assessment. New York. 1-12

Crnomarković, D. (2014): Neretvanska mandarina – oznaka izvornosti, Neretvanska udruga voćara “Mandarina Opuzen”, str 3-5.

Datt, B. (1998.): Remote sensing of Chlorophyll a, Chlorophyll b, Chlorophyll a+b, and total Carotenoid content in eucalyptus leaves. Remote Sens. Environ. 66: 111–121.

Datta, R., Joshi, D., Li, J. and Wang, J. Z. (2008.): "Image Retrieval: Ideas, Influences, and Trends of the New Age," ACM Computing Surveys, 40: No. 2, Article 5.

Daughtry, C.S.T.; Walthall, C.L.; Kim, M.S.; Brown de Colstrum, E.; McMurtrey, J.E., III. (2000.): Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sens. Environ.* 74: 229–239.

Debats, S.R., Luo, D., Estes, L.D., Fuchs, T.J., Caylor, K.K (2016.): A generalized computer vision approach to mapping crop fields in heterogeneous agricultural landscapes. *Remote Sens. Environ.*, 179, 210–221.

Din, M., Zheng, W., Rashid, M., Wang, S. and Shi, Z. (2017.): Evaluating Hyperspectral Vegetation Indices for Leaf Area Index Estimation of *Oryza sativa* L. at Diverse Phenological Stages. *Front. Plant Sci.* 8:820.

Everitt, J. H., Alaniz M. A., Escobar D. E., and Davis M. R. (1992.): Using remote sensing to distinguish common (*Isocoma coronopifolia*) and Drummond goldenweed (*Isocoma drummondii*). *Weed Sci.* 40, 62: 1-628

Feizizadeh, B., Blaschke, T., (2012.): Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. *Journal of Environmental Planning and Management* 2012: 1–23.

García-Martínez, H., Flores-Magdaleno, H., Ascencio-Hernández, R., Khalil-Gardezi, A., Tijerina-Chávez, L., Mancilla-Villa, O.R., Vázquez-Peña, M.A., (2020.): Corn Grain Yield Estimation from Vegetation Indices, Canopy Cover, Plant Density, and a Neural Network Using Multispectral and RGB Images Acquired with Unmanned Aerial Vehicles. *Agriculture* , 10: 277

Garcia-Sanchez, F., Perez-Perez, J.G., Botia, P., Martinez, V. (2006.): The response of young mandarin trees grown under saline conditions depends on the rootstock, *Europ. J. Agronomy* 24:129-139

Gitelson, A.A., Merzyak, M.N. (1997.): Remote estimation of Chlorophyll Content in Higher Plant Leaves. *Int. J. Remote Sens.*, 18, 2691–2697

Gluhic, D. (2006.): Opkrbljenost hranivima tala za uzgoj mandarina u dolini Neretve, Institut za poljoprivredu i turizam Poreč, *Glasnik zaštite bilja*, 29: 5

Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P., Wardlow, B., (2007.): A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great plains of the United States. *Geophys. Res. Lett.* 34, L06407.

Guan, K.; Wu, J.; Kimball, J.S.; Anderson, M.C.; Frolking, S.; Li, B.; Hain, C.R.; Lobell, D.B. (2017.): The shared and unique values of optical, fluorescence, thermal and microwave satellite data for estimating large-scale crop yields. *Remote Sens. Environ.* 199: 333–349.

Halil, A., Ayşe, Y. Ö., Bülent, T. (2013.): Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique, *Computers and Electronics in Agriculture*, 97: 71-82

Hastie, T., Tibshirani, R. and Friedman, J., (2008.): *The Elements of Statistical Learning, Data Mining, Inference and Prediction*, 2nd Edition ed., vol. II, Stanford: Springer, 465-576.

Huang, Y., Q. Liu, F. Lv, Y. Gong and D. N. Metaxas, (2011.): "Unsupervised Image Categorization by Hypergraph Partition," *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 33: 6

Hunt, E. R., Cavigelli, M., Daughtry, C. S. T., McMurtrey, J. E., & Walthall, C. L. (2005.): Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, 6: 359–378

Hunt, E. R., Doraiswamy, P. C., McMurtrey, J. E., Daughtry, C.S.T., Perry, E.M., Akhmedov, B. (2013): A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21: 103–112

Hunt, E. R., Daughtry, C. S. T. , Eitel, J. U. H., Long D. S. (2011.): Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content Using a Visible Band Indeks, *Agronomy journal* 103: no.4,1090-1099

Jacquemoud, S., Verhoef, W., Baret, F., Bacour, C., Zarco-Tejada, P. J., Asner, G. P., et al. (2009.): PROSPECT + SAIL models: a review of use for vegetation characterization. *Remote Sens. Environ.* 113: S56–S66.

Justice, C.O., Vermote, E., Townshend, J.R.G., Defries, R., Roy, D.P., Hall, D.K., Salomonson, V.V., Privette, J.L., Riggs, G., Strahler, A., et al., (1998.): The moderate Resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. *Trans. Geosci. Remote Sens.* 36: 1228–1249.

Kaleb, M. (2014.): Razvoj uzgoja mandarina i ostalih agruma u dolini neretve, *Agronomski glasnik* 2014: 4-5

Kern, A., Barcza, Z. , Marjanović, H. , Tamás, Á., Nándor, F., Péter, B., Péter, B., János, L. (2018.): Statistical modelling of crop yield in Central Europe using climate data and remote sensing vegetation indices, *Agricultural and Forest Meteorology*, 260–261: 300-320

Kiang, N.Y., Siefert, J., Govindjee, Blankenship, R.E., (2007.): Spectral signatures of photosynthesis. I. Review of Earth organisms. *Astrobiology* 7: 222–251.

Le Maire, G., François, C., Soudani, K., Berveiller, D., Pontailier, J. Y., Bréda, N., et al. (2008.): Calibration and validation of hyperspectral indices for the estimation of broadleaved forest leaf chlorophyll content, leaf mass per area, leaf area index and leaf canopy biomass. *Remote Sens. Environ.* 112: 3846–3864

Lee, B. H., Kenkel, P., & Brorsen, B. W. (2013.): Pre-harvest forecasting of county wheat yield and wheat quality using weather information. *Agricultural and forest meteorology*, 168: 26-35.

Li, F., Mistele, B., Hu, Y., Yue, X., Yue, S., Miao, Y., et al. (2012.): Remotely estimating aerial N status of phenologically differing winter wheat cultivars grown in contrasting climatic and geographic zones in China and Germany. *Field Crop Res.* 138: 21–32

Maselli, F., Conese, C., Petkov, L., Gilabert, M.A., (1992.): Use of NOAA-AVHRR NDVI data for environmental monitoring and crop forecasting in the Sahel. Preliminary results. *Int. J. Remote Sens.* 13: 2743–2749

Mathieu, R., Pouget, M., Cervelle, B., Escadafal, R. (1998.): Relationships between Satellite-Based Radiometric Indices Simulated Using Laboratory Reflectance Data and Typic Soil Color of an Arid Environment, *Remote Sensing of Environment*, 66: 17-28

Mokarram, M., Aminzadeh, F., (2010.): GIS-based multicriteria land suitability evaluation using ordered weight averaging with fuzzy quantifier: a case study in Shavur Plain, Iran. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 38 (II), 508–512.

Mulla, D.J., (2013.): Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. *Biosyst. Eng.* 114: 358–371.

Nieves, M., Ruiz, D., Cerda, A. (1992.): Influence of rootstock-scion combination in lemon trees salt tolerance. U: *Proceedings of the International Society on Citriculture*, Acireale, Italy, 387-390

Oppelt, N., and W. Mauser. (2004.): Hyperspectral monitoring of physiological parameters of wheat during a vegetation period using AVIS data. *Int. J. Remote Sens.* 25:145–157

Rasmussen, J., Ntakos, G., Nielsen, J., Svensgaard, J., Poulsen, R.N., Christensen, S. (2016.): Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? *Eur. J. Agron.* 74: 75–92.

Raun, W. R., Solie, J. B., Johnson, G. V., Stone, M. L., Lukina, E. V., Thomason, W. E., & Schepers, J. S. (2001.): In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. *Agronomy Journal*, 93(1): 131-138.

Reeves, M.C., Zhao, M., Running, S.W. (2005.): Usefulness and limits of MODIS GPP for estimating wheat yield. *Int. J. Remote Sens.* 26 (7): 1403–1421.

Rosell, J.R., Llorens, J., Sanz, R., Arno´, J., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Escola`, A., Camp, F., Solanelles, F., Gra`cia, F., Gil, E., Val, L., Planas, S., Palaci´n, J. (2009.): Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. *Agric. For. Meteorol.* 149: 1505–1515.

Ryu, C., Suguri, M. i Umeda, M. (2009.): Model for predicting the nitrogen content of rice at panicle initiation stage using data from airborne hyperspectral remote sensing. *Biosyt. Eng.* 104: 465-475.

Sahoo, R. N., Ray, S. S., and Manjunath, K. R. (2015.): Hyperspectral Remote Sensing of Agriculture, *Current Science*, 108: 848-859

Sangha, H.S., Sharda, A., Koch, L., Wang, G., Prabhakar, P., (2018.): Impact of Camera Lens Angle and Suas Flying Altitude on Spatial Crop Canopy Temperature Evaluation. *Annual International Meeting American Society of Agricultural and Biological Engineers*, Detroit, MI

Schmeitz, A.H.L. (2020.): The application of drones in precision agriculture. Annelot, Student B-IBA. D

Slonecker, E.T., Jennings, D.B., Garofalo, D., (2001.): Remote sensing of impervious surfaces: a review. *Remote Sens. Rev.* 20: 227–255.

Tucker, C.J., Sellers, P.J., (1986.): Satellite remote sensing of primary production. *Int. J. Remote Sens.* 7: 1395–1416.

Van der Merwea, D., Burchfieldb , D.R., Wittb ,T.D, Pricec, K.P., Shardad, A., 2020. Drones in agriculture

Vina, A., Gitelson, A.A., Nguy-Robertson, A.L., Peng, Y. (2011.): Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote Sens. Environ.* 115: 3468–3478

Wang, F. (1994.): The use of artificial neural networks in a geographical information system for agricultural land-suitability assessment. *Environment and Planning A* 26: 265–284

Xie, Q. Y., Huang, W. J., Liang, D., Chen, P. F., Wu, C. Y., Yang, G. J. (2014): Leaf area index estimation using vegetation indices derived from airborne, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7: 3586-3594

Yamada, N., Fujimura, S., (1991.): Nondestructive measurement of chlorophyll pigment content in plant leaves from three-color reflectance and transmittance. *Appl. Optics* 30: 3964–3973

Zarco-Tejada, P.J., González-Dugo, M.V., Fereres, E. (2016.): Seasonal stability of chlorophyll fluorescence quantified from airborne hyperspectral imagery as an indicator of net photosynthesis in the context of precision agriculture. *Remote Sens. Environ.* 179: 89–103.

Zhang, H., Lan, Y., Lacey, R., Hoffmann, W. C., and Westbrook, J. K. (2011.): Spatial analysis of NDVI readings with different sampling densities. *Transactions of the ASABE*, 54, 349-354.

Internetske stranice:

The Different Types of Drones Explained

(<https://droneomega.com/types-of-drones/>) (26.5.2022.)

System for Automated Geoscientific Analyses

(<https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>) (29.5.2022.)

QGIS - The Leading Open Source Desktop GIS

(<https://qgis.org/en/site/>) (29.5.2022.)

Primjena bespilotnih zrakoplova za planiranje sjetve

(<https://thumbs.dreamstime.com/z/smart-agriculture-concept-farmer-use-infrared-drone-high-high-definition-soil-mapping-planting-conduct-deep-scan-102927849.jpg>) (26.5.2022.)

Vidljivi dio spektra

(https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:EM_spectrumrevised.png) (26.5.2022.)

Refleksija svjetlosti od biljke

(https://science.nasa.gov/ems/08_nearinfraredwaves) (26.5.2022.)

Quadcopter

(<https://droneomega.com/wp-content/uploads/2018/01/multirotor2.jpg>) (26.5.2022.)

Bespilotni zrakoplov sa fiksnim krilima

(<https://droneomega.com/wp-content/uploads/2018/01/fixedwing1.jpg>) (26.5.2022.)

Bespilotni zrakoplov s jednim rotorom pogonjen elektromotorom

(<https://droneomega.com/wp-content/uploads/2018/01/singlerotor1.jpg>) (26.5.2022.)

Hibridni bespilotni zrakoplov

(<https://droneomega.com/wp-content/uploads/2018/01/hybrid1.jpg>) (26.5.2022.)

RGB senzor

(<https://www.jai.com/products/line-scan-cameras/3-sensor-r-g-b-prism/>) (26.5.2022.)

Hiperspektralni senzor

<https://www.acalbfi.com/be/Photonics/Spectroscopy/Grating-based-spectrometer/p/Multispectral-SWIR-Imaging-Camera--500-1700nm/0000003FJV>

(26.5.2022.)

Snimka nastala termalnom kamerom

<https://uavcoach.com/thermal-drones/> (26.5.2022.)

Snimka nastala LiDAR senzorom

<https://www.microdrones.com/en/content/5-compelling-applications-for-lidar-technology/> (26.5.2022.)

8. POPIS TABLICA

Tablica 1. Kemijski sastav mandarine (Kaleb, 2014.)

Tablica 2. RGB spektar, spektralni indeksi i topografski indeksi

Tablica 3. Pogodnost za uzgoj mandarina (vlastiti izvor)

9. POPIS SLIKA

Slika 1. Primjena bespilotnih zrakoplova za planiranje sjetve

Slika 2. Vidljivi dio spektra

Slika 3. Refleksija svjetlosti od biljke

Slika 4. Quadcopter

Slika 5. Bespilotni zrakoplov sa fiksnim krilima

Slika 6. Bespilotni zrakoplov s jednim rotorom pogonjen elektromotorom

Slika 7. Hibridni bespilotni zrakoplov

Slika 8. RGB senzor

Slika 9. Hiperspektralni senzor

Slika 10. Snimka nastala termalnom kamerom

Slika 11. Snimka nastala LiDAR senzorom

Slika 12. Korelacijski koeficijenti mjesečnih anomalija činitelja (varijable okoline i NDVI) i prinosa odabranih usjeva tijekom ciklusa rasta

Slika 13. Razlike u refleksiji biljnog pokrova riže sa različitim udjelom dušika u kritičnim dijelovima razvoja 2015 (A) i 2016 (B) godine, gdje N0, N3, N5.5, N8.5, N11, N14, N16.5 i N19.5 predstavljaju količinu dušika od 0, 45, 83, 128, 165, 210, 248 i 293 kg N ha⁻¹

Slika 14. Refleksije biljnog pokrova u različitim fenološkim fazama 2015.(A) i 2016.(B) godine sa različitim udjelom dušika

Slika 15. Korelacija između LAI indeksa i refleksije biljnog pokrova na valnim duljinama od 440 do 900 nm

Slika 16. Bespilotni zrakoplov Mavic 2 Pro

Slika 17. Crveni, zeleni i plavi spektar

Slika 18. Histogram NGRDI DN vrijednosti dobivenih u SAGA GIS programu

Slika 19. Histogram TGI DN vrijednosti dobivenih u SAGA GIS programu

Slika 20. Histogram BI DN vrijednosti dobivenih u SAGA GIS programu

Slika 21. Spektralni indeksi

Slika 22. Topografski indeksi

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad

Fakultet Agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

Klasifikacija potencijala pogodnosti za uzgoj mandarina na mikro razini promjenom bespilotnog zrakoplova

Marko Gelenčir

Sažetak:

U radu je obrađena primjena i važnost uporabe bespilotnih zrakoplova u poljoprivredi, kao i važnost određivanja pogodnosti pojedinog poljoprivrednog zemljišta. Obrađeni su osnovni oblici bespilotnih zrakoplova, kao i senzora koji se koriste na njima za snimanje poljoprivrednih zemljišta. Nadalje, analizirani su vegetacijski indeksi korišteni u istraživačkom radu, te je opisan postupak izračunavanja vegetacijskih indeksa, topografskih indeksa, te nenadzirane klasifikacije nasada mandarina. Rezultati rada ukazuju na zadovoljavajuće vrijednosti pri uzgoju mandarina u Neretvanskoj dolini.

Rad je izrađen pri: Fakultet Agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: prof.dr.sc. Mladen Jurišić

Broj stranica: 47

Broj slika: 22

Broj tablica: 3

Broj literaturnih navoda: 54

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: bespilotni zrakoplov, vegetacijski indeks, topografski indeks, nenadzirana klasifikacija

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof.dr.sc. Mladen Jurišić
2. izv.prof.dr.sc. Ivan Plaščak
3. prof.dr.sc. Irena Rapčan

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta Agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilištu u Osijeku, Vladimira Preloga 1

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Graduate thesis

Faculty of Agrobiotechnical sciences Osijek

University Graduate Studies, course Mechanization

Classification of tangerine cultivation suitability on a micro-scale using an unmanned aerial vehicle

Marko Gelenčir

Abstract:

The paper deals with the application and importance of the use of unmanned aircraft in agriculture, as well as the importance of determining the suitability of individual agricultural land. The basic forms of unmanned aircraft are processed, as well as the sensors used on them to record agricultural land. Furthermore, the vegetation indices used in the research work were analyzed, and the procedure for calculating vegetation indices, topographic indices, and unsupervised classification of tangerine plantations was described. The results indicate satisfactory values in cultivation of tangerine in the Neretva valley.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical sciences Osijek

Mentor: prof.dr.sc. Mladen Jurišić

Number of pages: 47

Number of figures: 22

Number of tables: 3

Number of references: 54

Original in: Croatian

Key words: unmanned aircraft, vegetation index, topographic index, unsupervised classification

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. prof.dr.sc. Mladen Jurišić
2. izv.prof.dr.sc. Ivan Plaščak
3. prof.dr.sc. Irena Rapčan

Thesis deposited at: Livrary, Faculty of Agrobiotechnical sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1