

Analiza vegetacijskih indeksa za kartiranje u preciznoj gnojidbi

Lukadinović, Magdalena

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:151:469445>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**



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
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Magdalena Lukadinović

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

**ANALIZA VEGETACIJSKIH INDEKSA ZA KARTIRANJE U PRECIZNOJ
GNOJIDBI
Završni rad**

Osijek, 2020.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Magdalena Lukadinović

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Mehanizacija

**ANALIZA VEGETACIJSKIH INDEKSA ZA KARTIRANJE U PRECIZNOJ
GNOJIDBI**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu završnog rada:

1. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, predsjednik
2. Dorijan Radočaj, mag. ing. geod. et geoinf., mentor
3. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, član

Osijek, 2020.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Završni rad

Sveučilišni preddiplomski studij, smjer Mehanizacija

Analiza vegetacijskih indeksa za kartiranje u preciznoj gnojidbi

Magdalena Lukadinović

Sažetak:

Temelj precizne poljoprivrede je maksimalno iskorištavanje dostupnih resursa u svrhu povećanja količine i kvalitete poljoprivredne proizvodnje. Cilj ovog rada je pokazati optimalne mogućnosti primjene senzora za detekciju vegetacijskih indeksa kao i nove tehnologije u preciznoj gnojidbi. Ova metoda pruža mogućnost praćenja rasta usjeva i analizu topografskih obilježja terena s visokom površinskom razlučivosti i proizvoljnim vremenskim razdobljem prikupljanja podataka. Iz podataka prikupljenih snimanjem izrađuje se digitalna karta i model terena te se potom obrađuju u određenom GIS programu. Korištenjem podataka snimanja zasebno iz crvenog, zelenog i plavog spektralnog kanala te računanjem vegetacijskih indeksa, izrađuje se spektralna analiza poljoprivrednih usjeva.

Ključne riječi: soja, GIS, vegetacijski indeksi, bespilotna letjelica, precizna poljoprivreda

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek

Faculty of Agrobiotechnical Sciences in Osijek

BSc Thesis

Undergraduate university study, Mechanization

Analysis of vegetation indices for mapping in precision fertilization

Magdalena Lukadinović

Summary:

The foundation of precision agriculture is the maximum use of available resources in order to increase the quantity and quality of agricultural production. The aim of this paper is to show the optimal application of sensors for the detection of vegetation indices as well as new technologies in precision fertilization. This method provides the ability to monitor crop growth and analyze topographic terrain characteristics with high surface resolution and arbitrary time period of data collection. From the data collected by recording, a digital map and terrain model are made and then processed as specified in the GIS program. Using spectral data from the red, green and blue spectral channels and the calculation of vegetation indices, a spectral analysis of agricultural crops is performed.

Key words: Precision agriculture, sensors, vegetation indices, GIS

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Cilj rada	1
1.2. Pregled literature.....	1
1.3. Konvencionalna poljoprivreda	2
1.4. Precizna poljoprivreda	2
1.5. Precizna gnojidba	3
1.6. Daljinska istraživanja	5
2. VEGETACIJSKI INDEKSI I NJIHOVA PRIMJENA.....	6
2.1. Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI).....	7
2.2. Zeleni vegetacijski indeks normalizirane razlike (GNDVI).....	9
2.3. Vodeni indeks normalizirane razlike (NDWI)	9
2.4. Ostali vegetacijski indeksi	10
3. SENZORI U DALJINSKIM ISTRAŽIVANJIMA	13
3.1. Glavne odlike senzora	14
3.2. Podjela senzora	15
3.3. Fotografska kamera	15
3.4. Termalna kamera	15
3.5. Multispektralna kamera	16
3.6. Hiperspektralna kamera	16
3.7. Mikrovalni senzori.....	16
3.8. Optički LIDAR senzori	16
4. PRIMJENA VEGETACIJSKIH INDEKSA U PRECIZNOJ GNOJIDBI	18
4.1. Ispitivanje svojstava tla	18
4.2. AgLeader OptRx senzor	20
4.3. Satelit LANDSAT 8	23
4.4. Беспилотни зракоплов Sensefly eBee	25

5. POSTUPAK PRIKUPLJANJA I ANALIZE PODATAKA USJEVA KORIŠTENJEM BESPILOTNOG ZRAKOPLOVA	27
5.1. Prikupljanje podataka	27
5.2. Obrada i analiza podataka.....	28
6. ZAKLJUČAK.....	37
7. POPIS LITERATURE.....	39

1. UVOD

Uvođenjem GIS (Geografski informacijski sustav) i GNSS (Globalni navigacijski satelitski sustav) tehnologija u poljoprivrednoj mehanizaciji počela se razvijati nova grana – precizna poljoprivreda. Osnovna pretpostavka precizne poljoprivrede je veći broj informacija, kao i da preciznije informacije budu na raspolaganju poljoprivredniku prilikom donošenja odluka. Izravna usporedba višegodišnjih parametara dobivenih s parcela rezultirat će sve optimalnijom uporabom sredstava za rad i kemijskih sredstava čime će se povećati kvaliteta i kvantiteta proizvoda. GIS tehnologija pomaže kod ujedinjavanja podataka za analizu i planiranje proizvodnje, kao i kartografskog pregleda i informacija o tlu te uzgajanoj kulturi.

1.1. Cilj rada

Cilj ovog završnog rada je prikazati primjenu GIS-a u gnojidbi usjeva. Primjenom precizne poljoprivrede moguće je racionalnije aplicirati gnojivo što uvelike smanjuje potrošnju gnojiva, finansijskih sredstava, zagađenje okoliša, štedi vrijeme te povećava kakvoću i prinos uroda.

1.2. Pregled literature

Rapčan i sur. (2018.) navode važnost precizne poljoprivrede te sve beneficije koje ona nudi kako samom poljoprivredniku tako i društvu i okolišu. Jug (2016.) objašnjava definiciju konvencionalne poljoprivrede te njene pozitivne i negativne strane. Mandal (2000.) navodi sve aspekte daljinskih istraživanja, njenu primjenu te uređaje kojima se podaci mogu prikupiti, analizirati te prikazati u daljinskim istraživanjima. Vela i sur. (2017.) navodi definiciju vegetacijskih indeksa, podjelu vegetacijskih indeksa, vrste vegetacijskih indeksa, definicija valne duljine, dijelovi spektra te mnoge druge pojmove neophodne za primjenu precizne poljoprivrede. Kovačić (2019.) iz svog diplomskog rada navodi vrste kamera za preciznu gnojidbu te neke senzore koji se mogu ugraditi u vučene agregate ili na traktor. Za pobliži prikaz kartiranja te analize podataka prikazuje nam internetska stranica SenseFly sa svojim dronovima namjenjenim za snimanje Zemljine površine te aplikacijom za obradu prikupljenih slika i podataka.

1.3. Konvencionalna poljoprivreda

Jug (2016.) navodi da potrebom mehanizacije, sredstava za zaštitu bilja, mineralnih gnojiva, koncentrata, novostvorenih sorti i pasmina i velike količine energije postižu se vrlo visoki prinosi, što čini konvencionalnu poljoprivredu. U biljnoj proizvodnji tlo prestaje biti jedini supstrat za uzgoj bilja (hidroponski uzgoj, aeroponski uzgoj, itd), a u stočarskoj proizvodnji uzgoj nesilica u kavezima (primjena hormona i antibiotika), uzgoj pilića bez kvočke itd. Ovakvim pristupom konvencionalna proizvodnja je dovela do niza negativnih pojava koje su se reflektirale na okoliš, a samim tim i na ljudsko zdravlje. Poslije industrije i prometa, konvencionalni način proizvodnje je jedan od najvećih onečišćivača okoliša koji ujedno predstavlja i uzrok degradacije okoliša: smanjenje organske tvari, gubitak biološke raznolikosti, erozija tla, zaslanjivanje tla, acidifikacija tla, eutrofikacija voda, itd.



Slika 1. Zaštita bilja u konvencionalnoj poljoprivredi (Izvor: Sigurnost hrane <https://sigurnosthrane.blogspot.com>)

1.4. Precizna poljoprivreda

Rapčan i sur. (2018.) navode da primjena precizne poljoprivrede podrazumjeva uštedu vremena, mineralnih gnojiva, financijskih sredstava, a povećava prinos i kakvoću uroda. Za provedbu postupaka precizne poljoprivrede (precizna gnojidba, prihrana, zaštita itd.) potrebno je prikupiti točne podatke, kvalitetno ih obraditi i na kraju provesti postupke aplikacije potrebnih radnji u polju. Prikupljanje podataka podrazumijeva kartiranje prinosa, uzimanje uzoraka tla i njihovu analizu, mjerenje heterogenosti tla po mehaničkom sastavu tla, kiselosti, elektrokonduktivnosti itd., utvrđivanje prisustva korova, mjerenje broja štetnika, utvrđivanje zdravstvenog stanja usjeva i utvrđivanje stupnja ishranjenosti. Osnovni cilj precizne poljoprivrede je povećati broj preciznih informacija u realnom vremenu kako bi

bile na raspolaganju poljoprivredniku prilikom donošenja odluka. Izravna usporedba višegodišnjih parametara dobivenih s parcela rezultira sve svrsihodnijom, argumentiranom i optimalnom upotrebom sredstava za rad, smanjenjem nepovoljnih utjecaja na okoliš te povećanjem količine i kakvoće proizvoda. Naime, poljoprivreda se treba podjednako ravnati i po ekonomskim i po ekološkim zahtjevima, a neke od njih navode Jurišić i Plaščak (2009.): učinkovita upotreba sirovina (gnojiva, sredstava za zaštitu bilja, stočna hrana); smanjenje štetnog opterećenja ekosustava (primjerice nitrati, pesticidi...); prikladan uzgoj životinja; stvaranje ciklusa recikliranja (prirodni plin i kompostiranje); proizvodnja obnovljivih nositelja energije (sadnja energetskih biljaka, biološka goriva) te briga o krajoliku.



Slika 2. Primjena drona u preciznoj poljoprivredi (Izvor: DronTim

<https://drontim.hr/usluge/precizna-poljoprivreda/>)

1.5. Precizna gnojidba

Precizna gnojidba je suvremena tehnika gnojidbe gdje se točno prema uzorcima tla određuje potrebna količina gnojiva za određeni dio poljoprivredne površine. Cilj uvođenja precizne gnojidbe je racionalizirati primjenu gnojiva. Korištenjem precizne poljoprivrede smanjuju se troškovi i povećava učinkovitost gnojidbe. Uporabom GIS tehnologije omogućuje se doziranje određene količine gnojiva koja je stvarno potrebna na točno određenom dijelu proizvodne površine.

Racionalna, ekonomski isplativa primarna organska proizvodnja podrazumijeva primjenu gnojiva u količinama koje odgovaraju potrebama i stanju biljaka (usjeva, povrća, nasada), plodnosti tla, profitabilnosti rada i uloženi sredstava te istovremeno vodi računa o

vremenskim uvjetima, okolišu i prinosu. Kvaliteta ili „zdravlje“ tla je njegovo najvažnije svojstvo kojeg određuju brojni biološki, klimatski i zemljišni činitelji, a isti utječu na visinu prinosa i njegovu kakvoću. Bez adekvatne gnojidbe nema visokih i stabilnih prinosa, potrebite kvalitete proizvoda, niti profitabilnosti pa se gnojidba opravdano smatra najvažnijom agrotehničkom mjerom u primarnoj organskoj produkciji. Za krajnje konzumente kvaliteta tla znači obilnu, zdravu i jeftinu hranu za postojeće i buduće generacije. Nakon što se donese odluka o primjeni precizne poljoprivrede i smanjenju troškova proizvodnje hrane uz ekološki utjecaj na prirodu i okoliš, prioritetna zadaća koja se nameće je provedba analize tla. Time se dobivaju korisne informacije o značajkama i najboljim svojstvima tla za proizvodnju te koliko se repromaterijala treba uložiti kako bi isto dalo najbolje rezultate. Rast, razvitak i tvorbu prinosa uz dobru kvalitetu hrane osigurava tlo kao supstrat biljne ishrane i izvor većine od 16 neophodnih elemenata. To je vrlo kompleksan sustav koji čine kruta, tekuća, plinovita i živa faza od kojih svaka utječe na raspoloživost biljnih hraniva. Uz to, tlo nije nipošto nepresušan resurs i ne osigurava prirodnim procesima dovoljnu količinu hraniva za visoke prinose pa je potrebno gnojidbom vratiti urodnom iznesene elemente ili na drugi način nadoknaditi izgubljena hraniva za ishranu bilja (kemijska, biološka, fizička fiksacija, ispiranje, denitrifikacija i dr.). Prema tome, bez vraćanja elemenata ishrane u tlo, odnosno gnojidbe, tlo siromaši i prinos pada. Precizan proračun iznošenja i unošenja hraniva u tlo, praćenje visine prinosa i redovite analize tla mogu pomoći u planiranju i proračunu potrebne gnojidbe. Preporuka gnojidbe mora imati za podlogu fizikalno-kemijske podatke analize tla, a izračun potrebne doze mora uvažavati profitabilnost, planirani, odnosno realno mogući prinos, specifične potrebe biljne vrste i potencijal plodnosti tla. Svaka improvizacija, uključujući subjektivnu vizualnu procjenu, najčešće rezultira smanjivanjem prinosa i kvalitete usjeva, odnosno zarade. U rješavanju ove problematike može se očekivati brz napredak samo uz primjenu računalne tehnologije, korištenjem interpretacijskih baza podataka o svim relevantnim svojstvima tla te bilanciranjem hraniva ovisno o različitim agrološkim uvjetima proizvodnje (Reetz, 2016.).



Slika 3. Povezanost rukovoditelja s radnom opremom za preciznu poljoprivredu (Izvor: AgroBiz <https://www.agrobiz.hr/agrovijesti>)

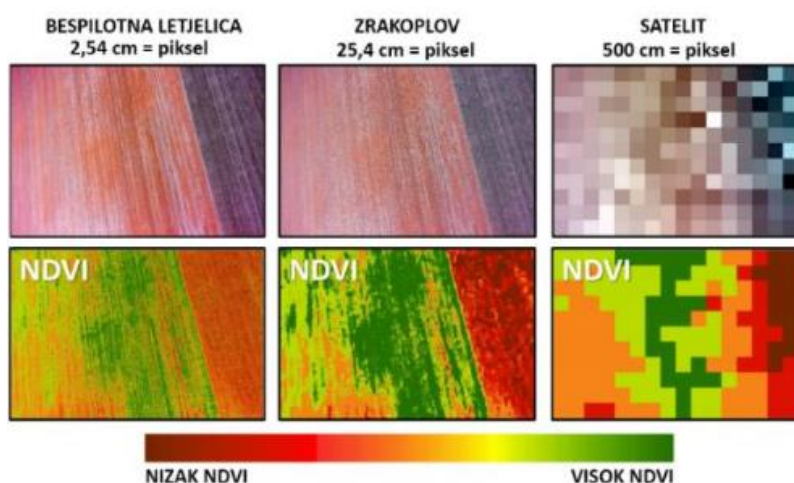
1.6. Daljinska istraživanja

Mandal (2000.) navodi da daljinska istraživanja (eng. *Remote sensing*) obuhvaćaju vidljive i nevidljive karakteristike poljoprivredne površine ili više poljoprivrednih površina i pretvaraju točke mjerenja u kontinuirani niz prostornih podataka. Ovom tehnikom istraživanja omogućeno je praćenje dinamičnih promjena tla i biljke tijekom sezone. Vizualne observacije snimaju se kroz digitizirajući uređaj koji je geo-referenciran prilikom ulaska u GIS bazu podataka. Aereo slike i videozapisi se također mogu koristiti u preciznoj poljoprivredi. Satelitske slike su također bitne u utvrđivanju obrađivanih poljoprivrednih površina, te ovisno o izvoru snimke s određenim postotkom sigurnosti utvrđuju karakteristike određene parcele. U preciznoj poljoprivrednoj proizvodnji se najčešće koriste snimke prikupljene putem satelita Landsat 8 i Sentinel-2.

2. VEGETACIJSKI INDEKSI I NJIHOVA PRIMJENA

Vegetacijski indeksi su podaci koji se računaju iz različitih kanala multispektralnih snimki na temelju apsorpcije, transmisije i refleksije energije vegetacije u različitim spektralnim kanalima. Ponajprije služe kao indikator procjene aktivnosti vegetacije na promatranom području. Vegetacijski indeksi na području s vegetacijom pokazuju veće vrijednosti piksela nego na područjima bez nje. Zahvaljujući karakterističnom spektralnom potpisu biljaka moguće je dobiti vegetacijski indeks kombinacijom snimki iz više različitih spektralnih područja. Klorofil u biljkama jako apsorbira valne duljine u crvenom i plavom dijelu spektra, a odbija zeleno svjetlo. Vegetacijski indeksi predstavljaju bezdimenzionalnu radiometrijsku mjeru, koja se dobiva kombinacijom informacije iz različitih kanala gdje se uglavnom upotrebljavaju crveni i bliskoinfracrveni (eng. *Near Infrared* – NIR) dio elektromagnetskog spektra. Na formiranje bilo kojeg vegetacijskog indeksa utječu sljedeći parametri: mjera elektromagnetskog zračenja vegetacije, količina zelenog pokrivača, količina klorofila u biljci, količina biomase, upijanje fotosintetičke aktivnosti radijacije (eng. *Absorbed Photosynthetic Active Radiation* – APAR), radijacija indeksa lista.

Pojedini vegetacijski indeksi mogu pružiti više korisnih informacija o pojedinom vegetacijskom parametru u odnosu na druge, ipak niti jedan od dvadesetak vegetacijskih indeksa koji se danas uglavnom koriste ne daje savršene rezultate za sve vegetacijske parametre. Zbog toga izbor vegetacijskog indeksa treba prilagoditi potrebama prilikom praćenja određenih biljnih svojstava (Vela E. i sur., 2017.).



Slika 4. Usporedba primjene vegetacijskog indeksa NDVI na snimke snimljene bespilotnim zrakoplovom, zrakoplovom i satelitom (Izvor: Krevh (2018.))

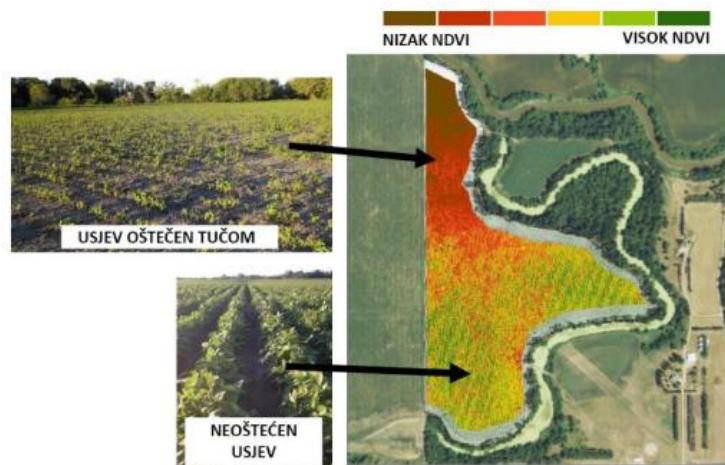
Tijekom prikupljanja podataka, na sam izračun vegetacijskog indeksa utječe nekoliko faktora vezanih uz samu vegetaciju i atmosferske uvjete. Neki od njih su unutarnja struktura lišća pri čemu se prvenstveno misli na količinu klorofila u listu, količina vode u lišću, mikro konstrukcija promatranog područja te tipovi tla. Ovi faktori direktno ukazuju na kvalitetu i raznolikost promatranog područja te eventualnu pojavu oboljenja. Što se tiče osnovnih atmosferskih faktora koji utječu na vegetacijske indekse to su kut upada Sunčevih zraka, kut prikupljanja podataka senzorom te količina vodene pare u zraku. Kako bi se uklonio utjecaj atmosferskih faktora potrebno je posjedovati senzore za njihovo trenutno određivanje čime se ostvaruje preduvjet za kalibraciju prikupljenih snimaka za iste.

Vegetacijski indeksi pogodni su za praćenje vremenskih promjena vegetacije, vegetacijskog pokrova, rano otkivanje bolesti nasada, procjene uroda kao i za preciznu poljoprivredu. Nakon snimanja i obrade podataka, kartu vegetacijskog indeksa je moguće uvesti u navigacijski sustav u traktoru te na temelju nje lokalizirano tretirati dijelove nasada s manjim vegetacijskim indeksom u svrhu poboljšanja kvalitete navedenih dijelova nasada, što pridonosi uštedi u potrošnjirepromaterijalate poboljšanju uroda (Sito i sur., 2015.).

2.1. Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI)

Klorofil najviše upija crvenu svjetlost, a reflektira zelenu. Refleksija u blisko infracrvenom području je jako izražena kod vegetacije te je upravo zato vrlo pogodna za istraživanja. Blisko infracrveno područje je prijelazno područje spektra te je baza za računanje različitih značajki vegetacije to jest indeksa vegetacije koji su alat u postupku detekcije i klasifikacije. Jedan od najpoznatijih indeksa je vegetacijski indeks normalizirane razlike (eng. *Normalized Difference Vegetation Index*) (Harbaš, 2014.).

Radi određivanja gustoće zelenila na promatranj površini, potrebno je uzeti u obzir različite valne duljine vidljivog i blisko infracrvenog Sunčevog zračenja reflektiranog s biljaka. U trenutku interakcije Sunčevog zračenja s biljkom pigmenti u listovima (klorofili) apsorbiraju vidljivu svjetlost (od 0,4 do 0,7 μm) za potrebe fotosinteze. Reflektiranje blisko infracrvene svjetlosti je posljedica interakcije sa strukturom stanice lista (od 0,7 do 1,1 μm). Što je veći broj listova, veći je utjecaj na valne duljine svjetla (Rumora L. i sur., 2016.).



Slika 5. Primjena vegetacijskih indeksa u procjeni štete nanosene tučom (Izvor: Krevh (2018.))

Temeljem blisko infracrvenih i crvenih valnih duljina određuje se relativna količina vegetacije. Ako postoji više reflektirane energije u blisko infracrvenom spektru od one u vidljivom dijelu spektra, tada je vegetacija u tom pikselu gušća (Rumora i sur., 2016.). Takvo mjerenje refleksije u blisko infracrvenom i crvenom vidljivom dijelu spektra precizan je mehanizam za određivanje zdravlja same vegetacije. Pomoću indeksa mogu se pratiti sezonske i višegodišnje vegetacijske promjene (Vela E. i sur., 2017.).

Na NDVI utječe i velik broj drugih čimbenika, poput atmosferskih prilika, skala snimke, vlage vegetacije i tla, ukupnog pokrova vegetacije, razlike u tipu tla, itd. NDVI ima manju osjetljivost na promjene u samoj količini vegetacije. Povećanjem zelene vegetacije promjene u NDVI-u se sve više smanjuju. Iz tog razloga, prilikom visokih vrijednosti NDVI-a mala promjena u NDVI-u može predstavljati veliku promjenu u vegetaciji. Takav tip osjetljivosti problematičan je u analizi velikog područja s velikom količinom fotosintetski aktivne vegetacije (Rumora L. i sur., 2016.).

Izraz po kojem se računa NDVI iz refleksije svjetlosti u vidljivom i blisko infracrvenom spektru glasi:

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

gdje je *NIR* dio spektra $\lambda \approx 0,8 \mu\text{m}$, a *RED* dio spektra $\lambda \approx 0,6 \mu\text{m}$ (Vela E. i sur., 2017.).

2.2. Zeleni vegetacijski indeks normalizirane razlike (GNDVI)

Zeleni vegetacijski indeks normalizirane razlike (eng. *Green Normalized Difference Vegetation Index* – GNDVI) umjesto crvenoga kanala, kao kod NDVI-a, upotrebljava zeleni kanal. Zeleni kanal se nalazi u velikoj korelaciji s vegetacijskim parametrima. Zeleni dio spektra je osjetljiviji na klorofil od crvenog dijela spektra. Iz navedenog razloga, nastao je GNDVI jer pokazuje veću korelaciju s indeksom površine lista (eng. *Leaf Area Index* – LAI) od NDVI-a (Vela E. i sur., 2017.):

$$GNDVI = (NIR - GREEN) * (NIR + GREEN)$$

2.3. Vodeni indeks normalizirane razlike (NDWI)

Vodeni indeks normalizirane razlike (eng. *Normalized Difference Water Index* – NDWI) razvijen je od strane Stuart K. McFeeters-a kako bi maksimizirao refleksiju vode koristeći zeleni dio spektra i smanjujući refleksiju NIR-a na vodenim površinama. Ovaj vegetacijski indeks također koristi prednosti visoke refleksije u NIR dijelu elektromagnetskog spektra za vegetaciju i tlo:

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

U navedenoj formuli GREEN je zeleni kanal ($1 \approx 0,5 \mu\text{m}$), a NIR blisko infracrveni kanal. Za vodene površine vrijednosti indeksa su pozitivne, a za vegetaciju i tlo su uglavnom nula ili negativne što daje dobar kontrast pri detekciji vodenih površina. Voda i vegetacija imaju istu refleksiju u vidljivom dijelu spektra, a u infracrvenom dijelu spektra potpuno različitu (Vela E. i sur., 2017.).

Vegetacijski indeks prilagođen tlu (SAVI)

U područjima s izraženijim površinama tla to jest površinama s manje biljnog pokrova, refleksija svjetlosti u crvenom i infracrvenom dijelu spektra može znatno utjecati na vrijednosti vegetacijskog indeksa. Iz tog razloga je razvijen vegetacijski indeks prilagođen tlu (eng. *Soil Adjusted Vegetation Index* – SAVI) koji je zapravo modificirani NDVI. SAVI se primjenjuje kada je potrebno otkloniti utjecaj tla na snimci sa smanjenim vegetacijskim pokrovom:

$$SAVI = \frac{(1 + L) * (NIR - RED)}{NIR + RED + L}$$

gdje je L faktor prilagođavanja pozadini lišća koji se upotrebljava za postupni prestanak diferencijalnog crvenog i blisko infracrvenog učinka kroz listove biljaka (Vela E. i sur., 2017.).

Poboljšani vegetacijski indeks (EVI)

Poboljšani vegetacijski indeks (eng. *Enhanced Vegetation Index* –EVI) razvijen je od strane znanstvenog tima MODIS (eng. *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), kako bi se iskoristile sve prednosti senzora. Sličan je NDVI-ju, međutim EVI upotrebljava i plavi kanal kako bi se poboljšala osjetljivost vegetacijske refleksije. EVI je modificirani NDVI s povećanom osjetljivošću na područjima visoke biomase s minimalnim utjecajem tla. Iz razloga što koristi plavi dio spektra, ograničen je na dizajn pojedinih senzora i limitiran na vremenski period:

$$EVI = G * \left(\frac{NIR - RED}{NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L} \right)$$

gdje su: NIR, RED, BLUE – atmosferski korigirana refleksija; C1 i C2 – koeficijenti koji se odnose na korekciju aerosoli; G – faktor poboljšanja; L – faktor tla. Ovaj indeks je osjetljiviji pri visokim koncentracijama biomase, te poboljšava mogućnosti praćenja vegetacije kroz reduciranje utjecaja pozadine listova (Vela E. i sur., 2017.).

2.4. Ostali vegetacijski indeksi

Izbor korištenog vegetacijskog indeksa potrebno je prilagoditi potrebama praćenja biljnih svojstava. Određeni vegetacijski indeksi mogu pružiti više traženih informacija o pojedinom vegetacijskom parametru u odnosu na druge, no unatoč tome, niti jedan vegetacijski indeks koji se danas koristi ne daje savršene rezultate za sve vegetacijske parametre.

Popis ostalih najkorištenijih vegetacijskih indeksa (L3Harris Geospatial Solutions <http://www.harrisgeospatial.com/docs/vegetationindices.html>):

- DVI, eng. *Difference Vegetation Index*

Ovaj indeks razlikuje tlo i vegetaciju, ali ne uzima u obzir razliku između refleksije i sjaja uzrokovanih atmosferskim učincima ili sjenama.

$$DVI = NIR - RED$$

- GDVI, eng. *Green Difference Vegetation Indeks*

Ovaj indeks izvorno je osmišljen pomoću infracrvene fotografije u boji kako bi predvidio potrebe za dušikom za kukuruz.

$$GDVI = NIR - GREEN$$

- NG, eng. *Normalized Green*

$$NG = GREEN / (NIR + RED + GREEN)$$

- NR, eng. *Normalized Red*

$$NR = RED / (NIR + RED + GREEN)$$

- NNIR, eng. *Normalized Near Infrared*

$$NNIR = NIR / (NIR + RED + GREEN)$$

- RVI, eng. *Ratio Vegetation Index*

$$RVI = NIR / RED$$

- GRVI, eng. *Green Ratio Vegetation Indeks*

Ovaj indeks osjetljiv je na stope fotosintetike u šumskim krošnjama, jer zelene i crvene refleksije snažno utječu na promjene u pigmentima lišća.

$$GRVI = NIR / GREEN$$

- GARI, eng. *Green Atmospherically Resilient Indeks*

Ovaj je indeks osjetljiviji na širok raspon koncentracija klorofila i manje je osjetljiv na atmosferske učinke od NDVI.

$$GARI = (NIR - (GREEN - \gamma(BLUE - RED))) / (NIR + (GREEN - \gamma(BLUE - RED)))$$

GEMI, eng. *Global Environmental Monitoring Indeks*

Ovaj se nelinearni vegetacijski indeks koristi za globalno nadgledanje okoliša pomoću satelitskih snimaka i pokušaje ispravljanja atmosferskih utjecaja. Sličan je NDVI, ali je manje osjetljiv na atmosferske učinke. Na njega utječe golo tlo stoga se ne preporučuje uporabu na područjima rijetke ili umjereno guste vegetacije.

$$GEMI = \eta * (1 - 0,25 * \eta) - \left(\frac{RED - 0,125}{1 - RED} \right)$$

$$\eta = [2 * (NIR^2 - RED^2) + 1.5 * NIR + 0.5 * RED] / (NIR + RED + 0.5)$$

VIgreen (VIg), eng. *Vegetation Index Green*

$$VIg = (GREEN - RED) / (GREEN + RED)$$

VARIgreen (VARIg), eng. *Vegetation Index Green*

Ovaj se indeks temelji na ARVI i koristi se za procjenu udjela vegetacije u prizoru s niskom osjetljivošću na atmosferske učinke.

$$VARIg = (GREEN - RED) / (GREEN + RED - BLUE)$$

MSAVI2, eng. *Modified Soil Adjusted Vegetation Spectral Index*

Ovaj indeks predstavlja jednostavniju verziju MSAVI indeksa koja se poboljšava indeksom vegetacije prilagođenom zemljištu (SAVI). Smanjuje buku tla i povećava dinamički raspon vegetacijskog signala. MSAVI2 temelji se na induktivnoj metodi koja ne koristi konstantnu vrijednost L (kao kod SAVI) za isticanje zdrave vegetacije.

$$MSAVI2 = [2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED)}] / 2$$

OSAVI, eng. *Optimized Soil Adjusted Vegetation Indeks*

Ovaj indeks temelji se na indeksu vegetacije prilagođenom zemljištu (SAVI). Koristi standardnu vrijednost 0,16 za faktor podešavanja pozadine nadstreška. Rondeaux (1996.) utvrdio je da ta vrijednost osigurava veću varijabilnost tla od SAVI za pokrov niske vegetacije, istodobno pokazujući povećanu osjetljivost na vegetacijski pokrivač veći od 50%. Ovaj indeks najbolje se koristi u područjima s relativno rijetkom vegetacijom, gdje je tlo vidljivo kroz krošnja.

$$OSAVI = [(NIR - RED) / (NIR + RED + L)] * (1 + L);$$

$$L=0,16$$

GSAVI, eng. *Green Soil Adjusted Vegetation Indeks*

Ovaj indeks izvorno je osmišljen pomoću infracrvene fotografije u boji kako bi se predvidio zahtjevi za nitrogrenom za kukuruzom. Slično je sa SAVI-jem, ali zeleni pojas zamjenjuje crvenim.

$$GSAVI = [(NIR - GREEN) / (NIR + GREEN + L)] * (1 + L);$$

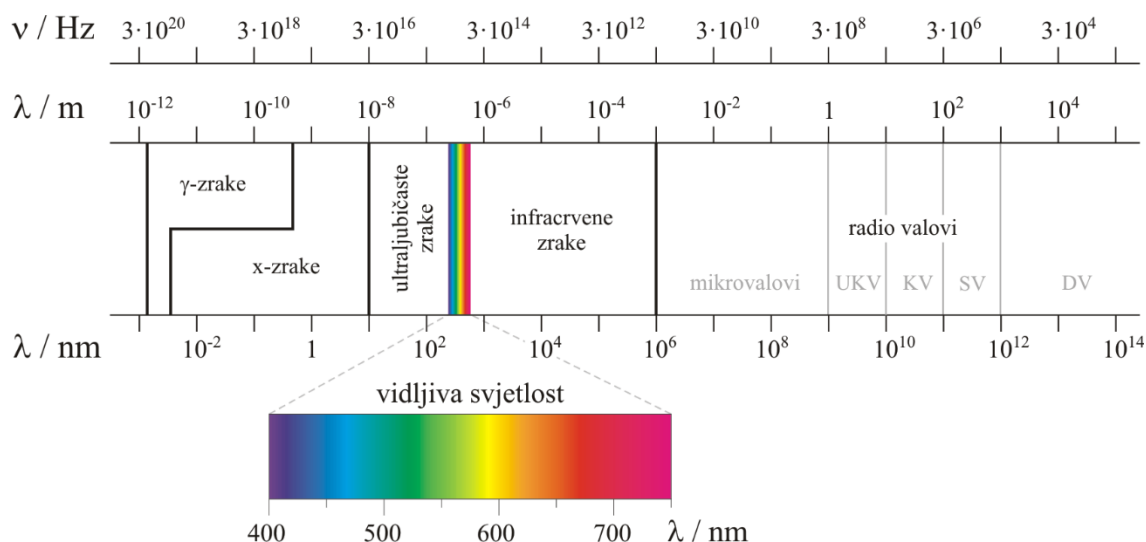
$$L = 0.5$$

3. SENZORI U DALJINSKIM ISTRAŽIVANJIMA

Daljinska istraživanja su znanost o istraživanju Zemljine površine, objekata i fenomena bez izravnog doticaja s njima. Senzori su glavni uređaji u daljinskim istraživanjima za otkrivanje, registraciju i jerenje elektromagnetskog zračenja što ga emitira ili reflektira objekt promatranja. Senori konvertiraju zabilježenu elektromagnetsku energiju u električne impulse, a izgrađeni su tako da mogu snimati uže ili šire spektralno područje. Elektromagnetski spektar predstavlja raspon svih mogućih frekvencija elektromagnetskog zračenja od radiovalova do gama zraka. Raspon elektromagnetskog spektra kreće se od gama zraka kraćih valnih duljina prema dužim radiovalovima. Ultraljubičasti dio spektra najkraća je vrijednost valne duljine se upotrebljava u daljinskim istraživanjima. Može se podijeliti ovisno o energiji, valnoj duljini i frekvenciji, a sve tri veličine matematički su vezane. U daljinskim istraživanjima koriste se vidljivi, infracrveni i mikrovalni dijelovi elektromagnetskog spektra. Ljudsko oko detektira vidljiv dio spektra od 0,4 μm do 0,7 μm koji zauzima mali dio sveukupnog spektra:

- Ljubičasta: 0,4 μm – 0,446 μm
- Plava 0,446 μm – 0,500 μm
- Zelena 0,500 μm – 0,578 μm
- Žuta 0,578 μm – 0,592 μm
- Narančasta 0,592 μm – 0,620 μm
- Crvena 0,620 μm – 0,7 μm

Nakon vidljivog dijela spektra slijedi infracrveni (eng. *Infra Red* – IR) dio spektra koji obuhvaća valne duljine od 0,7 μm do 100 μm . Taj dio spektra može se podijeliti na dva dijela: reflektirani IR (0,7 – 3,0 μm) i termalni IR (3,0 – 100 μm) (Vela E. i sur., 2017.).



Slika 6. Valne duljine svjetlosti (Izvor: Kemijski riječnik

<https://glossary.periodni.com/rjecnik>)

3.1. Glavne odlike senzora

Osjetljivost - predstavlja vrijednost promjene izlazne veličine pri promjeni izmjerene vrijednosti, npr. u električnom mjernom instrumentu. Ako se na pomak od 0,1 mm na izlazu stvara promjena napona od 0,1 V, tada je osjetljivost senzora 1 V/mm. Senzori, koji služe za mjerenje malih promjena, a moraju imati veliku osjetljivost.

Linearnost - idealni senzori projektirani su da budu linearni, tj. izlazni signal senzora linearno je proporcionalan vrijednosti izmjerene. Ipak, linearnost se teško postiže i devijacije od idealnog nazivaju se linearne tolerancije. Linearnost se izražava kao postotak odstupanja od linearne vrijednosti, tj. maksimalno odstupanje izlazne krivine u odnosu na liniju koja najbolje odgovara jednom kalibracijskom ciklusu, ona je povezana sa točnošću senzora.

Preciznost - obično se određuje pomoću apsolutne i relativne greške. Pod apsolutnom greškom podrazumijeva se razlika između stvarne vrijednosti mjerene veličine i rezultata mjerenja (izlazne vrijednosti senzora). Pod relativnom greškom podrazumijeva se odnos apsolutne greške prema stvarnoj vrijednosti. Relativna greška često se izražava u postocima.

Rezolucija signala - predstavlja najmanju promjenu vrijednosti koju senzor može prepoznati u mjerenoj količini. Rezolucija je povezana sa preciznošću mjerenja i ona predstavlja sposobnost senzora da reproducira određeni set očitavanja u okviru date točnosti.

3.2. Podjela senzora

Prema načinu snimanja elektromagnetske energije senzori se dijele:

- na aktivne senzore, koji šalju energiju prema objektu i registriraju dio koji se odbio i
- na pasivne senzore, koji samo primaju energiju što dolazi od objekta.

Prema broju i širini spektralnog kanala senzori mogu biti:

- pankromatski (mjere refleksije u jednom široko dijelu elektromagnetskog spektra unutar širokog raspona valnih duljina),
- multispektralni (mjere energiju u višekanalnom detektoru i uskom rasponu valnih duljina)
- hiperspektralni (sadrže više od 100 spektralnih kanala)
- ultraspektralni (još su u razvoju)

Klasifikacija senzora po specifikaciji karakteristika: osjetljivost, linearnost, mjerno područje, stabilnost, točnost, selektivnost, brzina odziva, zona neosjetljivosti, životni vijek, cijena, veličina i težina. Prema načinu detekcije: mehaničke, kemijska reakcija, zračenje – radioaktivnost, toplina, temperatura, električni, magnetski ili elektromagnetski. Klasifikacija senzora po materijalu od koga su načinjeni: neorganski ili organski, provodnici ili izolatori, poluprovodnici, biološki supstrat i plazma (Vela E. i sur., 2017.).

3.3. Fotografska kamera

Fotografska kamera je dugi niz godina bila najvažniji instrument u daljinskim istraživanjima te se ujedno smatra i kao najstariji senzor za takva istraživanja. Jedna od tehnika izdvajanja reflektiranog zračenja je pseudo-kolor tehnika te je često korištena za ovakav tip senzora (Oluić, 2001.).

3.4. Termalna kamera

Termalne kamere opažaju zračenje u infracrvenom području elektromagnetskog spektra (u granicama od približno 0,9-14 μm). Infracrveno zračenje emitiraju sva tijela ovisno o njihovoj temperaturi, a prema zakonu zračenja crnog tijela, termografija omogućava promatranje okoline bez vidljivog osvjetljenja. Gledani termalnom kamerom, topli predmeti se ističu u odnosu na hladniju pozadinu (Šišić, 2013). Snimanje termalnim kamerama smatra se beskontaktnom metodom mjerenja temperature i njezine raspodjele na površini tijela. Metoda je temeljena na mjerenju intenziteta infracrvenog zračenja s površine promatranog

tijela. Elektroničkim putem stvara se termalna slika promatranog objekta u realnom vremenu u termalnoj kameri, a tu se jedan dio spektra elektromagnetskih valova oku nevidljiv mijenja u oku vidljivo područje. Dobivenu sliku moguće je analizirati kao emitiranu toplinsku energiju objekta, snagu zračenja prispjelu na detektor kamere (Petrović, 2016.).

3.5. Multispektralna kamera

Multispektralne kamere su sustavi za dobivanje simultanih snimaka u različitim spektralnim kanalima vidljivog i bliskog infracrvenog spektra. Mogu biti sastavljene od jednostruke ili višestruke kamere, prilagođene za sinkronizirano snimanje (Oluić, 2001.).

3.6. Hiperspektralna kamera

Daljinsko istraživanje sa hiperspektralnom kamerom podrazumijeva snimanje u puno spektralnih kanala diljem elektromagnetskog spektra, sadržavajući visoku spektralnu razlučivost. Za razliku od njih, multispektralne kamere nemaju tako visoku razlučivost, jer njihovi spektralni kanali obuhvaćaju šire područje. Iz navedenog razloga, hiperspektralne kamere pružaju puno više informacija od multispektralnih.

Za razliku od kamera koje registriraju energiju u vidljivom dijelu spektra te su postigle vrhunske prostorne razlučivosti u samo nekoliko stotinjaka grama, hiperspektralne kamere i dalje nisu na toj razini. Težina i dimenzije hiperspektralnih kamera su i dalje izazov u njihovom razvoju (Colomina i Molina, 2014.).

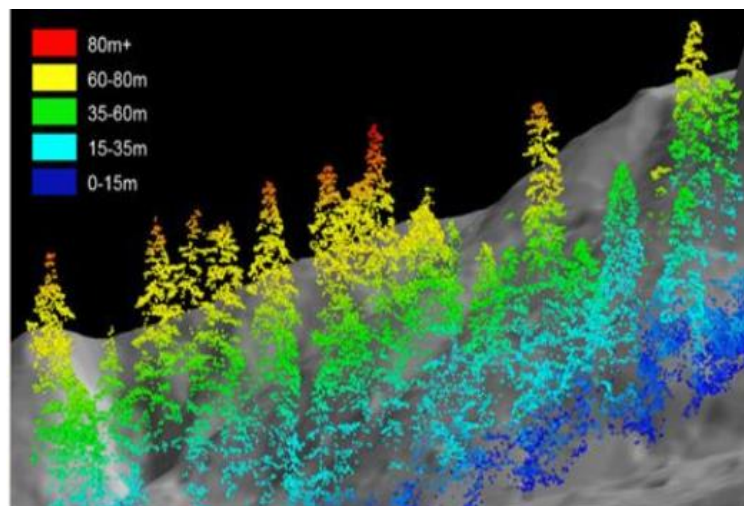
3.7. Mikrovalni senzori

Radarska snimanja pripadaju aktivnim uređajima za prikupljanje podataka, jer posjeduju vlastiti izvor energije koju odašilju, a reflektirani dio ponovno primaju. Emitirani elektromagnetski val određenog trajanja i frekvencije dolazi do objekta, koji je djelomično reflektiran i dolazi do sustava, gdje se prima, pojačava i obrađuje. Dio odaslane energije je raspršen po površini, a raspršivanje i reflektiranje ovisi o značajkama površine i sastavu objekta, sadržaju vlage u objektu, itd (Oluić, 2001.).

3.8. Optički LIDAR senzori

Lidar (engl. *Light Detection and Ranging*: svjetlosno zamjećivanje i klasifikacija) je optički mjerni instrument koji odašilje laserske zrake koje se odbijaju od vrlo sitnih čestica raspršenih u Zemljinoj atmosferi (aerosola, oblačnih kapljica i dr.) i potom registriraju u

optičkom prijammniku, obično teleskopu. Princip rada zasniva se na promjeni parametara optičkog signala sa promjenom fizičke veličine. Samim tim ovi senzori nemaju galvanske ili magnetne veze, već samo optičke. Zato se često nazivaju i optički senzori. Kod optičkih senzora postignuto je: galvansko odvajanje, zaštita od šumova, mogućnost mjerenja fizičkih veličina, kako u oblasti malih tako i u oblasti velikih vrijednosti, standardizacija izlaznog signala, visoka kvaliteta statičkih i dinamičkih karakteristika, itd. Ovi senzori se mogu upotrijebiti u svim uvjetima djelovanja jakog magnetnog polja, visoke temperature, električnih šumova i kemijske korozije, pa su mnogo fleksibilniji i pouzdaniji od klasičnih senzora. Loše osobine su: složenost izrade, obrade signala, zahtijevaju optičku vidljivost između prijemnika i predajnika, osjetljivost na mehaničke vibracije. Optički se senzori koriste za gotovo sve aplikacije bez kontaktne detekcije objekata s dugim dometom. Materijal objekta kojeg treba detektirati gotovo je nebitan. Na taj način pružaju izuzetno veliko područje primjene. (Kovačić D., 2019.)



Slika 7. Očitanje LIDAR senzora (Izvor: <https://velodynelidar.com/newsroom/>)

4. PRIMJENA VEGETACIJSKIH INDEKSA U PRECIZNOJ GNOJIDBI

4.1. Ispitivanje svojstava tla

Ispitivanje tla obavljamo pomoću raznih senzora i sonde. Senzori (sonde) koriste se prilikom mjerenja vlage i temperature tla, induktivnost tla, pH vrijednost tla. Postoje razne izvedbe senzora od kojih najveći značaj, zbog svog velikog učinka, imaju senzori izvedeni kao priključni strojevi tj. mobilne senzorske platforme (MSP). Ručni uređaji su među najrasprostranjenijim sensorima za mjerenje svojstva tla zbog svoje pristupačnosti. Odlikuju se fleksibilnošću i mogućnosti priključivanja raznih senzora za uređaj međutim nisu namijenjeni za korištenje na velikim površinama jer bi mjerenja zahtijevala velike napore. Uređaji izvedeni kao priključni strojevi ili samostalna oruđa koja za prikupljanje podataka o tlu koriste metode poput bez kontaktnih ili kontaktnih postupaka prikupljanja podataka imaju visoku nabavnu cijenu pa takvu opremu koriste samo veliki proizvođači. Mjerenje induktivnosti tla je mjerenje koliko tlo može provesti struje. To je učinkovit način za označavanje teksture tla jer manje čestice tla poput gline vode više struje od većih čestica, mulja i pijeska. Tvrtka Meter je razvila suvremeno rješenje za ispitivanje tla svojim uređajima koji imaju široki raspon mjerenja mogućnošću priključivanja pet različitih senzora u jedan uređaj koji radi samostalno u polju te odašilje podatke na Cloud. Takav način odašiljanja podataka nam omogućuje prikupljanje istih gdje god se nalazili uz pristup internetu. Mana ovog sustava je njegova stacionaranost. Uređaj prikuplja podatke samo sa mjesta na koji je postavljen, očitava podatke samo sa jednog dijela parcele.

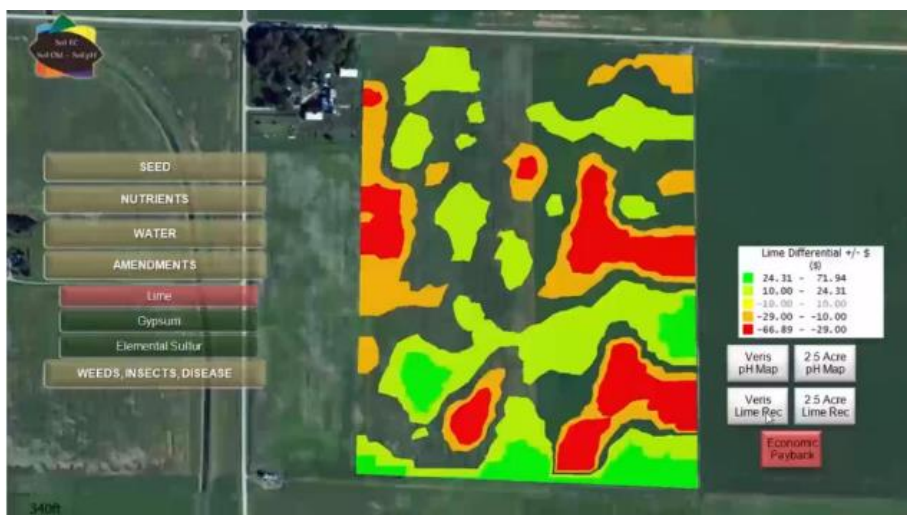
Mobilne senzorske platforme koje se izrađuju kao vučni uređaji ili uređaji koji se priključuju na priključne strojeve kao što je sijačica izrađuje proizvođač Veris Technologies. Najbolji i najpoznatiji uređaj-senzor je MSP3. MSP3 je mobilna senzorska platforma koja mjeri induktivnost tla, pH tla i organsku tvar tla. Veris MSP3, prikazan na slici 8., sastoji se od platforme na kotačima na kojoj se nalazi crpka i spremnik za tekućinu koji služe za pranje elektroda, hidraulički ventili i cilindar za upravljanje „papučom“ za uzimanje uzorka pri mjerenju pH tla, Coulter elektrode za mjerenje induktivnosti tla s mogućnosti ispitivanja na tri dubine, *pH Manager* senzor za mjerenja pH tla, *Infrared Soil Optics* senzor za mjerenje dušika i vlažnosti tla te vanjska jedinica za upravljanje.



Slika 8. Veris MSP3 (Izvor: AgroTrend <https://www.agrotrend.hu>)

Coulter - elektrode mogu se pomicati i zahvat proširivati kako bi se omogućilo skeniranje unutar zasijanih kultura ili sužavati kako bi se izvelo skeniranje unutar redova vinograda ili voćnjaka. Elektronsko skeniranje tla odnosi se na teksturu tla i salinitet, to su činjenice koje su potvrđene opsežnim znanstvenim istraživanjima. Na skeniranim površinama prikazana je tekstura tla i promjene na njemu, na kartama je moguće pročitati promjenu na tom mjestu. Skenirati treba jednom, osim ako nije došlo do značajnijeg pomicanja tla. Veris MPS3 generira dva seta karata. Gornji sloj tla karata od 0 – 45 cm i jedan donji sloj tla 0 – 91 cm. Razlikuju se dvije namjene, gornji sloj često se koristi za izbor uzorka tla, a dublje sloj skeniranja za promjenjivi iznos populacije i upravljanje dušikom.

Rezultati mjerenja mobilnom senzorskom platformom očitavanju u programu se FieldFusion. Pomoću programa planira se provođenje kalcifikacije tla, planiranje sjetve i gnojidbe tla. Pomoću rezultata izmjerenih MSP lako se očitava gdje su najveća odstupanja od normalnih vrijednosti tla te na tim mjestima može izvršiti dodatna istraživanja vađenjem uzorka tla. Primjer rezultata ispitivanja pH vrijednosti tla prikazani su na slici 9. Područja označena crvenom bojim zahtijevaju najveću količinu unošenja vapna u tlo (Kovačić, 2019.).



Slika 9. Primjer rezultata mjerenja pH vrijednosti tla (Izvor: Veris Technologies

<https://veristech.com/the-solutions/>)

4.2. AgLeader OptRx senzor

Korištenje tehnologije očitavanja usjeva i propisanih stopa dušika u žitaricama i drugim usjevima za proizvodnju Ag Leader povećava zdravlje biljaka i potencijal prinosa. Ag Leader OptRx senzori usjeva mjerenjem potreba dušika u usjevima daju preporuku iznosa aplikacije u stvarnom vremenu kako bi se povećala dobit.

OptRx senzor mjeri i bilježi podatke o usjevu u stvarnom vremenu pomoću refleksije svjetlosti na biljkama. Izračun apliciranja dušika pojednostavljen je razvitkom nove tehnologije *Virtual reference strip* (Virtualne referentne trake) pomoću koje korisnik mjeri stvarno stanje u usjevu u zadanom trenutku apliciranja dušika što omogućuje apliciranje bez prethodno izrađene karte na temelju podataka prinosa. Red-edge tehnologija emitiranja svjetlosti omogućuje točnije očitavanje stanja biljka pri velikoj vegetativnoj gustoći biljaka naspram drugih konkurentnih proizvoda što je pogodno za mjerenje stanja biljaka u kasnoj fazi razvoja (Kovačić, 2019.).



Slika 10. AgLeader OptRx senzor (Izvor: AgLeader

<https://www.agleader.com/application/liquid/>)

OptRx senzor koristi tri valne duljine da bi odredio zdravlje biljke otkrivanjem koliko biljka sadrži biomase i koliko klorofila sadrži biljka. Senzor OptRx podržava oba vegetacijska indeksa, tj. NDVI i NDRE (Normalna razlika Red-Edge). OptRx senzor daje visoke kvalitete, pouzdane informacije u ranim fazama (NDVI), kao i kasnijim fazama rasta usjeva (NDRE). U Ag Leader OptRx senzori ne ovisi o visini primjene. Samo dva senzora će dostaviti dovoljnu pouzdanu vrijednost vegetacijskih indeksa (VI). Senzor usjeva Ag Leader OptRx skenira biljke u pogledu odozgo prema dolje kako bi dobio pravu sliku biljne prekrivenosti na način na koji biljka apsorbira svjetlost. Senzor emitira vlastiti izvor svjetlosti temeljan na biljnoj masi usjeva i reflektiranoj svjetlosti te je neovisan o sunčevoj svjetlosti. Podešava se na prednjim dijelovima stroja fiksno ili na pomičnim dijelovima kao što su npr. grane prskalice. OptRx senzor se može podesiti na dron što nam omogućuje brzo daljinsko autonomno očitavanje stanje usjeva (do 80 ha na dan). Vegetacijski indeksi izračunavaju se na temelju stvarnog očitavanja usjeva.

Prednosti OptRx senzora:

- Smanjenje primjene dušika u dušikom bogatom području,
- Povećanje potencijala prinosa u dušikom siromašnih područja polja,
- Smanjenje nagomilavanja dušika u polju,
- Snimanje vigora usjeva i očitavanje podataka u polju,
- Utjecaja pokretljivosti organske tvari unutar polja,

- Poboljšavanje potencijala prinosa za usjeve i neutraliziranje denitrifikacije zbog slabe drenaže.



Slika 11. Princip rada OptRx senzora (Izvor: AgLeader

<http://www.agleader.com/products/directcommand/optrx-crop-sensors/>)

Na temelju vlastitog iskustva poljoprivrednika ili prema preporuci agronoma može se odabrati raspon vegetacijskog indeksa te izračunati preporučena doza bilo kojeg sredstva apliciranja na usjevu. Ag Leader OptRx senzori idealni su za primjenu gnojiva, pesticida, defolijanta, regulatora rasta i drugih agrokemikalija po stupnjevima rast potrebnim za optimalne performanse.

Valne duljine koje se koriste Ag Leader OptRx senzorom koriste se za izračunavanje NDVI i NDRE. DVI je dobar za određivanje stanja usjeva, jer je izravno povezan s biomasom i sadržajem dušika u biljci, (što je veći NDVI, to je veći sadržaj N). NDVI je sklon zasićenju pri višim vrijednostima pa se tako NDRE koristi u kasnijim fazama rasta, jer je osjetljiviji.

Ag Leader OptRx senzori imaju tri kanala, tri valne duljine: 670 nm, 730 nm, i 780 nm. Na Ag Leader OptRx senzor ne utječe svjetlost iz okoline stoga mogu raditi tijekom dana ili tijekom noći. Ag Leader OptRx senzor je jedinstven na tržištu jer nudi kombinaciju šest vrijednosti. NDVI označava klorofil i biomasu na malim površinama u ranim fazama rasta. NDRE pokazuje klorofil i biomasu na velikim površinama u kasnijim fazama rasta. Ag Leader OptRx senzori su pokazali sposobnost da otkrije stres u usjevima kao što su krumpir i pšenica u ranim i kasnim fazama rasta, za razliku od ostalih senzora u mnogim ispitivanjima u Engleskoj i Nizozemskoj. Ag Leader OptRx je također pokazao mogućnost snimanja točne

VI vrijednosti u prašnjavim poljskim uvjetima u kojima drugi nisu davali takve rezultate u takvim uvjetima.

Kako biljka raste mijenja se značajno promjena refleksije. Senzor usjeva učitava samo crveno svjetlo, a refleksija se mijenja značajno kako biljka raste. Potrebno je promijeniti crveni rub u kasnijim fazama rasta, zadržati usporedbu zdravih biljaka naspram slabijih biljaka. Ag Leader OptRx senzor to odrađuje najpouzdanije i najpraktičnije na tržištu, te je vrlo ekonomičan (Kovačić 2019.).

Skeniranje već uspostavljenih usjeva obavlja se u svrhu prihrane dušikom i mikroelementima ili za prskanje korova samo na mjestima gdje je korov prisutan. To se radi na način da se na prednji dio traktora ili na krov kabine traktora postave nosači skenera koji imaju senzore i snimaju usjev. Informacija se odmah obrađuje i šalje se uputa, preciznom (uglavnom pneumatskom) rasipaču mineralnih gnojiva ili prskalici, o dozi koja se treba primjeniti u točno određenom trenutku. Danas je najčešća primjena ove metode u prihrani žitarica i visokorazvijene zemlje je jako koriste. Primjer Švedske gdje farmeri koji rade uslužnu prihranu pšenice ili ječma obavezno moraju imati instalirane uređaje tzv. N-senzore koji očitavaju stanje usjeva i doziraju N₂ gnojivo prema potrebi (Gospodarski list <https://gospodarski.hr/nekategorizirano/precizna-poljoprivreda/>).

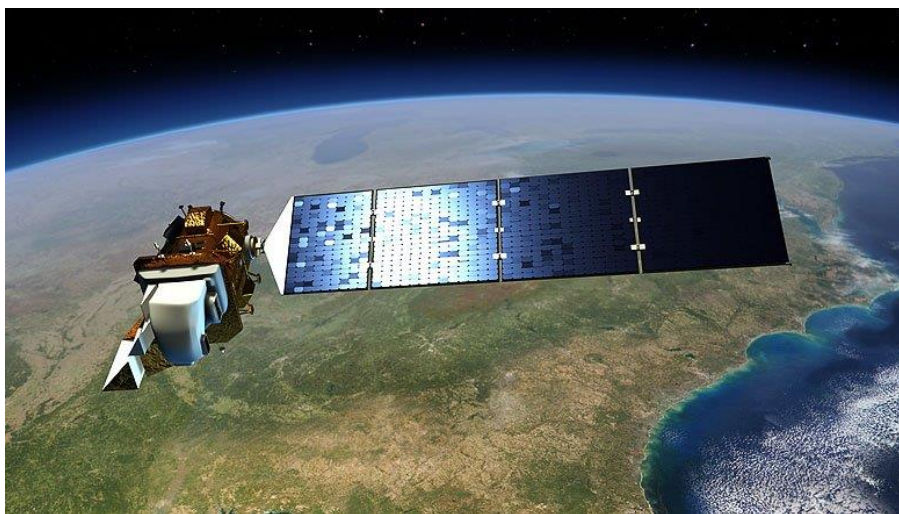
4.3. Satelit LANDSAT 8

11. veljače 2013. godine iz američke kompanije USS Vandenberg lansirano je vozilo Atlas-V sa satelitom LDCM (eng. *Landsat Data Continuity Mission*). Svemirska letjelica bila je zamišljena da nastavi program globalne akvizicije svemirskih slika koje Sjedinjene Države provode od 1972. godine uz pomoć serije Landsat.

Oprema za daljinsko osjetanje instalirana na LDCM-u uključuje višekanalni skenirajući radiometar OLI (*Operational Land Imager*) i dvokanalni - IR radiometar TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). OLI instrument, koji je razvio *Ball Aerospace & Technologies*, djeluje na devet valnih duljina u rasponu od 0,433-2,300 μm i pruža slike s maksimalnom razlučivosti od 15 m koristeći napredne tehnologije svemirske slike. Za njihov razvoj korišten je eksperimentalni satelit EO-1 (lansiran 2000. i opremljen radiometerom *Advanced Land Imager*, prototip OLI radiometra).

Korisni teret satelita koristi novi dizajn sastavljen od manje pokretnih elemenata, što će povećati njegovu pouzdanost i vijek trajanja za najmanje 5 godina. Točnost mapiranja

dobivenih slika iznosi 12 m i više. Zahvaljujući OLI-u, po prvi put u satelitima serije Landsat moguće je promatrati kroz dva nova raspona valnih duljina, koja su ključna za proučavanje cirrusnih oblaka i kvalitete jezera i obalnih voda.

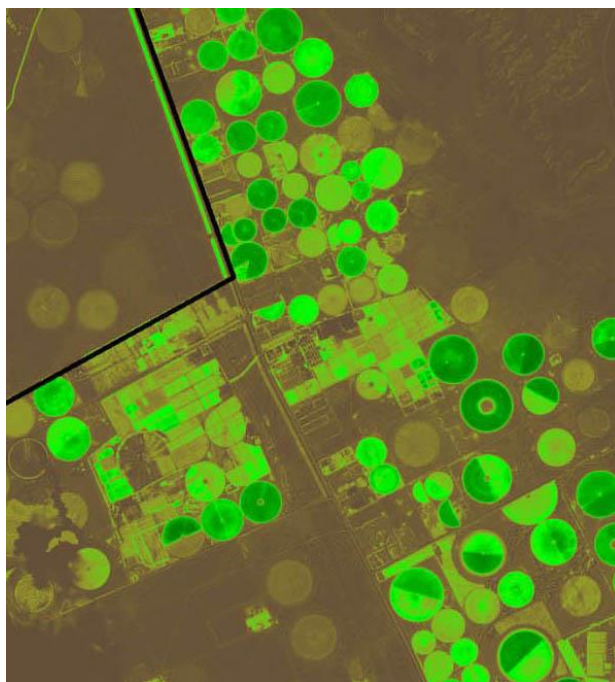


Slika 12. LANDSAT 8 satelit (Izvor: Earth Observing System <https://eos.com/landsat-8/>)

Vrijednost prostorne Landsat 8 rezolucije slika dobivenih instrumentom TIRS iznosi 100 m. Njegova glavna svrha je dobivanje karakteristika površinske temperature i proučavanje procesa prijenosa topline i vlage u interesu poljoprivrednog sektora, vodoprivrede itd.

Nasuprot opremi instaliranoj na prethodnim Landsat satelitima, TIRS pruža mogućnost provođenja opažanja u ne samo jednoj, već u dvije infracrvene valne duljine oko 8 opsežnih kombinacija. Oba instrumenta pucaju u načinu skeniranja duž putanje svemirskog broda, što smanjuje razinu radiometrijskih izobličenja u usporedbi s poprečnim instrumentima za skeniranje koji se koriste na prethodnim Landsat satelitima. (Earth Observing System <https://eos.com/landsat-8/>)

Osmi satelit u nizu LANDSAT satelita, LANDSAT 8 nastavit će i unaprijediti prikupljanje podataka LANDSAT s opterećenjem s dva senzora. Satelit LANDSAT 8 ima dva glavna senzora: OLI i TIRS. OLI će prikupljati slike pomoću devet spektralnih opsega različitih valnih duljina vidljive, blizu infracrvene i kratkovalane svjetlosti za promatranje širine od 185 kilometara od Zemlje u rezoluciji 15-30 metara koja pokriva široka područja zemljopisnog krajolika, dok pruža dovoljno razlučivosti za razlikovanje značajki poput urbanih središta, farmi, šuma i drugih namjena zemljišta.



Slika 13. Slika Center Pivot Monitoringa, Saudi Arabia (Izvor: Satellite Imaging Corporation <https://www.satimagingcorp.com/gallery/landsat-8/>)

TIRS je dodan u satelitsku misiju kada je postalo jasno da se voditelji državnih vodenih resursa oslanjaju na visoko precizna mjerenja Zemljine toplinske energije dobivena od LDCM-ovih prethodnika, LANDSAT 5 i LANDSAT 7, kako bi pratili kako se zemlja i voda koriste. S obzirom da se gotovo 80 posto slatke vode u zapadnom SAD-u koristi za navodnjavanje usjeva, TIRS će postati neprocjenjiv alat za upravljanje potrošnjom vode. (Satellite Imaging Corporation <https://www.satimagingcorp.com>)

4.4. Беспilотни зракoплов Sensefly eBee

Ovaj zrakoplov nalazi popularnu primjenu u poljoprivredi zbog raznovrsnih i lako dostupnih kamera kompatibilnih s njim samim. SenseFly eBee je беспilотни зракoплов шvicarsке tvrtке SenseFly.



Slika 14. Беспилотни зракoплов eBee Sensefly (<https://www.sensefly.com/drone/ebee-plus-survey-drone/>)

Većinski je izrađen od fleksibilne pjene te je zbog istog razloga ultra lagan. On je u potpunosti autonoman. Ovaj pouzdan i jednostavni za upravljanje zrakoplov je spreman za rad u nekoliko minuta od dolaska na lokaciju. Vrlo važna karakteristika eBee беспилотног zrakoplova je izmjenjiva kamera to jest opcija nadogradnje različitim vrstama senzora za potrebe korištenja u poljoprivredi.

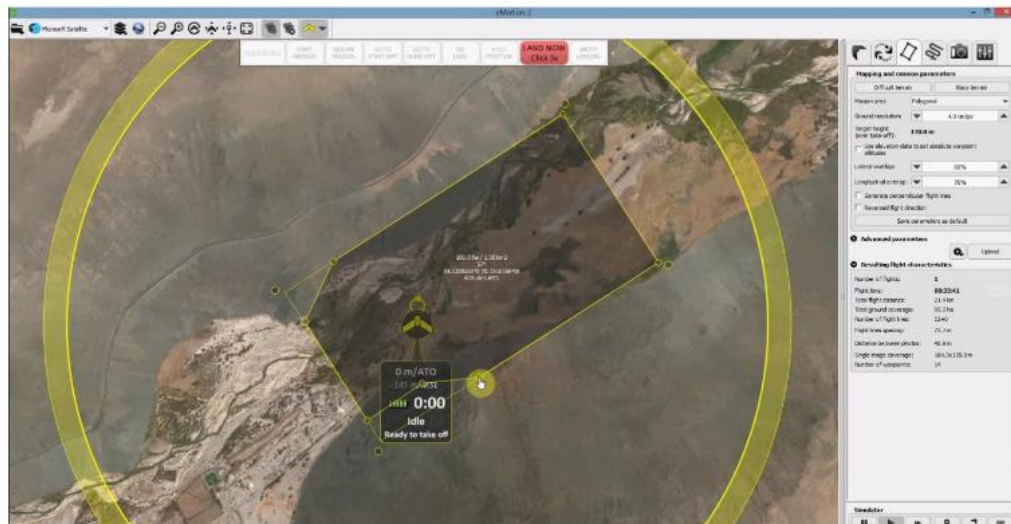
- Zrakoplov sačinjavaju sljedeće komponente (SenseFly Parrot Group <https://www.sensefly.com/drone/ebee-x-fixed-wing-drone/>):
- 690 g teški беспилотни zrakoplov
- integriran autopilot (autonomna navigacija, polijetanje i slijetanje)
- e-Motion softver za planiranje, kontrolu i praćenje leta
- jedan od senzora za snimanje: senseFly S.O.D.A. / Sony WX RGB / Parrot Sequoia / thermoMAP SenseFly / Canon S110 NIR / Canon S110 RE
- automatska kontrola kamere putem autopilota
- USB radio modem za razmjenu podataka
- daljinski upravljač (u slučaju preuzimanja kontrole)
- dvije baterije
- punjač baterije
- dva propelera
- kovčeg za transport svih komponenti
- letački priručnik.

5. POSTUPAK PRIKUPLJANJA I ANALIZE PODATAKA USJEVA KORIŠTENJEM BESPILOTNOG ZRAKOPLOVA

5.1. Prikupljanje podataka

Za let, to jest za planiranje, simuliranje, praćenje i kontrolu leta, koristi se eMotion softverski program u kombinaciji s bežičnom vezom putem USB radiomodema. Moguće je postaviti željene točke na karti ili ručno unijeti određene koordinate čime određujemo plan leta, a samim time i područje snimanja. Rukovanje zrakoplovom je jednostavno, zahvaljujući autonomnosti čitavog sustava. Zrakoplov je opremljen autopilotom koji kontinuirano analizira podatke integriranog GNSS-a i inercijske mjerne jedinice (eng. *Inertial Measurement Unit*) te pritom uzima u obzir sve ostale aspekte leta. Let je moguće dovršiti i u slučaju gubitka radioveze između prijenosnog računala i zrakoplova, s obzirom na to da je let isplaniran prije samog polijetanja. Povratna informacija o tijeku leta, to jest trenutna pozicija zrakoplova, se dobiva preko ekrana prijenosnog računala. U slučaju željene promjene plana leta za vrijeme istog, navedeno je moguće napraviti jednostavnom kontrolom preko programa. Moguće je zadati povratak na određenu točku, narediti slijetanje ili odraditi dodatne snimke tijekom leta, pored planiranih snimki koje su unaprijed određene. Sve točke su definirane položajem, svojim opsegom, relativnom visinom s obzirom na lokaciju slijetanja te smjerom kruženja. Učestale promjene visine, vrlo niske temperature i jak vjetar mogu utjecati na autonomiju samog leta. Rješenje za jak vjetar je sustav za prepoznavanje jačine istog te u slučaju prejakog vjetra, zrakoplov kreće u prizemljenje. Isti princip se koristi i u slučaju kada zrakoplov nema dovoljno baterije za ostatak leta. U slučaju da se GPS signal izgubi, navigacija više nije izvediva te se zrakoplov sam prizemljuje. Kroz nekoliko koraka bit će prikazan način rada u programu eMotion te mogućnosti koje nudi.

Prvi korak za programiranje leta je odabir područja snimanja, pozicioniranjem graničnih točaka. Poligonskim tipom područja, izbjegava se snimanje nepotrebnog područja.



Slika 15. Pozicioniranje i prilagođavanje područja kartiranja (Izvor: Sensefly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

Snimanje se može obaviti na nekoliko načina:

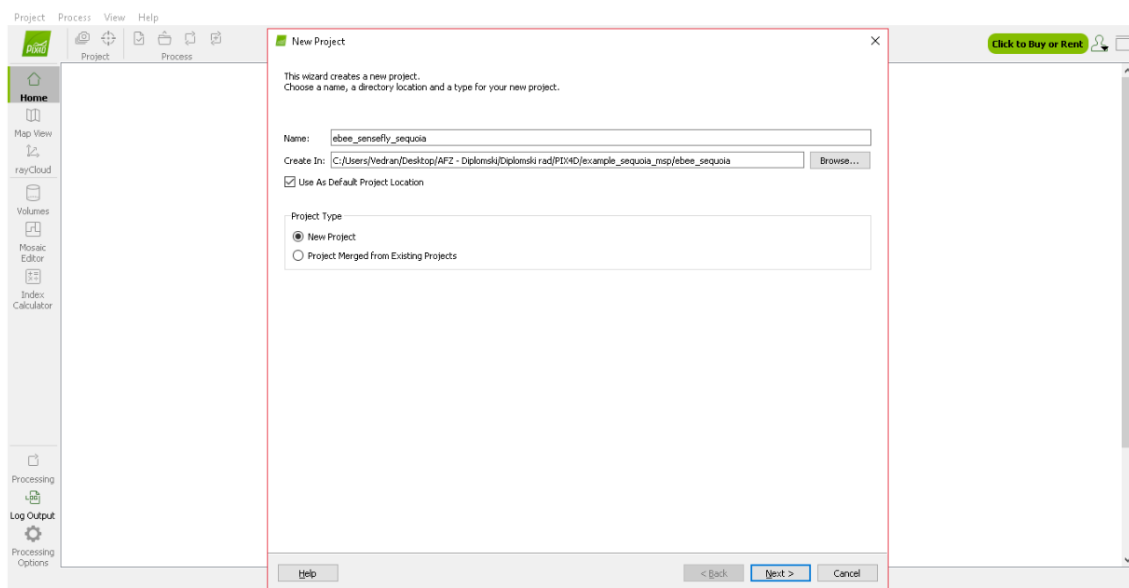
- Sustavno snimanje duž linije leta, na principu preklapanja. Pri kartiranju je ovaj način vrlo pogodan.
- Snimanje se može obaviti samo na unaprijed označenim točkama, u trenutku kada se zrakoplov nalazi iznad željene lokacije. Prikladno je za snimanje određenih i manjih područja.
- Snimanje nije određeno unaprijed, već se odvija pravovremeno, u trenutku preleta iznad određene točke, na naredbu operatora, preko eMotion sučelja.

U trenutku kada se zrakoplov nalazi iznad tražene pozicije i fotografira, zrakoplov se dodatno stabilizira prekidom rada motora kako bi se postigla maksimalna kvaliteta fotografije bez neželjenih vibracija. Standard preklapanja koji je preporučeno je minimalno 75% uzdužnog preklapanja te minimalno 60 % poprečnog preklapanja. Za potrebe poljoprivrede, to jest mogućnosti neravnog terena, preporučuje se minimalno 85% uzdužnog preklapanja te minimalno 70 % poprečnog preklapanja. Također se preporučuje da se fotografije snimaju na većim visinama radi poboljšavanja konačnih rezultata. (SenseFly Parrot Group <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

5.2. Obrada i analiza podataka

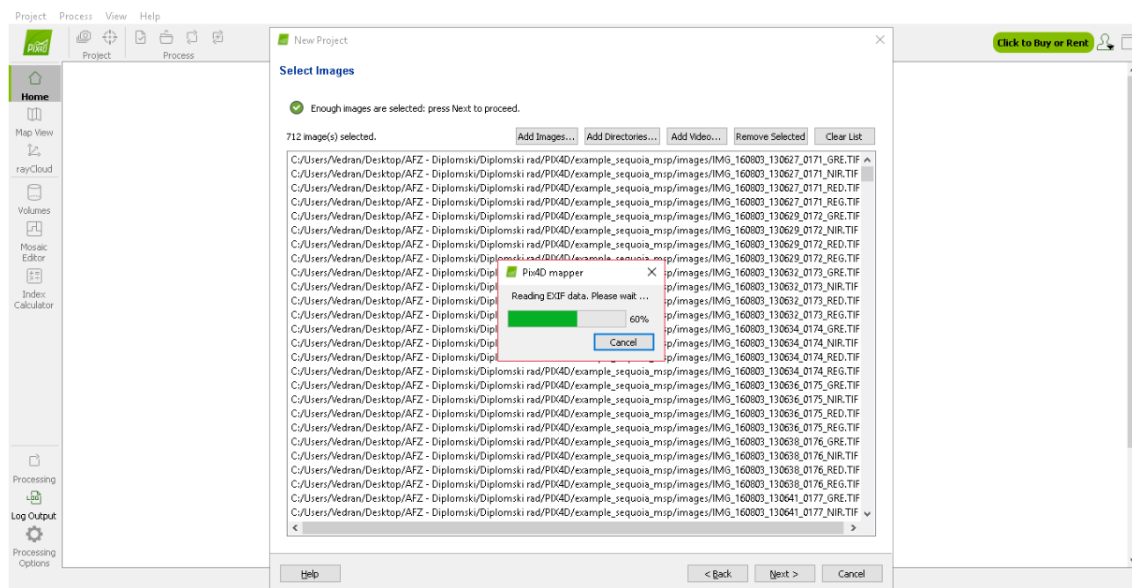
Za fotografije snimane sa SenseFly bespilotnim zrakoplovima, predviđeni su Pix4Dmapper i Pix4Dag programi. Također, određeni formati datoteka kompatibilni su s mnogim

programima, kao što su: ESRI ArcGIS, GlobalMapper, QGIS, Erdas Imagine, Geomedia Quick Terrain, I-Site Studio, itd. Za demonstraciju mogućnosti, korišten je Pix4Dmapper Pro 4.0.21 sa skupom podataka prikupljenih sa Sequoia Parrot senzorom (Green, Red, Red edge, NIR) te s bespilotnim zrakoplovom Sensefly eBee. Korištene su snimke pružene od strane PIX4D-a na službenim stranicama, snimljenih u Švicarskoj (Lausanne). Učitane su 712 snimke, razlučivosti 1280x960 piksela. Let je odrađen na visini od 106 m te je prosječna veličina 1 piksela 10.66 cm u stvarnosti. Bit će prikazati koraci obrade, radi dobivanja karte refleksije (eng. *reflection map*), karte vegetacijskog indeksa (eng. *vegetation index map*) te karte za apliciranje promjenjivom količinom (eng. *variable rate application map*). Početni korak kod obrade podataka je otvaranje novog projekta. Nakon odabira imena projekta i lokacije spremanja podataka, potrebno je odabrati željene snimke za obradu. S obzirom na to da multispektralna kamera Sequoia snima u različitim područjima, svaka je snimka zasebno spremljena.



Slika 16. Otvaranje novog projekta (Izvor: SenseFly

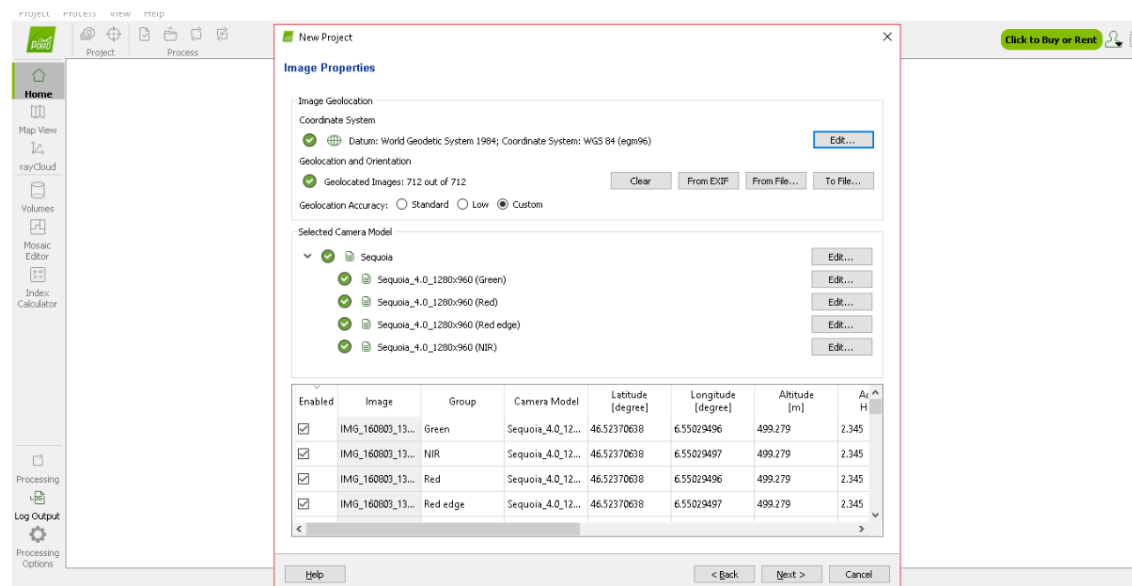
<https://www.sensefly.com/software/emotion/>)



Slika 17. Učitavanje podataka (Izvor: SenseFly

<https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

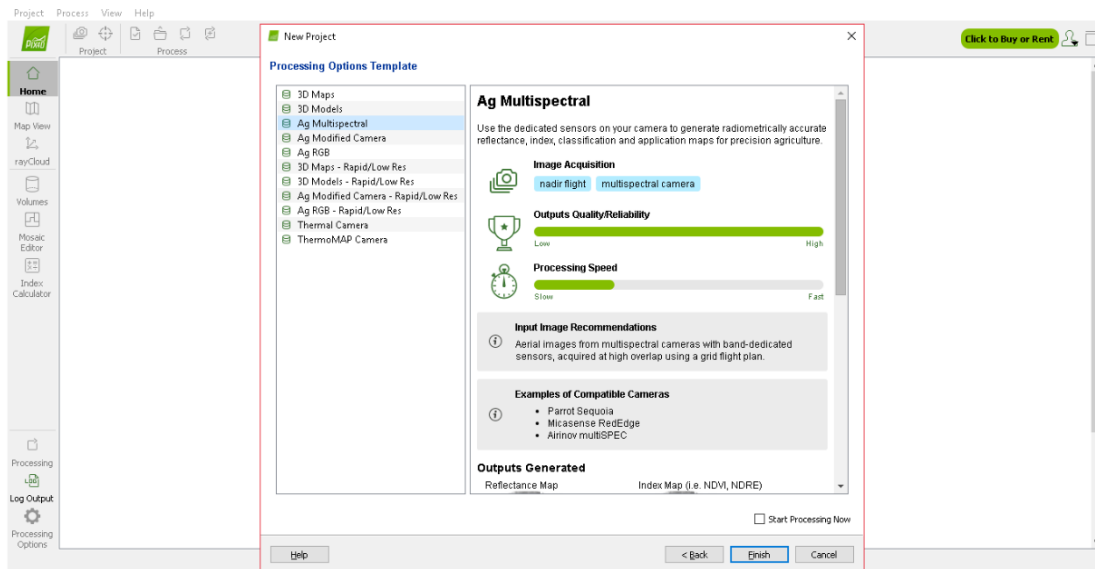
Po učitavanju, program automatski prepoznaje model kamere s kojim je snimanje obavljeno te područje spektra u kojem je obavljeno. Nakon potvrde učitano, potrebno je odabrati željeni koordinatni sustav te mjernu jedinicu.



Slika 18. Svojstva učitanih podataka (Izvor: SenseFly

<https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

Program nije samo platforma za potrebe poljoprivrede. Zato je potrebno odabrati neki od ponuđenih predložaka za potrebnu svrhu. Odabran je Ag Multispectral, a neki od ostalih ponuđenih su: 3D Maps, 3D Models, Ag Modified Camera, Ag RGB, Thermal Camera, itd.



Slika 19. Odabir predložka rada (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

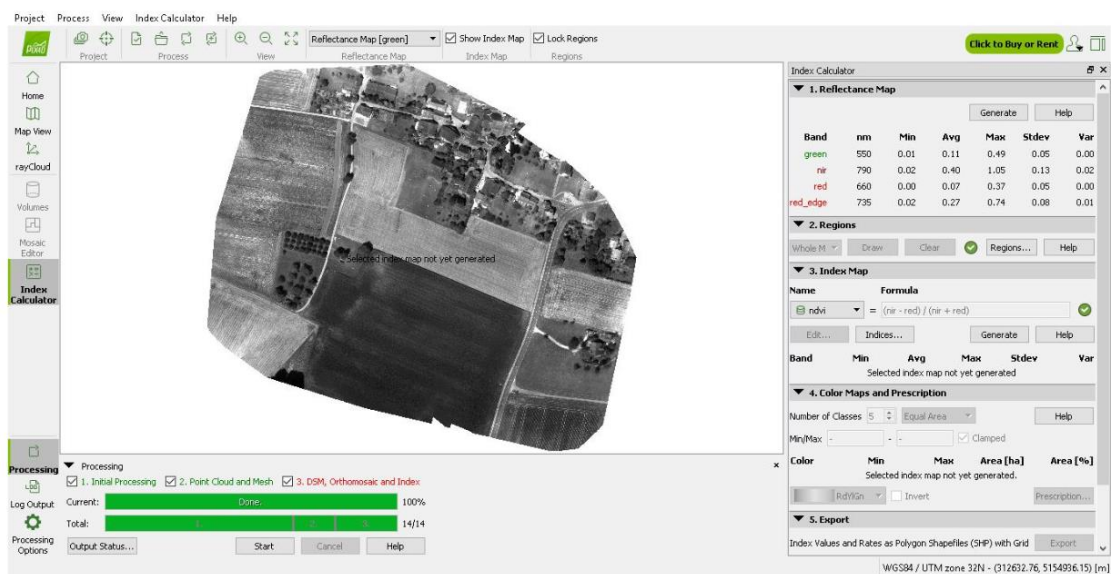
Po odabiru, otvara se satelitska snimka, zajedno s točkama na kojima su snimke obavljene. U ovom trenutku, potrebno je obraditi snimke, to jest procesirati ih u kartu. Na brzinu automatskog procesiranja utječe količina snimki, dostupna radna memorija računala, snaga procesora, itd.



Slika 20. Prikaz georeferenciranih točaka na satelitskoj snimci (Izvor: SenseFly

<https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

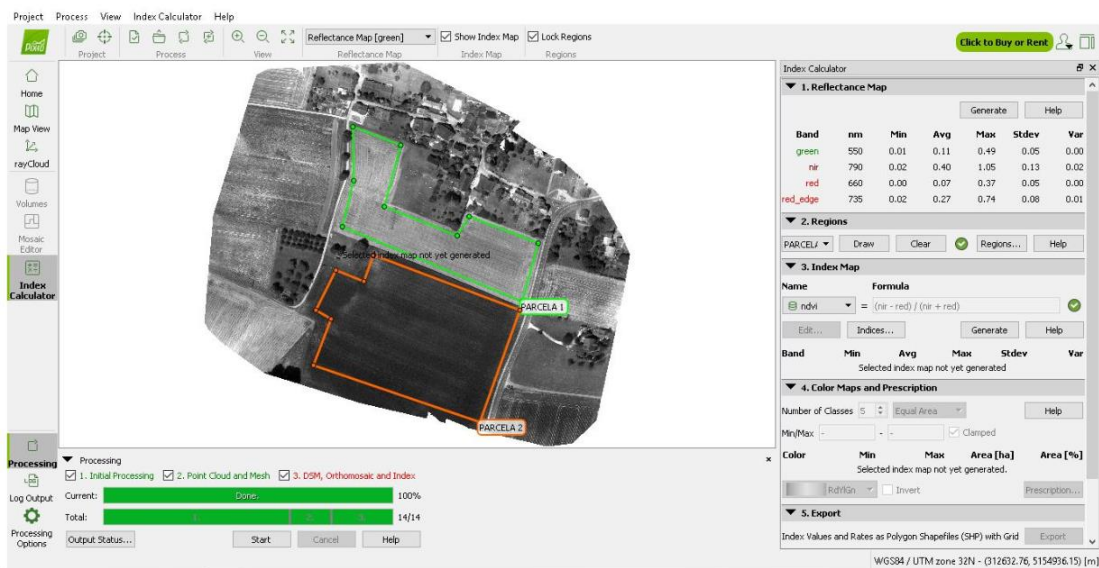
Nakon procesiranja, u glavnom izborniku, pod „View“, potrebno je otvoriti „Index calculator“. Po otvaranju funkcije, stvara se karta refleksije. Ona je dostupna u svim područjima u kojim je snimka obavljena, to jest u ovom slučaju GREEN, RED, RED EDGE I NIR.



Slika 21. Prikaz karte refleksije (Izvor: SenseFly

<https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

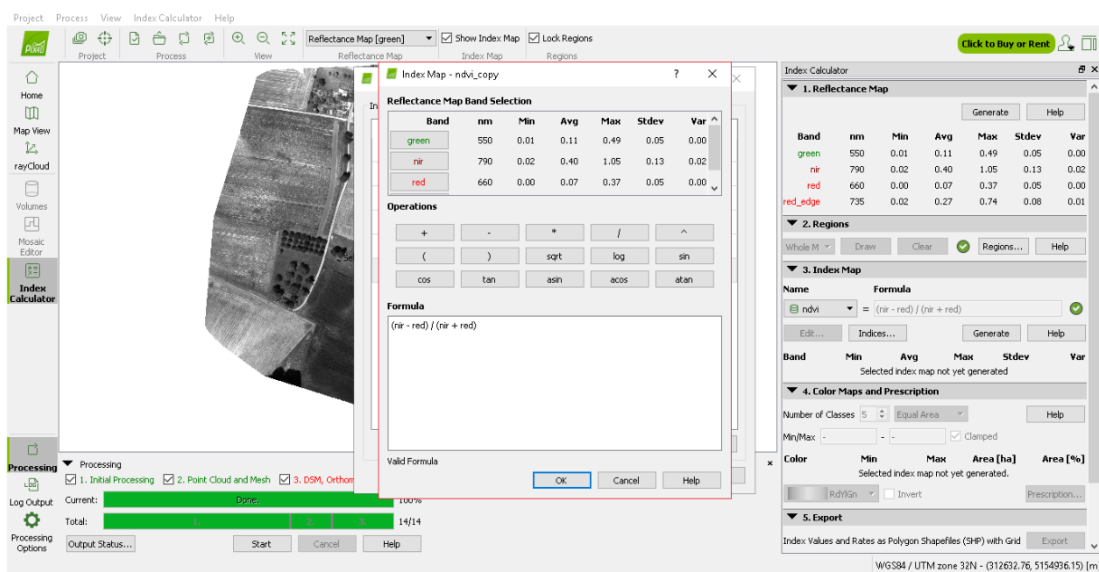
U ovom koraku potrebno je ocrtati područje promatranja, to jest parcele. Ocrtavanje se radi zbog izbjegavanja generiranja karte indeksa preko cijelog područja s neželjenim objektima.



Slika 22. O crtavanje promatranih parcela (Izvor: SenseFly

<https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

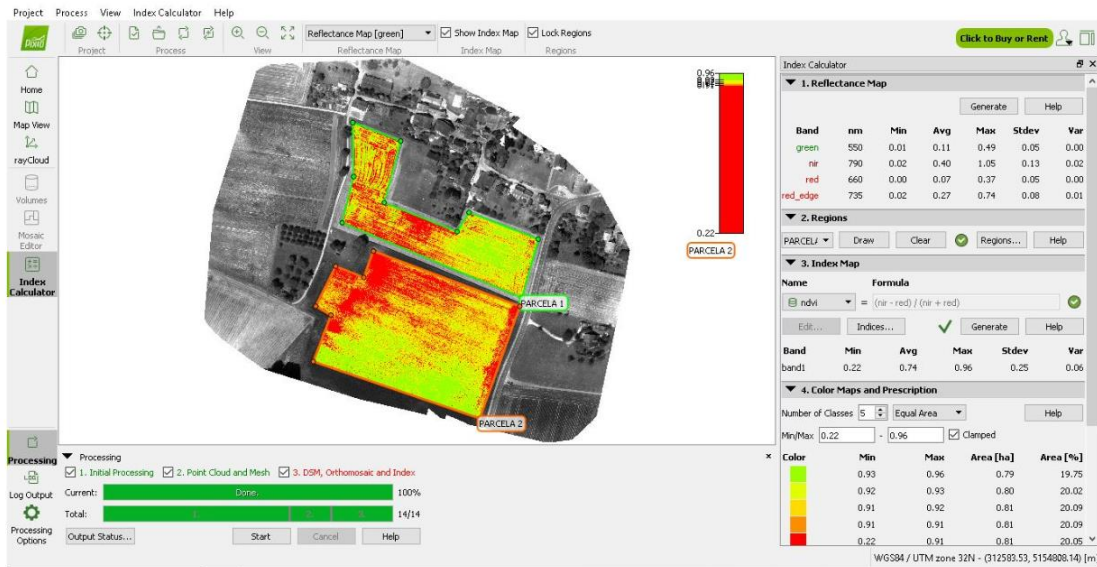
Nakon o crtavanja potrebno je odabrati vegetacijski indeks za stvaranje navedene karte. Osim ponuđenih, moguće je samostalno unijeti matematičku formulu te ju pohraniti za budućnost.



Slika 23. Odabir vegetacijskog indeksa (Izvor: SenseFly

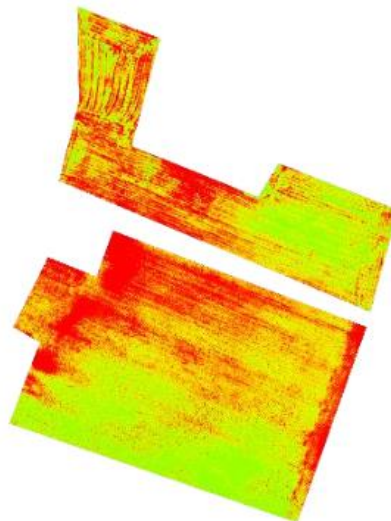
<https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

Na slici 24. prikazana je karta indeksa, generirana formulom za vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI).



Slika 24. Prikaz karte indeksa (Izvor: SenseFly
<https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

Kartu je moguće izvesti u .tiff i .jpg formatima za daljnje korištenje. Potrebno je napomenuti da karta sama po sebi bez poznavanja terena ne predstavlja mnogo. Radi mogućnosti korištenja, potrebna je detaljna inspekcija terena radi budućeg prepoznavanja uzoraka. Karta koja je napravljena je prikazana na slici 25.



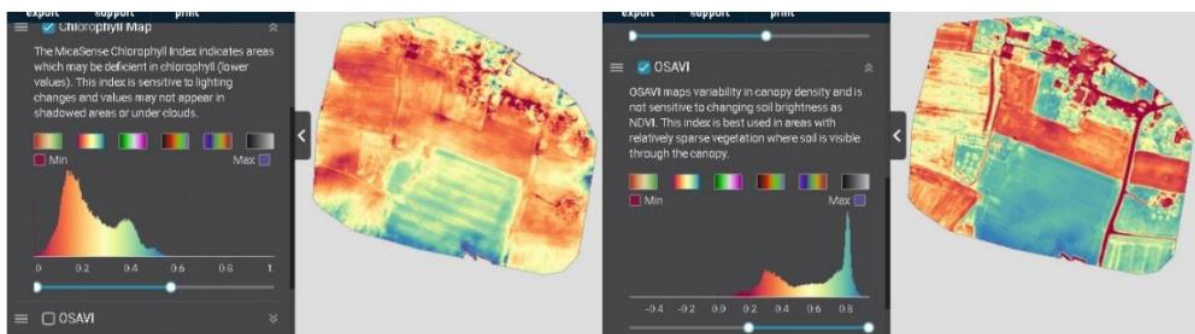
Slika 25. Izvedena karta indeksa (Izvor: SenseFly
<https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

Dobivene podatke je moguće dalje obrađivati preko cloud servisa PIX4D-a. Jedna od mogućnosti je kontroliranje prikaza područja radi isticanja ili pronalaženja određenog svojstva.



Slika 26. Prikaz manipulacije obrađenim podacima na PIX4D cloud servisu (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

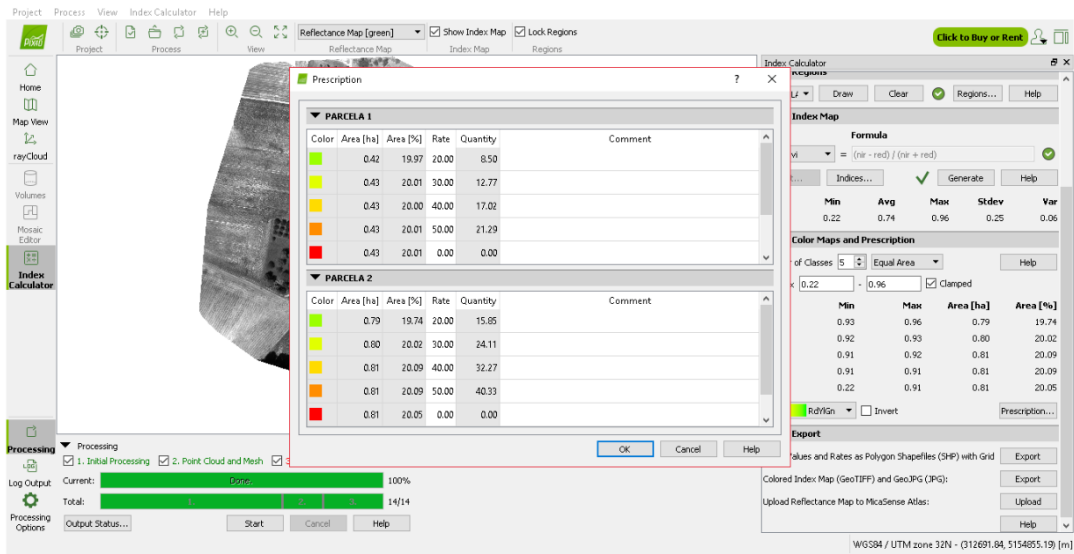
Izravno iz sučelja PIX4D-a, moguće je obrađene podatke izvesti u MicaSense online platformu. Preko nje su moguće slične opcije kao i u PIX4D-u, s već unaprijed pripremljenim vegetacijskim indeksima.



Slika 27. Prikaz manipulacije obrađenim podacima na MicaSense platformi (Karta klorofila i OSAVI indeks) (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

Ako se obrađeni podaci žele na neki način koristiti u sučelju traktora za određenu radnu operaciju to jest želi se napraviti karta za apliciranje promjenjivom količinom (eng. *variable rate application map*), za navedeno je predviđen korak „*Color Maps and Prescription*“. Ovdje možemo odrediti koliko područja razlikujemo te povezati količinu aplikacije određenog sredstva za isto. Npr. možemo odabrati da se na području gdje je vegetacijski indeks nula, niti jedna akcija ne izvrši, to jest da se na području slabog vegetacijskog indeksa, primjeni veća količina sredstva, itd.

Podatke za sučelje traktora je moguće izvesti u formatu .shp koji se nalaze u vektorskom obliku, vidljivo na slici 29.



Slika 28. Izrada karte za apliciranje promjenjivom količinom (Izvor: SenseFly

<https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

Podatke za sučelje traktora je moguće izvesti u formatu .shp koji se nalaze u vektorskom obliku, vidljivo na slici 28.



Slika 29. Vektorski oblik podataka za apliciranje promjenjivom količinom (Izvor:

SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)

6. ZAKLJUČAK

Gnojidba se u cilju poboljšanja rasta i prinosa biljaka primjenjuje od davnina, no njeni učinci su oduvijek veoma varijabilni jer ovise o agroekološkim uvjetima, stupnju razvoja poljoprivrede određenog područja i znanju poljoprivrednih proizvođača. Njen utjecaj na visinu prinosa i profitabilnost biljne proizvodnje je ogroman te je ona neizostavna agrotehnička mjera. Stoga je gnojidba, uz korištenje vode i zaštitnih sredstava, uvijek bila u žarištu znanstvenih istraživanja te je u suvremenoj poljoprivrednoj praksi tehnologija gnojidbe doživjela velik napredak. Suvremeni koncept gnojidbe smatra da se za optimalan rast usjeva te postizanje visokog, kvalitetnog i profitabilnog prinosa kao izvor hranjivih tvari uspješno mogu koristiti organska, mineralna ili obje vrste gnojiva.

Negativan utjecaj na okoliš zbog dugotrajne, prekomjerne i nestručne uporabe, podjednako imaju mineralna i organska gnojiva. Dakle, moderna gnojidba (učinkovita, isplativa i ekološki prihvatljiva) ne može se zamisliti bez stručnog znanja proizvođača te analize tla. Sve veća potreba za hranom rastuće svjetske populacije zahtijeva korištenje novih tehnologija i intenziviranje proizvodnje na ograničenim obradivim površinama u čemu su gnojiva nezamjenjiva te je njihova zlouporaba veoma česta i ne treba nikako podcijeniti ili minimizirati njihov utjecaj na okoliš. Unapređenje gnojidbe se stoga mora fokusirati na poboljšanja u gnojidbenoj praksi koja bi mogla doprinijeti povećanju njene učinkovitosti.

Precizna poljoprivreda sve se više koristi u intenzivnom uzgoju, ali uz obaveznu primjenu dijagnostičkih metoda utvrđivanja potrebe za hranivima. Postoji više strategija kojima se omogućuje precizna gnojidba, od redovite kemijske analize tla, primjene beskontaktnih tehnika koje obuhvaćaju senzorsku dijagnostiku tla i usjeva, odnosno izradu agrokemijskih karata u pomoć korištenja dronova, zrakoplova i/ili satelita. Kartiranje zemljišta (istraživanje njegovih pedo-fizikalnih, kemijskih i bioloških, odnosno ukupnih produkcionih svojstava) svojevrsna je dijagnostika, inventarizacija i karakterizacija temeljem koje je moguće pouzdano definiranje potencijalne plodnosti, odnosno pogodnosti za određenu uporabu poljoprivrednog zemljišta. Plodnost tla može se utvrditi samo mjerenjem (kvantifikacijom) pojedinih indikatora neophodnih za pouzdano vrednovanje (npr. nagib, propusnost, tekstura i struktura tla, pH, opasnost od erozije, sadržaj hraniva, količina padalina, mogućnost navodnjavanja, potreba kondicioniranja, mogućnost obrade itd.). Naime, varijacije zemljišnih svojstava (tla i terena) moraju se nalaziti unutar dopuštenih granica pa ograničenja (koja se ne mogu učinkovito poboljšati) određuju njegovu namjenu, npr.

poljoprivredno zemljište, bez ili uz navodnjavanje, travnjaci, šume, prostori za rekreaciju itd.

Planiranje i održivo upravljanje poljoprivrednim prostorom ima značajan potencijal za smanjenje *off-site* posljedica na okoliš. U tu svrhu se mogu iskoristiti susjedni prirodni i polu-prirodni obnovljeni ekosustavi kao što je sadnja drveća i grmlja u tampon trake koje će smanjiti eroziju tla i spriječiti premještanje hranjivih tvari do površinskih ili podzemnih voda. Tampon zone uz potoke, rijeke i jezerske obale mogu spriječiti hranjive tvari i erozivni materijal s obrađenih parcela da dospiju u vodu, a ujedno su i stanište za insekte i druge organizme (npr. oprašivače, parazitoide koji su neprijatelji parazitnih vrsta i mogu osigurati učinkovitu kontrolu mnogih poljoprivrednih štetnika). Dakle, tampon zone mogu uspješno smanjiti širenje poljoprivrednih štetnika i korova. Sve navedene mjere lako se mogu uključiti u sustav kontrole plodnosti s ciljem povećanja prinosa usjeva, voća i povrća uz povećanu učinkovitost gnojidbe i korištenja vode.

Također, dobro razumijevanje agroekologije, biogeokemije i biotehnologije može doprinijeti u velikoj mjeri održivoj i ekološkoj praksi upravljanja poljoprivrednim zemljišnim resursima, razumnom korištenju pesticida i antibiotika, kao i promjenama u stočarskoj proizvodnoj praksi. Na kraju, održiva poljoprivreda mora biti široko prihvaćena, dobro regulirana i učinkovito nadzirana da bi njeni učinci bili vidljivi i razumljivi kako proizvođačima, tako i cjelokupnoj populaciji.

7. POPIS LITERATURE

1. Colomina I., Molina P. (2014): Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*
2. Harbaš I. (2014): Računalne metode za detekciju vegetacije, *Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija, Fakultet elektrotehnike i računarstva*
3. Jug I., (2016.): *Odlike održive konvencionalne i ekološke poljoprivrede, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek*
4. Jurišić M., Plaščak I.,(2009.): *Geoinformacijski sustavi, GIS u poljoprivredi i zaštiti okoliša, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek*
5. Kovačić D., (2019.): *Senzori i njihova primjena u preciznoj poljoprivredi, Diplomski rad, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek*
6. Krevh V. (2018.): *Primjena bespilotnih letjelica u poljoprivredi, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb*
7. Mandal D., Ghosh S. K., (2000.): *Precision farming – The emerging concept of agriculture for today and tomorrow, in the Nagarjuna Agricultural Research and Development Institute*
8. Oluić M., (2001): *Snimanje i istraživanje Zemlje iz Svemira: sateliti, senzori, primjena, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i GEOSAT d.o.o. Zagreb*
9. Petrović K. (2016): *Infracrvena termografija - pravi izbor za redovito održavanje, Mjerna i regulacijska tehnika, Kem. Ind.*
10. Rapčan I., Jurišić M., Plaščak I, Barač Ž., Zimmer D., Bognar M., (2018.): *Gnojidba pšenice u sustavu precizne poljoprivrede, Agronomski glasnik, Izvorni znanstveni članak*
11. Reetz, H. F. Jr. (2016.): *Fertilizers and their efficient use, International Fertilizer Industry Association, Paris, France*
12. Rumora L., Medved I., Pilaš I., Medak D. (2016): *Usporedba vrijednosti vegetacijskog indeksa dobivenog na temelju digitalnog broja i refleksije na vrhu atmosfere, Geodetski list*
13. Sito S., Kovačić F., Krznarić K. ,Šket B., Šimunović V., Grubor M., Koren M., (2015):
14. *Primjena bespilotnih sustava u zaštiti trajnih nasada, Glasnik zaštite bilja*

15. Šišić R., Hodžić A., Kevilj A., Hrustić O. (2013): Termografija i energetska učinkovitost stambenih objekata, Elektronički časopis građevinskog fakulteta Osijek, Osijek
16. Vela E., Medved I. Miljković V., (2017.): Geostatička analiza vegetacijskih indeksa na šumskom ekosustavu Česma, Izvorni znanstveni članak, Zagreb
17. L3Harris Geospatial Solutions
<http://www.harrisgeospatial.com/docs/vegetationindices.html>
18. Earth Observing System <https://eos.com/landsat-8/>
19. Satellite Imaging Corporation <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/landsat-8/>
20. SenseFly Parrot Group <https://www.sensefly.com/drone/ebee-x-fixed-wing-drone/>
21. Gospodarski list <https://gospodarski.hr/nekategorizirano/precizna-poljoprivreda/>
22. SenseFly Parrot Group <https://www.sensefly.com/software/emotion/>

SAŽETAK

Temelj precizne poljoprivrede je maksimalno iskorištavanje dostupnih resursa u svrhu povećanja količine i kvalitete poljoprivredne proizvodnje. Cilj ovog rada je pokazati optimalne mogućnosti primjene senzora za detekciju vegetacijskih indeksa kao i nove tehnologije u preciznoj poljoprivredi. Ova metoda pruža mogućnost praćenja rasta usjeva i analizu topografskih obilježja terena s visokom površinskom razlučivosti i proizvoljnim vremenskim razdobljem prikupljanja podataka. Iz podataka prikupljenih snimanjem izrađuje se digitalna karta i model terena te se potom obrađuju u određenom GIS programu. Korištenjem podataka snimanja zasebno iz crvenog, zelenog i plavog spektralnog kanala te računanjem vegetacijskih indeksa, izrađuje se spektralna analiza poljoprivrednih usjeva.

Ključne riječi: Precizna poljoprivreda, senzori, vegetacijski indeksi, GIS

SUMMARY

The foundation of precision agriculture is the maximum use of available resources in order to increase the quantity and quality of agricultural production. The aim of this paper is to show the optimal application of sensors for the detection of vegetation indices as well as new technologies in precision agriculture. This method provides the ability to monitor crop growth and analyze topographic terrain characteristics with high surface resolution and arbitrary time period of data collection. From the data collected by recording, a digital map and terrain model are made and then processed as specified in the GIS program. Using spectral data from the red, green and blue spectral channels and the calculation of vegetation indices, a spectral analysis of agricultural crops is performed.

Key words: Precision agriculture, sensors, vegetation indices, GIS

POPIS SLIKA

Slika 1. Zaštita bilja u konvencionalnoj poljoprivredi (Izvor: Sigurnost hrane

<https://sigurnosthrane.blogspot.com/2018/05/hrana-bez-pesticida.html>)

Slika 2. Primjena drona u preciznoj poljoprivredi (Izvor: DronTim

<https://drontim.hr/usluge/precizna-poljoprivreda/>)

Slika 3. Povezanost rukovoditelja s radnom opremom za preciznu poljoprivredu (Izvor:

AgroBiz <https://www.agrobiz.hr/agrovijesti/sto-je-precizna-poljoprivreda-i-kako-se-provodi-830>)

Slika 4. Usporedba primjene vegetacijskog indeksa NDVI na snimke snimljene bespilotnim zrakoplovom, zrakoplovom i satelitom (Izvor: Krevh (2018.))

Slika 5. Primjena vegetacijskih indeksa u procjeni štete nanosene tučom (Izvor: Krevh (2018.))

Slika 6. Valne duljine svjetlosti (Izvor: Kemijski riječnik

<https://glossary.periodni.com/rjecnik.php?hr=elektromagnetski+spektar>)

Slika 7. Očitavanje LIDAR senzora (Izvor: <https://velodynelidar.com/newsroom/>)

Slika 8. Veris MSP3 (Izvor: AgroTrend <https://www.agrotrend.hu/technika/gepesites/jol-ismeri-talajat>)

Slika 9. Primjer rezultata mjerenja pH vrijednosti tla (Izvor: Veris Tehnologies

<https://veristech.com/the-solutions/fieldfusion%E2%84%A2>)

Slika 10. AgLeader OptRx senzor (Izvor: AgLeader

<https://www.agleader.com/application/liquid/>)

Slika 11. Princip rada OptRx senzora (Izvor: AgLeader

<http://www.agleader.com/products/directcommand/optrx-crop-sensors/>)

Slika 12. LANDSAT 8 satelit (Izvor: Earth Observing System <https://eos.com/landsat-8/>)

Slika 13. Slika Center Pivot Monitoringa, Saudi Arabia (Izvor: Satellite Imaging

Corporation <https://www.satimagingcorp.com/gallery/landsat-8/>)

Slika 14. Bespilotni zrakoplov eBee Sensefly <https://www.sensefly.com/drone/ebec-plus-survey-drone/>)

- Slika 15. Pozicioniranje i prilagođavanje područja kartiranja (Izvor: Sensefly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 16. Otvaranje novog projekta (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 17. Učitavanje podataka (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 18. Svojstva učitanih podataka (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 19. Odabir predloška rada (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 20. Prikaz georeferenciranih točaka na satelitskoj snimci (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 21. Prikaz karte refleksije (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 22. O crtavanje promatranih parcela (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 23. Odabir vegetacijskog indeksa (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 24. Prikaz karte indeksa (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 25. Izvedena karta indeksa (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 26. Prikaz manipulacije obrađenim podacima na PIX4D cloud servisu (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 27. Prikaz manipulacije obrađenim podacima na MicaSense platformi (Karta klorofila iOSAVI indeks) (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 28. Izrada karte za apliciranje promjenjivom količinom (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)
- Slika 29. Vektorski oblik podataka za apliciranje promjenjivom količinom (Izvor: SenseFly <https://www.sensefly.com/software/emotion/>)