

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I  
BRODOGRADNJE**

**POSLIJEDIPLOMSKI DOKTORSKI STUDIJ  
ELEKTROTEHNIKE I INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE**

**KVALIFIKACIJSKI ISPIT**

**DALJINSKA ISTRAŽIVANJA I  
RAČUNALNI VID U ANALIZI SLIKA  
VOĆNJAKA PRIKUPLJENIH  
BESPILOTNOM LETJELICOM**

Nediljko Bugarin

Split, rujna 2022.

## SADRŽAJ:

1. UVOD.....	3
2. DALJINSKO ISTRAŽIVANJE.....	4
2.1. Ciljevi i podjela daljinskih istraživanja .....	5
2.2. Fotogrametrija .....	5
2.3. Aerofotogrametrija .....	6
2.4. Satelitska fotogrametrija .....	7
3. BESPILOTNE LETJELICE .....	8
3.1. Primjena bespilotnih letjelica u daljinskom istraživanju .....	9
4. SENZORSKA MJERENJA U DALJINSKIM ISTRAŽIVANJIMA .....	11
4.1. Senzori i kamere u daljinskim istraživanjima .....	13
Senzorsko mjerenje vegetacije:.....	15
5. OBRADA SLIKE POMOĆU RAČUNALNOG VIDA I NEURONSKIH MREŽA .....	19
6. VEGETACIJSKI INDEKSI.....	21
6.1. Karakteristike vegetacije .....	21
6.2. Definiranje vegetacijskih indeksa.....	24
6.3. Vrste vegetacijskog indeksa .....	26
6.3.1. NDVI Vegetacijski indeks.....	27
6.3.2. NDRE vegetacijski indeks .....	30
6.3.3. SAVI vegetacijski indeks .....	32
6.3.4. NGRDI vegetacijski indeks .....	33
6.4. Utjecaj određenih faktora na točnost izračuna vegetacijskih indeksa .....	34
6.4.1. Osvjetljenost tla.....	34
6.4.2. Boja tla .....	35
6.4.3. Atmosfera.....	35
6.4.4. Vrsta i grada biljke .....	35
6.5. Usporedba vegetacijskih indeksa.....	35
7. ZAKLJUČAK.....	37
8. LITERATURA .....	38
9. POPIS OZNAKA I KRATICA .....	42
10. SAŽETAK.....	43
11. SUMMARY.....	44

## 1. UVOD

Jedan od najvećih izazova suvremenog doba je prilagodba poljoprivrede na moderne tehnologije. Razlog tome su sve izraženije klimatske promjene kao i nužnost napretka tehnologija za proizvodnju hrane za rastući broj stanovnika koji se u postotku sve manje bavi poslovima vezanim za poljoprivredu. Zbog toga je nužno pratiti vegetacijske površine te pravovremeno reagirati na promijene koje su nastale na tim površinama.

Daljinskim istraživanjem pratimo okoliš i promjene na vegetaciji bez direktnog doticaja sa samim tlom. Stanja okoliša kao i promjene najlakše pratimo putem senzora koji su za potrebe daljinskog istraživanja najčešće multispektralni, termalni ili vidljivog spektra (RGB).

Daljinskim istraživanjem se prikupljaju fotografije na različitim visinama, putem satelita ili putem bespilotnih letjelica. Razvoj bespilotnih letjelica drastično je unaprijedio razne grane ljudskog djelovanja, a među njima i opservacija okoliša i vegetacije. Bespilotne letjelice omogućuju nadzor velikih površina i praćenje uvjeta koji su nevidljivi golim okom.

Današnji senzori imaju široke mogućnosti snimanja. Osim snimanja u vidljivom dijelu spektra mogu registrirati i različite pojaseve u nevidljivom dijelu kao infracrveno i blisko-infracrveno zračenje, a u praksi se blisko-infracrveno pokazalo kao jedno od najkorisnijih za praćenje vegetacije.

Zdravlje vegetacije najlakše je predstaviti vegetacijskim indeksom, tj. bezdimenzionalnom veličinom koja se računa iz različitih spektralnih kanala. Vegetacijskim indeksom se značajno olakšava razumijevanje prirodnih procesa vegetacije.

Vegetacijski indeksi omogućuju praćenje klimatskih promjena kao jedan od najvećih izazova našeg vremena. Isto tako ogormnu primjenu imaju u spriječavanju bolesti vegetacije i voćnjaka te smanjenju upotrebe pesticida i raznih drugih kemijskih sredstava koja se koriste u poljoprivredi.

Osim navedenog u novije vrijeme sve više se primjenjuju tehnologije bazirane na računalnom vidu i dubinskom učenju. Pomoću navedenih tehnologija vrši se detekcija ploda, broja stabala kao i otkrivanje raznih uzročnika bolesti voćnjaka kao što su razni insekti.

## 2. DALJINSKO ISTRAŽIVANJE

Daljinsko istraživanje (*eng. remote sensing*) je prikupljanje informacija o objektu ili pojavi bez uspostavljanja fizičkog kontakta s objektom za razliku od promatranja na licu mjesta. Izraz se posebno primjenjuje na prikupljanje informacija o Zemlji i drugim planetima.

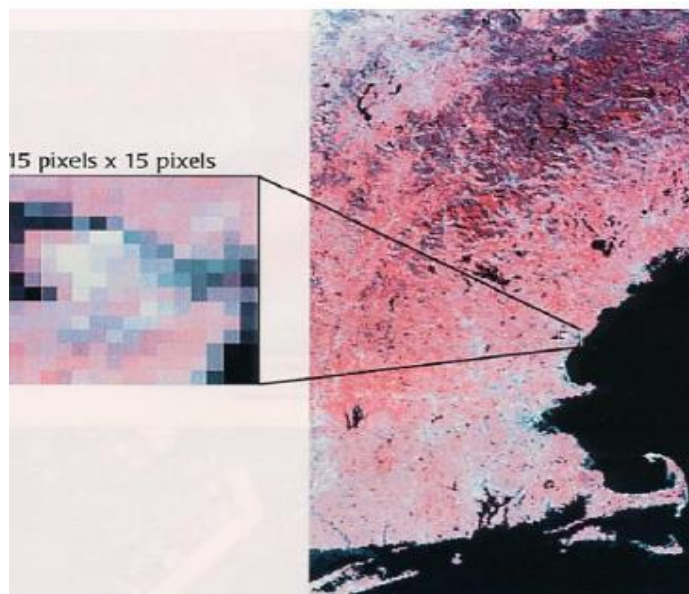
Promatranje Zemlje sa satelita počelo je 1972. godine kada je NASA lansirala satelit poznat kao Landsat I. Znanstvene i tehnološke inovacije te praćenje i analiza satelitskih snimaka u posljednjih trideset godina iz temelja je promijenilo naš pogled na Zemlju. Godinama je ta tehnologija bila vezana samo za vojsku i razvojne programe u visokim znanstvenim ili komercijalnim institucijama SAD-a. Međutim, širenje satelitske tehnologije u druge zemlje, brzi razvoj računalne tehnologije, omogućili su korištenje ove tehnologije u cijelom svijetu. Na slici 1. prikazano je fotografija dobivena iz satelita potrebe daljinskog istraživanja [1].

Daljinsko istraživanje koristi se u brojnim područjima uključujući geografiju, geodetsko mjerenje i u većini disciplina znanosti o Zemlji kao npr. hidrologiju, ekologiju, meteorologiju, oceanografiju, geologiju. Također ima vojne, obavještajne, komercijalne, ekonomske, planske i humanitarne primjene [2].

Daljinsko istraživanje može se podijeliti na dvije vrste metoda: pasivno daljinsko istraživanje i aktivno daljinsko istraživanje. [3]

Pasivno daljinsko istraživanje bazira se na aktivnim sensorima koji registriraju zračenje koje emitira ili reflektira objekt ili okolna područja. Reflektirano sunčevo svjetlo je najčešći izvor zračenja koje mjere pasivni senzori. [4]

Aktivno prikupljanje, s druge strane, emitira energiju kako bi se skenirali objekti i područja nakon čega senzor detektira i mjeri zračenje koje se reflektira ili raspršuje od mete. Radar i Lidar su primjeri aktivnog daljinskog očitavanja gdje se mjeri vremensko kašnjenje između emisije i povratka zračenja, utvrđujući lokaciju, brzinu i smjer objekta. [5]

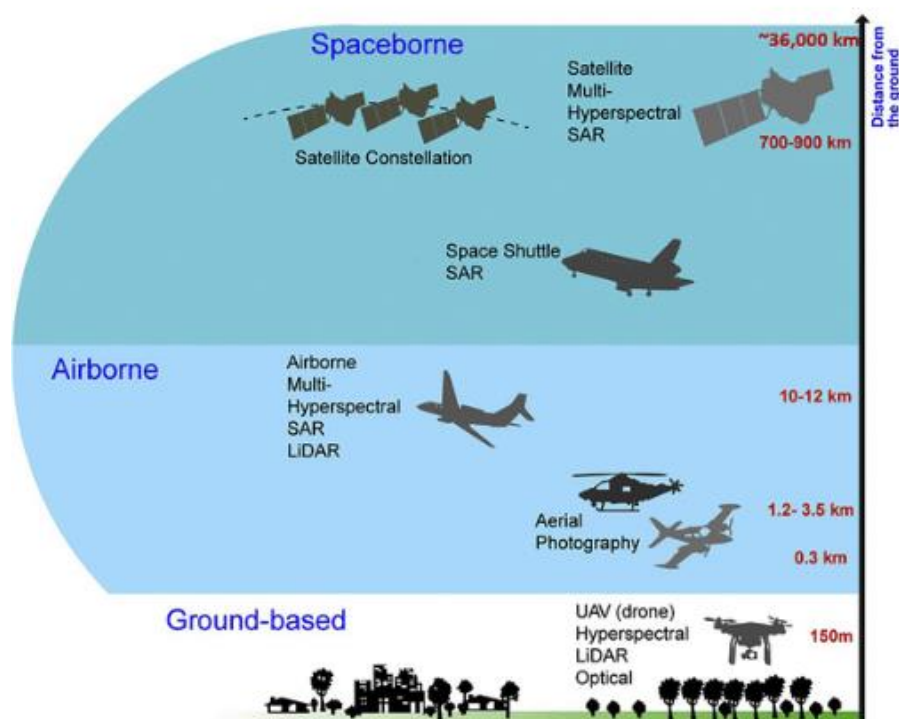


Slika 1. Satelitska slika dobivena daljinskim istraživanjem

## 2.1. Ciljevi i podjela daljinskih istraživanja

Cilj daljinske detekcije je učinkovito praćenje velikih prostornih područja. Ponovljena snimanja omogućuju nam praćenje određenih procesa koji mogu biti sezonski, godišnji ili višegodišnji. Velika korist od primjene daljinskog istraživanja je u mogućnosti vizualnog pregleda velikih površina u vrlo kratkom vremenu razdoblju bez potrebe fizičke prisutnosti.[6]

Daljinska istraživanja najčešće se dijele prema operativnoj visini tako je najčešća podjela na zračna i satelitska daljinska istraživanja. Podjela daljinsko istraživanja prema operativnim visinama prikazana je na slici 2. [7]



Slika 2. Podjela daljinskog istraživanja po visinama opservacija

## 2.2. Fotogrametrija

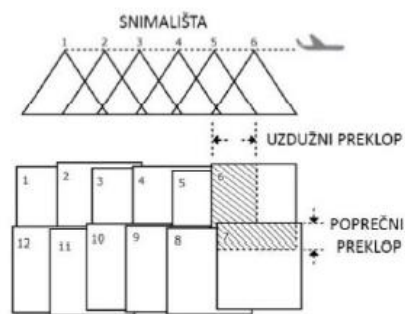
Fotogrametrija je znanost koja proučava dobivanje informacija o fizičkim objektima i okolišu kroz proces snimanja, mjerenja i tumačenja fotografskih slika i uzoraka slika elektromagnetskog zračenja. [8] Postoje mnoge varijante fotogrametrije. Jedan primjer je ekstrakcija trodimenzionalnih mjerenja iz dvodimenzionalnih podataka (tj. slika); na primjer, udaljenost između dviju točaka koje leže na ravnini paralelnoj s ravninom fotografske slike može se odrediti mjerenjem njihove udaljenosti na slici ako je poznato mjerilo slike. Drugi je izdvajanje točnih raspona boja i vrijednosti koje predstavljaju veličine kao što su zrcalna refleksija, metalnost ili ambijentalna okluzija iz fotografija materijala za potrebe fizički

utemeljenog renderiranja. Fotogrametrija iz blizine odnosi se na prikupljanje fotografija s manje udaljenosti od tradicionalne zračne (ili orbitalne) fotogrametrije. [9]

### 2.3. Aerofotogrametrija

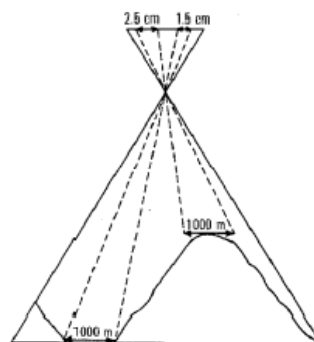
Aerofotogrametrija ili zračno snimanje je dio fotogrametrije koji se bavi prikupljanjem slika korištenjem bespilotnih letjelica, zrakoplova, helikoptera, balona iz zraka. Tipične vrste prikupljenih podataka uključuju fotografije iz zraka, daljinsko istraživanje (koristeći različite vidljive i nevidljive djelove elektromagnetskog spektra, kao što su infracrveno, gama ili ultraljubičasto) i geofizičke podatke (kao što su aeromagnetska istraživanja i gravitacija). Aerofotogrametriju treba razlikovati od tehnologija satelitskih snimaka zbog bolje rezolucije, kvalitete i atmosferskih uvjeta (koji mogu negativno utjecati i zamagliti satelitsko promatranje). [10]

Na slici 3.1 prikazana je stereofotogrametrija koja se bavi izradom slika velikih površina na osnovu uzimanja većeg broja fotografija. [11]



Slika 3.1. Stereofotogrametrija

Fotogrametrijski snimak predstavlja centralnu projekciju. To znači kako se svaka točka na objektu preslika na projekcijsku ravninu pomoću zrake, a sve te zrake prolaze kroz točku sjecišta koja predstavlja centar projekcije.



Slika 3.2. Centralna projekcija

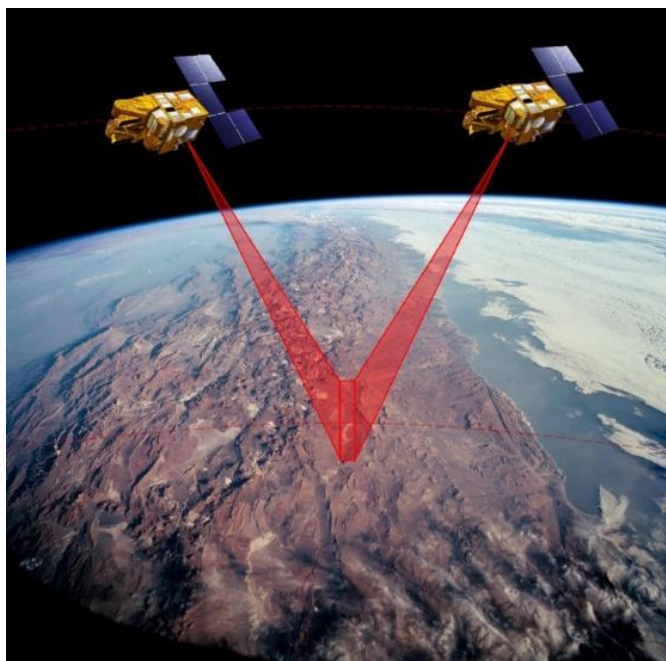
## 2.4. Satelitska fotogrametrija

Satelitska fotogrametrija je dio daljinskog istraživanja koje se bavi prikupljanjem informacija pomoću uređaja koji se nalaze u satelitima u Zemljinoj orbiti. Sateliti koriste posebne senzore koji snimaju različite valne duljine. Kako bi se postigla zadovoljavajuća točnost, nakon snimanja potrebna je dodatna obrada snimki.

Prednost satelitske fotogrametrije je u tome da obuhvaća znatno veće površine. Osnovni nedostaci satelitske fotogrametrije su: zaostajanje za mogućnostima razlučivosti snimki koje pruža aerofotogrametrijsko snimanje; komplicirani matematički modeli za korekciju deformacija (od platforme, senzora, reljefa, potreba za informacijama o putanjama satelita, itd.); mogućnost prikaza oblaka na snimkama.

Osnovni zahtjevi bespilotnih letjelica namijenjenih ovim potrebama su mogućnost izvođenja plana leta s visokom točnošću, autonomija samog leta, mogućnost nosivosti opreme za snimanje i navigaciju te smanjenje vibracija i ostalih vanjskih utjecaja tijekom leta. Bitno je spomenuti i vremenski čimbenik snimanja podatka koji kod bespilotnih letjelica daje realniji prikaz stvarnog stanja na terenu s obzirom na satelitske snimke.

Niža relativna visina leta eliminira prisustvo oblaka ili slabe magle na snimkama te omogućuje brzu reakciju i trenutno prikupljanje podataka. Na slici 4. je prikazana ilustracija satelitske fotogrametrije. [12]



Slika 4. Satelitska fotogrametrija

### 3. BESPILOTNE LETJELICE

Bespilotna letjelica (dron) je letjelica kojom se upravlja sa zemlje ili koja leti samostalno po unaprijed određenim putanjama.

Bespilotne letjelice potječu iz vojne domene gdje su godinama korištene za nadzor teritorija i izravne borbene svrhe. Bespilotne letjelice su našle široku primjenu u gotovo svim područjima vezanim uz prikupljanje geoprostornih podataka (građevinarstvo, geologija, arheologija, biologija, ekologija, šumarstvo). [13]

Bespilotne letjelice prema konstrukciji se mogu podijeliti u dvije osnovne kategorije: letjelice s pomičnim (propelerima) i letjelice s nepomičnim krilima. Njihove dimenzije i mase značajno variraju od samo 200 g do super teških od 2500 kg, odnosno domet leta od 5 km do 1500 km.

Bespilotne letjelice s nepomičnim krilima (slika 5.a) zahtijevaju određenu količinu prostora za polijetanje i slijetanje, ali zahtijevaju manje energije za prijenos jedinične težine tereta i sposobne su pokriti veća područja. Nedostatak im je što ne mogu lebdjeti u mjestu, jer da bi održale svoju visinu moraju se stalno kretati.

Bespilotne letjelice s propelerima (slika 5.b) nemaju ovo ograničenje, što ih čini idealnim za visokoprecizan nadzor. Također, letjelice s propelerima mogu uzlijetati i slijetati okomito s bilo koje lokacije.

Ne zahtijevaju dodatni slobodni prostor niti početno zaletavanje. Nedostatak im je manja autonomija leta zbog veće potrošnje energije, a time i manja pokrivenost terena.

Posebnu pažnju i popularnost stječu tzv VTOL sustavi (zrakoplovi s vertikalnim uzlijetanjem i slijetanjem) koji predstavljaju kombinaciju fiksnih krila i propelera. [14]



a.



b.

Slika 5. Letjelica u obliku nepomičnog krila(a.) i sa propelerima(b.)



### 3.1. Primjena bespilotnih letjelica u daljinskom istraživanju

Veliki je potencijal bespilotnih letjelica se nalazi nadziranju okoliša tj. prikupljanju raznih informacija s terena.

Glavna prednost snimanja iz zraka bespilotnom letjelicom u odnosu na druge uređaje koji se koriste u daljinskom istraživanju je u tome što je utjecaj naoblake manji nego kod snimanja sa satelita jer je senzor bliži površini koju snima. Nedostaci tehnologije snimanja dronom ogledaju se u ograničenim mogućnostima kada su potrebne informacije s većih područja. [15]

VTOL letjelice su letjelice fiksnog krila sa mogućnosti vertikalnog polijetanja i vertikalnog slijetanja. Idealan spoj fleksibilnosti letjelica s propelerima i duljine trajanja leta letjelica s fiksnim krilima.

Prilagođene su pokrivanju većih teritorija te imaju mogućnost okomitog polijetanja i slijetanja pomoću propelera koji se nalaze na prednjoj i/ili stražnjoj strani letjelice. Polijeću vertikalno, a kada dostignu odgovarajuću visinu postavljaju se u položaj za horizontalni let. Kod slijetanja proces je obrnut.

Na slici 6 prikazan je VTOL bespilotna letjelica. [16]



*Slika 6. VTOL bespilotna letjelica*

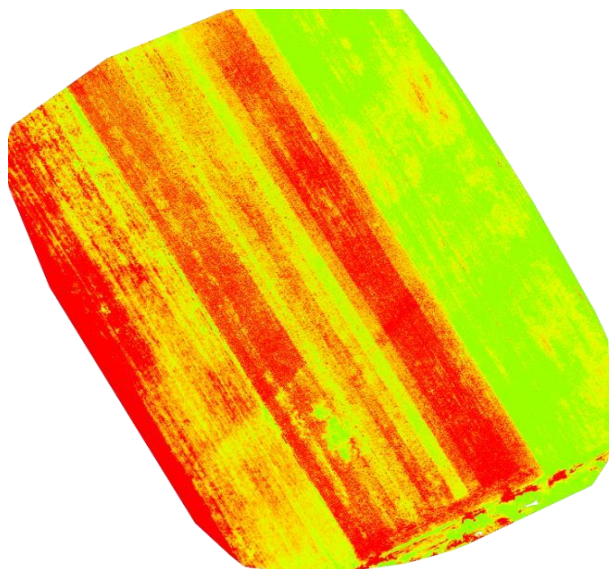
Bespilotne letjelice opremljene su različitim senzorima kao što su digitalne, multispektralne, hiperspektralne i termalne kamere za potrebe praćenja poljoprivrede.

Prikupljanje i obrada podataka iz bespilotne letjelice je proces koji uključuje prikupljanje podataka, obradu slika, softversko preklapanje slika, izračun vegetacijskih indeksa u obliku matematičkih operacija na temelju refleksije (spektralnog zapisa) biljaka te zatim stvaranje odgovarajućeg modela za vizualizaciju rezultata i interpretaciju.

Faza prikupljanja podataka uključuje planiranje leta, označavanje geoprostornih kontrolnih točaka za pravilno pozicioniranje i sam let UAV-a.

Ispravna pretprocesiranje podataka sa potrebnom tačnošću podataka UAV-a ključni je korak za razvoj modela (ortomozaik) jer bi nedostatak predprocesiranja smanjio kvalitetu sljedećih procesa i stvorio pogrešne rezultate.

Na slici 7 prikazano je stvaranje orthomozaika putem bespilotnih letjelica. [17]



*Slika 7.1 Ortomozaik dobiven preklapanjem fotografija s multispektralnom kamerom*

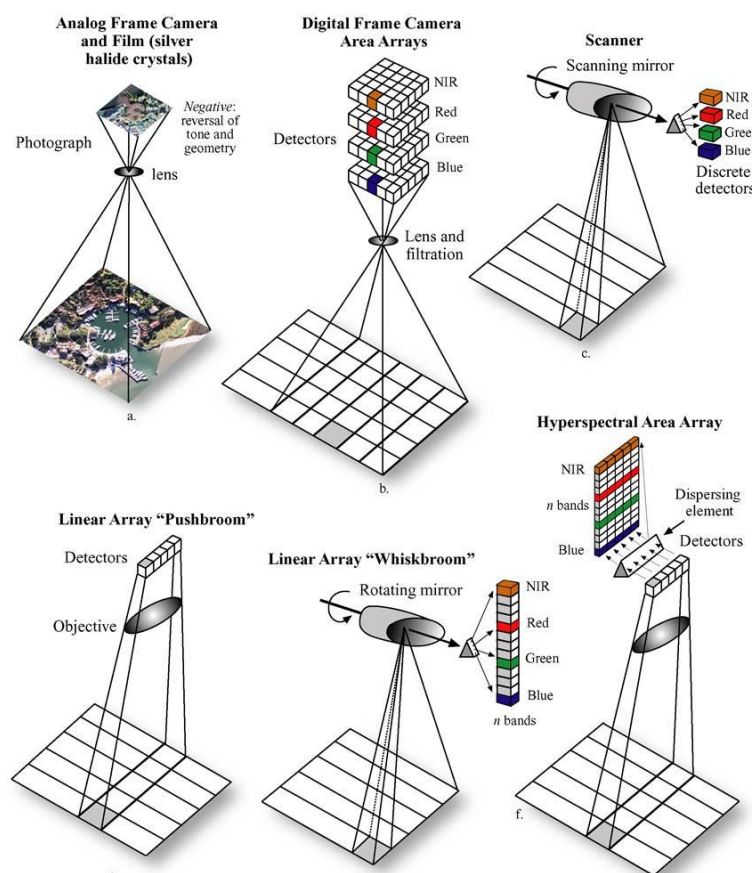


*Slika 7.2 Ortomozaik dobiven preklapanjem fotografija RGB kamere*

## 4. SENZORSKA MJERENJA U DALJINSKIM ISTRAŽIVANJIMA

Daljinska istraživanja (*eng.remote sensing*) proučavaju fizikalne pojave koje se očituju u interakcijom elektromagnetskog zračenja od površine bez direktnog doticaja s njima. Glavni uređaji kojim pratimo promijene u daljinskom istraživanju su senzori. [18]

Senzori su uređaji kojima registriamo i mjerimo određene fizičke veličine u ovom slučaju elektromagnetskog zračenja što ga emitira ili reflektira objekt promatranja. Senzori pretvaraju detektiranu elektromagnetsku energiju u električne impulse, a dizajnirani su tako da mogu detektirati uže ili šire spektralno područje. Na slici 8. prikazano je senzorsko prikupljanje informacija kod daljinskog istraživanja. [19]



Slika 8. Shematski prikaz senzorskih tehnologija koje se primjenjuju kod daljinskog istraživanja

Elektromagnetsko zračenje dopire do objekata na Zemlji i u trenutku kad dospije do kontakta s površinom predmeta mijenja intenzitet, valnu duljinu, smjer, polarizaciju i fazu.

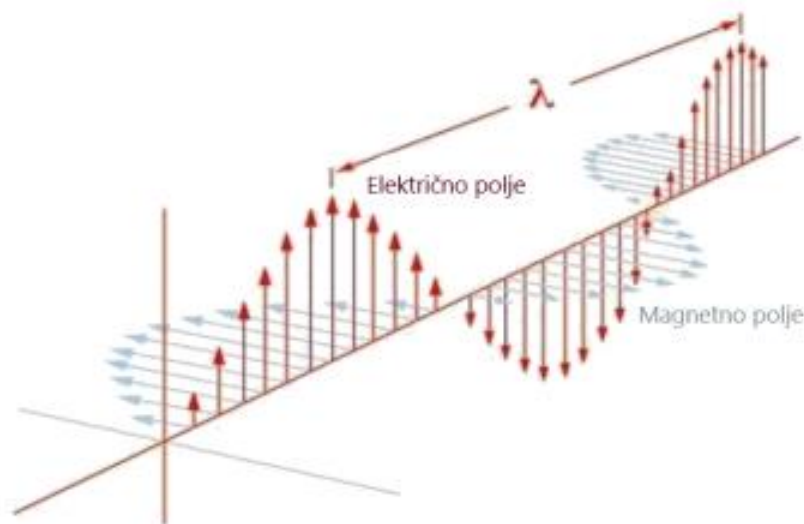
Do kakvih će promjena doći ovisi o fizikalnim i kemijskim svojstvima predmeta i ako se radi o biljnim ili životinjskim strukturama ovisi o anatomiji i fiziološkom stanju.

Zračenje se može reflektirati, apsorbirati ili prenositi, ali isto tako i određeni objekt može emitirati vlastitu energiju. Svaki objekt ima energiju određene frekvencije i valne duljine i može emitirati energiju određenog dijela elektromagnetskog spektra.

Određene čestice materije posjeduju električni naboj i mogu stvoriti električno polje koje djeluje silom na svaki električni naboj koji je u njemu.

Te čestice stvaraju električnu struju koja stvara magnetsko polje. Magnetsko polje također djeluje silom na bilo koju česticu s električnim nabojem u pokretu.

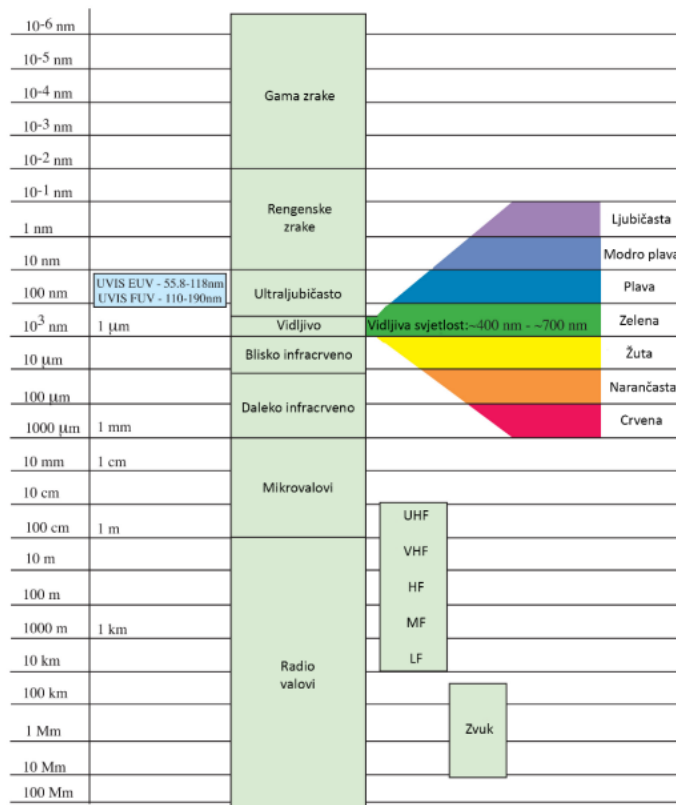
Na taj način promijenjeno električno polje stvara magnetsko polje, a promijenjeno magnetsko polje stvara električno polje. Na slici 9. prikazana propagacija elektromagnetskog vala. Nastale promjene dovode do povećanja energije u u obliku povezanih električnih i magnetskih polja s vremenskom i prostornom varijacijom snaga. [20]



Slika 9. Propagacija elektromagnetskog polja u prostoru

U daljinskim istraživanjima koriste se vidljivi, infracrveni i mikrovalni dijelovi elektromagnetskog spektra. Na slici 10. prikazan spektar elektromagnetskih valova

Ljudsko oko ima osjetljivost na vidljivi dio spektra od  $0,4 \mu\text{m}$  do  $0,7 \mu\text{m}$ . Nakon vidljivog dijela spektra slijedi infracrveni dio spektra. Infracrveni dio spektra obuhvaća valne duljine od  $0,7 \mu\text{m}$  do  $100 \mu\text{m}$ . Taj dio spektra može se podijeliti na dva dijela: reflektirani IR ( $0,7 - 3,0 \mu\text{m}$ ) i termalni IR ( $3,0 - 100 \mu\text{m}$ ).



Slika 10. Spektar elektromagnetskih valova

Kada se promatra spektar reflektiranih valova od vegetacije ili tla, tada je primjetno da je u slučaju tla refleksija znatno veća u vidljivom i bližem dijelu infracrvenog spektra dok je kod vegetacije u spomenutom spektru veća apsorpcija, a ne refleksija zbog fotosinteze biljnog tkiva. Stoga dolazi do naglog skoka refleksija vegetacije na prijelazu iz vidljivog u infracrveni spektar. Ova zona prijelaza se naziva crvenim rubnim spektrom RED (*eng. red edge*). [21]

#### 4.1. Senzori i kamere u daljinskim istraživanjima

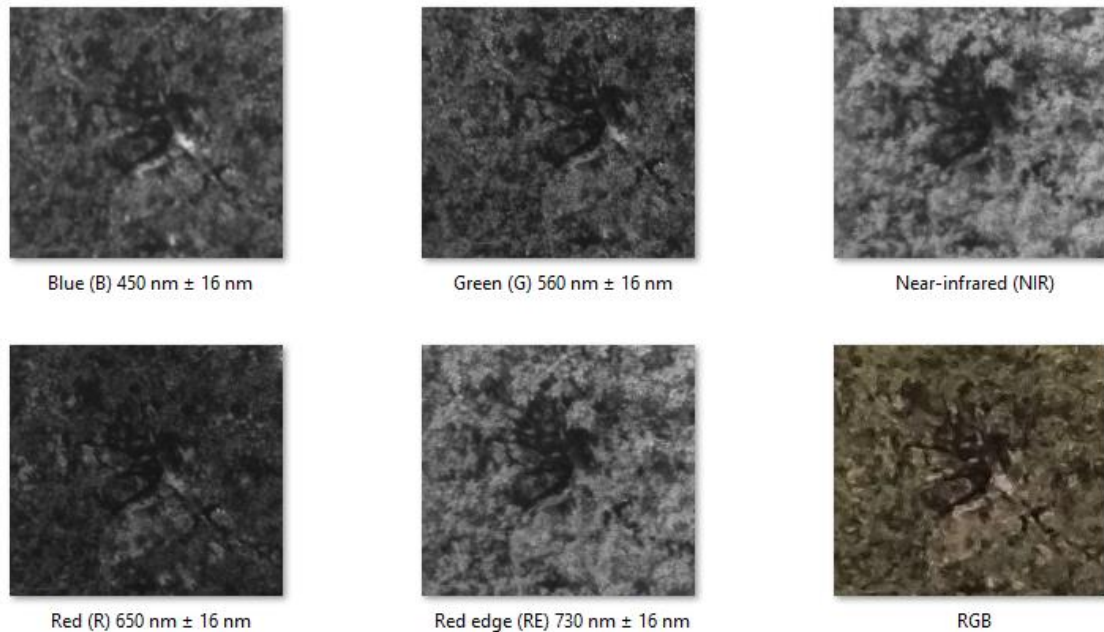
Najčešće korišteni senzori u daljinskim istraživanjima su multispektralni, hiperspektralni i termalni. Spektar elektromagnetskog zračenja je izuzetno velik pa ne postoji uređaj koji može pokriti cijeli spektar. Senzori su dizajnirani za otkrivanje užeg ili šireg spektralnog raspona. Koriste različite pojaseve elektromagnetskog spektra koje pretvaraju u podatke. [22]

Jedna od jednostavnijih podjela senzora je na aktivne i pasivne. Aktivni senzori primaju i šalju energiju, te registriraju dio koji se reflektira od mjenjenog objekta. Imaju vlastiti izvor svjetlosti i mogu se koristiti neovisno o vremenskim uvjetima. Razlike u uvjetima osvjetljenja poput naoblake ne ugrožava rad senzora. Senzor automatski pretvara zapis u brojčanu vrijednost. Pasivni senzori samo primaju energiju koja dolazi od ispitivanog objekta. [23]

Multispektralni senzori su po izvedbi pasivni te koriste prirodni izvor svjetlosti te ovise od vanjskim utjecajima. Multispektralni senzori mogu detektirati crvene, zelene i plave valne

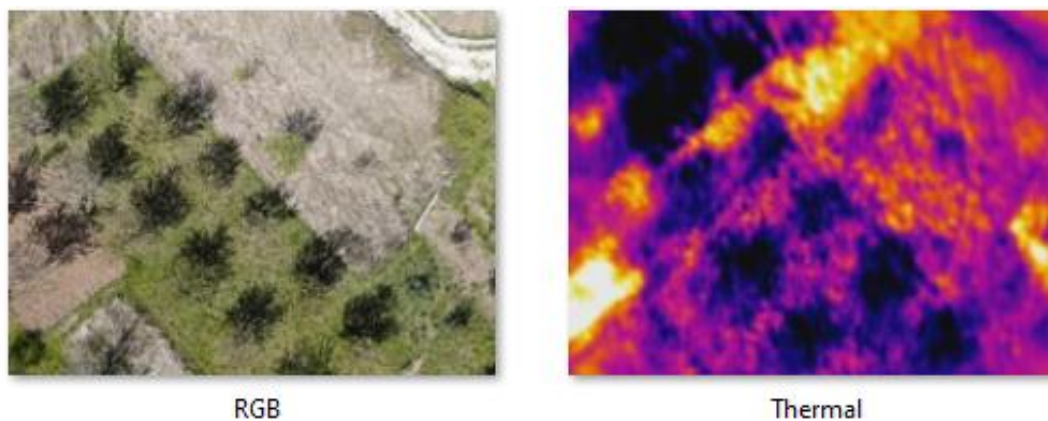


duljine svjetlosti, kao i valne duljine koje padaju izvan vidljiva spektra. Na slici 11. prikazan jedan prizor dobiven korištenjem različitih senzora.



*Slika 11. Korištenje različitih senzora za prikupljanje informacija o različitim pojasevima elektromagnetskog zračenja*

Termalni senzori mjere relativnu površinsku temperaturu objekata. Koriste se u svrhu mjerenje temperature biljke, praćenja hidratizacije te metaboličkih procesa biljke. Na slici 12. prikazana razlika između RGB i termalnog senzora.

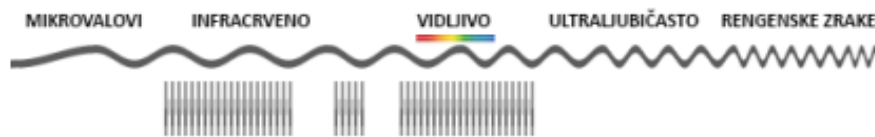


*Slika 12. Korištenje termalnih kamera(senzora) za prikupljanje informacija o temperaturi biljki i okoliša*

Hiperspektralni senzori detektiraju podatke kao niz uskih traka (bandova) valne duljine koje pružaju visoku razinu performansi u spektralnoj i radiometrijskoj preciznosti. Na slici 13.1 i 13.2 prikazan broj kanala kod hiperspektralnog i multispektralnog senzora.



*Slika 13.1. Prikaz kanala u multispektralnom snimanju*



*Slika 13.2. Prikaz kanala u hiperspektralnom snimanju*

Prema broju i širini spektralnog kanala senzori mogu biti:

**Pankromatski** (mjere refleksije u jednom širokom dijelu elektromagnetskog spektra unutar širokog raspona valnih duljina)

**Multispektralni** (mjere energiju u višekanalnom detektoru i uskom rasponu valnih duljina)

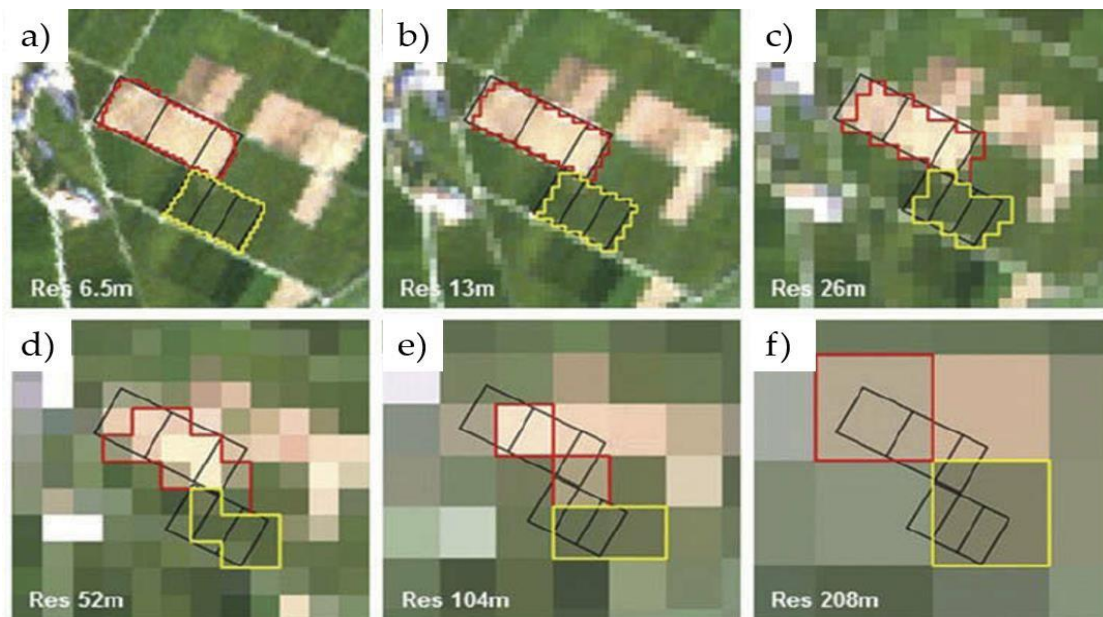
**Hiperspektralni** (sadrže više od sto spektralnih kanala, te su manje zastupljeni na tržištu)

**Ultraspektralni** (faza razvoja)

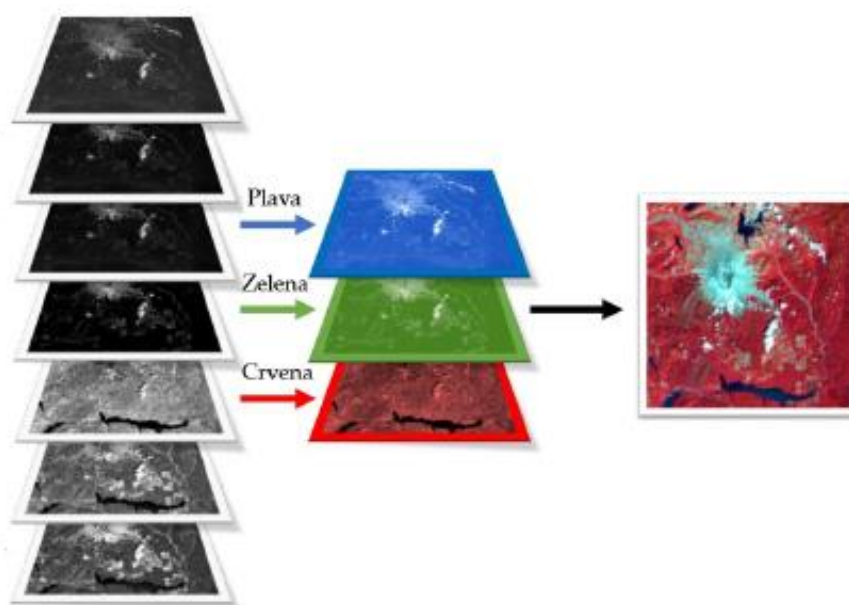
U tablici 1. i tablici 2. prikazane karakteristike senzora i kamera koje se koriste u daljinskim istraživanjima.

Senzorsko mjerenje vegetacije:

- prostorna rezolucija – predstavlja veličinu najmanjeg objekta koji se može raspoznati na slici (slika 14);
- spektralna rezolucija – broj segmenata (spektralnih komponenti) koji su obuhvaćeni snimanjem (slika 15);
- rezolucija slika – broj podataka koji se dobija iz svake komponente spektra (broj bitova po pikselu, slika 16.)
- vremenska rezolucija – učestalost snimanja istog područja.

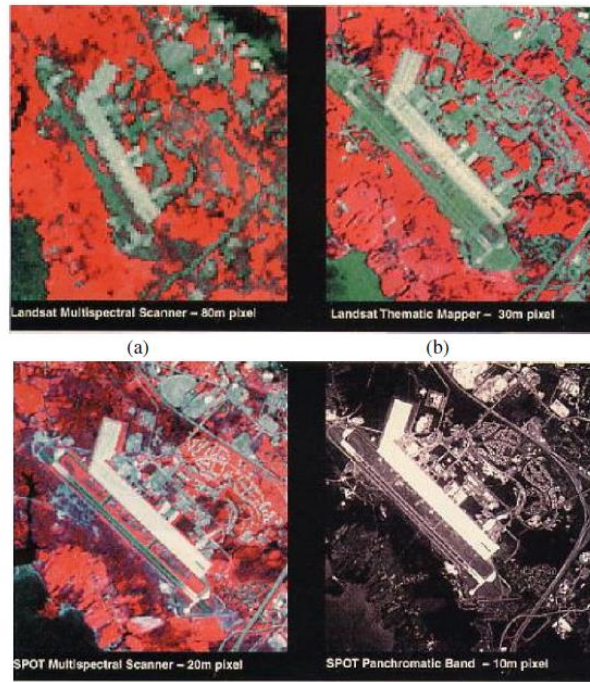


Slika 14. Prikaz istog objekta različitim rezolucija zapisa daljinskim istraživanjem:  
 a) rezolucija 6,5 m; b) rezolucija 13 m; c) rezolucija 26 m; d) rezolucija 52 m; d) rezolucija 104 m;  
 f) rezolucija 208 m



Slika 15. Prikaz slika sa različitim spektralnim rezolucijama

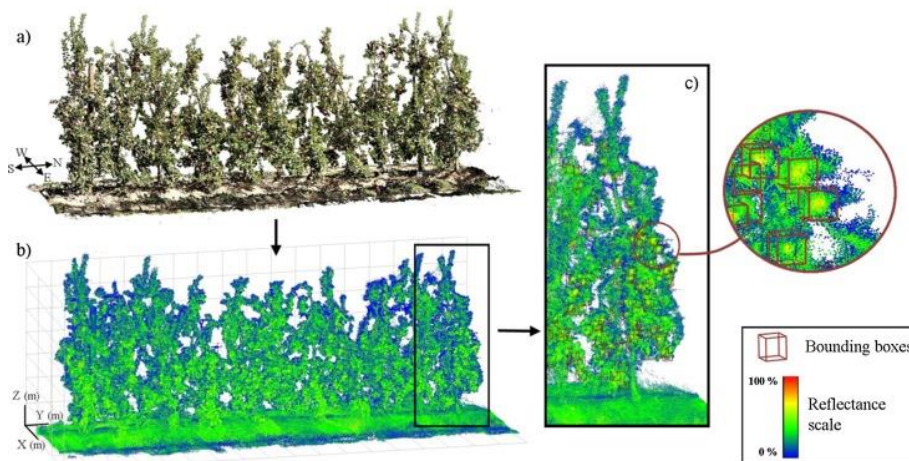




*Slika 16. Prikaz zapisa različite rezolucije*

Za analizu i praćenje vegetacije koristi se i optički radar kojim se vrši mjerenje visine i volumena biljke (LIDAR - Light Detecting and Ranging). Na slici 17. prikazano mapiranje vegetacije.

Sonari služe za mapiranje terena no češće su korišteni u podvodnim dronovima - ronilicama. Kod bespilotnih letjelica teško je postići dobre rezultate jer tijekom leta dolazi do turbulencije pa ultrazvučni val koji se propagira ima velika odstupanja u točnosti [23].



*Slika 17. Mapiranje biljki LIDAR-om*

*Tablica 1 Opis senzora*

<b>Vrsta senzora</b>	<b>Primjena</b>	<b>Ograničenja</b>
<b>Multispektralni</b>	Stanje vegetacije, suša, bolesti vegetacije	Obuhvaća manji dio nevidljiva spektra (uz vidljivi spektra).
<b>Hiperspektralni</b>	Stres biljke, kvaliteta proizvoda, preventiva	Procesiranje slika je zahtjevno. Oprema je jako skupa.
<b>LIDAR</b>	Precizan izračun visine i volumena biljke model	Osjetljiva na male varijacije u -3D duljini puta lasera.
<b>Sonar</b>	Mapiranje	Osjetljiv na pozadinski šum. Obrađuje manji broj uzoraka od LIDAR senzora .
<b>Digitalne kamere (RGB)</b>	Vizualna svojstva biljke u vidljivom spektru	Limitirane samo na vizualni dio spektra.
<b>Termalne kamere</b>	Otpornost biljke na sušu i bolesti.	Okolišni čimbenici utječu na učinkovitost, male varijacije temperature ne mogu se detektirati. Visoko razlučive kamere su teške.

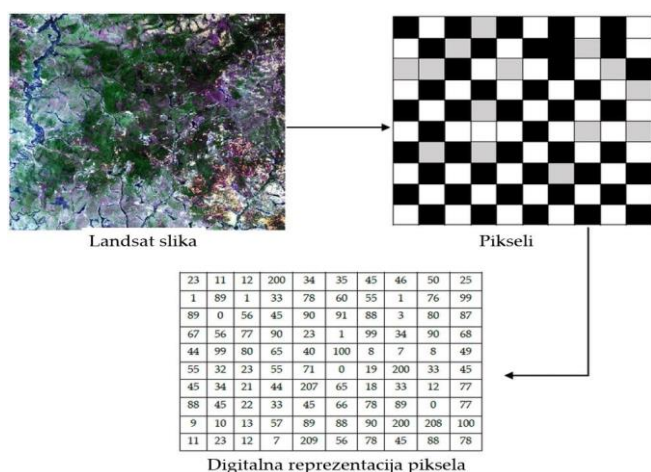
## 5. OBRADA SLIKE POMOĆU RAČUNALNOG VIDA I NEURONSKIH MREŽA

Digitalna slika sastoji se od elementarnih dijelova koji se nazivaju pikseli, a koji predstavljaju sjecište pojedinačnih redaka i stupaca. Manja brojevana vrijednost predstavlja nižu razinu elektromagnetskog zračenja (Slika 19). Računalna obrada slike uključuje grupiranje piksela na temelju vrijednosti koju nose. Mozaik koji nastaje grupiranjem piksela po klasama i njihovim bojanjem prema definiranim kriterijima naziva se tematska karta.

U posljednjem desetljeću učinjen je značajan napredak u području digitalne obrade slike, prvenstveno razvojem novih računalnih tehnika potaknutih masovnom dostupnošću satelitskih snimaka visoke prostorne, radiometrijske i spektralne rezolucije. Paralelno, napredak računalne tehnologije i programa pridonio je razvoju metoda interpretacije digitalnih zapisa kroz razvoj tehnika prepoznavanja uzoraka. Uvođenje numeričkih algoritama za prepoznavanje uzoraka bio je veliki pomak u klasifikaciji zemljišnog pokrova i osnova je suvremenih metoda klasifikacije u daljinskom istraživanju u poljoprivredi. Obrada slike uglavnom se sastoji od sljedećih faza:

1. Predobrada,
2. Poboljšanje slike
3. Klasifikacija
4. Segmentacija

Tijekom predprocesiranja vrijednosti digitalnih piksela se kalibrira kako bi se uklonila izobličenja i šum. Digitalne vrijednosti obrađuju se u vrijednosti koje odgovaraju površinskoj refleksiji. Poboljšanje slike je proces povećanja kvalitete vizualnog prikaza slike. Obradom se poboljšava kvaliteta zapisa u smislu bolje čitljivosti i uočavanja detalja te identifikacije i klasifikacije željenih karakteristika. Na ovaj način se postiže mnogo bolja analiza i interpretacija video sadržaja što je iznimno važno u daljinskim istraživanjima [25].



Slika 19. Primjer slike dobivene daljinskom detekcijom gdje svaki piksel predstavlja numeričku vrijednost podatka

Podaci putuju dugo od trenutka snimanja do korisnika i prolaze kroz razne promijene u atmosferi od Sunca do Zemlje. Stoga je često potrebno ispraviti podatke prije interpretacije snimaka. Prevođenje podataka u odgovarajući korisnički format (pretvorba slike) i ispravak snimaka zbog mogućih grešaka (radiometrijskih i geometrijskih) provodi se u fazi pred procesiranja.

Radiometrijska pogreška utječe na radiometrijske vrijednosti piksela na slici. Geometrijska pogreška utječe na položaj piksela na slici. Podaci snimljeni satelitima (izvorni podaci) često su puni grešaka što može biti uzrokovano sensorima, formatom snimanja i itd. Uklanjanje ili barem smanjenje takvih grešaka obično se provodi prije prikaza i analize snimaka. [26]

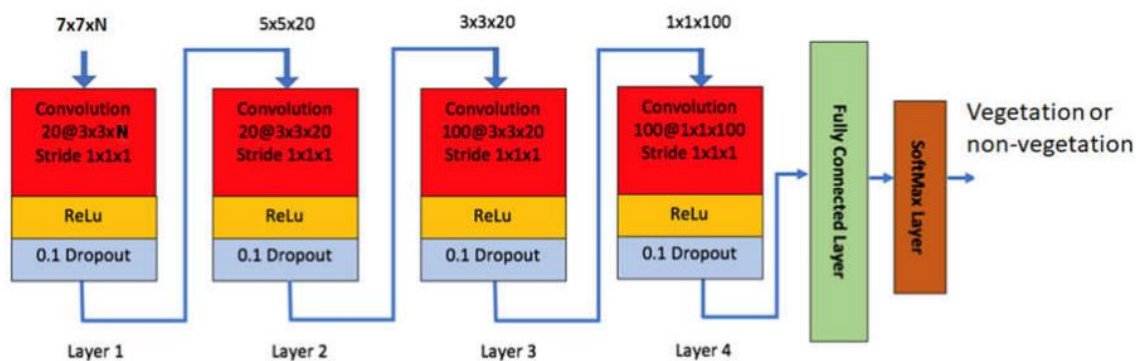
Klasifikacija i segmentacija uključuje matematičko grupiranje vrijednosti piksela u skupine podataka koje odgovaraju određenim značajkama. Suvremeni alati za klasifikaciju razvijeni su na temelju naprednih algoritama. Napredak u tehnikama prepoznavanja putem umjetne inteligencije i strojnog učenja značajno je pridonio razvoju naprednih neparametarskih klasifikatora kao što su umjetne neuronske mreže i stabla odlučivanja.

Novе tehnike kojim se vrši semantička segmentacija slika vegetacije baziraju se najčešće na neuronskim mrežama. Najpopularnije tehnike koje se koriste za analiziranje slika vegetacije uključuje strojno učenje -Machine Learning (K-means, support vector machine (SVM)), umjetne neuronske mreže (ANN), duboke neuronske mreže (Deep Learning)). [27]

Među navedenim tehnikama, najaktualnija tehnika je dubinsko učenje-Deep Learning. Dubinsko učenje pripada strojnom učenju i bazira se na korištenju višeslojnih neuronskih mreža. Kao state of the art pojam u modernom računarstvu dubinsko učenje ima sve češću primjenu u daljinskom istraživanju u vidu semantičke segmentacije slika velikih površina ili pak predikcijskim modelima vegetacijskih indeksa. Konvolucijske mreže (CNN) pokazale su se iznimno korisnim u problemima kada se radi obrada podataka dobivenih s RGB senzora tj. kada imamo vidljivi spektar. Isto tako dubinsko učenje u poljoprivredi se koristi za detekciju broja stabala, detekciju raznih vrsta bolesti ploda, kao i detekciju raznih vrsta nametnika i gljivica.

[28]

Slika 20. ilustrira korištenje neuronskih slojeva za obradu informacija o vegetaciji.



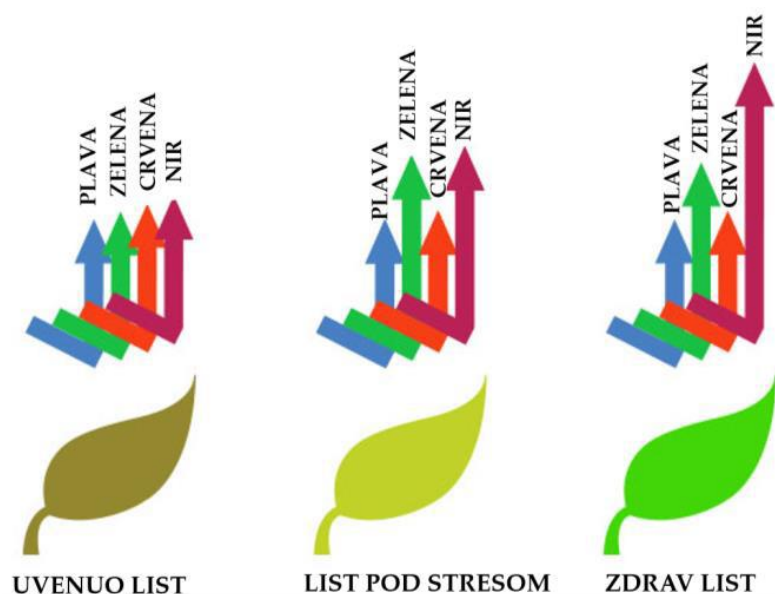
Slika 20. Konvolucijska mreža za predikciju vegetacije i nevegetacije

## 6. VEGETACIJSKI INDEKSI

Vegetacijski indeksi su bezdimenzionalne veličine dobivene na osnovu apsorbirane odnosno reflektirane svjetlosti te su razvijeni za različite potrebe. Zdravstveno stanje biljke može se pregledati i provjeriti, evidentirati, a zatim obraditi pomoću različitih vegetacijskih indeksa kao što su: VI, NDVI, TNDVI, NDRE, VARI, SAVI, MSAVI2, TGI, SIPI2, LCI, BNDVI, GNDVI. Svaki indeks ima drugačiji način korištenja i drugačiji vizualni izlaz [30].

Njihova je svrha provjeriti trenutno stanje vegetacije, potrebu za vodom i različitim hranjivim tvarima ili čak utvrditi prisutnost bolesti ili insekata na biljci. Vegetacijski indeksi dobivaju snimanjem spektralnim kamerama.

Cilj ovog rada je pomoću podataka dobivenih bespilotnom letjelicom izrada vlastitog vegetacijskog indeksa ili modifikacija postojećeg, stvaranjem nove matematičke formule ili korigiranjem postojeće. Na slici 21. Prikaz odnosa pojedinog spektralnog kanala i zdravstvenog stanja biljke



Slika 21. Prikaz odnosa pojedinog spektralnog kanala i zdravstvenog stanja biljke

### 6.1. Karakteristike vegetacije

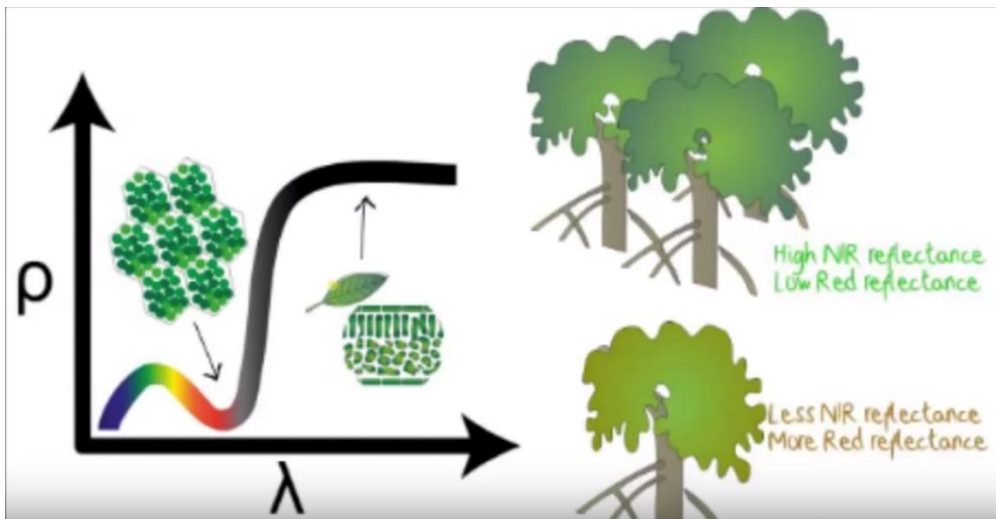
Biljke vidimo u zelenoj boji zbog reflektirane svjetlosti u opsegu od 0,5 -0.6  $\mu\text{m}$ . Jedinstvena svojstva za vidljivost vegetacije stvaraja apsorpcija u vidljivom spektru i refleksija u bliskom infracrvenom spektru (NIR).



Stupanj apsorpcije i refleksije definira vrste i tipove vegetacije, gustoću biomase i promjenjive vrijednosti, kao zdravstveno stanje vegetacije. Na slici 22. prikazan je omjer refelktirane NIR i RED svjetlosti i zdravlja biljke.

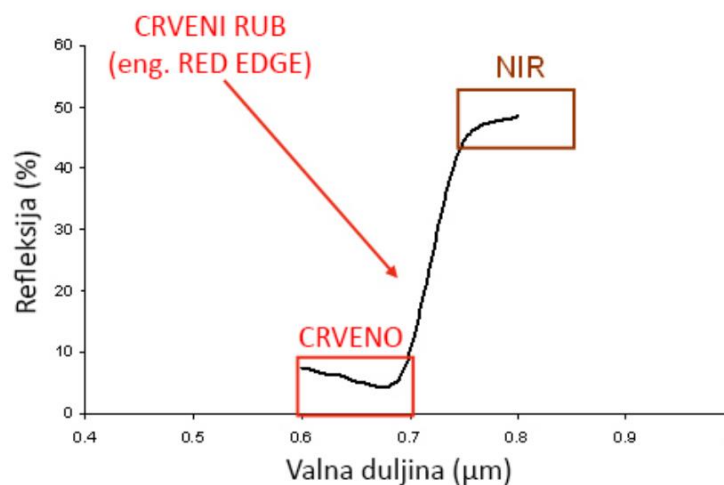
O karakteristikama reflektiranog zračenja vegetacije primarno ovise svojstva, orijentacija i struktura lišća. Sekundarnim karakteristikama u različitim dijelovima spektra smatra se pigment u lišću, debljina, struktura stanica te iznos slobodne vode u tkivu lišća.

Na slici 22. prikazan opći graf reflektivnosti od zdrave i nezdrave vegetacije.



Slika 22. Omjer refelktirane NIR i RED svjetlosti i zdravlja biljke

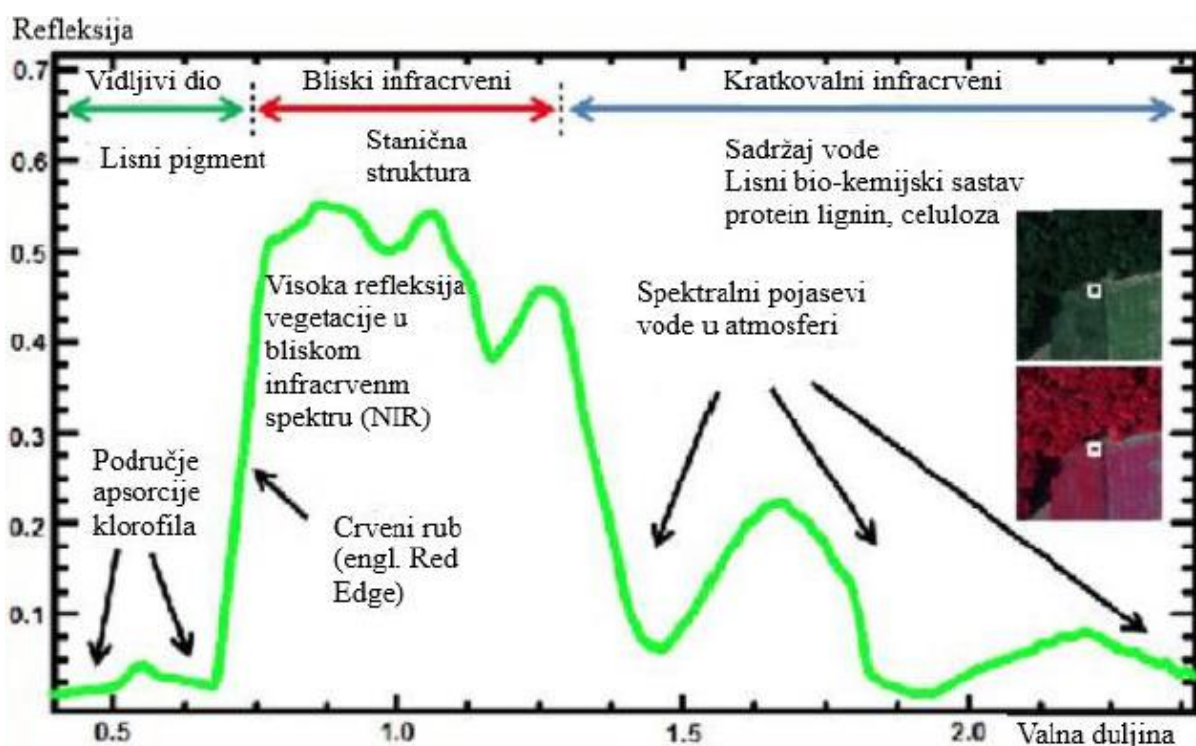
Na slici 23. je prikazan nagli skok u spektru između značajnog upijanja velikih valnih duljina vidljive crvene („red edge“) te jake refleksije u infracrvenom NIR području.



Slika 23. Prikaz refleksije

Spektar refleksije vegetacije podijeljen je na tri dijela: vidljivi (od 0,4  $\mu\text{m}$  do 0,7  $\mu\text{m}$ ), bliski infracrveni (eng. near infrared - NIR) (od 0,701  $\mu\text{m}$  do 1,3  $\mu\text{m}$ ) i na srednji nfracrveni spektar (eng. Middle infrared - MIR) (od 1.301  $\mu\text{m}$  do 2,5  $\mu\text{m}$ ). Prikazano na slici 24.

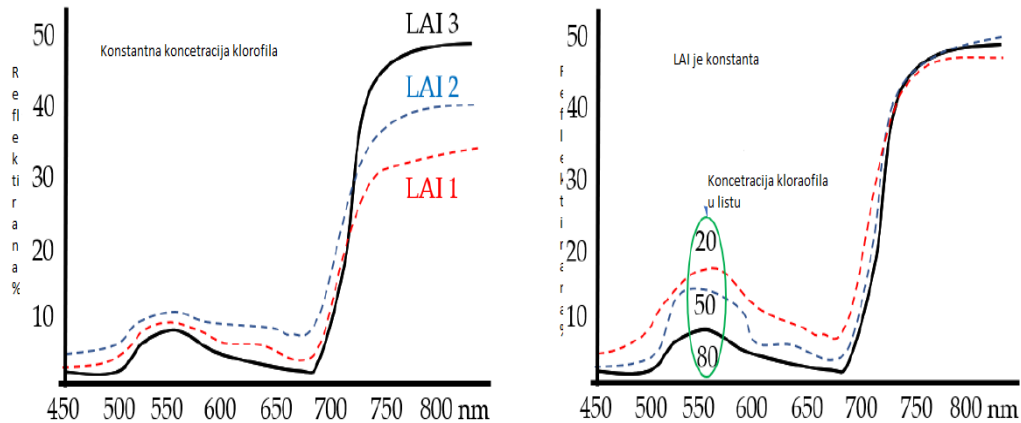
Refleksija plave i crvene svjetlosti je manja od apsorpcije zbog klorofila koji služi za fotosintezu. U infracrvenom području apsorpcija je najveća u bliskom infracrvenom području (NIR) i proporcionalna je razvoju lista ili građi stanice. Srednji dio područja infracrvene refleksije određuje količina vode u listovima. U prirodnoj fazi sušenja vegetacije mijenjaju se omjeri refleksije i apsorbcije. Razlog tome je što u toj fazi nema fotosinteze. Refleksija je povećana u crvenom dijelu spektra, dok će bliskom infracrvenom području biti smanjena. Najveći utjecaj na refleksiju vegetacije ima udio klorofila u biljnom tkivu i količina biomase.



Slika 24. Spektralna krivulja

Pokazatelj razvojne faze biljne vrste ima indeks lisne površine (*LAI - leaf area index*). Definira se kao omjer lisne površine koji obavlja aktivnu fotosintezu i pozadinske površine. LAI je vrlo važan pri analizi koncentracije klorofila gdje je pokazatelj količine klorofila po jedinici lisne površine. Stoga je korisno analizirati odvojeno LAI odnosno količina klorofila pri analizi utjecaja na refleksijski spektar. Utjecaj količina klorofila u listu rezerviran je isključivo za spektar ispod crvenog ruba raspon valnih duljina. U vidljivom dijelu spektra dolazi do smanjenja refleksije s porastom koncentracije klorofila u listu. Utjecaj lisne površine i količine klorofila na refleksiju u vidljivom dijelu spektra nisu isti. Prikazano na slici 25.

Više zelene površine smanjuju refleksiju u zoni crvenog svjetla dok više klorofila smanjuje refleksiju zelene svjetlosti. Spektar reflektirane svjetlosti biljaka ovisi o LAI (a) i koncentraciji klorofila (b).



Slika 25. Spektar reflektirane svjetlosti od biljaka zavisno do LAI (a) i koncentracije klorofila (b)

Za razlikovanje se koristi refleksija u vidljivom i bliskom infracrvenom području između tla i vegetacije. Ovaj pristup se koristi kada se analizira više svojstava kao što su biomasa i količina vode. [31]

## 6.2. Definiranje vegetacijskih indeksa

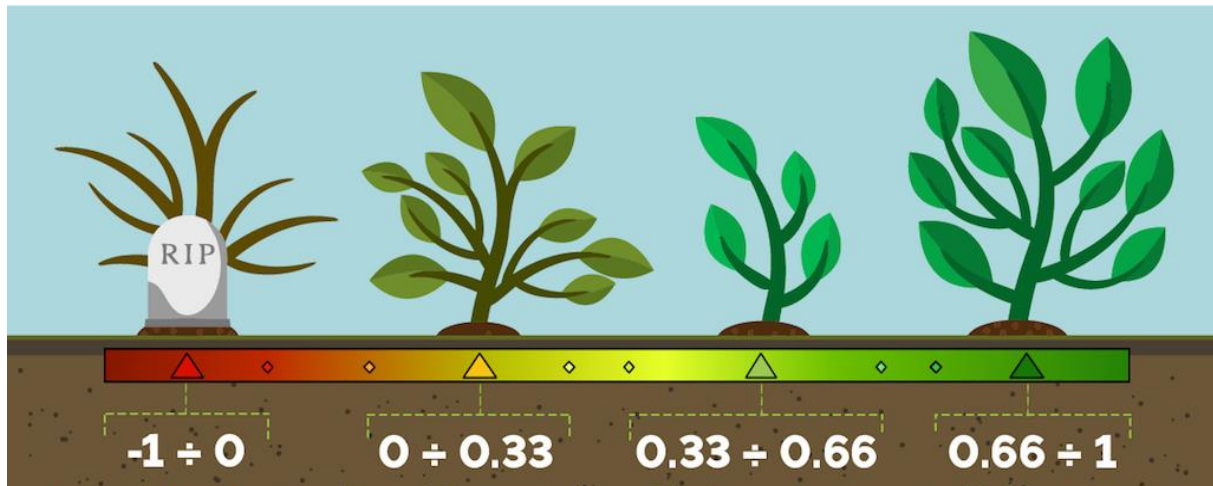
Vegetacijski indeks je veličina dobivena spektralnom transformacijom dva ili više elektromagnetskih spektralnih kanala, odnosno to su podaci koji su izračunati iz različitih kanala multispektralnih slika na temelju apsorpcije, transmisije i refleksije energije vegetacije u različitim spektralnim kanalima i prvenstveno služe kao pokazatelji procjene stanja vegetacije na promatranom području. [32]

Na slici 26. prikaz brojčane vrijednosti vegetacijskog indeksa i korelacija zdravlja biljke prema vegetacijskom indeksu.

1972. godine lansiran je prvi satelit koji je trebao istražiti Zemljine resurse gdje je bilo potrebno ustanoviti vezu između radiometrijskog odaziva i vegetacijskog pokrova. Program nazvan *Monitoring the Vernal Advancemnet and Retrogradation Natural Vegetation* jedan je od pinorskih programa u segmentu korištenja satelitskih snimki u svrhu promatranja tla te u eksploataciji satelitskih multispektralnih snimki prve generacije *Landsat-MSS* (engl. *MultiSpectral Scanner*) satelita. Nakon nekog vremena, drugi program pod nazivom *LACIE* (engl. *Large Area Crop Inventory Experiment*) dokazao je da je korištenje crvenog (RED) i bliskog infracrvenog (NIR) kanala elektromagnetskog spektra na satelitskim senzorima



posebno pogodno za korištenje u proučavanju vegetacije, odnosno da se ti spektralni pojasevi nalaze na multispektralnim kamerama meteoroloških satelita i Zemlje.



Slika 26. Prikaz brojčane vrijednosti vegetacijskog indeksa i zdravlja biljke

Moguće je utvrditi doprinos pojedinih čimbenika o određenoj pojavi ako su poznati parametri dobro dokumentirani. Koncept vegetacijskog indeksa vrlo je prikladan za kvalifikaciju vegetacije na velikim površinama odnosno na površini koja pokriva mnogo piksela jedne slike, a služi kao kvantitativni podatak koji ukazuje na bujnost promatrane vegetacije. Njihova iskoristivost je u tome što predstavljaju snažan interpretativni čimbenik digitalnih slika dobivenih daljinskim istraživanjem, ali i metodu za detekciju promjena u korištenju zemljišta, praćenje gustoće vegetacije, diskriminacije usjeva i predviđanje stanja usjeva.

Promatrajući neko područje vegetacijski pokrov može se razlikovati ovisno o spektralnom ponašanju u odnosu na ukupne elemente tla. Vidljivo zračenje u crvenom spektralnom pojasu apsorbira klorofil, a zračenje u području bliskog infracrvenog pojasa predstavlja varijabilnu osjetljivost na prisutnost zelene vegetacije. Tako ova kombinacija dvije spektralne domene omogućava razlikovanje vegetacije od tla te pomoću se može odrediti fotosintetsku aktivnost biomase kroz vegetativnu gustoću pokriva. Sustav elektromagnetskog zračenja koji zrači sa Zemljine površine pruža informacije o fizičkim svojstvima vegetacije tla i vode. Takve informacije mogu biti korisne kada tehnike i modeli daljinskog istraživanja omogućuju pretvorbu spektralnih informacija u čitljiv oblik. [32]

Tijekom godina razvijen je veliki broj različitih vegetacijskih indeksa, koji imaju različite namjene, gdje se može vidjeti koliko je znanstvenika razvilo indekse vezane za svoje specifično područje rada. Zbog toga se ne može govoriti o lošem ili dobrom vegetacijskom indeksu već o primjerenosti njihove uporabe u konkretnom slučaju. Navodi o prvim vegetacijskim indeksima nalažu kako su Pearson i Miler začetnici u povijesti vegetacijskih indeksa gdje su 1972. godine razvili prve vegetacijske indekse. Radilo se o dva vegetacijska indeksa u obliku omjera *RV* (engl. *Ratio Vegetation Index*) i *VIN* (engl. *Vegetation Index Number*). [33]

Prednost vegetacijskih indeksa je u njihovom jednostavnom korištenju. Vegetacijski indeksi se koriste za različite svrhe pa je tako najčešća : praćenju klimatskih promjena, sadržaja vode u tlu i vegetaciji, upravljanje poljoprivrednim usjevima, klasifikacija vegetacije, procjena u promjeni biološke raznolikosti i drugo.

### 6.3. Vrste vegetacijskog indeksa

Vegetacijski indeksi dijele na multispektralne i hiperspektralne vegetacijske indekse. [33]

Multispektralni vegetacijski indekse :

- 1) *Ashburn Vegetation Index (AVI)*
- 2) *Greenes Above Bare Soil (GRABS)*
- 3) *Multi-Temporal Vegetation Index (MTVI)*
- 4) *Greenness Vegetation and Soil Brightnes (GVSB)*
- 5) *Adhust Soil Brightness Index (ASBI)*
- 6) *Adjusted Green Vegetatin Index (AGVI)*
- 7) *Transformed Vegetatin Index (TVI)*
- 8) *Diferend Vegetation Index (DVI)*
- 9) *Normalized Diffrence Greenness Index (NDGI)*
- 10) *Redness Index (RI)*
- 11) *Normalized Differnce Index (NDI)*
- 12) *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*
- 13) *Perpendicular Vegetatin Index (PVI)*
- 14) *Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)*
- 15) *Transformed SAVI (TSAVI)*
- 16) *Modified SAVI (MSAVI)*
- 17) *Weighted Difference Vegetatin Index (WDVI)*

Hiperspektralni vegetacijski indeksi :

- 1) *Discrete-Band Normalised Difference Vegetation Index (DBNDVI)*
- 2) *Yellowness Index (YI)*

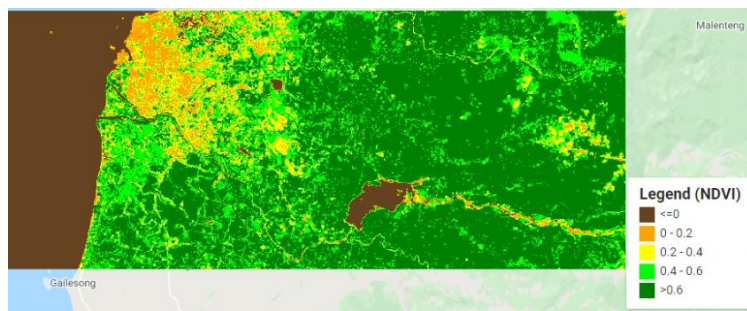
- 3) *Photochemical Reflectance Index (PRI)*
- 4) *Discrete-Band Normalised Difference Water Index (DBNDWI)*
- 5) *Red Edge Position Determination (REPD)*
- 6) *Crop Chlorophyll Content Prediction (CCCP)*
- 7) *Moment Distance Index (MDI)*

Za izbor optimalnog vegetacijskog indeksa potrebno je odrediti razne čimbenike. Vegetacijski indeks treba biti djelomično osjetljiv na vegetacijski pokrov, neosjetljiv na svjetlinu tla i boju tla, te na njega što manji utjecaj treba imati atmosfera, okolišni utjecaj i solarna svjetlosna geometrija te uvjeti vidljivosti korištenog senzora.

Za potrebe ovog rada fokusirat ćemo se na sljedeći vegetacijske indekse:

### 6.3.1. NDVI Vegetacijski indeks

NDVI -Normalizirani indeks razlike u vegetaciji (engl. *Normalized Difference Vegetation Index*) je vegetacijski indeks koji se koristi za mjerenje aktivnosti klorofila u biljkama, što je u izravnom razmjeru s zasićenosti biljaka sa zasićenosti dušikom te općenitom zdravljju. U šumarstvu se koristi za kvantificiranje indeksa šumske raznolikosti. NDVI se koristi preko 30 godina prvenstveno za analizu i klasifikaciju vegetacije površine na Zemlji pomoću satelitskih snimaka (Slika 27). Smatra se najčešće korištenim vegetativnim indeksom zbog lakog izračuna.



Slika 27. Primjer NDVI vegetacijskog indeksa na velikim površinama

NDVI indeks definiran je sljedećim izrazom:

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

gdje RED i NIR predstavljaju refleksiju od površine u vidljivom crvenom (RED) i bliskom infracrvenom (NIR) području elektromagnetskog spektra. Područje vidljivog spektra ima valnu duljinu približno 0,6  $\mu\text{m}$  a NIR područje 0.8  $\mu\text{m}$ . NDVI vegetacijski indeks daje dobar uvid u fizičko stanje vegetacije. NDVI vegetacijski indeks predstavlja razliku između zračenja bliskih infracrvenih (NIR) i crvenih (RED) valnih duljina koje emitira vegetacija podijeljeno njihovim zbrojem. Ovaj indeks je kreiran na osnovu spektralnih svojstava klorofila. Molekule klorofila imaju apsorpcijske maksimume u plavom (B) (431 nm i 453 nm) i crvenom (R) pojasu (667 nm i 642 nm), a apsorpcijske minimume u zelenom (G) i bliskoj infracrvenom (NIR) pojasu .

Prednost NDVI indeksa očituje se u njegovoj neovisnosti o kutovima pojavljivanja reflektiranog zračenja iako su se drugi indeksi pokazali učinkovitijima.

Osim spomenutih mogućnosti korištenja NDVI vegetacijskih indeksa, koristi se i u ekologiji za karakterizaciju vrsta ili analizu intenziteta ispaše morskih i kopnenih organizama.

Vrlo je važno kod korištenja NDVI indeksa koristiti fotografije visoke rezolucije promatranog područja u obradi radi detekcije vegetacije u odnosu na okoliš. NDVI kao i drugi vegetacijski indeksi temelji se na činjenici da različiti vegetacijski indeksi reflektiraju svjetlo na drukčiji način.

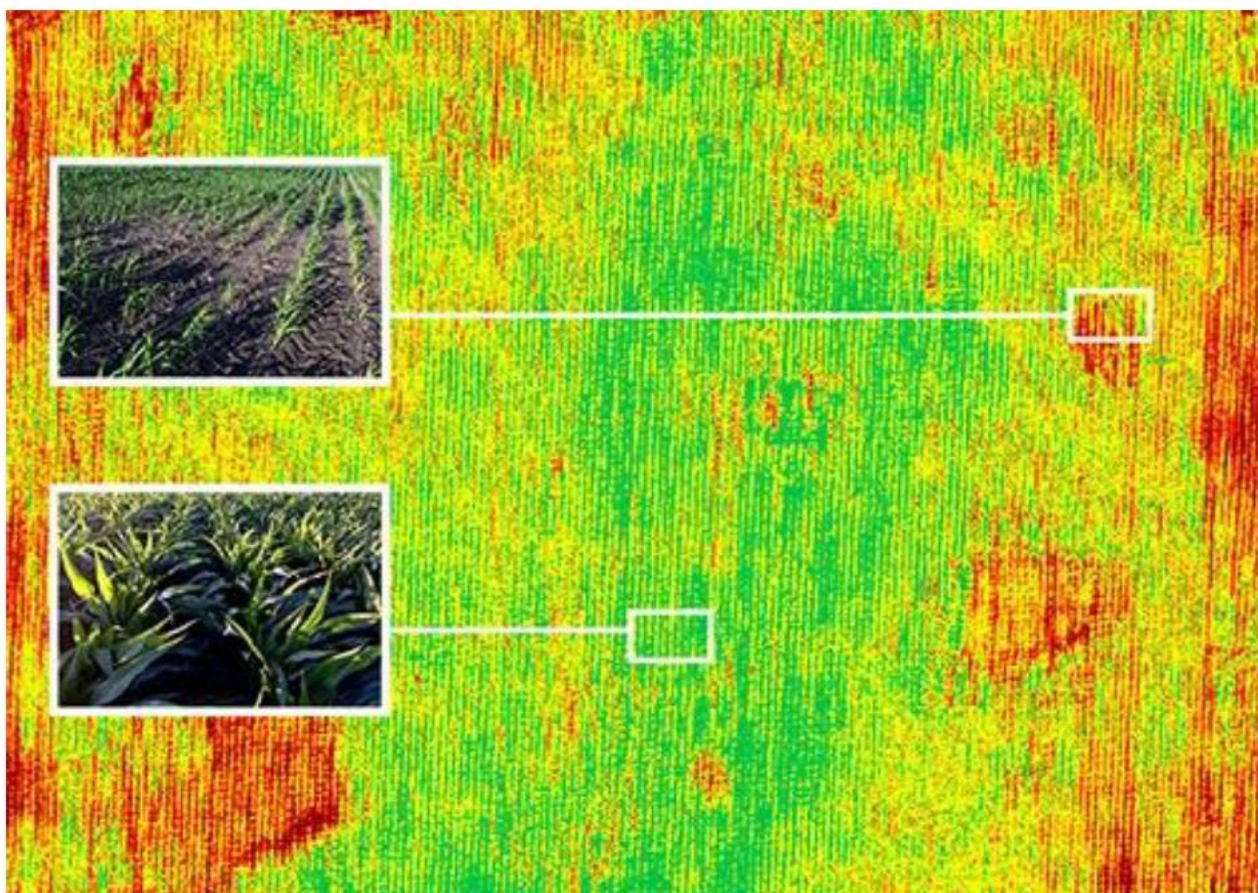
U suštini reflektirana svjetlost predstavlja omjer apsorbirane i reflektirane energije od nekog tijela. Biljke slabije reflektiraju plavi i crveni spektar elektromagnetskog zračenja, iz razloga što ga klorofil apsorbira, dok dobro reflektira zeleni spektar što motritelj vidi kao zelenu boju bilja. [34]

NDVI vegetacijski indeks računa se kao omjer refleksije crvenog i bliskog infracrvenog spektralnog kanala. Na slici 19. Izračun NDVI vegetacijskog indeksa provodi se za piksel po piksel pojedinačno. Tako je u izrazu za jedan piksel slike uzeta vrijednost bliskog infracrvenog kanala, a za taj isti piksel vrijednost crvenog spektralnog kanala iste fotografije.

Obradu radimo na slici koja je dobivena pomoću senzora koji osim crvenog kanala ima mogućnost promatranja infracrvenog spektralnog kanala.

Isto tako moguće je koristiti zeleni ili plavi spektralni kanal umjesto crvenog kanala uz bliski infracrveni kanal, ali u ovom slučaju to nije tradicionalni NDVI, već BNDVI (engleski Blue Normalized Difference Vegetation Index) ili GNDVI (English Green Normalized Difference Vegetation Index) koji se izračunavaju koristeći isti matematički izraz. Rezultat ove matematičke operacije nad matricama piksela je nova slika čije su vrijednosti piksela zapravo su vrijednosti NDVI indeksa vegetacije. [35]



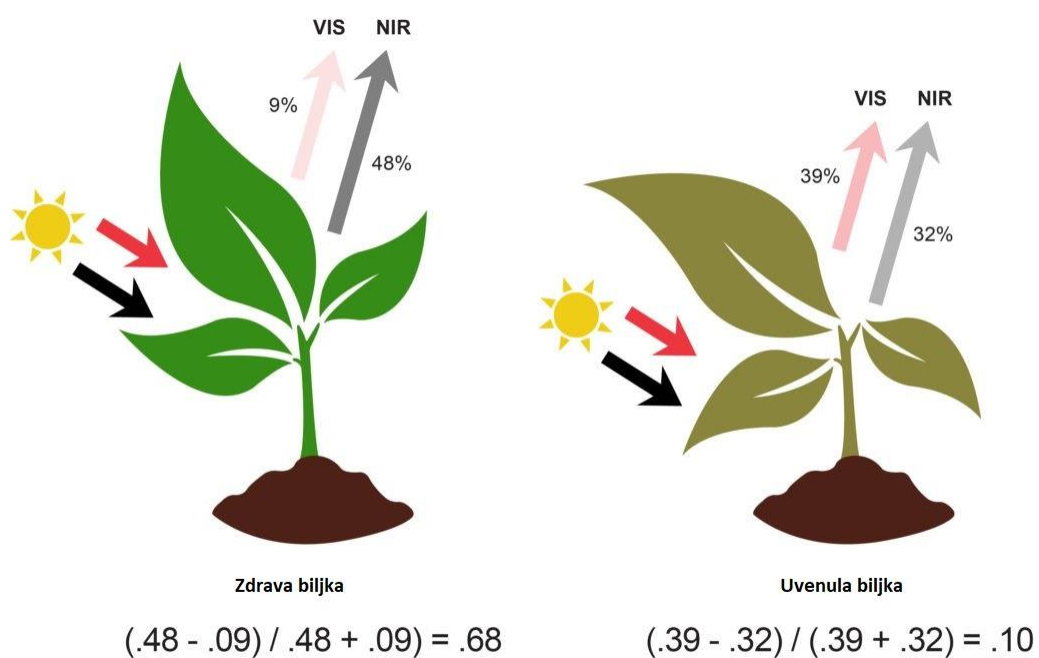


*Slika 28. Razlika u stanju usjeva u zelenom i crvenom spektru boja*

NDVI se kreće u rasponu (-1 ,+1) te je bezdimenzionalna veličina, pri čemu njegova vrijednost manja od 0,1 označava sjenovito, pjeskovito, snježno područje ili vodenu površinu.

Za promatranje vegetacije uzima se u obzir područje od 0 do 1, gdje rijetko raslinje poput grmlja, pašnjaka, starijih usjeva i slično ima NDVI vrijednosti od 0,2 do 0,5, a visoke vrijednosti NDVI indeksa od 0,6 do 0,9 predstavljaju gustu vegetacija.

Veće NDVI vrijednosti predstavljaju veću razliku između crvenog i infracrvenog spektralnog kanala fotografije, što je povezano s jakom fotosintetskom aktivnošću vegetacije. Suprotno tome, ako je NDVI vrijednost mala, to znači da je razlika između crvenog i infracrvenog kanala fotografije također mala. Što zapravo ukazuje na smanjenu fotosintetsku aktivnost vegetacije ili se radi o vodenim površinama i sličnim površinama koje imaju nisku refleksiju bliskog infracrvenog svjetla. Na slici 29. dan je primjer izračuna NDVI indeksa. [36]



Slika 29. Primjer izračuna NDVI indeksa

Čimbenici koji utječu na vrijednosti NDVI indeksa:

- Rezolucija digitalne fotografije promatranog područja
- Atmosferski uvjeti
- Vlažnost tla
- Salinitet tla
- Pokrov tla
- Razlike u tipu tla
- Vlažnost vegetacije

### 6.3.2. NDRE vegetacijski indeks

NDRE -Normalizirani indeks razlike crvenog ruba (Normalized Difference Red Edge) je spektralni indeks dobiven kombinacijom nekoliko spektralnih pojaseva. Pouzdan je pokazatelj zdravlja vegetacije posebno kada je u listovima visoka razina klorofila (srednja i kasnija faza rasta biljki). NDRE vegetacijski indeks je modificirani NDVI indeks, pri čemu je crveni

spektralni pojas (RED) zamijenjen spektralnim pojasom crvenog svijetlog ruba (RE), koji je značajno osjetljiviji na varijacije klorofila te se računa prema sljedećem izrazu:

$$NDRE = \frac{NIR - RE}{NIR + RE}$$

Gdje je osjetljivost senzora u području crvenog ruba (RE) valne duljine od 717 nm predstavlja faktor osjetljivosti na sadržaj klorofila u listovima promatranih biljaka, gustoći usjeva te pozadinskog utjecaja tla .

NDRE indeks je vrlo sličan prethodno spomenutom NDVI vegetacijskom indeksu, ali je razlika u tome što je NDRE vegetacijski indeks osjetljiviji od NDVI vegetacijskog indeksa u određenom razdoblju razvoja usjeva. NDRE indeks je prikladniji za praćenje vegetacije u srednjim i kasnijim fazama razvoja, tj. kada akumulirana veća količina klorofila zbog intenzivnijeg prikaza stanja vegetacije od NDVI indeksa. NDRE koristi crveno rubno svjetlo, koje ima sposobnost prolaska kroz zelenu masu mnogo dublje od crvenog vidljivog svjetla koje se koristi za izračunavanje NDVI vegetacijskog indeksa. Također, relevantniji je za praćenje vegetacije u svim godišnjim dobima, jer nije podložan zasićenju tijekom maksimalne akumulacije sadržaja klorofila u biljkama. Na slici 30. prikazana je vizualna razlika između NDVI/NDRE vegetacijskog indeksa između NDVI/NDRE vegetacijskog indeksa [37]

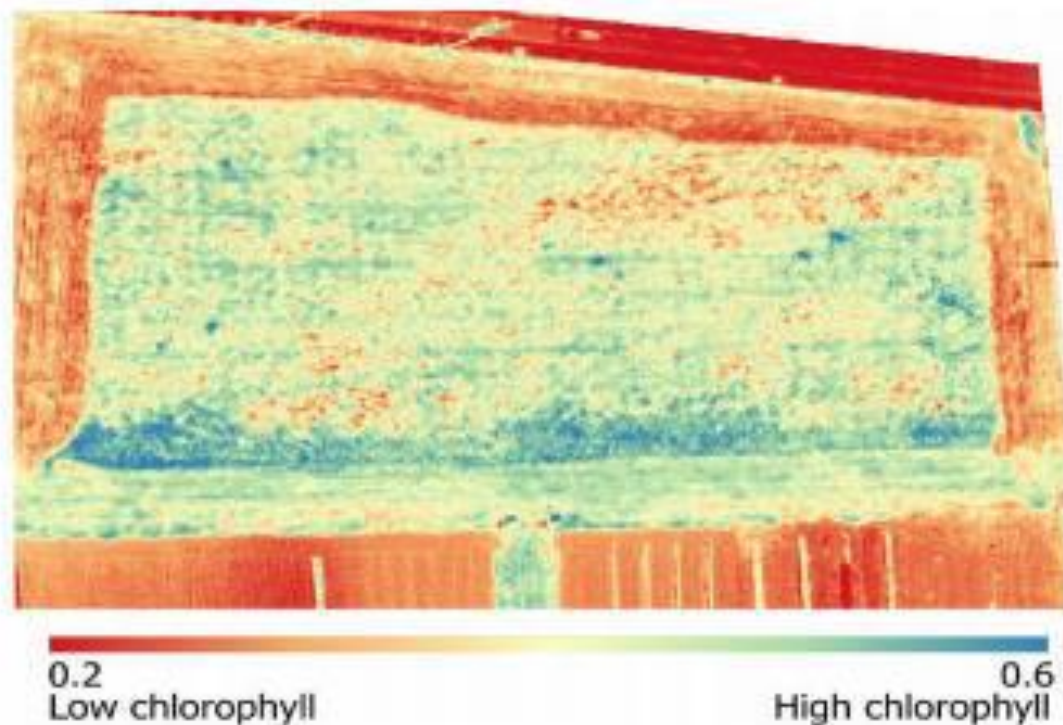


Slika 30. Vizualna razlika između NDVI/NDRE vegetacijskog indeksa

NDRE vegetacijski indeks može se koristiti zasebno za praćenje stanja vegetacije u svim razvojnim fazama, isto tako u kombinaciji s NDVI vegetacijskim indeksom. NDRE prikazuje dobro sadržaja klorofila u promatranim biljkama što je zapravo pokazatelj sadržaja dušika u biljkama te se stoga koristi prilikom izrade aplikacijskih karti za praćenje poljoprivrednih kultura. NDRE fotografija se se prikazuje tumači boja od crvene do zelene pri čemu crvena



područja predstavljaju tlo a žuta do svijetlo zelena predstavljaju nezdravu vegetaciju dok zelena predstavlja zdravu vegetaciju, prikazano na slici 31. [38]



Slika 31. Vizualna interpretacija NDRE vegetacijskog indeksa

### 6.3.3. SAVI vegetacijski indeks

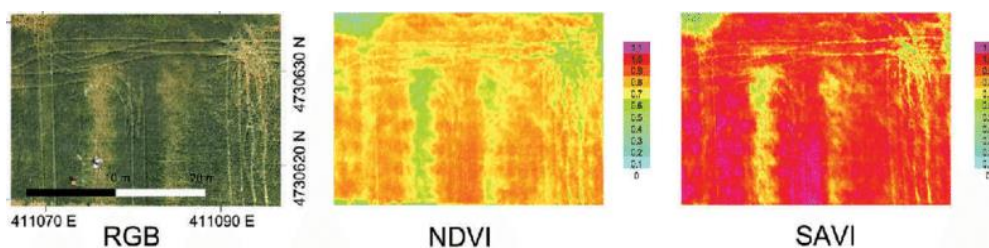
SAVI-Indeks vegetacije prilagođen tlu (*Soil Adjusted Vegetation Index*) isto je modifikacija NDVI vegetacijskog indeksa. SAVI kompenzira utjecaj refleksije s tla gdje je vegetacija slaba. To predstavlja problem pri usporedbi indeksa refleksije vegetacije smještene na različitim vrstama tla. Vrijednost ovog indeksa kreće se od -1 do 1 (manja vrijednost = manja prisutnost vegetacije), a njegova formula je:

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

L – korekcijski koeficijent za određenu vrstu tla (0-1). Na prepunim mjestima vegetacije L=0, tj. gdje je prisutnost minimalna L=1. U većini slučajeva vrijednost L=0,5 daje dobre rezultate. Na slici 32. uspoređeni su RGB s NDVI i SAVI indeksa u sivoj skali tonova.



[40]



Slika 32. Usporedba RGB s NDVI i SAVI indeksa u sivoj skali tonova

#### 6.3.4. NGRDI vegetacijski indeks

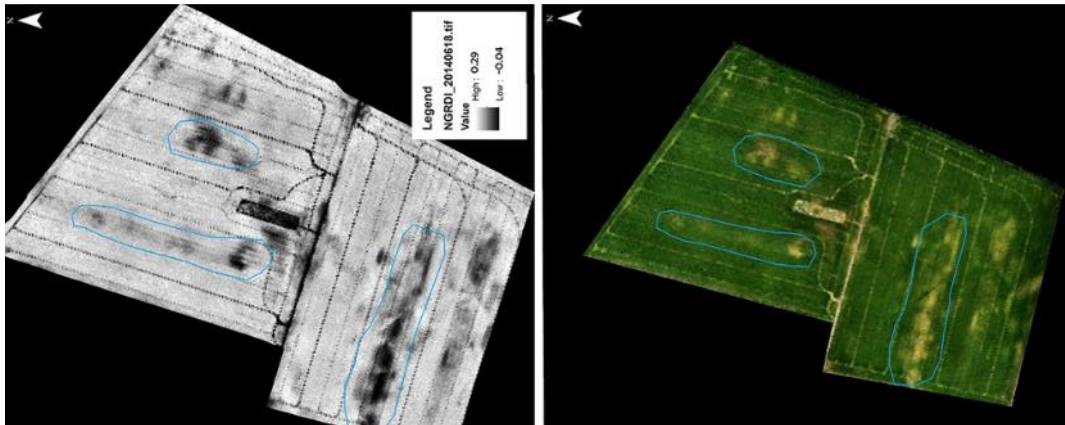
NGRDI Normalizirani indeks razlike zelenog i crvenog (*Normalized Green Red Difference Index*) je vegetacijski indeks koji koristi vidljivi elektromagnetski spektra za određivanje vegetacije. Iznimno je koristan zbog korištenja samo vidljivog dijela spektra za razliku od NDVI i NDRE koji obrađuju samo nevidljivi dio spektra. NGRDI ima znatno veću mogućnost primjene u praćenju usjeva i vegetacije iz razloga što je oprema jeftinija te manje tehnički zahtjeva. Za ovaj vegetacijski indeks dovoljan je samo RGB senzor (Red Green Blue). RGB kamere su lakše komercijalno dostupne kamere različitih prostornih rezolucija koje se nalaze na većini bespilotnih letjelica te zajedno predstavljaju idealno i povoljno rješenje za praćenje vegetacije.

NGRDI vegetacijski indeks izračunava se pomoću sljedećeg izraza:

$$\text{NGRDI} = \frac{G - \text{RED}}{G + \text{RED}}$$

G predstavlja prosječnu refleksiju zelenog svjetla iz vidljivog dijela elektromagnetskog spektra, a RED prosječnu refleksiju crvenog svjetla istog dijela spektra.

NGRDI vegetacijski indeks dobiva se iz gornjeg izraza, a kao rezultat se dobije fotografija u pravim bojama (engl. *True colour composite*). NGRDI indeks se može koristiti za fenološko praćenje vegetacije i usjeva s mogućnošću određivanja biomase, detekcije korova i praćenju zasićenja hranjivim tvarima. Međutim, ovakvi vizualni indeksi ne primjenjuju se često kao NDVI/NDRE koji koriste infracrveni spektralni pojas zbog razlike između korištenih pojava koja omogućuje veću točnost procjene. Na slici 33. prikaz NGRDI vegetacijski indeks [39]



Slika 33. Prikaz NGRDI vegetacijskog indeksa

#### 6.4. Utjecaj određenih faktora na točnost izračuna vegetacijskih indeksa

U slučaju promatranja vegetacijskih indeksa sve vrijednosti koje se mjere u promjenjivim i nestabilnim uvjetima nalaze se pod utjecajem nekih čimbenika koji utječu na rezultate. Kod snimanja multispektralnim i hiperspektralnim sensorima može doći do greške u rezultatu što se dalje propagira na samu obradu sirovih podataka iz kojih se izrađuju vegetacijski indeksi. Na vegetacijske indekse utječu: atmosferski utjecaji, kalibracija senzora, osvjetljenost i boja tla, razlike u spektralnom odzivu senzora, vidljivost, solarna geometrija, distribucija lisne mase u vegetaciji i drugi čimbenici. [40]

Faktori koji utječu na vegetacijske indekse mogu se podijeliti u biološke i fizičke. Biološki faktori su starost, sadržaj vode, sadržaj minerala, bolesti, štetnici, geometrija pokrova, orijentacija i razmak redova, raspored slojevi listova biljaka i slično. Takvi čimbenici utječu na reflektirajuća svojstva vegetacije, a time i na vegetacijske indekse. [41]

Osim ovih bioloških, s fizičkog aspekta treba uzeti u obzir i atmosferske utjecaje, valne duljine svjetlosti, svojstva i tipove tla, osvjetljenost i boju tla, solarnu geometriju, uvjete vidljivosti senzora. [42]

##### 6.4.1. Osvjetljenost tla

Osvjetljenost tla ima značajan utjecaj na točnost vegetacijskog indeksa. Razine osvjetljenja ovisi o vrsti tla, boji tla, mineralnom i kemijskom sastavu. Zbog toga se prilikom analize vegetacijskog indeksa mijenja detaljnost rezultata, a najočitije je kod vegetacijskih indeksa koji su bazirani bez kalibracije tla i svjetla kao npr. NDVI. Iz ovoga se zaključuje kako će osvjetljenost tla imati utjecaj na vegetacijski indeks sve dok tlo nije potpuno prekriveno vegetacijom. [43]

#### 6.4.2. Boja tla

Boja tla izaziva smetnje na točnost vegetacijskog indeksa pogotovo u područjima gdje je vidljiv manjak vegetacije. Moguće rješenje je u modifikaciji vegetacijskog indeksa ili u korištenju nekog od indeksa koji posjeduje korekcijski faktore u izrazu i koristi zeleni (G) spektralni kanal. [44]

#### 6.4.3. Atmosfera

Na samu reflektivnost značajan utjecaj ima atmosfera zbog toga što svjetlost koja se propagira kroz atmosferu dolazi u dodir s česticama koje se nalaze u raznim agregatnim stanjima. Različiti vremenski uvjeti tokom satelitskog ili zračnog snimanja imati će utjecaj na rezultate vegetacijskih indeksa. Različiti vremenski uvjeti izazivaju promjene refleksije promatranih tijela što za posljedicu ima različite vrijednosti za ista mjesta snimanja u istom vremenu i periodu godine. Smanjenje atmosferskih uvjeta na daljinsko snimanje vegetacije može se postići korekcijom postojećih ili matematičkim modeliranjem postojećeg vegetacijskog indeksa. ARVI (*Atmosphere Resistance Vegetation Index*) je vegetacijski indeks koji koristi korekciju u crvenom spektralnom kanalu, koji je razlika između plavog i crvenog kanala te se tako dobije novi RB kanal (engl. *Red-Blue*) i tako smanji atmosferski utjecaj uzrokovan raspršenim aerosolima u crvenom kanalu. [45]

#### 6.4.4. Vrsta i građa biljke

Vrsta i građa biljke uvelike ovise o točnosti vegetacijskog indeksa, vrlo bitan parametar je usmjerenje lisne mase zbog refleksije elektromagnetskog zračenja. Horizontalni listovi reflektirati će intenzivnije zračenje od vertikalnih, s toga je potrebno optički senzor postaviti okomito na promatranu biljku. [46]

### 6.5. Usporedba vegetacijskih indeksa

U ovom radu je promatrano nekoliko vegetacijskih indeksa među kojim su NDVI, NDRE, SAVI i NGRDI.

Vegetacijski indeksi kao NDVI i NDRE su najviše u upotrebi zbog jednostavnosti interpretacije rezultata. Jedan i drugi ovise o razinama klorofila u vegetaciji te će daljnji fokus ovog rada biti na modifikaciji ova dva indeksa. Zaključak je da je NDVI vegetacijski indeks primjenjiviji za biljke s manjom i srednjom količinom vegetacije iz razloga mjerenja refleksije bliskog infracrvenog zračenja i crvenog spektralnog zračenja koji lako detektiraju zelenilo odnosno

količinu klorofila. NDRE vegetacijski indeks pokazao se dobar pri vrstama vegetacije koje imaju veću gustoću lisne mase jer za razliku od NDVI sadrži kanal crvenog ruba (REDGE) umjesto NIR spektralnog kanala. [47]

NGRDI vegetacijski indeks je vrlo koristan kada baratamo samo s RGB senzorima to znači u velikoj količini tržišno dostupnih bespilotnih letjelica.

SAVI vegetacijski indeks je koristan za razmatranje kada imamo velike površine tla u odnosu na vegetaciju.

## 7. ZAKLJUČAK

Ovaj rad temeljen je na izračunu vegetacijskih indeksa putem daljinskog istraživanja. Za prikupljanje informacija korištene su bespilotne letjelice čija operativna visina omogućava prikupljanje slika na visinama gdje su uvjeti povoljniji zato što se na toj visini izbjegne naoblaka. Bespilotne letjelice omogućuju nadzor velikih površina i omogućuju praćenje uvjeta koji su nevidljivi golim okom.

Pomoću modernih senzora široke su mogućnosti registriranja različitih vrijednosti elektromagnetskog zračenja. Osim snimanja u vidljivom dijelu spektra, snimanje se može odvijati i u nevidljivom dijelu.

Multispektralne kamere su na tržištu iznimno povoljne tu su zadnjih par godina na zapadnom tržištu donijele revoluciju u praćenju pogotovo homogenih poljoprivrednih kultura. Za razliku od multispektralnih kamera, hiperspektralne još nisu dosegle prihvatljivu cijenu, masu i praktičnost za veću primjenu u poljoprivrednoj proizvodnji.

Cilj ovog rada kao i budućeg istraživanja je analiza i obrada slika dobivenih sensorima te rad na algoritmima koji omogućuju što točniju obradu podataka za prikazivanja vegetacijskih indeksa.

Kroz rada obrađeno je nekoliko vegetacijskih indeksa kao NDVI ili NDRE koji su najučestaliji u uporabi. NDVI vegetacijski indeks ima bolje rezultate kod biljki sa niskom ili srednjom razinom klorofila, odnosno kod biljki čija je lisna biomasa mala ili srednja. Dok je za biljke s velikom lisnom biomasom prikladniji NDRE indeks.

U slučaju da postojeći vegetacijski indeksi nemaju rezultate koji su zadovoljavajući zbog specifičnosti okruženja ili samom prirodom vegetacije može se raditi na modifikaciji postojećeg ili novom vegetacijskom indeksu, stvaranjem nove matematičke formule ili korigiranjem postojeće. Isto tako postoji mogućnost rada na vegetacijskim indeksima koji se baziraju na dubinskom učenju koje je state of the art u području daljinskog učenja. Na tom području dosta dobrih rezultata polučila je uporaba konvolucijskih mreža.

Iz vegetacijskog indeksa najčešće se izrađuju interaktivni slojevi koje učitavamo u neke od programskih alata za prikaz podataka.

Vegetacijskim indeksom možemo značajno poboljšati razumijevanje prirodnih procesa vegetacije isto tako vegetacijski indeksi omogućuju praćenje klimatskih promjena kao jedan od najvećih izazova našeg vremena. Vegetacijski indeksi imaju veliku primjenu u sprječavanju bolesti vegetacije i voćnjaka te smanjenju upotrebe pesticida i raznih drugih kemijskih sredstava koja se koriste u poljoprivredi.

## 8. LITERATURA

- [1] Berni, J.; Zarco-Tejada, P.; Suarez, L.; Fererez, E. (2009) Thermal and narrow-band multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 47, 722-738.
- [2] Rondeaux, G.; Steven, M.; Baret, F. (1996) Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55(2), 95–107.
- [3] Alfonso Lopez , Juan M. Jurado, Carlos J. Ogayar, Francisco R. Feito, A framework for registering UAV-based imagery for crop-tracking in Precision Agriculture.
- [4] Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW, Harlan JC (1974) Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. In: MD UG, editor. NASA/GSFS final report. . p. 371.
- [5] Campbell J.B. (2007). *Introduction to remote sensing*, (4th ed), Bannari, A. i sur. (1995.): *A Review of Vegetation Indices*. *Remote Sensing Reviews*, vol. 13, 95-120. Taylor & Francis, London and New York
- [5] Berni, J.; Zarco-Tejada, P.; Suarez, L.; Fererez, E. (2009) Thermal and narrow-band multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 47, 722-738.
- [6] Gnädinger F., Schmidhalter U. (2017). Digital Counts of Maize Plants by Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), *MDPI, Remote Sensing*.
- [7] Donassy V.; Oluić M.; Tomašegović Z. (1983). *Daljinska istraživanja u geoznanostima*. JAZU, Zagreb
- [8] Lamb D. W, Brown R. B. 2001. Remote-sensing and mapping of weeds in crops. *J. Agric. Eng. Res.* 78, 117– 125.
- [9] Kempni K. (1992). *Fotometrija, Tehnička enciklopedija*, Sv. 5, Zagreb, Leksikografski zavod Miroslav Krleža,; 608-623
- [10] Mather P; (1999), *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*. Nottingham: University of Nottingham.
- [11] Paić M; (1992.). *Optika, Tehnička enciklopedija*
- [12] Oluić M; , (2001). *Snimanje i istraživanje Zemlje iz Svemira: sateliti, senzori, primjena*, HAZU Zagreb
- [13] Colomina I.; (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing, *A review, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 92/14, 79–97

- [14] Matese, A.; Toscano, P.; Di Gennaro, S.F.; Genesio, L.; Vaccari, F.P.; Primicerio, J.; Belli, C.; Zaldei, A.; Bianconi, R.; Gioli, B. Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture. *Remote Sens.* 2015, 7, 2971–2990.
- [15] Gogarty B., Robinson I; (2012). Unmanned Vehicles: A History, Background and Current State of the Art. *Journal of Law, Information and Science* 21: 1–14.
- [16] Dempsey. M. E; (2010), Eyes of the Army – U.S. Army Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010–2035, United States Army
- [17] Darija Lemić; Roman Radanović, Matej Oreškovi, Matej Genda, Krešo Kapor, Helena Virić Gašparić, Dronovi kao moderan alat za poljoprivredu, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.
- [18] Schmidt, E.J.; Narciso, G.; Frost, P.; Gers, C. Application of remote sensing technology in the SA Sugar Industry—A review of recent research findings. *Proc. S. Afr. Sugar Technol. Assoc.* 2000, 74, 192–201.
- [19] Ramin Heidarian Dehkordi, Victor Burgeon, Julien Fouché, Edmundo Placencia Gomez, Jean-Thomas Cornelis, Frederic Nguyen, Antoine Denis, Jeroen Meersmans Bannari, Using UAV Collected RGB and Multispectral Images to Evaluate Winter Wheat Performance across a Site Characterized by Century-Old Biochar Patches in Belgium.
- [20] Doolittle J. A. ; Brevik. E. C.; (2014). The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. *Geoderma* 223-225:33-45.
- [21] Reusch S. (1997). Development of an optical reflectance sensor for recording the nitrogen supply of agricultural field crops (in German). Doctoral dissertation, Department of Agricultural Systems Engineering, University of Kiel, Kiel. *Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG* 303.
- [22] ] Jose A. J. Berni, Student Member, IEEE, Pablo J. Zarco-Tejada, Lola Suárez, and Elias Fereres, Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle.
- [23] Venier L.; Swystun M. ; J. Mazerolle, David P. Kreutzweiser, McIlwrick, Modelling vegetation understory cover using LiDAR metrics.
- [24] Welch, R; Remillard, M; Alberts, J. Integration of GPS, remote sensing, and GIS techniques for coastal resource management.
- [25] Schowengerdt R.A. ; (2012). Techniques for Image Processing and Classifications in Remote Sensing
- [26] Phiri D.; Morgenroth J. ; (2017). Review Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review. *Remote Sensing*

- [27] Guerrero J. M, Pajares G, Montalvo M, Romeo J, Guijarro M. 2012. Support vector machines for crop/weeds identification in maize fields. *Expert Syst. Appl.*, 39, pp. 11149–11155.
- [28] A survey Andreas Kamilaris, Francesc X. Prenafeta-Boldú, Deep learning in agriculture:
- [29] Bannari A. ; (1995.), A Review of Vegetation Indices. *Remote Sensing Reviews*.
- [30] McBratney A; Whelan B, Ancev T, Bouma J. 2005. Future directions of precision agriculture, *Precision agriculture*, 6(1): 7-23.
- [31] Jiang, Z., Huete, A.R., Chen, J., Chen, Y., Li, J., Yan, Guangjian, Zhang, X. (2006.): Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote sensing of Environment*, 101:366-378.
- [32] Paton, D (2020.), Normalized Difference Vegetation Index Determination in Urban Areas by Full-Spectrum Photography. *Ecologies*, 1:22-35.
- [33] David Revelo, LunaJulio Mejía, ManzanoBibiana, Montoya Bonilla,Javier Hoyos, GarciaJavier Hoyos Garcia,Analysis of the Vegetation Indices NDVI, GNDVI, and NDRE for the Characterization of Coffee Crops
- [34] Boiarskii, B., Hasegawa, H. (2019.): Comparison of NDVI and NDRE Indices to Detect Differences in Vegetation and Chlorophyll Content. *International Conference on Applied Science, Technology and Engineering, Special Issue*, 4:20-29.
- [35] Michael M. Loranty 1, , Sergey P. Davydov 2, Heather Kropp 1, Heather D. Alexander 3, Michelle C. Mack 4, Susan M. Natali 5 and Nikita S. Zimov 2, Vegetation Indices Do Not Capture Forest Cover Variation in Upland Siberian Larch Forests
- [36] Bannari, A Review of Vegetation Indices. *Remote Sensing Reviews*, vol. 13, 95-120.
- [37] Jackson, R.D., Huete, A.R. (1991.): Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, 11: 185-200.
- [38] Guay, K.C.; Beck, P.S.A.; Berner, L.T.; Goetz, S.J.; Baccini, A.; Buermann, W. Vegetation productivity patterns at high northern latitudes: a multi-sensor satellite data assessment. *Glob. Chang. Biol.* (2014), 20, 3147–3158.
- [39] Sankey T. T, McVay J, Swetnam T. L, McClaran M. P, Heilman P, Nichols M. 2017. UAV Hyperspectral and Lidar Data and Their Fusion for Arid and Semi-Arid Land Vegetation Monitoring. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 4(1): 20–33.
- [40] Schueller J. K. 1997. Technology for precision agriculture. In J. V. Stafford (Ed.), *Precision Agriculture'97* (pp. 19–33). Oxford, UK: BIOS Scientific Publishers.
- [41] Towers, P.C.; Poblete- Echeverría, C. (2021)Effect of the Illumination Angle on NDVI Data Composed of Mixed Surface Values Obtained over Vertical-Shoot- Positioned Vineyards.



Remote Sens. 2021, 13, 855 Effect of the Illumination Angle on NDVI Data Composed of Mixed Surface

[42] Strubbe G. J, Missotten B, De Baerdemaker J. 1996. Mass flow measurement with a curved plate at the exit of an elevator. In: Robert PC, Rust RH, Larson WE (eds) Proceedings of the third international conference on precision agriculture, Madison, WI, pp 703–712.

[43] Qi, J.; Chehbouni, A.; Huete, A.R.; Kerr, Y.H.; Sorooshian, S. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. Remote Sens. Environ. 1994, 48, 119–126.

[44] Tagarakis, A. C, Ketterings Q. M. 2017. In-season estimation of corn yield potential using proximal sensing, Agronomy Journal, 109(4), pp. 1323-1330.

[45] Yanbo Huang, CHEN Zhong-xin, YU Tao<sup>3</sup>, HUANG Xiang-zhi, GU Xing-fa<sup>3</sup>, Agricultural remote sensing big data: Management and applications

[46] Towers, P.C.; Strever, A.; Poblete-Echeverría, C. Comparison of vegetation indices for leaf area index determination in vertical shoot positioned vine canopies with and without Grenbiule hail-protection netting. Remote Sens. 2019, 11, 1073

[47] Boiarskii, B., Hasegawa, H. (2019.): Comparison of NDVI and NDRE Indices to Detect Differences in Vegetation and Chlorophyll Content. International Conference on Applied Science, Technology and Engineering

## 9. POPIS OZNAKA I KRATICA

UAV (eng. Unmanned aerial vehicle) -Bespilotna letjelica

GIS (eng. *Geographic Information System*)-Geografski informacijski sustavi

VTOL (eng. *Vertical take-off and landing*)- letjelica s mogućnosti vertikalnog uzlijetanja

LIDAR (eng. *Light Detecting and Ranging*) -Optički radar

IR (eng *Infra-Red*) – Infracrveno zračenje

MIR (eng. *Mid-InfraRed* )-Srednje infracrveno zračenje

NIR (eng. *Near InfraRed* )-Blisko infracrveno zračenje

RGB (eng.*Red Green Blue*) senzor za vidljivi spektar

NDVI (eng. *The Normalized Difference Vegetation Indeks*) Normalizirani indeks razlike u vegetaciji

NDRE (eng.*Normalized Difference Red Edge*) Normalizirani indeks razlike crvenog ruba

SAVI (eng.*Soil Adjusted Vegetation Index*) Indeks vegetacije prilagođen tlu

NGRDI (eng. *Normalized Green Red Difference Index*) Normalizirani indeks razlike zelenog i crvenog spektra

## 10. SAŽETAK

U ovom radu prikazane su metode prikupljanja podataka pomoću bespilotnih letjelica za izračun vegetacijskih indeksa u svrhu razumijevanja zdravlja vegetacije odnosno voćnjaka. Dan je pregled fundamentalnih fizikalnih načela za razumijevanje refleksije i apsorpcije elektromagnetskog zračenja kao i obrada dobivenih podataka za što točniju interpretaciju rezultata. Također, dane su teorijske osnove vegetacijskih indeksa, načini njihovog računanja kao i sama primjena određenog indeksa.

**Ključne riječi:** Daljinska istraživanja, računalni vid, bespilotne letjelice, vegetacijski indeksi

## 11. SUMMARY

This paper presents the methods of data collection using unmanned aerial vehicles (UAV) for the calculation of vegetation indices to understand the health of vegetation or orchards.

An overview of the fundamental physical principles for understanding the reflection and absorption of electromagnetic radiation is given, as well as the processing of the obtained data for the most accurate interpretation of the results. Also, the theoretical basis of vegetation indices, methods of their calculation as well as the application of a specific index are given.

**Key words:** Remote Sensing, unmanned aerial vehicles (UAV), computer vision, vegetation indices