

GIS I DALJINSKA ISTRAŽIVANJA U EKOLOGIJI



Snežana Radulović, Nusret Drešković, Samir Đug, Dušanka Cvijanović

Sadržaj:

1. OSNOVE GIS-A I DALJINSKOG OČITAVANJA U EKOLOGIJI

1.1 GIS i GPS sistemi, baze podataka i modeli

- 1.1. Koordinatni sistemi i datumi
- 1.2. Struktura podataka
- 1.3. Tipovi podataka
- 1.4. Unošenje i analiza podataka
- 1.5. Baze podataka
- 1.6. Georeferenciranje podataka u ekološkim istraživanjima

2. DALJINSKA DETEKCIJA I DALJINSKA ISTRAŽIVANJE

- 2.1 Terminologija
- 2.2 Daljinska detekcija
- 2.3 GPS pozicioniranje
- 2.4 Tačnost informacija
- 2.5 Definisane podataka
- 2.6 Moguće greške u očitavanju geografske pozicije

3. SATELITSKI PROGRAMI I INSTRUMENTI ZA DALJINSKA ISTRAŽIVANJA

- 3.1 Istorija
- 3.3 LANDSAT
- 3.3. Interpretacija satelitskih snimaka
- 3.4 Bepilotne letelice

4. PROGRAMI BESPILOTNIH LETELICA

- 4.1 Moderni sistemi bepilotnih letelica koji se koriste u daljinskoj detekciji u ekologiji
- 4.2 Aerofotografija - aerosnimanje bepilotnim letelicama

5. AEROFOTOGRAFIJA

- 5.1 Spektralna rezolucija fotografija
- 5.2 Radiometrijska rezolucija fotografija
- 5.3 Temporalna rezolucija fotografija
- 5.4 Prostorna rezolucija fotografija
- 5.5 Analiza aerofotografija

6. PRAKTIČNA PRIMENA

- 6.1 Daljinska detekcija pomoću satelitskih snimaka
- 6.2 Pruzimanje satelitskih snimaka

7. PRAKTIČNA PRIMENA – PROCES RADA

8. PRIMENA SATELITSKIH SNIMAKA

- 8.1 Pruzimanje satelitskih snimaka
- 8.2 Pripremna faza
- 8.3 Obrada podataka
- 8.5. Analiza satelitskih snimaka

9. PRIMENA DRONOVA

- 9.1 Dizajn studije
- 9.2 Terenski rad pre letačke misije
- 9.3 Obrada podataka
- 9.4. Analiza ortomozaika
- 9.5. Legislativa o bepilotnim letelicama u BiH

10. PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U KLIMATSKIM OBSERVACIJAMA

11. VEGETACIJSKI INDEKSI



12. PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U OBSERVACIJAMA TIPOVA POKROVNOSTI I KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA**13. PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U OBSERVACIJAMA SASTAVA I STRUKTURE VEGETACIJSKOG POKRIVAČA**13.1 Vidljivi dio spektra (0,38 -0,70 μm)13.2 Blizu IC (0,70-1,30 μm .)13.3 Reflektivna srednja IC (1,30-2,50 μm)**14. PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U VEGETACIJSKIM ISTRAŽIVANJIMA****1. Osnove GIS-a i daljinskog očitavanja u ekologiji****1.1. GIS i GPS sistemi, baze podataka i modeli**

Ekosistemski monitoring, odnosno biomonitoring, kao osnovu uvek ima relacione klimatološke, pedološke, hidrološke i vegetacijske prostorno organizovane podatke. Zbog toga su za sakupljanje, organizovanje, pregled i analizu podataka na ekosistemskom nivou od neprocenjivog značaja upravo relacione i distributivne baze podataka. Sve ove mogućnosti objedinjene su u jedinstvenom Geografskom Informacionom Sistemu (GIS).

GIS je računarski sistem namenjen prikupljanju, čuvanju, pretraživanju, analizi i prikazu geografskih podataka. Međutim, GIS je mnogo više od kompjuterizovanog sistema za kartiranje, obzirom da pruža mogućnost integracije podataka i oruđa za analizu, odnosno individualno kreiranje upita. Zbog toga predstavlja apsolutni trend u multidisciplinarnom pristupu upravljanju životnom sredinom i prirodnim resursima. Pored GIS programa postoje i programi za projektovanje i crtanje pomoću računara (CAD), sistemi za automatsko kartiranje i upravljanje objektima (AM/FM), kao i zemljišni informacioni sistemi (LIS). Činjenica da svi prirodni objekti imaju svoju geografsku dimenziju određuje da su svi podaci u GIS-u georeferencirani. Dakle, svaki objekat je definisan svojom lokacijom kao i nizom atributa koji opisuju njegove karakteristike.

Razvoj GIS-a je od fundamentalne važnosti za upravljanje svim prostorno orjentisanim podacima, uključujući i ekosisteme akvatičnog tipa. Na taj način se sve raspoložive informacije mogu pravovremeno koristiti, što znači da moraju imati ustanovljen protokol ažuriranja, ustanovljen protokol izveštavanja i zaštićeno jezgro baze podataka. Identifikacija i mapiranje zaštićenih oblasti, uključujući specijalnu zaštitu oblasti označene za zaštitu vrsta, gde kvalitativno i kvantitativno stanje vode igra važnu ulogu (Natura 2000, WFD).

Termin GIS u svojoj već prihvaćenoj fazi upotrebljava se dvoznačno: kao nova tehnologija procesiranja prostornih podataka, ali i kao nova disciplina. GIS se sastoji od tri osnovne komponente:

1. korisnik
2. hardver, odnosno fizička komponente kao što su računari, skeneri, memorijski uređaji, štampači, računarske mreže;
3. softver, odnosno komponentu koja podrazumeva sve programske aplikacije koje služe za georeferenciranje, skladištenje, prikupljanje, obradu, manipulaciju, analizu i prikazivanje prostornih podataka.



Glavni princip na kome je postavljen GIS kao disciplina jeste integracija podataka o prostoru kompjuterskom tehnologijom. Procesiranje je moguće ukoliko su podaci dobro uređeni i kao takvi dostupni krajnjem korisniku. Princip uređenosti i dostupnosti oslanja se na odgovarajući hardver, softver i baze podataka.

1.2 Koordinatni sistemi i datumi

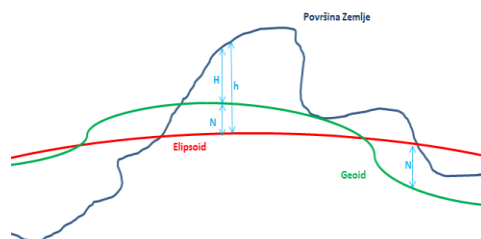
Projekcije

Stvaran oblik Zemljine površine se definiše kao geoid, ekvipotencijalna površina koja odgovara prosečnom novou mora. Na većini mesta na Zemlji geoid ipak odstupa od srednjeg nivoa mora (Iliffe, 2000) usled gravitacionog uticaja Meseca, strujanja vode, različite temperature vode i saliniteta. Ipak, potencijalna energija na ovoj površini je na svim tačkama jednaka (Van Sickle, 2010). Dakle, pošto je geoid definisan silom gravitacije njegova površina nije pravilna jer gravitacija na Zemlji nije ista na svakoj tački na Zemlji ista, te je stoga njeno matematičko predstavljanje komplikovano. Matematički jednostavnija aproksimacija Zemljine površine je elipsoid koji se još naziva i sferoid, odnosno elipsoid.

Rastojanje između geoida i elipsoida se naziva visinom geoida (N) i ona je upravna na površinu elipsoida (Van Sickle, 2010). U zavisnosti od elipsoda ovo rastojanje može iznositi od nekoliko metara do nekoliko desetina metara. Ukoliko elipsoid nadvisuje geoid tada visina geoida ima negativnu vrednost, a pozitivnu u obrnutom slučaju. Visina elipsoida (h) predstavlja rastojanje od elipsoida do Zemljine površine. Ortometrijska visina (H) se dobija kao razlika visine elipsoida i visine geoida:

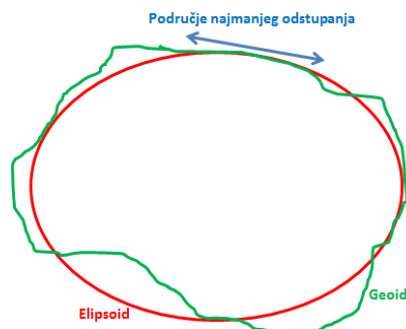
$$H=h-N$$

i predstavlja odstupanje geoida od Zemljine površine, što zapravo predstavlja visinu u tački merenja u odnosu na srednji nivo mora. Korišćenjem ove jednačine i poznavanjem visine geoida u tački merenja, moguće je izračunati ortometrijsku visinu na osnovu GPS merenja visine elipsoida.



Slika 8.10. Šematizovan prikaz geoida i elipsoida u odnosu na deo Zemljine površine

Dakle, svaki elipsoid se za određeno područje na Zemlji podudara sa površinom geoida sa minimalnim odstupanjem (Slika 8.11).



Slika 8.11. Šematizovan prikaz oblika elipsoida u odnosu na oblik geoida

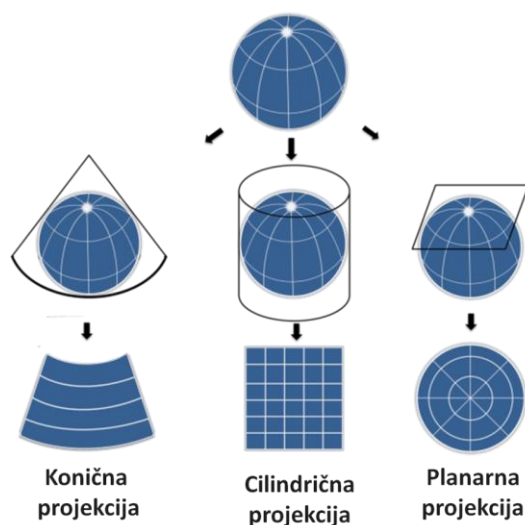
Kako elipsoid ima svoj analitički oblik, moguće je matematički definisati položaj bilo koje tačke na površini elipsoida. Koordinatni sistem koji se pridružuje elipsoidu naziva se horizontalni datum. Dakle, datum je set parametara koji definišu koordinatni sistem i set kontrolnih, ishodišnih tački čija je prostorna orijentacija poznata ili merenjem ili proračunom. Datum pruža referentni okvir za računanje položaja objekata na Zemljinoj površini (Sharma i sar, 2006).

Određena administrativna područja, npr. države koriste lokalni datum i elipsoid čija je ishodišna tačka na Zemljinoj površini. Ovaj lokalni datum za dati elipsoid pruža najveću tačnost za dato lokalno područje gde se koristi.

Nasuprot lokalnom datumu, postoji datum čiji je koordinatni centar odgovara centru Zemljine mase. U proteklih pola veka, satelitska merenja Zemlje su omogućila kreiranje geocentričnih elipsoida.

Nakon što se položaj nekog područja na elipsoidu definiše, sledeći korak ka izradi karte je projektovanje ove slike na odgovarajuću dvodimenzionu projekciju. Odnosno, projekcija predstavlja konverziju koordinata referentnog elipsoida i datuma na dvodimenzione ravanske koordinate karte (Bonham-Carter, 1994).

Površine koje se koriste za projektovanje mogu biti konusne i cilindrične površi ili pak tangentne ravani, a zavisnosti od toga se razlikuju konične, cilindrične i planarne projekcije (Slika 8.12).



Slika 8.12. Osnovni tipovi projekcija (konična, cilindrična i planarna projekcija)

Planarna projekcija prikazuje sliku Zemlje na tangentnu ravan sa najmanjom deformacijom u tački dodira projekcije i elipsoida. Sa povećanjem udaljenosti u vidu pravilnih koncentričnih krugova od centralne tačke greška projekcije raste.

Nasuprot planarnoj, cilindrična projekcija ima najveću tačnost na dodiru elipsoida i projekcije koji je u ovom slučaju krug, dok greška raste ravnomerno idući u oba smera idući od dodirnog kruga. Kod konusne projekcije takođe deformacija izostaje na dodirnom krugu, ali greška raste neravnomerno idući u različitim smerovima.

Na svim tipovima projekcije postoji izvestan nivo distorzije projektovane slike (Bonham-Carter, 1994). U zavisnosti od tipa geometrijske distorzije, projekcije se dele na konformalne, ekvidistantne i ekvivalentne.

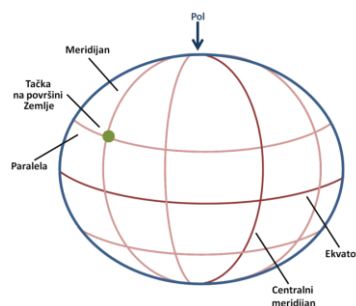
Kod konformalnih projekcija proporcija i odnos uglova među objektima ostaje nepromenjen, ali se razmera između objekata menja. To zapravo znači da objekti ne menjaju svoj oblik već samo relativnu razmeru. Ovo važi za objekte relativno malih površina, jer kod onih većih kao što su okeani i kontinenti ipak dolazi do izvesne distorzije.

U slučaju ekvivalentne projekcije, odnos veličine površina između objekata ostaje nepromenjen, ali dolazi do distorzije oblika objekata. Nasuprot pomenutim, kod ekvidistantne projekcije dolazi i do distorzije i relativnog odnosa uglova između objekata i odnosa njihovih površina. Prednost ekvidistantne projekcije je ta što odnos udaljenosti između objekata ostaje sačuvan u određenim pravcima.

Položaj objekata na ravni projekcije je određen dvodimenzionalni X/Y koordinatnim sistemom (Slika 8.13). Parametri ovog dvodimenzionog sistema su: centar projekcije, merne

jedinice projekcije, centralni meridian, izvorna paralela i faktor razmere centralnog meridijana (Wyatt i Ralphs, 2003; Hutchinson, 2004).

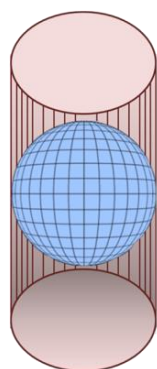
Centralni (izvorni) meridian je linija geografske dužine koja prolazi kroz centar projekcije i predstavlja Y osu, odnosno ordinatu. Centralna (izvorna) paralela je linija geografske dužine u odnosu na koji se mere Y koordinate i predstavlja X osu sistema (apscisu). Kako bi sve tačke na projekciji koje se nalaze zapadno od centralnog meridijana i južno od izvorne paralele imale pozitivne vrednosti za X i Y osu, uvodi se konstante apscise i ordinate (*False Easting*, *False Northing*). Razmera duž centralnog meridijana je koeficijent koji pokazuje stepen distorzije odnosa dužina duž ove linije. Vrednost razmere centralnog meridijana 1 znači da nema distorzije duž ove linije. Razmera karte predstavlja odnos rastojanja na kartama i



terenu.

Slika 8.13. Odnos parametara dvodimenzionalne projekcije i položaja tačke na elipsoidu

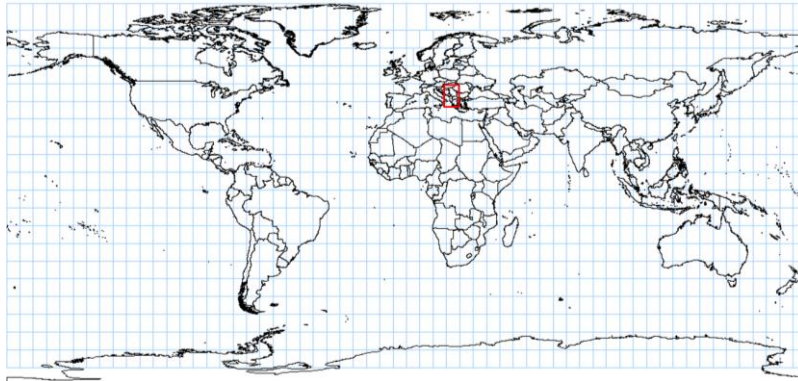
Merkatorova projekcija je cilindrična konformna, sa najmanjom distorzijom u dodirnom krugu koji se poklapa sa ekvatorom i sa velikom distorzijom na polovima (Slika 8.14).



Slika 8.14. Merkatorova cilindrična konformna projekcija

UTM projekcija

UTM projekcijom se Zemljina površina deli između 80^o južne geografske širine i 84^o severne geografske širine na 60 zona jednakih geografskih dužina od 6^o. Zone su numerisane brojevima od 1 do 60, pri čemu brojevi rastu u pravcu istoka. Svaka od ovih zona deli se na 20 pojasa širine 8^o označeni slovima engleskog alfabeta od C do X (izostavljena su slova I i O) u pravcu severa. Srbija se nalazi u zoni 34T (slika 8.16). UTM projekciju su prve usvojile SAD, polovinom prošlog veka stvarajući uslove da cela Zemljina površina bude obuhvaćena jednim koordinatnim sistemom, uz ograničenje za polarne oblasti.



Slika 8.16. UTM projekcija

Vertikalna osa koordinatnog sistema je meridijan na 21^o istočne geodetske (elipsoidne) dužine. Smer ordinate je u pravcu severa i označava se sa N. Razmera duž centralnog meridijana je 0.9996.

Horizontalna osa koordinatnog sistema je ekvator. Smer apscise je u pravcu istoka i označava se sa E. Apsciska konstanta je 500 000m čime je izbegnut negativan predznak koordinata tačaka koje se nalaze zapadno od 21^o istočne geodetske dužine.

Dakle, parametri UTM projekcije su:

- Centralni meridijan: 21°
- Izvorna paralela: 0°
- Faktor razmere centralnog meridijana: 0.9996
- Konstantna apscice (*False Easting*): 500 000.00
- Konstanta ordinate (*False Northing*): 0.00

Tačnost informacija

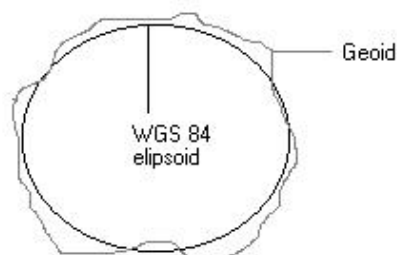
Tačnost informacija koje ulaze u bazu podataka je, ipak, ključni princip koji omogućava konačno korišćenje i upravljanje sistemom. Sistem za globalno pozicioniranje (GPS) u potpunosti izvršava ovaj zadatak. Njime je obezbeđena maksimalna preciznost pozicioniranja u prostoru što je otvorilo prostor za brojne primene ove tehnologije.

Neophodan uslov za integraciju geografskih podataka iz različitih izvora jeste da budu referencirani na isti datum i koordinatni sistem. Nepoštovanje ovih uslova unosi značajne greške. Recimo, greške se mogu javiti ukoliko su koordinatne bazne stanice date u jednom datumu (kao što je recimo NAD-27), a korisnik unosi vrednosti iz drugog datuma (kao što je WGS-84). Kao vremenska referenca koristi se tzv. GPS vreme, usklađeno sa Internacionalnim atomskim vremenom, sa konstantnim ofsetom od 19 sekundi. (Trimble Navigation, 1995). Izabrani elipsoid za GPS je GRS-80 elipsoid. Datum koji se pridružuje ovom elipsoidu je WGS 84, dok je glavna poluosa elipsoida 6.378.137, 0 m, a manja poluosa 6.356.752,3 m.

GPS očitava poziciju u Svetskom geodetskom referentnom koordinatnom sistemu (WGS 84), koji je predstavljen obrtnim ekvipotencijalnim **elipsoidom** koji aproksimira realni (ali geometrijski mnogo komplikovaniji) oblik površine planete Zemlje, tzv. **geoid**.

Naime, veličina i oblik Zemlje opisuju se na dva načina. Jedan način je sagledati stvarni teren Zemlje, kompletno sa vodenim površinama, ravnicama, brdima i planinama. Drugi način je merenje gravitacije tj. Zemljine teže. Ta dva koncepta su kombinovana, recimo, kada se kaže da je neka tačka 2000 m iznad srednjeg nivoa mora. Dakle, podaci o položaju neke tačke mogu se izraziti u pravouglom ili u sfernom (prirodnom) koordinatnom sistemu (kroz geografsku širinu, dužinu i visinu iznad elipsoida).

Obrtni ekvipotencijalni elipsoid koji aproksimira oblik površine planete Zemlje predstavlja geoid, odnosno površinu na kojoj je gravitacija konstantna. Međutim, geoid je ekstremno komplikovana površina. Matematički modeli koji ga opisuju omogućuju jedino najbolje približavanje ali ne i punu identičnost površine. Zbog toga je i ustanovljen jednostavan elipsoidni model Zemljine gravitacije, elipsa koja rotira oko svoje kraće ose (**Šema 1**).

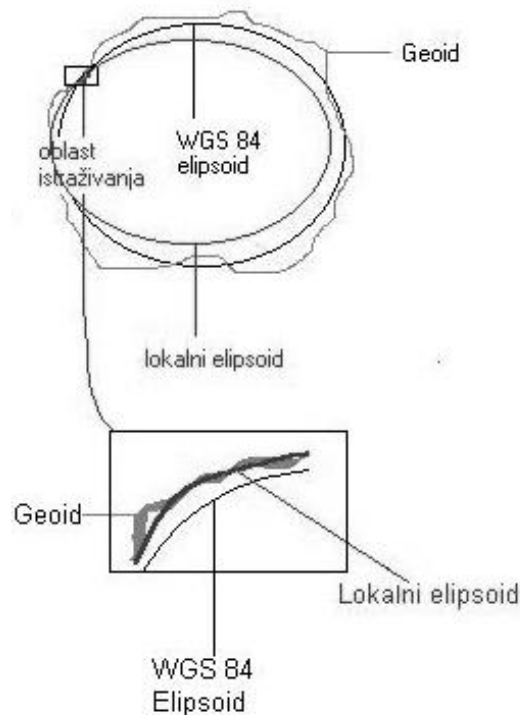


Šema 1. Elipsoidni model sa geoidom

(Trimble Navigation Limited, USA, Copyright Livona, Beograd, 1998)

Međutim, veličina i oblik najpribližnijeg elipsoida, kao i njegov relativni položaj u odnosu na centar mase Zemlje, razlikuju se od mesta do mesta. Iz tih razloga definišu se različiti

elipsoidi (lokalni ili **referentni elipsoidi**), koji najbolje modeliraju geoid u raznim delovima sveta (**Šema 2**).



Šema 2. Elipsoidni model sa geoidom i lokalnim elipsoidom

(Trimble Navigation Limited, USA, Copyright Livona, Beograd, 1998)

Datum NAD-a uzima se kao ekvivalentan datumu WGS-84 za sve praktične namene. Državni koordinatni sistem Srbije bazira se na Gauss - Krigerovoj projekciji, sa elementima Baselovog elipsoida, međutim parametri za transformaciju omogućuju direktan prelaz sa WGS-84 na Baselov elipsoid.

U pogledu korišćenja datuma WFD Direktivom se propisuje korišćenje ETRS89 Evropskog datuma, tzv. Cartesian-ovog elipsoida, do 1 cm tolerancije, koji je deo globalnog ITRS 3. Apendiks VI sadrži potpun opis ETRS89, koji sledi standard ISO19111. Nakon izbora datuma potrebno je predstaviti tačku na zemlji u skladu sa datumom, koristeći geografske koordinate (latituda i longituda).

Svako kartiranje podrazumeva predstavljanje Zemljine površine, koja je sferoidna, na ravnom papiru, bez deformacija. Jednačine koje latitudu i longitudu konvertuju u odgovarajuća rastojanja od referentnog meridijana i paralele nazivaju se kartografske projekcije. Idealna geografska karta trebalo bi tačno da prikaže površine, rastojanja, pravce i oblike, ali takva

karta se na papiru ne može napraviti, jer se jedan ili više parametara uvek deformišu. Dakle, korisniku preostaje jedino da bira projekciju koja će najbolje odgovarati njegovim potrebama, odnosno koja će najmanje deformisati parametre koje su autoru najvažnije, a gde će se 'žrtvovati' manje važni parametri. Ovi problemi se delimično mogu ispraviti 3D modeliranjem u GIS-u, ali ni onda ne u potpunosti.

Poznati su i potpuno definisani mnogi lokalni koordinatni sistemi, koji specificiraju i datum i kartografsku projekciju (američki ASPS, australijski MG, britanski BOS). Softver za kartiranje omogućuje konverziju iz WGS-84 u mnoge lokalne koordinatne sisteme.

1.3 Tipovi podataka

Postoje dva osnovna tipa podataka koji se unose u GIS:

- grafički (kartografski) i
- negrafički (alfanumerički) podaci.

Kartografski podatak je informacija sa karte smeštena u digitalnoj formi. Svi geografski objekti (entiteti) mogu se predstaviti i klasifikovati kao tačke, linije i poligoni (površine).

Negrafički podaci predstavljaju opisne informacije o objektima (tačkama, linijama, poligonima) lociranim na karti, koje se smeštaju u bazu podataka.

Opisna informacija naziva se **atribut**, pri čemu se podrazumeva da je prvi atribut uvek upravo geografski položaj. Naziv atributa je u tom slučaju "lokacija" (recimo stanište vrste ili fitocenoze). Ostali atributi zavise od tipa objekta, pojedinačnih namena ili aplikacija. Svaka od ovih karakteristika posebno se identifikuje u GIS-u svojim atributskim nazivima. Svaki atribut ima niz mogućih vrednosti koji se nazivaju **domenima** (opsezima). Kada se radi o kartiranju fitocenoza, atribut "naziv fitocenoze" je atribut svih fitocenoza, a recimo *Nymphaeo-Nupharetum luteae* je **vrednost** atributa za određenu biljnu zajednicu.

1.4 Struktura podataka

Postoje dva tipa strukture podataka – **topološka** i **lejerska**.

Topologija se odnosi utvrđivanje prostornih odnosa i veza među objektima u prostoru i praktično definiše logičke veze između tačaka, linija i poligona.

Lejeri (slojevi) informacija su način da GIS korisnik struktuiraju svoje podatke. Nazivaju se još i kartografske teme, nivoi ili pokrivači (*coverage*). Slojevi obično sadrže podatke samo o jednom tipu objekta, kao što su tipovi zemljišta, ili o malim grupama srodnih i povezanih objekata, kao što je recimo brojnost i pokrovnost populacije određene biljne vrste. Podaci se logički razdvajaju u kartografske slojeve i u tom smislu se na različite načine mogu analizirati

(svaki za sebe ili međusobno), s tim da, naravno, moraju zadovoljiti osnovni preduslov – svi slojevi informacija moraju biti registrovani u istom koordinatnom sistemu.

Slojevi informacija mogu se koristiti i za kreiranje tzv. 'kompozitnih' mapa (Trimble Navigation Limited, 1998). To se postiže jednostavnim međusobnim preklapanjem slojeva, gde prostorne GIS analize u stvari izvršavaju prostorne matematičke operacije nad skupom pojedinačnih slojeva. Novodobijeni sloj rezultat je željene matematičke kombinacije postojećih slojeva. Ovaj pristup koristi se za kreiranje alternativnih scenarija i olakšava upravljanje i upotrebu GIS baze podataka.

1.5 Unošenje i analiza podataka

GIS koristi podatke iz svih slojeva informacija i integriše ih u formu novog sloja (izvora) koji predstavlja presek svih slojeva. Veza između ta dva sloja je geografska lokacija (latituda, longituda) svakog od entiteta.

Postojeći komercijalni GIS koriste sledeće načine za unošenje prostornih podataka:

- **digitalizacija** postojećih mapa **digitajzerom** (grafičkom tablom), gde na tačnost unetih podataka utiče prvo tačnost mape, zatim tačnost grafičke table, a potom i umešnost operatera,
- **digitalizacija skeniranih mapa** (tzv. *head up* digitalizacija), neopravdano popularna metoda obzirom na dodatni izvor greške koju čini mehanička manipulacija papirom pri skeniranju,
- **digitalizacija satelitskih i aero-snimaka** (*remote sensing*) zemljine površine, opravdana ukoliko predstavlja lejer za unos GPS učitanih podataka. Kod ovog postupka najveći problem praktično predstavlja rektifikacija snimaka, odnosno određivanje geografskih koordinata repernih tačaka, mada je velika prednost sadržaj snimaka koji je veoma veran stanju na terenu i
- ponovni premer terena i **prikupljanje podataka elektro – optičkim sredstvima** sa magnetnom memorijom (geodetske metode). Ova metoda zahteva najviše rada, podrazumeva veliku ekipu, veoma je skupa i dugo traje.

1.6 Baze podataka

Generalno, integraciju i manipulisanje podacima podržavaju tri osnovna modela baze podataka: **hijerarhijski, mrežni i relacioni**.

Hijerarhijski model karakteriše struktura podataka u kojoj su elementi nižeg ranga u vezi samo sa jednim elementom na višem nivou, a sa više elementa na nižem nivou, te su zbog toga hijerarhijski modeli nefleksibilni. Između podataka na istom nivou ne postoje linkovi, a nove veze između elemenata su nemoguće kada se jednom uspostavi hijerarhijski sistem

Mrežna struktura dopušta više veza između više elemenata sistema, mada treba napomenuti da veze između entiteta istog tipa (podataka istog nivoa) nisu dozvoljene, s tim

da jedan registar može imati samo jedan entitet, te stoga mora biti definisan veliki broj entiteta kao nosilaca veza, što dodatno komplikuje rad u bazi.

Hijerarhijska i mrežna struktura nose epitet **navigacionih** baza podataka. Rad u ovakvim bazama je otežan nemogućnošću korelacija između različitih entiteta, što na prikazanom primeru znači da su direktni upiti tipa pronalaženja korelativnih odnosa između tekture zemljišta i brojnosti populacije određene biljne vrste praktično nemogući.

Relaciona struktura predstavlja skup već utvrđenih relacija (entiteta) definisanih u složenoj oblasti. On praktično funkcioniše kao dvodimenzionalna tabela i samim tim mogućnost upita i analiza je mnogostruko povećana, a kompletan sistem mnogo fleksibilniji. Skupovi atributa koji opisuju osobine ili svojstvo odgovarajućih entiteta obično se smeštaju u **relacione** baze podataka

Modeliranje podataka u prostoru, odnosno opisivanje entiteta i njihovih relacija, može se predstaviti na dva načina – **vektorski** i **rasterski**.

Vektorski modeli. Vektor je definisan početnom koordinatom, pripadajućom veličinom (intenzitetom), smerom i pravcem. Postoji više razrađenih modela vektorskog modeliranja prostornih sistema, među kojima su poznati: **topološki** model; **dvostruko nezavisno kodirajući** model (DIME); POLYEVERT ili tzv. **luk-čvor struktura** i **relaciona struktura**.

Raster modeli. U rasterskoj ili ćelijskoj organizaciji svaka ćelija predstavlja raster fajl i sadrži samo jednu vrednost. Različiti atributi smeštaju se u zasebne fajlove.

Rasterski podaci, tačnije digitalne rasterske slike su u osnovi matrice sačinjene od piksela, a karakteriše ih određena rezolucija, dimenzija (broj kolona i redova piksela), dubina slike (broj boja) i format tj. ekstenzija zapisa. Najčešće ekstenzije su JPEG, BMP, TIF i dr. Rasterske slike dobijaju svoju prostornu orijentaciju nakon georeferenciranja i mogu se učitati u GIS softver kao jedan lejer (*layer*).

Pojedinačne tačke u okviru vektorskih podataka su prostorno određene dvodimenzionalnim koordinatnim sistemom. Na primer, rasterski format pamti i prikazuje liniju kao niz ćelija. Linija u vektorskom formatu predstavljena početnom i krajnjom tačkom (*Nodes*) i linijom koja ih spaja (*Vertex*), i njima su dodeljene prostorne koordinate. Složeniji oblici u vektorskom formatu nastaju spajanjem ovakvih pojedinačnih prostih oblika, ali softver zapravo pamti samo koordinate za krajnje tačke (*Nodes*) i linije (*Vertex*) dok su spojevi (*Chains*) između pojedinačnih prostih objekata virtuelni i njih iscrtava/prikazuje hardver. Zbog programske složenosti vektorskih mapa, samo jedna vrsta podataka se skladišti u pojedinačnom lejeru, npr. samo tačke ili samo poligoni. Mape kao krajnji proizvodi se sastoje iz više vrsta podataka (tačke, linije i poligoni), ali su svi sačuvani u vidu zasebnog fajla/lejera.

Dakle, upravo ova razlika u skladištenju podataka u rasterskom i vektorskom formatu daje veliku prednost vektorskim podacima. Bez obzira na svoje prednosti, primena vektorski podataka takođe ima svoja ograničenja. Naime, zbog svoje matematičke i programske



kompleksnosti, kreiranje i manipulacija ovim podacima zahteva veliku količinu predznanja, što ih čini mnogo skupljim u odnosu na rasterske podatke, a što dalje sužava krug potencijalnih korisnika. U praksi, postoji mogućnost prebacivanja podataka iz rasterskog u vektorski format i obrnuto.

Ekstenzije datoteka u GIS-u

Osnovni format fajla u GIS-u je *Shapefile* (Georgy i Ell, 2007) koji se sastoji od prostornih podataka i njihovih atributa. *Shapefile* format zapravo obuhvata nekoliko fajlova različite ekstenzije iako se zapravo učitavaju u GIS softver kao jedan fajl. Konkretni prostorni podaci se čuvaju u vidu jednog pojedinačnog lejera .shp ekstenzije i obuhvataju samo jednu vrstu podataka (tačke, linije ili poligoni). Atributi, odnosno opisne karakteristike prostornih podataka se nalaze u fajlu .dbf ekstenzije i moguće ih je manuelno editovati izvan GIS softvera, npr. u excel programu. Osim pomenutih, postoje fajlovi ekstenzija .sbn, .sbnx, .shx i drugi, u zavisnosti od konkretnog softvera koji se koristi. Kopiranje ili premeštanje Shapefile formata podrazumeva kopiranje svih ovih pojedinačnih datoteka istovremeno ili će u suprotnom korišćenje podataka u GIS-u biti onemogućeno.

Konačno, rezultati primjene GIS-a moraju imati standardni model prenosa podataka u lokalnim, nacionalnim i internacionalnim okvirima (ISO/TC211). Podrazumeva se da ne postoji uniforman i opšteprihvaćen način modeliranja podataka vezanih za prostor. Ono što postoji jeste težnja za postizanjem **standarda za prenos podataka**, koji nisu obavezno i standardi za modeliranje. Međutim, model podataka se mora prilagoditi standardnom modelu razmene, kao što su SDTS (1992) i SAIF (1992) standardi.

Vizuelizacija GIS izveštaja izvodi se na više različitih načina :

- tematske karte,
- 3D modeli terena,
- multimedijalni prikazi i
- klasični tabelarni izveštaji.

1.7 Georeferenciranje podataka u ekološkim istraživanjima

Kako se u ekološkim istraživanjima najčešće već raspolaže nekom bazom podataka, kojima su pridruženi odgovarajući atributi, radi njihove obrade u GIS-u neophodno im je pridružiti geografske koordinate (Slika 8.9), (Gregory i Ell, 2007). Osim toga, atributi mogu biti sadržani već u samom nazivu lokaliteta za koji su koordinate navedene.

U slučaju kada baza podataka sa odgovarajućim atributima postoji, koordinate im se mogu pridružiti na nekoliko načina. Kao prvo za svaki podatak koordinate mogu biti očitane na samom terenu prilikom terenskog istraživanja. Osim toga, veliki broj literaturnih podataka npr. za rasprostranjenje vrsta je publikovan pre nego što GIS tehnologija ušla u širu primenu. Ovi podaci su takođe veoma značajni i upotrebljivi u GIS analizama, ali ih je potrebno naknadno georeferencirati. Georeferenciranje se vrši na osnovu imena lokaliteta, upotrebom odgovarajućih *Gazetteer (geographical dictionary)*, koji predstavljaju baze podataka konkretnih geografskih objekata nekog područja kojima su pridružene prostorne koordinate. Aplikacije *GoogleEarth* i *GoogleMaps* predstavljaju gazetere koji se nalaze u širokoj primeni.

Redni broj nalaza	Asocijacija	Autor snimka	LAT	LONG	Lokalitet	Pokrovnost	Površina snimka	Broj vrsta	Tip stanista	Vegetacijska klasa
1	Hydrochario-Nymphoidetum peltate Slavnić 1956	Radulovic, S.	+45.2400950	+19.9071431	Krstak	75	20	8	1	14
2	Hydrochario-Nymphoidetum peltate Slavnić 1956	Radulovic, S.	+45.2303460	+19.9400011	Tonja kod Tacke kapije	70	30	8	1	14
3	Hydrochario-Nymphoidetum peltate Slavnić 1956	Radulovic, S.	+45.2303460	+19.9400011	Tonja kod Tacke kapije	80	20	11	1	14
4	Hydrochario-Nymphoidetum peltate Slavnić 1956	Radulovic, S.	+45.1801640	+20.1402111	Zaloga	80	40	7	1	14
5	Hydrochario-Nymphoidetum peltate Slavnić 1956	Radulovic, S.	+45.1801640	+20.1402111	Zaloga	80	20	7	1	14
6	Hydrochario-Nymphoidetum peltate Slavnić 1956	Radulovic, S.	+45.1801640	+20.1402111	Zaloga	70	20	6	1	14
7	Hydrochario-Nymphoidetum peltate Slavnić 1956	Radulovic, S.	+45.1882680	+20.1039271	Dunavac	70	20	7	1	14
8	Hydrochario-Nymphoidetum peltate Slavnić 1956	Radulovic, S.	+45.2099250	+20.0160841	Mijina bara	90	40	7	1	14
9	Hydrochario-Nymphoidetum peltate Slavnić 1956	Radulovic, S.	+45.2063740	+20.0581911	Rakina bara	90	40	7	1	14
10	Myriophyllo-Potametum Soó 1934	Radulovic, S.	+45.2120160	+19.9491841	Tonja kod Kurjačke grede	80	20	10	1	11
11	Myriophyllo-Potametum Soó 1934	Radulovic, S.	+45.2025680	+19.9808351	Kubici Ada	90	40	11	1	11
12	Myriophyllo-Potametum Soó 1934	Radulovic, S.	+45.2025680	+19.9808351	Kubici Ada	100	40	13	1	11
13	Myriophyllo-Potametum Soó 1934	Radulovic, S.	+45.2113430	+20.0295671	Dunavac	80	100	10	1	11
14	Myriophyllo-Potametum Soó 1934	Radulovic, S.	+45.2113430	+20.0295671	Dunavac	100	20	6	1	11
15	Myriophyllo-Potametum Soó 1934	Radulovic, S.	+45.2113430	+20.0295671	Dunavac	100	40	7	1	11
16	Myriophyllo-Potametum Soó 1934	Radulovic, S.	+45.2113430	+20.0295671	Dunavac	90	40	10	1	11
17	Myriophyllo-Potametum Soó 1934	Radulovic, S.	+45.2113430	+20.0295671	Dunavac	90	40	6	1	11
18	Nymphaeo- Nupharetum luteae Nowinski 1928	Radulovic, S.	+45.2063740	+20.0581911	Rakina Bara	80	10	5	1	13
19	Nymphaeo- Nupharetum luteae Nowinski 1928	Radulovic, S.	+45.2063740	+20.0581911	Rakina Bara	90	20	7	1	13
20	Nymphaeo- Nupharetum luteae Nowinski 1928	Radulovic, S.	+45.2099250	+20.0160841	Mijina Bara	100	50	4	1	13
21	Nymphaeo- Nupharetum luteae Nowinski 1928	Radulovic, S.	+45.2099250	+20.0160841	Mijina Bara	100	50	8	1	13
22	Nymphaeo- Nupharetum luteae Nowinski 1928	Radulovic, S.	+45.2120160	+19.9491841	Velika Tonja	80	30	4	1	13
23	Nymphaeo- Nupharetum luteae Nowinski 1928	Radulovic, S.	+45.2084700	+19.9342761	Karlovačka Tonja	80	10	7	1	13
24	Nymphaeo- Nupharetum luteae Nowinski 1928	Radulovic, S.	+45.2084700	+19.9342761	Karlovačka Tonja	80	20	7	1	13
25	Nymphaeo- Nupharetum luteae Nowinski 1928	Radulovic, S.	+45.2084700	+19.9342761	Karlovačka Tonja	90	20	8	1	13
26	Nymphaeo- Nupharetum luteae Nowinski 1928	Radulovic, S.	+45.2024850	+20.0407571	Krdinja	90	40	8	1	13
27	Nymphaeo- Nupharetum luteae Nowinski 1928	Radulovic, S.	+45.1822350	+20.0425061	Stari Dunav	80	50	8	1	13
28	Ceratophyllo-Trapetum natantis Müller & Gors (1962) ex	Radulovic, S.	+45.2120160	+19.9491841	Tonja kod Kurjačke Grede	50	80	3	1	9
29	Ceratophyllo-Trapetum natantis Müller & Gors (1962) ex	Radulovic, S.	+45.2120160	+19.9491841	Tonja kod Kurjačke Grede	30	90	6	1	9
30	Ceratophyllo-Trapetum natantis Müller & Gors (1962) ex	Radulovic, S.	+45.2120160	+19.9491841	Tonja kod Kurjačke Grede	50	100	4	1	9
31	Ceratophyllo-Trapetum natantis Müller & Gors (1962) ex	Radulovic, S.	+45.2120160	+19.9491841	Tonja kod Kurjačke Grede	50	100	5	1	9
32	Ceratophyllo-Trapetum natantis Müller & Gors (1962) ex	Radulovic, S.	+45.1912460	+19.9940021	Namet	60	80	5	1	9
33	Ceratophyllo-Trapetum natantis Müller & Gors (1962) ex	Radulovic, S.	+45.1912460	+19.9940021	Namet	20	80	8	1	9
34	Ceratophyllo-Trapetum natantis Müller & Gors (1962) ex	Radulovic, S.	+45.1822350	+20.0425061	Stari Dunav	30	80	7	1	9
35	Ceratophyllo-Trapetum natantis Müller & Gors (1962) ex	Radulovic, S.	+45.1822350	+20.0425061	Stari Dunav	30	90	6	1	9

Slika 8.9. Primer baze podataka u ekološkim istraživanjima (Laketić, 2013)

Ekološka istraživanja uglavnom ne zahtevaju veliku preciznost prilikom georeferenciranja podataka. Najčešće se toleriše greška do 1 minuta jer je položaj bioloških sistema u prostoru

i vremenu relevantan. Npr. položaj jedinki u nekoj fitocenozi varira iz godine u godinu, kao i oblik, veličina i položaj same fitocenoze, stoga prostorne analize male preciznost daju sasvim ekološki značajne, razumljive i smislene rezultate. Ova činjenica znatno proširuje dijapazon GPS uređaja koji se mogu koristiti za prikupljanje podataka u ekologiji.

U praksi, ekolog bi trebalo da poseduje znanja koja mu omogućavaju da samostalno prikupi podatke na terenu, naknadno georeferencira literarne podatke, pripremi i georeferencira odgovarajuću geografsku kartu, kreira Shape fajl i izvrši elementarne prostorne analize podataka. Kako je primena GIS tehnologije u ekološkim istraživanjima samo jedna od alatki, odnosno sredstvo za postizanje određenog naučnog cilja, a ne cilj sam po sebi, najčešće nije finansijski opravdano korišćenje digitalnih vektorskih karata nekog područja, već se pristupa georeferenciranju skeniranih karata.

Za razumevanje i uspešno izvršavanje svake od nabrojanih faza primene GIS-a u ekološkim istraživanjima, neophodno je poznavanje načina izrade geografskih karata.



2. Daljinska detekcija, daljinsko očitavanje i daljinska istraživanja

2.1 Terminologija

Daljinska istraživanja generalno obuhvataju najrazličitije aktivnosti koje se odnose na detekciju, osmatranje i snimanje udaljenih objekata. Kod ovog tipa istraživanja senzori za detekciju se ne nalaze u direktnom kontaktu sa objektom ili fenomenom koji istražuju. Konkretnije, kao nosilac informacija se koristi elektromagnetno zračenje koje se emitira sa različitih uređaja koji su prilagođeni za emisiju elektromagnetnih talasa različitih talasnih dužina. Krajnji rezultat daljinskih istraživanja uobičajeno je slikovni snimak selektovanih struktura na određenom istraživanom području. Slijedeći korak u daljinskim istraživanjima je analiza dobivenih slika i njihova interpretacija kako bi se dobile određene korisne ili ciljane informacije na istraživanom području. U užem smislu, daljinska istraživanja podrazumijevaju naučne metode za prikupljanje informacija o zemljinoj površini (npr., kopno, vodena tijela, vegetacija) i atmosferi upotrebom senzora postavljenih na zračne ili svemirske platforme. Termin „daljinska istraživanja“ je uveo Evelyn L. Pruitt 1960. godine, koji je radio za američki ured za pomorska istraživanja.

Ovisno o opsegu daljinska istraživanja se dijele na:

- (1) satelitska daljinska istraživanja,
- (2) fotografska i fotogrametrijska (koriste fotografije)
- (3) termalna (koriste termalni IC dio spectra),
- (4) radarska (koriste se mikrotalasi), i
- (5) LiDAR (laserski puls se emituje ka tlu pri čemu se udaljenost između senzora i tla mjeri na osnovu vremena vraćanja svakog pulsa).

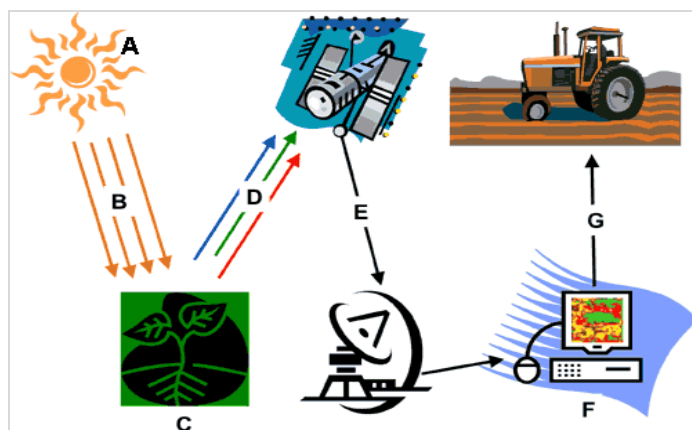
Daljinska istraživanja su se postepeno razvijala kao nova i zasebna naučna disciplina tokom i posebno nakon Drugog svjetskog rata na osnovu naučno-tehnoloških spoznaja i dostignuća ostvarenih prvenstveno u vojne svrhe.

Daljinska istraživanja se na osnovu načina korištenja i detekcije energije mogu generalno podijeliti u dvije skupine. Pasivna daljinska istraživanja koriste sisteme koji bilježe reflektovanu energiju elektromagnetnog zračenja ili emitovanu energiju sa zemlje, kao što su kamere i termalni IC detektori. Aktivna daljinska istraživanja koriste sisteme koji odašilju vlastitu energiju i bilježe refleksiju te energije sa zemljine površine, kao što su radarski sistemi.

Zbog toga u značajne zadatke daljinskih istraživanja spadaju: procjena i monitoring stanja okoliša (opasni otpad, razvoj urbanih sredina), detekcija i monitoring globalnih promjena (kao što su: smanjenje stratosferskog ozona, deforestacija, klimatske promjene), razvoj poljoprivredne proizvodnje (vrste usjeva, predviđanje prinosa, erozija tla, biljne bolesti),

eksploatacija neobnovljivih (minerala i fosilnih goriva) i obnovljivih prirodnih resursa (kao što su: močvarna staništa, zemljište, šume, živi svijet okeana), meteorološka istraživanja (dinamika atmosfere, prognoza vremena), geografsko kartiranje (topografske karte, karte upotreba zemljišta, karte upravljanja rizicima), itd.

Primjena daljinskih istraživanja u Bosni i Hercegovini započela je još osamdesetih godina prošlog stoljeća, posebno u oblasti istraživanja prirodnih resursa. U postratnom periodu je nastavljeno sa primjenom satelitskih snimaka. Među prvim takvim je projekt koji je realiziran je 1998.godine u okviru projekta „Procjena šuma u Bosni i Hercegovini: korištenje satelitskih daljinskih istraživanja u jačanju međuentitetske saradnje u upravljanju resursima“ (Bosnia Forest Assessment: Using Satellite Remote Sensing to Foster Inter-entity Cooperation in Resources management) koji je realizirao University of Alaska, Fairbanks, SAD.



Slika 1.7. Generalna procedura za sakupljanje i analiziranje podataka. Sunce (A) emitira elektromagnetnu energiju (B) na zemljinu površinu (C). Dio ove energije, ovisno o tipu površine (voda, tlo, biljke, itd.) se reflektira. Senzor na satelitu detektuje ovu reflektiranu energiju (D) i bilježi je kao podatak. Ovaj podatak se zatim prenosi na zemaljsku stanicu (E), analizira u računaru (F) upotrebom specijaliziranog softvera i prikazuje na ekranu (G)

U okviru projekta su vršena daljinska istraživanja sastava, strukture i površinskog rasprostranjenja šuma u Bosni i Hercegovini. U okviru projekta koji je realizirao GTZ u Bosni i Hercegovini vršena su istraživanja na utvrđivanju sastava i strukture šumskih zajednica u Bosni i Hercegovini. Projekat je realiziran na bazi primjene IRS 1D satelitskih snimaka 5,6 m prostorne rezolucije u periodu 1988.do 2000.godine.

U značajnije međunarodne radove spadaju i „Metode i primjena satelitskih podataka u evaluaciji posljedica rata: napušteno poljoprivredno zemljište u Bosni i Hercegovini nakon konflikta 1992. – 1995. (Satellite data methods and application in the evaluation of war outcomes: Abandoned agricultural land in Bosnia and Herzegovina after the 1992. – 1995.

conflit) koji su realizirali istraživači sa univerziteta Kolorado, SAD. Rad se odnosi na analize efekata uticaja ratnih dejstava na poljoprivredu u periodu nakon rata u Bosni i Hercegovini, pri čemu sa za istraživanu regiju bosanskohercegovačke posavine korišteni Landsat TM snimci 30 m prostorne rezolucije iz perioda prije, tokom i nakon rata.

Primjena daljinskih istraživanja u Bosni i Hercegovini danas je široko rasprostranjena u brojnim oblastima kao što su: poljoprivreda proizvodnja, šumarstvo, zaštita okoliša, istraživanje i eksploatacija prirodnih i prostornih resursa, zaštita od prirodnih nepogoda, građevinarstvo i brojne druge oblasti. Među najznačajnijim bosanskohercegovačkim institucijama na polju primjene daljinskih istraživanja je GIS centar Prirodnomatemičkog fakulteta Univerziteta u Sarajevu, koji još od kasnih devedestih godina prošlog stoljeća učestvovao u brojnim naučno-istraživačkim projektima iz ove oblasti.

2.2 Daljinska detekcija

Metoda daljinskog očitavanja (očitavanje, *remote sensing*) je metoda dobijanja informacija o nekom objektu, području ili pojavi koja je predmet istraživanja instrumentima koji nisu u kontaktu sa njima, odnosno dobijanje podataka o nekom objektu (entitetu) na daljinu. Instrumenti i tehnike, odnosno senzori koje se koriste u ove svrhe očitavaju mnogobrojne oblike energije u elektromagnetnom spektru, kao i njenu distribuciju (Radulović i Teodorović, 2010).

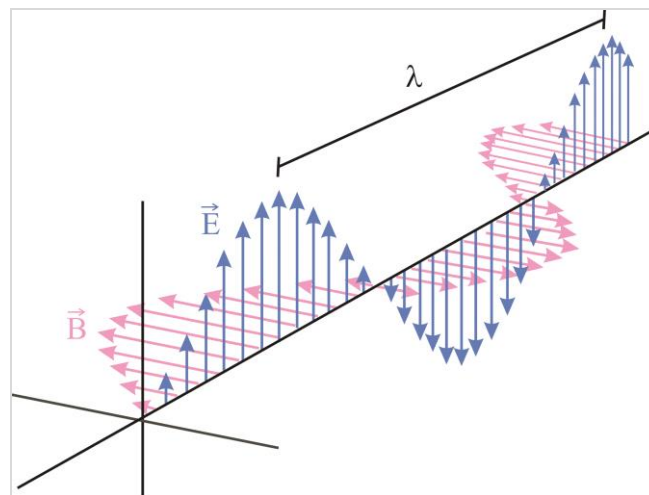
Elektromagnetno zračenje (eng. **E**lectro **M**agnetic **R**adiation – EMR) je vid emitovane i apsorbovane energije od strane naelektrisanih čestica, koje se ponaša kao talas prilikom putovanja kroz prostor. Prema načinu oscilovanja u odnosu na pravac prostiranja talasi se dijele na longitudinalne i transverzalne. Kod longitudinalnih talasa oscilacije čestica sredine su u pravcu prostiranja talasa, dok su u slučaju transverzalnih talasa oscilacije čestica sredine okomite na pravac prostiranja talasa.

Elektromagnetno zračenje je sačinjeno od komponenata električnog i magnetnog polja, uz konstantan omjer njihovih intenziteta. Pošto vektori električnog i magnetnog polja elektromagnetnog talasa osciluju u fazi, okomiti su jedan na drugi, kao i na smjer prostiranja elektromagnetnog talasa, za elektromagnetni talas kažemo da je transverzalan. U vakuumu, elektromagnetno zračenje prostire se brzinom svjetlosti od 299792458 m/s. Radi lakšeg pamćenja uobičajeno je da se ova brzina karakteriše sa približno 300000 km/s ili u naučnoj notaciji zapisano kao m/s. Ova brzina se u literaturi naziva brzina svjetlosti u vakuumu.

Elektromagnetno zračenje je samo specijalan slučaj opštijeg elektromagnetnog polja čiji izvor su naboji koji se kreću. Elektromagnetno zračenje je povezano sa elektromagnetnim poljima koja su dovoljno daleko od naboja koji se kreću i koji uzrokuju nastanak ovih polja, tako da eventualna apsorpcija EMR više nema uticaja na ponašanje naboja u izvoru talasa. Ova dva tipa ponašanja elektromagnetnog polja se nekad nazivaju blisko i daleko polje. Ubuduće, mi



ćemo pod EMR podrazumijevati da je drugo ime za daleko polje. Za razliku od EMR, naboji i struje direktno proizvode blisko polje, dok EMR proizvode samo indirektno. Naime, u EMR i električna i magnetna polja se proizvode usljed vremenskih promjena drugog tipa polja, a ne direktno nabojima i strujama. Tako se može istaći da se kod EMR usljed vremenske promjene električnog polja formira magnetno polje i obratno. Ova bliska veza uzrokuje da jaćine električnog i magnetnog polja u EMR imaju konstantan odnos i da su u fazi, sa maksimumima i minimumima na istim mjestima u prostoru za oba polja. Navedeno je ilustrativno prikazano na slici 2.1.



Slika 2.1. Elektromagnetni talasi koji ćine elektromagnetno zraćenje mogu se zamisliti kao samoprostrući transverzalni oscilatorni talasi električnog i magnetnog polja. Prikazan je ravni linearno polarizovani EMR koji se prostire slijeva na desno. Vektor električnog polja, oznaćen sa \vec{E} , je u vertikalnoj ravni, dok je vektor magnetne indukcije \vec{B} u horizontalnoj ravni. Dva tipa polja u EMR su uvijek međusobno u fazi i imaju konstantan odnos intenziteta. Sa λ je oznaćene talasna dućina (Đug et al. 2015).

U tom smislu neophodno je otkloniti terminološke nedoumice koje su vezane za termin „daljinsko oćitavanje“ Naime, u širem pojmovnom kontekstu, fotogrami, odnosno fotografije, jesu jedna od metoda daljinskog oćitavanja. Međutim, sam termin *remote sensing* se upotrebljava tek od 1965. godine, a uveden je tek nakon dobijanja prvog satelitskog snimka, tako da se ovaj termin obićno vezuje za ovaj vid medija, GPS, termalne i radarske senzore, dok su aero snimci ostali terminološkoj upotrebi definisani kao fotogrametrijska tehnika.

Instrumenti i tehnike, odnosno senzori, koje se koriste u ove svrhe oćitavaju mnogobrojne oblike energije, odnosno njene distribucije. Sonari, recimo, rade na principu distribucije zvućnih talasa (DGPS ili Eagle Ultra DGPS) za batimetrijske analize i mapiranje makrofita, dok optićki instrumenti, kao što su fotografske kamere ili multispektralni skeneri koriste elektromagnetnu energiju. Fotohemijski indeks refleksije (PRI) je u direktnoj korelaciji sa sadržajem hlorofila *a* i ksantofila (PRUE), tako da se, praktićno, indeks refleksije dobija preko

fiziološkog statusa pojedinih vrsta. Radari, koji pripadaju takozvanim “aktivnim” sensorima, koriste nisko-frekventne elektromagnetne talase u mikrotalasnom delu spektra. Aktivni senzori, za razliku od pasivnih, omogućuju sopstvenu svetlosnu projekciju objekta, kao i merenje povratne radijacije.

Većina GIS softvera ima mogućnost integrisanja aviosnimaka (fotograma), satelitskih snimaka i radarskih očitavanja u svoje lejere. Ovaj proces integracije je prilično jednostavan, a izvodi se, kao što je već navedeno, skeniranjem, digitalizacijom i georeferenciranjem navedenih ‘remote sensing’ medija. Međutim, da bi se ove tehnike uspešno koristile, neophodno je poznavati mogućnosti i limitirajuće faktore svake od njih, kao i pojedinačne prednosti u odnosu na projekat (model) koji treba da podrže.

Aerosnimci se prvenstveno koriste za izradu mapa i monitoring područja. Aerosnimci sami po sebi nisu mape. Mape predstavljaju ortogonalnu projekciju Zemljine površine, što znači da su određene geografskim koordinatama i geometrijski tačne. Aerosnimci, međutim, poseduju visok stepen radijalne distorzije snimka. Obzirom da većina GIS softvera poseduje mogućnosti naknadnog georeferenciranja, aerosnimci predstavljaju veoma moćno oruđe pri kartiranju staništa, pogotovo kada se radi o monitoringu istog lokaliteta u funkciji dužeg vremenskog perioda.

Aero-snimci mogu biti crno-beli, kolor i infracrveni (IR). Crno-beli i kolor snimci imaju neprocenjivu ulogu u kartiranju odnosno mapiranju terena, kao i izradi tematskih karti. Bez obzira na činjenicu da se fotogrametrijska metoda podrazumeva relativno veliku radijalnu distorziju terena, preklopom četiri snimka (snimana pod različitim uglovima sa određenim procentom preklapanja stereoskopskom metodom, moguće je delimično ublažiti ovaj nedostatak.

Sa aspekta biomonitoringa, posebno monitoringa velikih šumskih ekosistema, (prvenstveno fizioloških promena na hlorofilu koje nastaju pod pritiskom različitih polutanata), IR snimci imaju neprocenjivu ulogu. Njihova prednost je to što se na ovim snimcima vide objekti van spektra vidljivog ljudskim okom, tzv. ‘IR objekti’.

Ova metoda nije toliko nova kao što se veoma često misli. Naime, prvi IR crno-beli film napravljen je još 1903. godine u Nemačkoj, a prvi snimci iz vazduha na ovom filmu napravljeni 1932. godine u Americi (*National Geographic Society*) i to iz vazdušnog balona. Kasnije se ova tehnologija unapredila do veoma sofisticiranog nivoa, prvenstveno u vojne svrhe nadgledanja. Jedno izvesno vreme to je bila veoma uspešna tehnologija (na snimcima se jasno moglo razlikovati kamuflirano oružje od okolne vegetacije). Međutim, paralelno se razvijao i sistem odbrane, tako da se veoma brzo tehnološki unapredila tzv. “IR nevidljiva boja”, kojom je vojna oprema šticeana od nadgledanja. Na kraju, vojska je odustala od ove i počela da upotrebljava nove metode, a ekologiji i srodnim prirodnjačkim disciplinama ostavila jednu veoma korisnu metodu.



IR film se obično naziva “lažni” ili “falš” kolor film. Objekti koji se normalno (ljudskim okom) vide kao crveni pojavljuju se kao zeleni, zeleni objekti, osim vegetacije, kao plavi, dok su IR objekti, kao što je hlorofil (“zdrav” hlorofil veoma jako reflektuje IR radijaciju) predstavljeni blistavo crvenom bojom na snimku.

Prema nekim autorima, aero-snimci predstavljaju najbolji „*remote sensing*“ mediji, bez obzira što ne mogu da interpretiraju sve značajne karakteristike vegetacije, kao što je recimo biomasa (ova karakteristika se mnogo uspešnije očitava prethodno pomenutim batimetrijskim metodama (ehosonarima).

Aero snimci, kao i većina medija za daljinsko očitavanje, pod različitim optičkim uslovima, odnosno korišćenjem specifičnih filtera, imaju mogućnost diferenciranja svih objekata na zemljinoj površini. Podrazumeva se da su dobijeni podaci predstavljeni u digitalnom formatu i da su kao takvi upotrebljivi za kompjutersku analizu i procesuiranje dobijenih podataka. Prednosti ove metode su očigledne – prikupljanje preciznih terenskih podataka koji je klasičnim metodama podrazumevao angažovanje velikog broja ljudi i dobro opremljenih laboratorija.

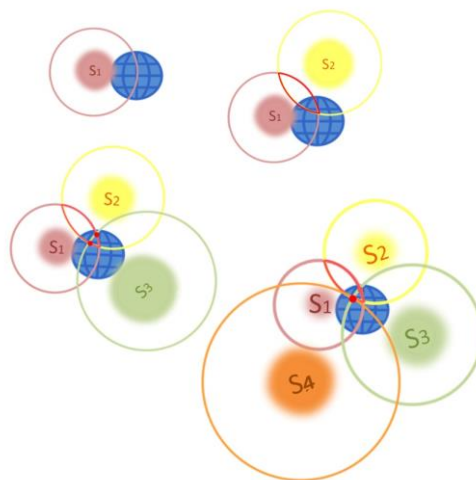
Kolor fotografije, dakle fotografije u bojama koje registruje ljudsko oko, koriste se za aplikacije gde je prioritet brza identifikacija oblika i boja, recimo diferenciranje različitih drvenastih biljnih vrsta i istraživanju šumskih ekosistema.

2.3 GPS pozicioniranje

U odnosu na metode daljinskog očitavanja pomenutih u prethodnom poglavlju, **GPS pozicioniranje** ima sledeće prednosti: veliku tačnost podataka do 1 cm; GPS referentni sistem se nalazi van domašaja korisnika, tako da u tom smislu greške nisu moguće; manipulacija uređajem izuzetno jednostavna; provera tačnosti podataka jednostavna, ispravljanje eventualne greške nastale bilo kao posledica nepovoljne geometrije satelita ili refleksije signala (dva najčešća izvora manjih odstupanja) takođe.

GPS određuje poziciju merenjem dužine do satelita. Opišemo li sferu čiji je poluprečnik udaljenost od satelita do tražene tačke, ta tačka će se nalazi negde na površini sfere (Slika 8.17). Ako se zatim opiše i sfera oko drugog satelita, naš položaj biće sužen na kružnicu nastalu kao presek dve sfere. Presekom i sfere opisane oko trećeg satelita, mogući položaj svodi se na samo dve tačke. Jedna od njih je obično negde u svemiru, čime je isključena kao tačan odgovor. Ovim je naš položaj precizno određen na osnovu preseka dužina sa tri satelita.





Slika 8.17. GPS pozicioniranje. Sa oznakama S1-S4 su označeni sateliti

Geografski pozicioni sistem je u tom smislu postao nezamenjiv instrument za prikupljanje podataka pri kreiranju i održavanju GIS-a. GIS i GPS integracija u dosadašnjoj literaturi ima nekoliko značenja: nosi prostorne podatke iz brojnih izvora uključujući mape, instrumentalna merenja sa terena, fotogrametrije i daljinske detekcije zasebnih sistema.

- snabdevanje širokog seta geografskih informacija koje funkcionišu unutar unificiranog softverskog okvira
- vezivanje prostornih podataka o objektima i atributima u jedinstveni, koherentni model (ESRI, 1990).

Svaki GPS sistem za kartiranje podržava i softver za obradu podataka. Nakon povratka sa terena softver prenosi pozicije i informacije o snimljenim objektima iz registratora u PC računar. Softver zatim poboljšava tačnost podataka korišćenjem tehnike za obradu podataka, tzv. diferencijalnu korekciju. Postoje dve tehnike za primenu diferencijalne korekcije: popravke u realnom vremenu i popravke naknadnom metodom.

Diferencijalna korekcija u realnom vremenu (*real time*) – ova tehnika podrazumeva da bazna stanica izračunava i emituje grešku za svaki satelit odmah nakon prijema podataka. *Rover* (prijemnik povezan sa baznom stanicom) prima ovu grešku i primenjuje je kao popravku za svoju poziciju koju opaža. Na ovaj način *rover* odmah na ekranu prikazuje diferencijalno korigovanu poziciju. Međutim, ova tehnika primenjuje se samo kada je odmah na samom terenu potreban korigovan (precizan) položaj, što je najčešće slučaj u navigaciji.

AGROS (Aktivna Geodetska Referentna Osnova Srbije) mreža je GPS infrastruktura koju čine 32 umrežene permanentne stanice (ARGOS, 2015) (Slika 8.18). Ova mreža servisira sve korisnike na teritoriji Srbije diferencijalnim GPS korekcijama u realnom vremenu, kao i

podacima za naknadnu diferencijalnu korekciju. Korekcija se u realnom vremenu prima putem mobilnog interneta (mobilni telefon u GPRS režimu).

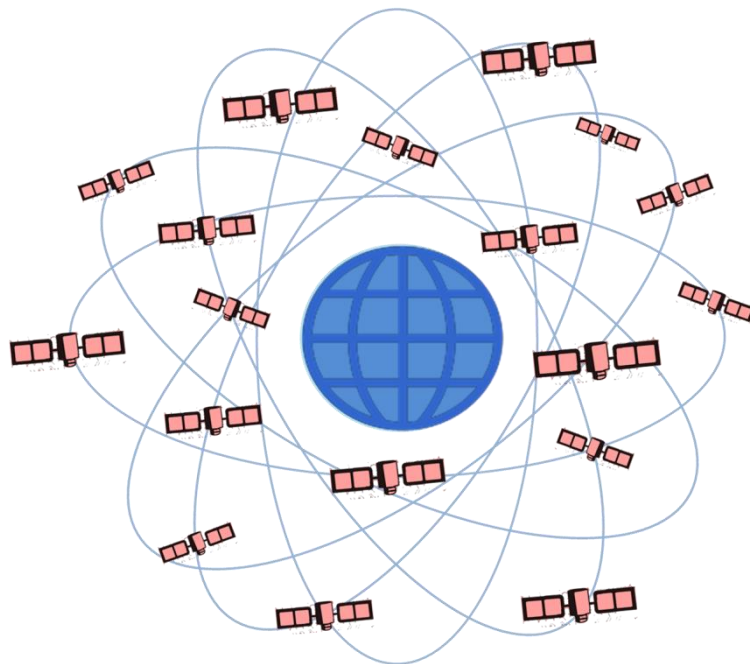
Diferencijalna korekcija sa naknadnom obradom – u ovoj tehnici bazna stanica memoriše grešku za svaki satelit direktno u datoteku računara. Istovremeno i rover memoriše sopstvene pozicije u datoteku računara. Nakon povratka sa terena, dve datoteke se obrađuju međusobno i kao rezultat se dobija diferencijalno korigovana *rover* datoteka.

2.4 Moguće greške u očitavanju geografske pozicije

Tačne koordinate za bilo koji položaj na zemlji se upotrebom GPS sistema izračunavaju merenjem udaljenosti od grupe satelita do položaja našeg prijemnika. Mreža GPS satelita igra ulogu sistema referentnih tačaka. Udaljenost do jednog satelita izračunava se iz merenja vramena za koje radio signal prevali put od satelita do prijemnika. Svaki GPS satelit emituje dva radio signala (L1 na 1575.42 MHz modulisan sa PRN, tzv. R-kodom i C/A kodom i L2 na 1227.60 MHz, modulisan samo R - kodom). Civilni GPS prijemnici koriste uglavnom L2 kod, dok Trimble GPS prijemnici rade sa oba koda.

Postoje 24 NAVSTAR satelita koji obilaze zemlju svakih 12 časova na visini oko 20 200 km (12600 milja), raspoređenih u šest orbitalnih ravni. (Slika 8.19). U svakoj orbiti se nalaze četiri satelita. U svakoj orbiti se nalaze četiri satelita. Ministarstvo odbrane SAD ima 4 zemaljske stanice za osmatranje, od kojih tri šalju podatke ka satelitima i jednu u glavnu kontrolnu stanicu. Osmatračke stanice neprekidno prate satelite i obezbeđuju podatke glavnoj kontrolnoj stanici, koja opet računa satelitsku putanju i korekciju parametra časovnika, iste šalje u ostale tri stanice, a onda sračunate podatke emituje prema svakom satelitu jednom dnevno.





Slika 8.19. NAVSTAR mreža satelita

Određene izvore grešaka kod očitavanja teško je eliminisati, jer sva očitavanja pretpostavljaju da GPS signal putuje konstantnom brzinom, odnosno brzinom svetlosti, a koja je, kao što je poznato, konstantna samo u vakuumu. Kada signal uđe u jonosferu (80-120 milja iznad Zemljine površine) i troposferu signal se neumitno usporava i to može izazvati određene greške u očitavanju. Moguće su greške i u atomskim časovnicima, ali one se koriguju sa zemaljskih stanica.

Takođe, postoji problem višestruke interferencije (refleksije sa okolnih objekata na Zemlji), kada se reflektovani signal meša sa osnovnim. Uticaj ove greške smanjuju unapređene metode za obradu signala. Signali sa GPS satelita mogu namerno da se degradiraju, što rezultira netačnom očitavanju pozicija. Kako je GPS razvijen od strane Ministarstva odbrane SAD, i to prvenstveno za vojne potrebe u navigaciji, to su radi onemogućavanja tačnosti pozicioniranja ostalih korisnika u regionu, uvedene posebne tehnike nazvane "greške usled selektivne dostupnosti" (S/A). Ova aktivnost od strane Ministarstva odbrane SAD u našem regionu ukinuta je 1. maja 2000. godine.

Greške u očitavanju mogu biti i posledica tzv. geometrijskog 'rasipanja'. Što su sateliti u momentu očitavanja bliži to je greška u očitavanju veća. Satelitski signali sadrže i poruku o statusu satelita (SH), odnosno indikatore neispravnosti. U slučaju da poruka sa nekog satelita ukazuje na nepravilnost, GPS ume da prepozna da taj satelit ne treba da koristi za izračunavanje položaja. Ministarstvo odbrane SAD objavljuje kada je satelit u defektnom stanju (ova informacija dobija se potpuno besplatno, preko Internet Biltena). Statusi svih satelita sadržani su u almanasima koji se dnevno ažuriraju i emituju sa svakog satelita svakih

12.5 minuta. Korisnički almanah se smatra ažurnim oko 3 meseca od datuma preuzimanja sa interneta, mada je optimalno ažurirati ga jednom nedeljno. GPS signali su i inače potpuno besplatni (već su ih platili američki poreski obveznici).

Signal sa satelita nosi i podatak o očekivanoj tačnosti opažanja (URA) na koju korisnik može da računa. Ako je URA za neki satelit veća od 30, onda se može pretpostaviti da se radi o namernom ometanju (S/A).

Sumarno, paramteri referentnog sistema moraju biti usklađeni u svim fazama primene GIS tehnologije u ekološkim istraživanjima: GPS uređaj pomoću kog se prikupljaju podaci, naknadno georeferenciranje podataka pomoću baza podataka (*Gazetteer-a*), karta koja se koristi za georeferenciranje podataka i izradu *Shapefile*. Ukoliko se u bilo kojoj od navedenih faza rada primeni više od jednog referentnog sistema, dobija se izuzetno velika prostorna greška.

Geografski pozicioni sistem je u tom smislu postao nezamenjiv instrument za prikupljanje podataka pri kreiranju i održavanju GIS-a.

GIS i GPS integracija u dosadašnjoj literaturi ima nekoliko značenja:

- nosi prostorne podatke iz brojnih izvora uključujući mape, instrumentalna merenja sa terena, fotogrametrije i daljinske detekcije zasebnih sistema,
- snabdevanje širokog seta geografskih informacija koje funkcionišu unutar unificiranog softverskog okvira i
- vezivanje prostornih podataka o objektima i atributima u jedinstveni, koherentni model (ESRI, 1990).

2.5 Definisane podatke

Izbor podataka za prikupljanje je prva kritična faza u procesu georeferenciranja. Ako se upotrebljava GPS sistem za kartiranje (kao što je **Geo Explorer Trimble**) koji omogućava istovremeno prikupljanje i pozicija i atributa o objektima u prostoru, potrebno je koristiti GPS softver koji podržava kreiranje ovakvog rečnika (**šifarnika**), odnosno listu kodiranih objekata (*features*). Rečnik se dalje prenosi na registrator podataka, tako da korisnika na terenu direktno 'pita' za unos svih relevantnih atributa. Kreiranje rečnika podataka na samom startu osigurava konzistentnost u njihovom prikupljanju i istovremeno obezbeđuje da kompletan GIS funkcioniše prema zahtevu korisnika. Ukoliko je moguće, treba izabrati najbolje vreme za prikupljanje GPS podataka. Programi koji podržavaju GPS Explorer Trimble sadrže i opcije za planiranje misije, odnosno terenskih istraživanja, takozvane **almanahe**, koji predviđaju najbolju relativnu poziciju (geometriju) satelita.

Svaki GPS sistem za kartiranje podržava i softver za obradu podataka. Nakon povratka sa terena softver prenosi pozicije i informacije o snimljenim objektima iz registratora u PC

računar. Softver zatim poboljšava tačnost podataka korišćenjem tehnike za obradu podataka, tzv. diferencijalnu korekciju. Postoje dve tehnike za primenu diferencijalne korekcije: **popravke u realnom vremenu i popravke naknadnom metodom.**

Diferencijalna korekcija u realnom vremenu (*real time*) – ova tehnika podrazumeva da bazna stanica izračunava i emituje grešku za svaki satelit odmah nakon prijema podataka. Rover prima ovu grešku i primenjuje je kao popravku za svoju poziciju koju opaža. Na ovaj način rover odmah na ekranu prikazuje diferencijalno korigovanu poziciju. Međutim, ova tehnika primenjuje se samo kada je odmah na samom terenu potreban korigovan (precizan) položaj, što je najčešće slučaj u navigaciji.

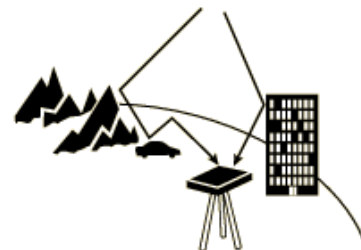
Diferencijalna korekcija sa naknadnom obradom – u ovoj tehnici bazna stanica memoriše grešku za svaki satelit direktno u datoteku računara. Istovremeno i rover memoriše sopstvene pozicije u datoteku računara. Nakon povratka sa terena, dve datoteke se obrađuju međusobno i kao rezultat se dobija diferencijalno korigovana rover datoteka. Jedinstvena osobina svih Trimble sistema za kartiranje je softver koji podržava obe tehnike i koje se mogu istovremeno koristiti.

Moguće greške u očitavanju geografske pozicije

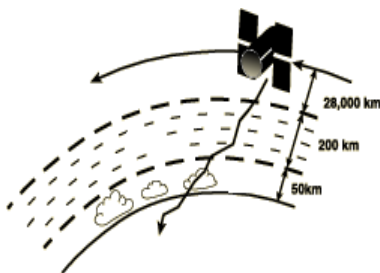
Tačne koordinate za bilo koji položaj na Zemlji se upotrebom GPS sistema izračunavaju merenjem udaljenosti od grupe satelita do položaja našeg prijemnika. Mreža GPS satelita igra ulogu sistema referentnih tačaka. Udaljenost do jednog satelita izračunava se iz merenja vremena za koje radio signal prevali put od satelita do prijemnika. Svaki GPS satelit emituje dva radio signala (L_1 na 1575.42 MHz modulisan sa PRN, tzv. R-kodom i C/A kodom i L_2 na 1227.60 MHz, modulisan samo R - kodom). Civilni GPS prijemnici koriste uglavnom L_2 kod, dok Trimble GPS prijemnici operišu sa oba koda.

Postoje 24 NAVSTAR satelita koji obilaze Zemlju svakih 12 časova na visini oko 20200 km (12.600 milja), raspoređenih u 6 orbitalnih ravni koje su pod uglom od 55° u odnosu na ekvator. U svakoj orbiti se nalaze 4 satelita. Ministarstvo odbrane SAD ima 4 zemaljske stanice za osmatranje, od kojih tri šalju podatke ka satelitima i jednu u glavnu kontrolnu stanicu. Osmatračke stanice neprekidno prate satelite i obezbeđuju podatke glavnoj kontrolnoj stanici, koja opet računa satelitsku putanju i korekciju parametra časovnika, iste šalje u ostale tri stanice, a onda sračunate podatke emituje prema svakom satelitu jednom dnevno.

Određene izvore grešaka kod očitavanja teško je eliminisati, jer sva očitavanja pretpostavljaju da GPS signal putuje konstantnom brzinom, odnosno brzinom svetlosti, a koja je, kao što je poznato, konstantna samo u vakumu. Kada signal uđe u jonosferu (80-120 milja iznad Zemljine površine) i troposferu signal se neumitno usporava i to može izazvati određene greške u očitavanju. *Trimble* prijemnici delimično koriguju ova kašnjenja.



Moguće su greške i u atomskim časovnicima, ali one se koriguju sa zemaljskih stanica.



Takođe, postoji problem višestruke interferencije (refleksije sa okolnih objekata na zemlji. kada se reflektovani signal meša sa osnovnim. Uticaj ove greške smanjuju unapređene metode za obradu signala.

Signali sa GPS satelita mogu namerno da se degradiraju, što rezultira netačnom očitavanju pozicija. Kako je GPS razvijen od strane Ministarstva odbrane SAD, i to prvenstveno za vojne potrebe u navigaciji, to su radi onemogućavanja tačnosti pozicioniranja ostalih korisnika u regionu, uvedene posebne tehnike nazvane 'greške usled selektivne dostupnosti' (S/A). Ova aktivnost od strane Ministarstva odbrane SAD u našem regionu ukinuta je 1. maja 2000. godine.

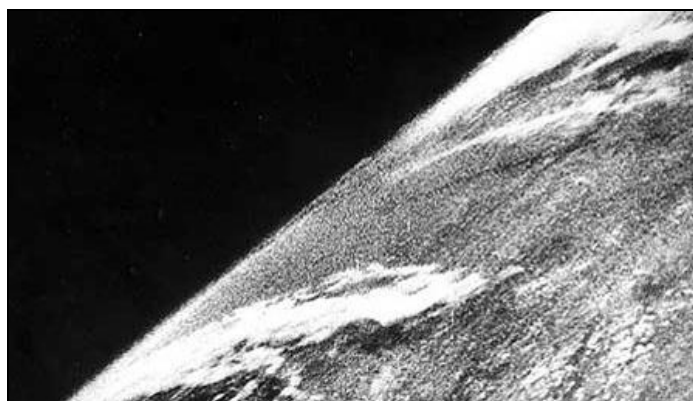
Greške u očitavanju mogu biti i posledica tzv. geometrijskog 'rasipanja'- što su sateliti u momentu očitavanja bliži to je greška u očitavanju veća. Satelitski signali sadrže i poruku o statusu satelita (SH), odnosno indikatore neispravnosti. U slučaju da poruka sa nekog satelita ukazuje na nepravilnost, GPS ume da prepozna da taj satelit ne treba da koristi za izračunavanje položaja. Ministarstvo odbrane SAD objavljuje kada je satelit u defektnom stanju (ova informacija dobija se potpuno besplatno, preko Internet Biltena). Statusi svih satelita sadržani su u almanasima koji se dnevno ažuriraju i emituju sa svakog satelita, svakih 12.5 minuta. Korisnički almanah se smatra ažurnim oko 3 meseca od datuma preuzimanja sa interneta, mada je optimalno ažurirati ga jednom nedeljno. GPS signali su i inače potpuno besplatni (već su ih platili američki poreski obveznici). Ukoliko GPS prijemnik upravo preuzima almanah dok je satelit u defektnom statusu, prepoznaje ovu grešku sve dok koristi dati almanah, te ga neće ni pratiti niti uzimati u obzir za izračunavanje položaja.

Signal sa satelita nosi i podatak o očekivanoj tačnosti opažanja (URA) na koju korisnik može da računa. Ako je URA za neki satelit veća od 30, onda se može pretpostaviti da se radi o namernom ometanju (S/A).

3. SATELITSKI SISTEMI I INSTRUMENTI ZA DALJINSKA ISTRAŽIVANJA

3.1. Istorijat

Nedugo nakon završetka Drugog svjetskog rata, u oktobru 1946. godine, raketa V-2 koja je lansirana iz američke vojne baze u Novom Meksiku je 35 mm kamerom sa visine od 105 km načinila prvi snimak Zemlje iz svemira (**Slika 3.1.**). Fotografije koje su iz svemira snimljene sa svemirske letjelice Mercury 1961. godine su izazvale veliko zanimanje jer su omogućile detaljniji uvid u geološke formacije u brojnim ranije nekartiranim dijelovima svijeta. Sredinom 1960-ih, svemirska letjelica Gemini je načinila oko 2400 snimaka u boji i IC boji. Nakon toga, letjelice Apollo misije su omogućile snimanje višepojasnih fotografija. Ove fotografije su postavile temelje za seriju Landsat senzorskih paketa.



Slika 3.1. Snimak Zemlje koji je načinjen kamerom sa V-2 broj 13, 24. oktobra 1946. godine.
Izvor: White Sands Missile Range/Applied Physics Laboratory

Putanja određenog satelita se označava kao orbita. Orbite satelita su usklađene sa mogućnostima i namjenom senzora koje on nosi. Odabir orbite, koja kod satelita nije kružna nego eliptična može varirati u odnosu na visinu iznad površine Zemlje te orijentaciju i rotaciju u odnosu na Zemlju. Ciklus orbite će biti kompletiran kada satelit prođe iznad iste tačke koja se na površini Zemlje nalazi direktno ispod satelita (tačka nadira) po drugi put. Zona koja se posmatra na površini zemlje se označava kao obuhvat. Slikovni obuhvati za satelitske senzore generalno variraju između nekoliko desetina do nekoliko stotina kvadratnih kilometara površine. Satelitski senzor koji sakuplja više od jednog banda elektromagnetnog spektra producira multispektralne slike. Kada sakuplja samo jedan band sa svim talasnim dužinama u okviru vidljivog spektra on producira panhromatske slike. Uobičajeno panhromatske slike imaju manju prostornu rezoluciju od multispektralnih. Jedan satelit istovremeno može imati veliki broj senzora.

Postoje dvije vrste orbita koje se koriste za posmatranje zemlje – geostacionarna i blisko polarna orbita. Sateliti na vrlo visokim visinama, koji posmatraju isti dio površine Zemlje cijelo vrijeme imaju geostacionarne orbite. Ovi geostacionarni sateliti, na visinama od oko 36.000 kilometara, kruže brzinom koja odgovara rotaciji Zemlje tako da u odnosu na površinu Zemlje izgledaju izgledaju kao da su nepomični, odnosno kao da stoje u jednoj tački orbite. U ovu skupinu spadaju brojni komunikacijski sateliti i neki sateliti za posmatranje Zemlje, posebno iz programa World Weather Watch Svjetske meteorološke organizacije, kao što su: ATS, SMS, GOES, Meteosat, Insat i GMS sateliti. Ključna prednost ovih satelita je da posmatraju vidljivi dio Zemljine površine češće u odnosu na satelite koji se nalaze u niskoj orbiti koji tako da posmatraju do 40 % zemljine površine. Zbog ovako širokog polja posmatranja ovi sateliti obično imaju nisku rezoluciju, tako da na primjer GOES i Meteosat imaju prostornu rezoluciju od 1 do 5 km.

Većina satelita ima tzv. niske orbite ili blisko polarne orbite na visinama između 800 i 1.500 km iznad Zemljine površine. Budući da je prečnik Zemlje oko 6370 km, to znači da ovi sateliti mogu za oko 100 minuta kompletirati jednu orbitu. Ovi sateliti u osnovi imaju orbitu sjever – jug što im u konjukciji sa rotacijom Zemlje (zapad – istok) omogućava da pokriju većinu površine Zemlje u toku određenog vremenskog perioda. Takođe, većina satelita ima orbitu koja je sinhronizirana sa suncem odnosno oni pokrivaju određene oblasti na zemlji u konstantno lokalno vrijeme koje se označava kao lokalno sunčevo vrijeme. Položaj Sunca na nebu je konstantan kada satelit prolazi iznad datog područja čime se osiguravaju jednaki uvjeti osvjetljenja kada se vrši snimanje u toku određenog godišnjeg doba ili nad određenim područjem u toku nekoliko dana. Ovo je vrlo značajan faktor prilikom monitoringa promjena između snimaka i spajanja susjednih snimaka, jer ne treba vršiti korekcije usljed različitih uvjeta osvjetljenosti. Većina platformi za daljinska istraživanja se nalazi u blisko polarnoj orbiti tako da se se oni kreću ka sjeveru sa jedne strane Zemlje (uzlazni put) a onda ka južnom polu (silazni put) na drugom dijelu orbite. Ako je orbita sinhronizirana sa suncem uzlazni put se najvjerovatnije nalazi na zasjenjenoj strani Zemlje dok se silazni put nalazi na osunčanoj strani.

Prema tome, sateliti se mogu podijeliti na osnovu toga da li koriste pasivne ili aktivne senzore. Pasivni senzori mjere reflektovano sunčevo zračenje ili termalnu radijaciju dok aktivni senzori koriste vlastite izvore zračenja. Aktivni senzori kao što su radari i laserski skeneri emituju vještačko zračenje potrebno za praćenje zemljine površine ili atmosfere. Prednosti aktivnih senzora su neovisnost o vremenskim uvjetima, dobu dana ili noći, itd. Senzori koji bilježe reflektovanu solarnu energiju snimaju samo pri silaznom putu, kada je dostupno solarno osvjetljenje. Aktivni senzori koji imaju svoje vlastito osvjetljenje ili pasivni senzori koji bilježe emitovano zračenje mogu snimati površinu pri uzlaznom putu.



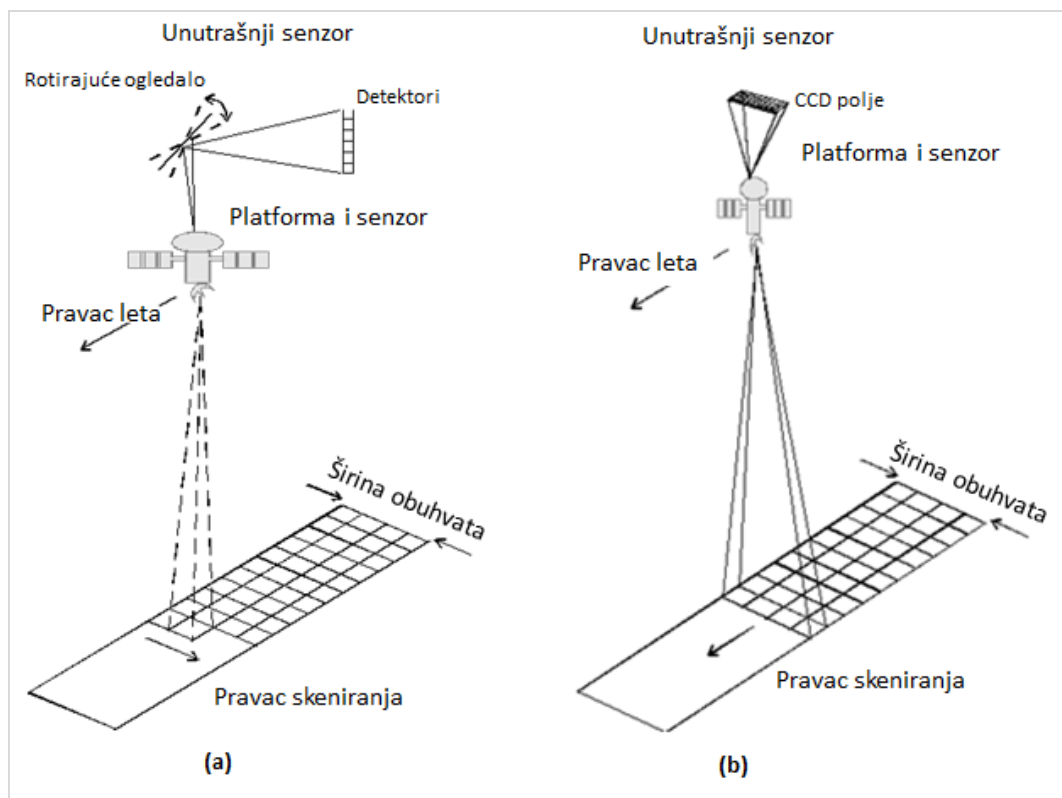
Tehnologija daljinskih istraživanja se bazira na četiri primarne komponente koje se mogu posmatrati iz svemira: boja, temperatura, struktura i visina površinskog sloja Zemlje. Različite fizičke strukture ispod površine Zemlje kao i fiziološki procesi indirektno se izvode iz specifičnih detektovanih odlika na samoj površini.

Osnovni instrument koji se dugo vremena intenzivno koristio za daljinska istraživanja je bila **kamera**, posebno u ranim fazama razvoja tehnologije daljinskih istraživanja. Nakon Drugog svjetskog rata razvijaju se nove tehnike, kao što je produkcija infracrvenih fotografija te termalna i mikrotalasna detekcija. Nakon toga došlo je do razvoja fotografije u boji što je posebno našlo primjenu u istraživanjima vegetacije te kasnije i za istraživanja stanja okoliša. Savremene digitalne kamere visoke rezolucije omogućavaju izradu visoke geometrijske i radiometrijske preciznosti. Današnja tehnologija snimanja je značajno uznapredovala tako da se multispektralne slike mogu dobiti koaksijalnim pričvršćivanjem nekoliko kamera od kojih svaka ima odgovarajući filter, pri čemu se naravno mora voditi računa da sve kamere budu usklađene.

U detektovanju različitih struktura struktura na površini Zemlje i atmosferi postoje dva osnovna tipa skening sistema: metličasti i linijski skeneri.

Kod metličastog skenera (Slika 3.2a) ogledalo skening brzo zamahuje naprijed-nazad u pravcu okomitom na pravac leta tako da pri svakom skeniranju nastaje slikovna linija. Elektromagnetno zračenje se usmjerava preko optike u seriju ogledala i prizmi te se razdvaja na različite talasne dužine i fokusira na detektor. Pošto TM ima 16 detektora za svaki spektralni region (osim termalnog), svako skeniranje proizvodi 16 linija slikovnih podataka. Landsat MSS ima šest detektora u svakom spektralnom bandu, tako da nastaje šest MSS slikovnih linija prilikom svakog skeniranja. Ovaj pristup koristi Landsat Thematic Mapper (TM) i Multispectral Scanner (MSS) sistem.

Linijski skener (Slika 3.2b) koristi jednodimenzionalno polje sklopova sa prijenosom naboja - CCD (charged couple devices) poredanih u smjeru koji je okomit na pravac leta. Svaki CCD je usmjeren na specifičnu tačku na tlu dok susjedni CCD posmatra susjedni dio tla, tako da se simulatno snima jedna linija slikovnih podataka (linija piksela).



Slika 3.2. Metličasti (a) i linijski (b) skening sistem

Prednosti linijskog skenera su eliminisanje geometrijske pogreške usljed variranja u brzini kretanja ogledala, manji broj pokretnih dijelova, te duže vrijeme uzorkovanja zračenja u svakoj ćeliji na tlu. Nedostatak je taj što se zbog primjene silikonskih detektora ne uključuje srednje IC i termalno IC zračenje. Ovakav pristup koristi SPOT sistem.

Radiometri

Radiometar je osnovni element svih elektrooptičkih i mikrotalasnih senzora koji mjeri intenzitet elektromagnetnog zračenja koje pada na njegov detektor u okviru definisanog spektralnog ranga. Ovi uređaji mogu biti jednostavni, kao što su neslikovni detektori koji integrišu zračenje koje dolazi iz definisanog posmatranog polja unutar specifične talasne dužine. U optičkom regionu se koriste standardne leće i ogledala za fokusiranje zračenja na fotosenzitivan detektor koji je često fotodioda ili još češće charge-coupled device (CCD) polje. Kod termalnih talasnih dužina detektori toplote, kao što su bolometri ili foton detektorski materijali kao što su indijum antimonid se koriste za senzore. Kod mikrotalasnih sistema signal prima antena te se zatim pojačava upotrebom standardne elektronike prije nego što ga detektuje dioda koja konvertuje mikrotalasnu energiju u električni signal. Pasivni radiometar, koji efikasno mjeri temperaturu površine ima veliko polje posmatranja od nekoliko desetina kilometara jer je količina mikrotalasne energije koju emituje zemlja vrlo mala.

Spektroradiometar se koristi analizu svih frekvencija elektromagnetnog spektra. Koriste se u brojnim aplikacijama EOS sistema (sistemi za posmatranje Zemlje). Za svaku aplikaciju je neophodna prostorna rezolucija koja ovisi o prostornom obuhvatu projiciranih zraka, radiometrijska rezolucija i apsolutna tačnost.

Lidar i lasersko skeniranje

LIDAR je akronim za **L**ight **D**etection **A**nd **R**anging koji označava optičku tehnologiju daljinskih istraživanja analognu radaru. Udaljenost do objekta se određuje mjerenjem vremena prijenosa pulsa i detekcije reflektovanog signala. Ovaj sistem se koristi za mjerenje udaljenost, brzine, rotacije, kao i hemijskog sastava i koncentracija udaljenih objekata koji su jasno definisani, kao što su vozila, ili difuznih objekata kao što je dim ili oblaci. Laserski radar funkcionište tako što laser generiše optički puls koji se zatim reflektuje od objekta i vraća ka prijemnom sistemu koji mjeri vrijeme koje protekne od početka slanja pulsa do prijema povratnog pulsa, nakon čega se izmjereno vrijeme konvertuje u udaljenost korištenjem formule:

$$\text{Udaljenost} = (\text{Brzina svjetlosti} \times \text{Vrijeme leta}) / 2$$

Osnovni LIDAR sistem uključuje laser i prijemnik uz GPS.

Princip laserskog skeniranja koristi većina satelitskih sistema. U prvo vrijeme laseri su u daljinskim istraživanjima korišteni za profilisanje i batimetriju ali sa razvojem globalnog pozicionirajućeg sistema (GPS) u toku protekle dvije decenije. LIDAR koristi talase koji su deset do stotinu hiljada puta kraći od radio talasa, što znači da može sakupiti više podataka nego radar. Zbog gustine zraka i kratkih talasnih dužina LIDAR se često koristi u istraživanjima atmosfere, jer može sakupiti podatke o atmosferskim česticama, oblacima, kiši, dimu i drugim stvarima koje radar nemože registrovati. LIDAR može mjeriti i brzinu vjetrova i gustinu različitih sastojaka atmosfere, kao što su kisik i azot. LIDAR može kreirati i trodimenzionalne topografske karte. Korišten je za izradu karata Marsa praćenje glečera i vizualizaciju Velikog kanjona, te za analizu oceanskog dna i determinisanje visine krošnje stabala i mjerenje biomase.

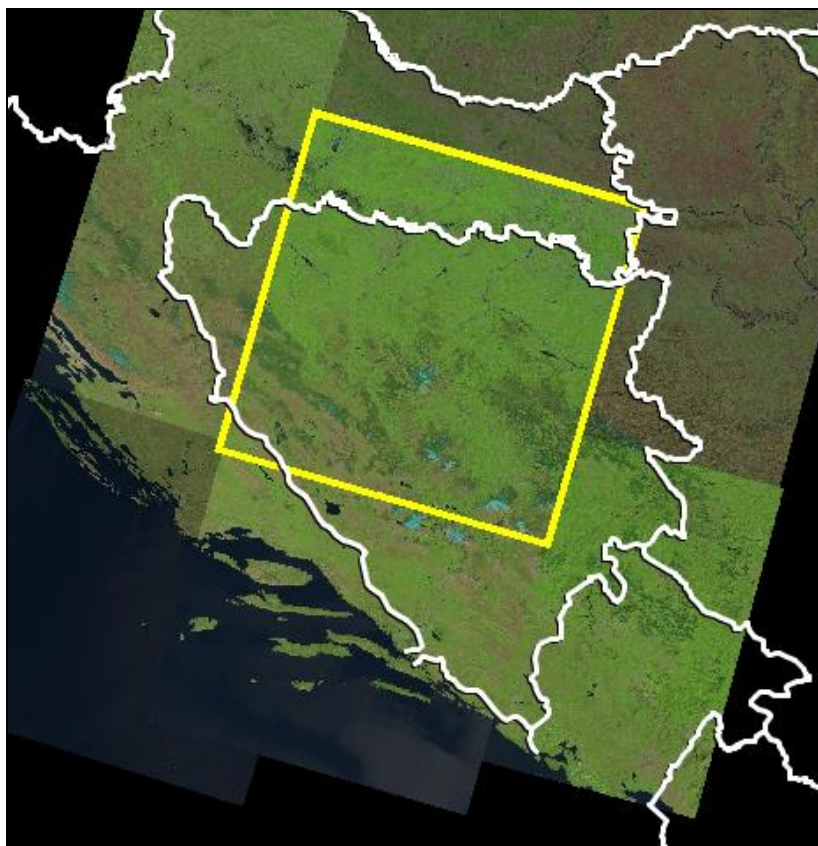
Savremena era satelitskih daljinskih istraživanja je počela kada je Landsat Multispectral Scanner System (MSS) poslao prve visoko rezolutne snimke zemlje. MSS snima četiri regiona elektromagnetnog spektra, od kojih je svaki širok 100 nm, sa relativno visokom prostornom rezolucijom u to vrijeme od 80 m, velikim obuhvatom (185 sa 185 km) i vremenom obilaska od 18 dana. Sve podatke MSS je slao u digitalnoj formi. Nakon 1972. godine, razvijena su četiri dodatna MSS sistema, dva Thematic Mapper (TM) sistema, kao i Enhanced Thematic Mapper (ETM+) u Landsat seriji. Takođe je lansirano pet SPOT sistema više rezolucije, nekoliko nisko rezolutnih AVHRR i GOES sistema i NASA senzorski sistemi na Earth Observing System (EOS) Terra i Aqua satelitima. Druge zemlje, kao što su Kanada, Indija, Izrael, Japan,



Južna Koreja i Tajvan i međunarodne agencije kao što je Evropska svemirska agencija (ESA) koriste sisteme za daljinska istraživanja.

3.2 LANDSAT

Landsat program predstavlja seriju satelitskih misija kojima zajednički upravljaju Nasa i U.S. Geological Survey. Svi Landsat sateliti imaju orbitu sinhronu sa suncem. Landsat 1, 2 i 3 su letjeli u blisko polarnoj orbiti na visini od oko 920 km pri čemu bi za 103 minute obišli Zemlju, sa 14 kompletnih orbita u toku 24 sata. Bilo je potrebno 18 dana i 251 prepokrivajuća orbita da se postigne gotovo kompletno pokrivanje zemljine površine sa širinom snimka od 185 km. Krajem jula 1972. godine lansiran je prvi Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1), koji je kasnije preimenovan u Landsat.

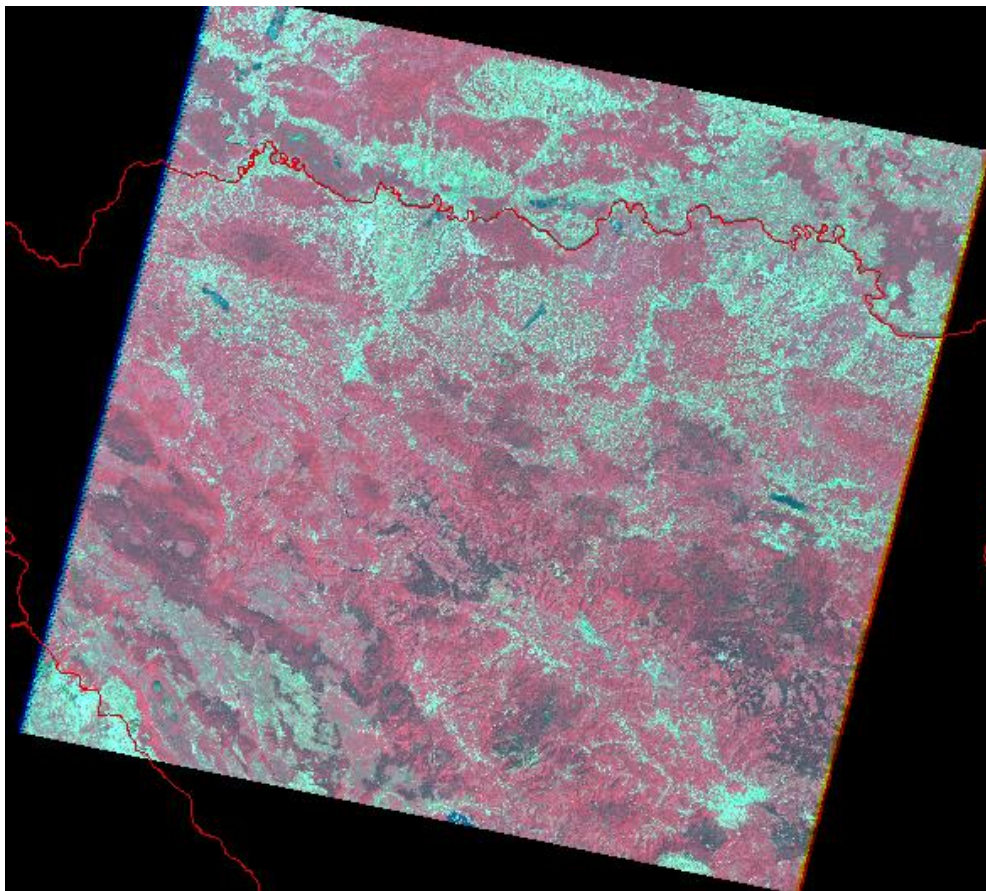


Slika 3.3. Landsat 7 kompozitni snimci za područje Bosne i Hercegovine.

Izvor: <http://glovis.usgs.gov/>

Primarni senzor na Landsatu 1, 2 i 3 je bio multispektralni skener rezolucije 80 m. Ovi skeneri su bilježili podatke u četiri talasne dužine: pojas 4 na 0.5 do 0.6 μm ; pojas 5 na 0.6 do 0.7 μm ; pojas 6 na 0.7 do 0.8 μm ; i pojas 7 na 0.8 do 1.1 μm . Pojasevi 4 i 5 primaju zelenu i crvenu talasnu dužinu u vidljivom dijelu elektromagnetnog spektra. Landsat 4 i 5 su pored MSS nosili i novi TM (Thematic Mapper). TM pojasevi 1-5 i 7 su sakupljali reflektovanu

energiju, dok je pojas 6 sakupljao emitovanu energiju. Poslije 1982. godine Landsat je dobio novi sistem za daljinska istraživanja poznat kao Thematic Mapper – TM, koji bilježi sedam pojaseva od vidljivog do daleko IC dijela elektromagnetnog spektra. Ovaj senzor je imao rezoluciju od 120 m za termalni IC band i 30 m za šest reflektivnih pojaseva, čime je omogućeno značajno jasnije posmatranje objekata na zemlji (Slika 3.3.). Multispektralni podaci koje su slali senzori sa letjelice su poboljšali poznavanje usjeva, minerala, zemljišta, razvoja urbanih sredina, i brojnih drugih objekata i procesa na Zemlji. Landsati 2 do 5 su sakupili više podataka o Zemlji nego što se može ikada analizirati. Landsat 7 nosi poboljšani tematki maper plus (ETM+), sa 30 m rezolucijom za vidljive i IC pojaseve, 60 m za termalni pojas, te 15 m za panhromatski pojas.



Slika 3.4. Landsat 7 snimak iz mjeseca juna 2002.godine za središnji i sjeverni dio Bosne i Hercegovine prilagođen za istraživanje vegetacije - NDVI indeks

Landsat 5 i 7 su danas operativni sa orbitom na 705 km i ciklusom od 16 dana. Iako i TM i MSS pokrivaju praktički istu površinu, TM ima veću radiometrijsku, spektralnu i prostornu rezoluciju (30 m u odnosu na 80 m). TM ima više spektralnih kanala koji su uži i bolje postavljeni u spektru za određene aplikacije, posebno za razlikovanje različitih tipova

vegetacije (Slika 3.4.). Povećanje sa 6 na 8 bita povećava i radiometrijsku rezoluciju podataka. Sve ovo, međutim, ne znači da su TM podaci bolji od MSS podataka.

Landsat misija traje i danas sa najnovijim satelitom - **Landsat Data Continuity Mission** odnosno Landsat 8, koji je lansiran u februaru 2013. godine. Satelitski snimci koje bilježi Landsat 8 **Operational Land Imager (OLI)** i **Thermal InfraRed Sensor (TIRS)** se sastoje od devet spektralnih pojaseva prostorne rezolucije od 30 metara za pojaseve 1 do 7 i pojas 9.

Operational Land Imager (OLI) mjeri u vidljivom, blizu infracrvenom i kratkotalasnom dijelu elektromagnetnog spektra. Panhromatski snimci imaju prostornu rezolucije od 15 metara dok multispektralni snimci imaju 30 metarsku rezoluciju sa približnom veličinom scene od 170 km u pravcu sjever – jug i 183 km u pravcu istok-zapad. Na ovaj način se postiže rezolucija koja omogućava detaljniju detekciju struktura na Zemljinoj površini kao što su urbane zone, šume, vodotoci, i drugo. Blizu polarna orbita omogućava obilazak istog područja svakih 16 dana. OLI dizajn predstavlja napredak u senzorskoj tehnologiji Landsata jer koristi pristup koji je demonstrirao Advanced Land Imager sensor koji nosi eksperimentalni NASA satelit EO-1 (Earth Observing 1) lansiran u novembru 2000. godine. Instrumenti na ranijim Landsat misijama su koristili skening ogledala koja su prenosila svjetlost sa površine na nekoliko detektora. OLI koristi mrežu detektora sa preko 7000 detektora za svaki spektralni pojas. Ovaj „metličasti“ dizajn omogućava prikupljanje poboljšanih informacija sa manjim brojem pokretnih dijelova.

Thermal Infrared Sensor (TIRS) prikuplja podatke o temperaturi Zemljine površine putem nove tehnologije koja primjenjuje kvantnu fiziku za detekciju toplote. TIRS koristi **Quantum Well Infrared Photodetectors (QWIPs)** za detekciju dugih talasnih dužina svjetlosti koja se emituje sa površine Zemlje sa intenzitetom koji ovisi o površinskoj temperaturi. Ove talasne dužine, označene kao termalne infracrvene, su znantno izvan ranga ljudskog oka, tako da QWIPs nudi novu jeftiniju alternativu klasičnoj infracrvenoj tehnologiji. Ovi fotodetektor rade na vrlo složenim principima kvantne mehanike. Poluprovodnički čipovi od galium arsenida hvataju elektrone u energetskom stanju (energy state 'well') sve dok se elektroni ne podignu na više stanje putem termalnog infracrvenog svjetla određene talasne dužine. Podignuti elektroni kreiraju električni signal koji se može pročitati i kreirati digitalna slika. QWIPs TIRS su senzitivni na dva termalna infracrvena pojasa, što pomaže u razdvajanju temperature površine Zemlje od temperature atmosfere.

Novi pojas 1 (ultra plava) je koristan za istraživanja priobalnih zona i aerosola. Novi pojas 9 je koristan za detekciju cirusa. Rezolucija pojasa 8 (panhromatski) je 15 metara. Termalni pojasevi 10 i 11 pružaju precizne informacije o temperaturi površine i imaju rezoluciju od 100 metara.

Landsat 8 mjeri različite različite dijelove frekvencija duž elektromagnetnog spektra – boju, koja nemora biti vidljiva ljudskom oku. Svaki rang se označava kao pojas kojih Landsat 8 ima 11 (Tabela 3.1.).



Tabela 3.1. Raspodjela po pojasecima Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) i Thermal Infrared Sensor (TIRS) (lansiran 11.02. 2013. godine).

Pojasevi	Talasna dužina (μm)	Rezolucija (m)
Pojas 1 – Priobalni aerosol	0,43 – 0,45	30
Pojas 2 - Plava	0,45 – 0,51	30
Pojas 3 - Zelena	0,53 – 0,59	30
Pojas 4 - Crvena	0,64 – 0,67	30
Pojas 5 – Blizu IC (NIR)	0,85 – 0,88	30
Pojas 6 – Kratkotalasna IC (SWIR 1)	1,57 – 1,65	30
Pojas 7 - Kratkotalasna IC (SWIR 2)	2,11 – 2,29	30
Pojas 8 – Panhromatski	0,50 – 0,68	15
Pojas 9 - Cirus	1,36 – 1,38	30
Pojas 10 – Termalni IC (TIRS) 1*	10,60 – 11,19	100
Pojas 11 - Termalni IC (TIRS) 2*	11,50 – 12,51	100

* TIRS pojasevi imaju rezoluciju od 100 metara, koja je promjenjena na 30 metara u isporučenim proizvodima.

Ljudsko oko može da vidi samo pojaseve koji imaju vrlo kratke talasne dužine (pojasevi 1-4 i 8).

Pojas 1 bilježi tamno plavu i ljubičastu boju. Plavo svjetlo se teško sakuplja jer ga lako rasipaju sitne čestice prašine i vode u zraku, te je zbog toga nebo plave boje. Takođe, i udaljeni objekti, npr. planine na horizontu, imaju plavičastu boju. Pojas 1 je jedini instrument koji proizvodi otvorene podatke u ovoj rezoluciji. Ovaj pojas se označava i kao obalni/aerosol pojas jer snima plitku vodu i prati fine čestice kao što su dim i prašina. Njegov rezultat je vrlo sličan pojasu 2 (normalno plavo). Oceani i žive biljke reflektuju više tamno plavih nijansi. Većina biljaka stvara vosak na površini (npr., svježe šljive) dok rastu, kako bi reflektovale štetno UV zračenje (Slika 3.5.).

Pojasevi 2, 3, i 4 su vidljiva plava, zelena i crvena boja.

Pojas 5 mjeri blizu infracrvenu svjetlost ili BIC. Ovaj dio spektra je posebno značajan za ekologiju jer ga reflektuju zdrave biljke – voda u njihovim listovima reflektuje ove talasne dužine. Poređenjem ovog sa drugim pojasevima dobijaju se indeksi kao što je NDVI, što

omogućava mjerenje preciznije mjerenje zdravlja biljaka nego kada se posmatra vidljivo zelenilo.

Pojasevi 6 i 7 pokrivaju različite segmente kratkotalasnog infracrvenog zračenja (KTIC). Oni su posebno podesni za razikovanje vlažne od suhe zemlje i za geologiju: stijene i tlo koje izgleda vrlo slično u drugim pojasevima obično ima jak kontrast u KTIC.

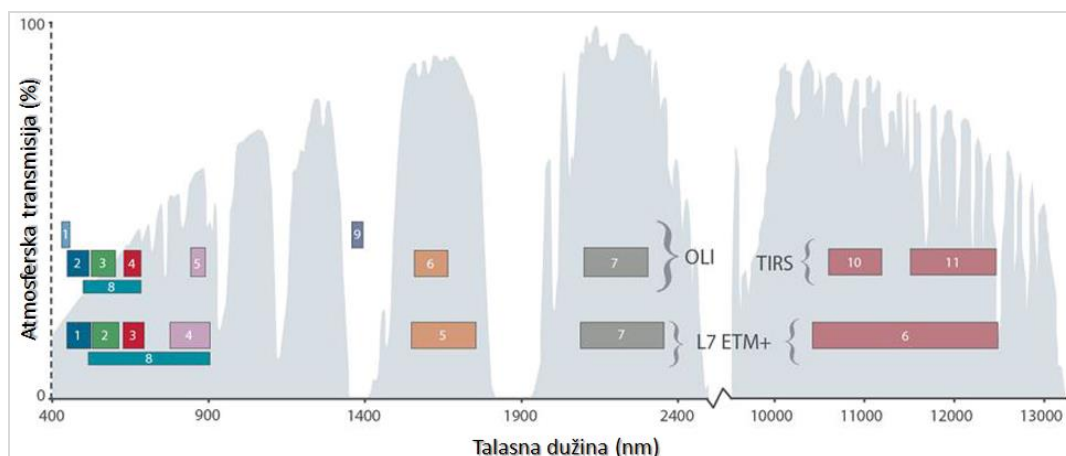
Pojas 8 je panhromatski pojas. On izgleda kao crno-bijela slika: umjesto odvojenog sakupljanja vildjivih boja, on ih kombinira u jedan kanal. Budući da ovaj senzor bilježi više svjetlosti, to je najoštrij od svih pojaseva sa rezolucijom od 15 metara.

Pojas 9 pokazuje jednu od najinteresantnijih odlika Landsata 8. On pokriva vrlo mali dio elektromagnetnog zračenja: samo 1370 ± 10 nanometara. Svega nekolicina instrumenata u orbiti sakuplja ovaj dio spektra, jer ga atmosfera gotovo u potpunosti apsorbira. Landsat 8 koristi ovo kao prednost i dizajniran je posebno za detekciju cirusa koje je inače vrlo teško uočiti jer imaju mekane rubove.

Pojasevi 10 i 11 su termalni infracrveni (TIC) koji bilježe toplotu. Umjesto mjerenja temperature zraka, kao meteorološke stanice, oni mjere temperaturu tla, koje je često toplije od samog zraka. Ovaj pojas je vrlo pogodan za istraživanje fenomena urbanih toplotnih otoka. Kombinacije pojaseva su predstavljeni u narednoj 3.2. tabeli.

Tabela 3.2. Uporedni prikaz kombinacije pojaseva za identične detekcijske kolorne strukture

Kolorna struktura	Landsat 5 i 7	Landsat 8
Kolor IC	4,3,2	5,4,3
Prirodna boja	3,2,1	4,3,2
Lažna boja	5,4,3	6,5,4
Lažna boja	7,5,3	7,6,4
Lažna boja	7,4,2	7,5,3



Slika 3.5. Talasne dužine za Landsat 8 OLI i TIRS senzore u poređenju sa Landsat 7 ETM + sezorom. Napomena: Vrijednosti atmosfereke transmisije za ovaj grafikon su izračunate korištenjem MODTRAN za atmosferu sa izmaglicom u ljeto na umjerenim geografskim širinama (Preuzeto sa: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>)

Kvalitet podataka (odnos signala prema noise) i radiometrijska kvantizacija (12-bitna) OLI i TIRS senzora je više nego kod prethodnih Landsat instrumenata (8-bitna za TM i ETM+), što pruža značajno poboljšanje u sposobnosti detekcije fizičkih struktura na površini Zemlje (Slika 3.5).

The USGS **Global Visualization Viewer (GloVis)** je alat za pretraživanje i snimanje odabranih satelitskih podataka. Ovaj preglednik omogućava pristup svih dostupnim snimcima sa Landsat 7 ETM+, Landsat 4/5 TM, Landsat 1-5 MSS, EO-1 ALI, EO-1 Hyperion, MRLC, i Tri-Decadal setovima podataka, kao i Aster TIR, Aster VNIR i MODIS snimcima koji su pohranjeni u **Distributed Active Archive Center - DAAC**. Putem grafičkog prikaza karata, korisnik vrši odabir zone od interesa i odmah može pogledati sve dostupne snimke za datu lokaciju. GloVis nudi i dodatne mogućnosti kao što je ograničenje oblačnog pokrova, datuma pretraživanja, određenih slojeva i pristup metapodacima.

Na slici **3.3.** je na pregledniku predstavljen odabir scene za područje dijela Bosne i Hercegovine koja nosi naziv LC81880292013299LGN00. Slika ima dugi naziv koji uključuju niz slijedećih informacija:

Identifikator Landsat Scene

Field Definition: Jedinstveni identifikator Landsat scene.

Format:

Identifikator Landsat Scene : LXSPPPRRRYYYYDDDGSIVV

gdje je:

L = Landsat

X = Senzor (M = MSS, T = TM, E = ETM)

S = Satelit

PPP = WRS Path

RRR = WRS Row

YYYY = Godina snimka

DDD = Dan u godini

GSI = Ground Station Identifikator

VV = Verzija

Shodno navedenom, identifikator Landsat scene: LC818700302013299LGN00 označava slijedeće:

- LC8 (Landsat 8 satelit i senzor),
- 187 (orbita), 030 (red) sa WRS-2,
- 2013 godina ,
- 299 broj dana u godini (26. oktobar),
- LGN00 zemaljska stanica koja hvata signal i kreira snimak.

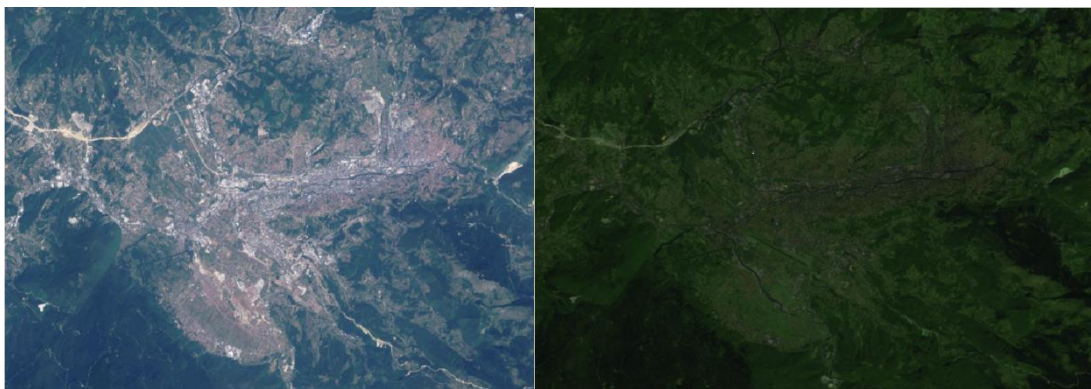


Level 1 GeoTIFF Data Product sadrži sve Landsat 8 pojaseve podataka koji se nalaze u relativno velikoj datoteci (oko 1 GB kompresovana ili 2 GB nekompresovana datoteka).

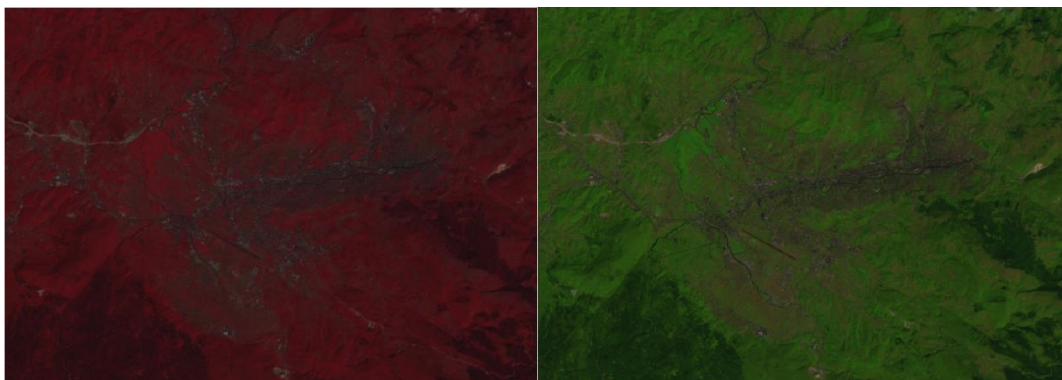


Slika 3.7. Level 1 GeoTIFF Data Product nakon dekompresije podataka

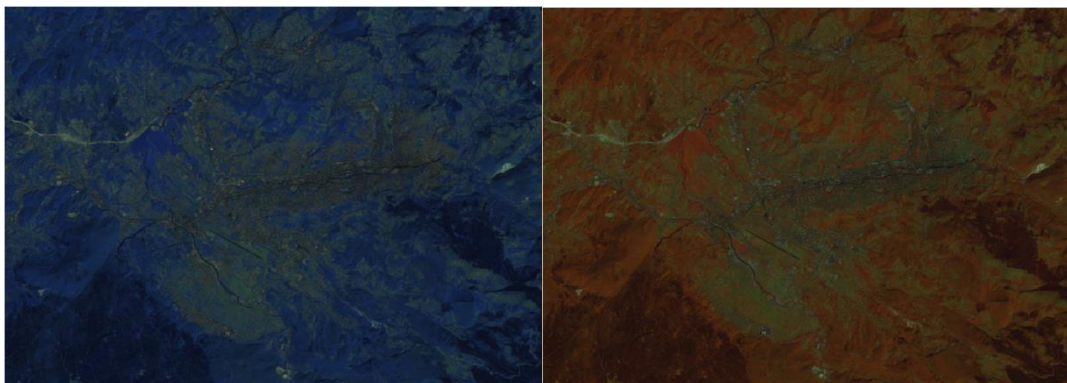
Na nizu slijedećih snimaka koji se nalaze dole (Slika 3.6. - 3.12.) dat je prikaz najznačajnijih spektralnih kombinacija pojaseva za šire područje grada Sarajeva koji su obrađeni korištenjem ArcGIS 10.2 Image Analysis modula.



Slika 3.6. Prirodne boje. Pojasevi: 4,3 i 2 **Slika 3.7.** Lažne boje (urbana zona). Pojasevi: 7,6 i 4



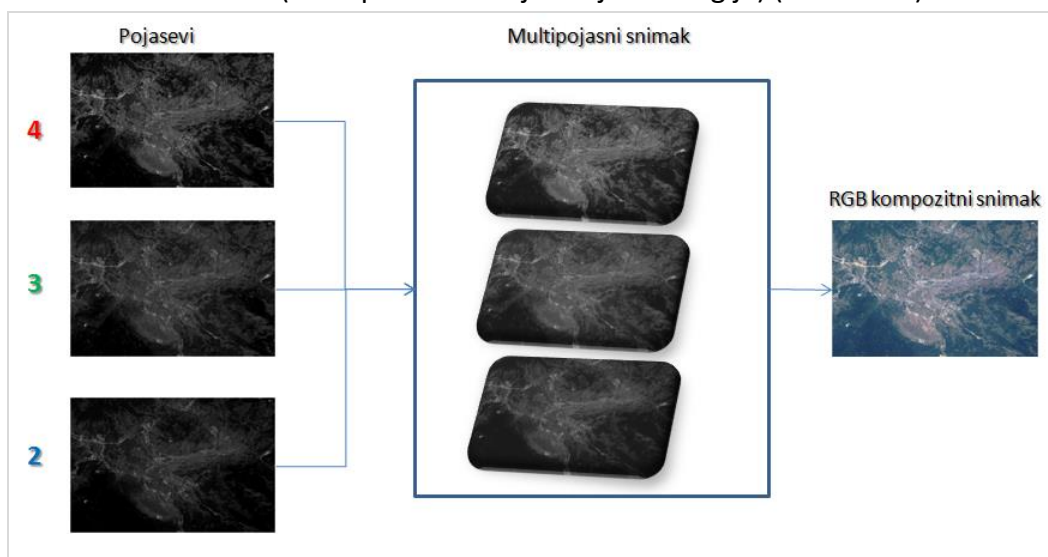
Slika 3.8. Infracrvne boje. Pojasevi: 5, 4 i 3. **Slika 3.9.** Vegetacijski pokrov. Pojasevi: 6, 5 i 4.



Slika 3.10. Penetracija kroz atmosferu
Pojasevi: 7, 6 i 5.

Slika 3.11. Kopno i voda. Pojasevi: 5, 6 i 4.

Kombinacije pojaseva kao što su “4, 3, 2” referišu na ono što vidimo kao crveno, zeleno i plavo na Landsat 8 snimku (to su primarne boje vidljive energije) (Slika 3.12.).



Slika 3.12. Transformacija spektralnih pojaseva u kompozitni snimak

Specifični intenziteti crvenog, zelenog i plavog svjetla su primjenjeni na svaki od piksela na ekranu računara. Kanali (često označeni i kao pojasevi) referišu na pojaseve reflektovanog svjetla koje bilježi satelit sa objekata na snimku. Drugim riječima, u kombinaciji 4, 3, 2, ono što vidimo kao crveno je Pojas 4 (koristan za identifikaciju biljnih vrsta, identifikaciju vještačkih objekata); ono što vidimo kao zeleno je Pojas 3 (koristan za razlikovanje između pojedinih tipova biljaka, determinaciju zdravlja biljaka, i identifikaciju vještačkih objekata), a ono što vidimo kao plavo je Pojas 2 (koristan za kartiranje priobalnih voda, razlikovanje između zemljišta i biljaka i identifikaciju vještačkih objekata kao što su putevi i zgrade). Pojas 5 prima reflektovanu blizu-IC, dok Pojas 6 (i Pojas 7 za ETM+) primaju kratkotalasnu IC (ili srednje-IC) energiju, koju ljudsko oko ne vidi.

Satelitska Landsat misija svakodnevno snimi barem 400 scena koje se pohranjuju u USGS arhivu i dostupne su za snimanje u roku od 24 sata nakon pohranjivanja (Za više informacija i

detalja o Landsat satelitima, sensorima kao i mogućnostima analize Landsat snimaka posjetite: <http://landsat.usgs.gov/>).

3.3. Interpretacija satelitskih snimaka

Kombinovanjem pojedinih pojaseva satelitskog snimka moguće je modificirati izgled slike dodjeljivanjem različitih senzorskih pojaseva crvenoj, zelenoj i plavoj boji. Različite kombinacije pojaseva se koriste za bolju vizualizaciju određenih fenomena. Primjer ovog procesa za Landsat satelitske snimke je predstavljen u narednim tabelama 4.2. i 4.3.

Tabela 4.2. Landsat 5, 7 i 8 pojasevi i njihova upotreba

Objekat na terenu	Refleksija
Vodeno tijelo	Generalno visoka refleksija u vidljivom dijelu spektra, mada bistra voda ima manju refleksiju od turbidne vode. U blizu IC i srednje IC regionima voda sve više absorbira svjetlo što je čini tamnijom, što ovisi o dubini vode i talasnoj dužini. Povećana količina rastvorene organske materije u vodenim tijelima pomjera vrh vidljive refleksije od zelenog (bistrija voda) ka crvenom regionu spektra.
Tlo	Na sjevernim geografskim širinama se generalno nalaze crna tla dok se u tropskim regionima nalaze crvena tla. Refleksija tla opada sa porastom organske materije. Sa porastom vlage u tlu, opada refleksija tla na svim talasnim dužinama. Tekstura tla povećava refleksiju sa smanjenjem veličine čestica, tj., veće čestice (stijene, pijesak, tlo) uzrokuju veliku sjenu.
Vegetacija	Spektralna refleksija je zasnovana na absorpciji vode i hlorofilu u listovima. Igljčasti listovi imaju tamniji odgovor od lišćara. Postoje različite zasjenčenosti vegetacije ovisno o tipu, strukturi lista, sadržaju vlage i zdravlju biljke.
Vještački objekti	Asfalt i beton imaju spektralne krivulje koje generalno rastu idući od

	vidljivog preko blizu IC i srednjeg IC regiona. Međutim, stariji beton je tamniji, dok asfalt sa starošću postaje svjetliji.
Snijeg i led	Stariji snijeg ima kompaktnu koru i povećan sadržaj vlage a time i manju refleksiju u blizu IC i srednje IC regionu. Moguće je porediti stari i novi snijeg putem njegove srednje IC refleksije.

Tabela 4.3. Kombinacije Landsat 5, 7 i 8 pojaseva i njihova upotreba

R, G, B	Potencijalni informacijski sadržaj
LS 5, 7: 4, 3, 2 LS 8: 5,4,3	Standardna kompozicija „lažnih boja“. Vegetacija se javlja u sjenama crvene, urbane zone su modre, dok tla variraju od tamno do svijetlo smeđe. Četinarsko drveće izgleda tamnije od lišćarsko-listopadnih vrsta. Ovo je vrlo popularana kombinacija pojaseva za istraživanja vegetacije, monitoring trendova drenaže i distribucije tala te determinacije različitih faza rasta usjeva. Generalno, tamno crvene nijanse indiciraju širokolisne vrste i/ili zdraviju vegetaciju dok svjetlije crvene nijanse ukazuju na travnjake ili zone sa oskudnom vegetacijom. Gusto naseljene urbane zone su prikazane svijetloplavom bojom. Ova kombinacija pojaseva TM daje rezultate slične tradicionalnim IC zračnim snimcima u boji.
LS 5, 7: 3, 2, 1 LS 8: 4,3,2	Kombinacija pojaseva „prirodna boja“. Budući da se u ovoj kombinaciji koriste vidljivi pojasevi, objekti na tlu se pojavljuju u bojama koje su slične njihovom izgledu za ljudsko oko, tako da je zdrava vegetacija zelena, nedavno pokošena polja su vrlo svijetla, nezdrava vegetacija je smeđa i žuta, ceste su sive, a obalna linija je bijela. Ova kombinacija pojaseva najbolje prodire kroz vodu i daje odlične informacije o sedimentu i batimetriji. Koristi se i za istraživanja u urbanim zonama. Zone sa oskudnom vegetacijom se nemogu tako jasno detektovati kao u kombinacijama 4 5 1 ili 4 3 2. Oblaci i snijeg su bijeli i teško ih je razlikovati. Takođe nije moguće lako razlikovati pojedine vegetacijske tipove kao kod kombinacije 4 5 1. Nije moguće razlikovati plitke vode od tla kao što je to slučaj kod kombinacije 7 5 3.
LS 5, 7: 7, 4, 2 LS 8: 7,5,3	Ova kombinacija daje „gotovo prirodan“ prikaz, i može da prođe kroz atmosferske čestice i dim. Zdrava vegetacija je svijetlo zelene boje i može postati tamnija na vrhuncu vegetacijske sezone, travnjaci su zeleni, ružičaste zone predstavljaju golo tlo, dok narandžasta i smeđa boja predstavljaju zone sa oskudnom vegetacijom. Suha vegetacija je narandžasta dok je voda plava. Pijesak, tla i minerali su osvijetljeni različitim bojama. Ova kombinacija pojaseva pruža dobar prikaz pustinjaških regiona. Korisna je za geološka istraživanja, kao i istraživanja močvara te poljoprivredne studije. Budući da su požari su prikazani crvenom bojom, ova kombinacija se koristi u aplikacijama za upravljanje požarima pri analizama nakon požara spaljenih ili neopožarenih šumskih područja. Urbane zone se javljaju u različitim nijansama magente. Travnjaci su svijetlo zeleni. Svijetlozelene tačke unutar grada indiciraju travnati pokrov – parkove, groblja, golf terene. Maslinasto zelene do svijetlo zelene nijanse normalno indiciraju pošumljene zone pri čemu su četinarske šume tamnije zelene od lišćarsko-listopadnih šuma.
LS 5, 7: 4, 5, 1	Zdrava vegetacija se javlja u nijansama crvene, smeđe, narandžaste i žute. Tla

LS 8: 5,6,2	mogu biti zelene ili smeđe boje, urbani objekti su bijeli, cijan i sivi, svijetlo plave zone predstavljaju sječine a crvenkaste zone pokazuju novi rast vegetacije, vjerovatno rijetke travnjake. Bistra, duboka voda je vrlo tamna, a ako je voda plitka ili ako sadrži sedimente ona se javlja u nijansama svijetlije plave boje. Za vegetacijske studije, dodatak srednje IC pojasa povećava senzitivnost u detekciji različitih stadija rasta biljaka ili stresa; međutim, snimak se mora se vrlo pažljivo tumačiti posebno ako je načinjen nakon padavina.
LS 5, 7: 4, 5, 3 LS 8: 5,6,4	Ova kombinacija blizu IC (band 4), srednje IC (band 5) i crvene (band 3) nudi dodatnu definiciju granica između kopna i vode i osvjetljava fine detalje koji nisu odmah uočljivi samo u vidljivim bandovima. Jezera i potoci se mogu locirati sa velikom preciznosti kada se koristi više IC bandova. Sa ovom kombinacijom bandova može se vršiti analiza zemljišnih i vegetacijskih uvjeta. Generalno, što je tlo vlažnijem to je ono tamnije boje, zbog toga što voda absorbuje IC zračenje.
LS 5, 7: 7, 5, 3 LS 8: 7,6,4	Ova kombinacija bandova takođe daje „kao prirodan“ prikaz uz penetraciju kroz atmosferske čestice, dim, i maglu. Vegetacija se javlja u nijansama tamno i svijetlo zelene boje za vrijeme vegetacijske sezone, urbani objekti su bijeli, sivi, cijan ili purpurni, pijesak, tlo i minerali u različitim bojama. Gotovo potpuna absorpcija srednje IC bandova u vodi, ledu i snijegu daje dobro definisane obalne linije i osvjetljene izvore vode na slici. Snijeg i led su tamno plavi, voda je crna ili tamno plava. Vruće površine kao što su šumski požari i vulkani zasićuju srednje IC bandove i javljaju se u nijansama crvene ili žute. Stoga je ova kombinacija podesna za monitoring šumskih požara.
LS 5, 7: 5, 4, 3 LS 8: 6,5,4	Kao i kombinacija 4 5 1, ova kombinacija daje korisnicima veliki broj informacija i kontrasta boja. Zdrava vegetacija je svijetlo zelena dok su tla svijetloljubičasta. Ova kombinacija koristi TM 5 koji ima najviše poljoprivrednih informacija. Stoga je ova kombinacija podesna za vegetacijske studije, i široko se koristi u zonama gdje se vrši upravljanje sječom i napadima nametnika.
LS 5, 7: 5, 4, 1 LS 8: 6,5,2	Ova kombinacija je slična kombinaciji 7 4 2 jer zdrava vegetacija ima svijetlo zelenu boju, ali je podesnija za poljoprivredne studije.
LS 5, 7: 7, 5, 4 LS 8: 7,6,5	Ova kombinacija ne uključuje vidljive bandove i pruža najbolje penetriranje kroz atmosferu. Obalne linije i obala su dobro definisane. Vegetacija je plava. Ova kombinacija boja se može koristiti za geološke studije.
LS 5, 7: 5, 3, 1 LS 8: 6,4,2	Ova kombinacija prikazuje topografske teksture dok 7 3 1 može prikazati razlike u tipovima stijena.

Za definiranje prostornih sadržaja koji se mogu dekektovati na satelitskim snimcima neophodno je poznavanje fizičkih svojstava pojedinačnih pojasnih emitovanih talasa. S tim u vezi u sljedećem primjeru dato je njihovo značenje kroz interpretaciju Landsat-ove tematske satelitske misije (Landsat Thematic Mapper – TM 7):

Pojas 1 (0,45 – 0,52 nm) ima povećanu penetraciju kroz vodena tijela i može razlikovati vegetaciju od tla i stijena na površini. Može se koristiti i za detekciju vještačkih objekata.

Pojas 2 (0,52 – 0,60 nm) je senzitivan na razlike u turbiditetu vode. Budući da pokriva vrh zelene refleksije sa listova odvaja vegetaciju (šuma, usjevi) od tla. Golo tlo u urbanim zonama i saobraćajnice su svijetlijih boja, dok su šume, vegetacija, usjevi tamnije boje.

Pojas 3 (0,63 – 0,69 nm) analizira region jake absorpcije hlorofila i snažne refleksije sa vlažnog tla. Razlikuje vegetaciju od tla, ali nemože odvojiti vodu od šume. Šumsko tlo i voda se javljaju u tamnim bojama. Ovaj pojas ističe golo tlo, urbane zone, te saobraćajnu mrežu u urbanim zonama.

Pojas 4 (0,76 – 0,90 nm) ima najbolji spektralni region za razlikovanje vegetacije i usjeva. Budući da voda snažno absorbuje blizu IC zračenje, ovaj pojas se koristi za razgraničavanje vodenih tijela, te za razlikovanje između suhog i vlažnog tla. Usjevi i travnjaci imaju veću refleksiju od šuma. Golo tlo, urbane zone, i ceste se javljaju u tamnim nijansama. Ovaj pojas je podesan za identifikaciju usjeva.

Pojas 5 (1,55 – 1,75 nm) je osjetljiv na količinu vode u biljkama. Koristi se za razdvajanje šumskog zemljišta, usjeva i vodenih tijela. Šume su tamnije zelene od usjeva. Vodena tijela su prikazana tamnijim tonovima od golog tla, usjeva, i travnjaka. Ovaj pojas nemože razlikovati urbane zone od usjeva zbog gotovo iste spektralne refleksije ovih površina.

Pojas 7 (2,08 – 2,35 nm) jasno razgraničava kopno od vode. Ovaj pojas ima snažan region za absorpciju vode i region snažne refleksije za tlo i stijene. Urbane zone, usjevi, ceste se javljaju u svijetlijim tonovima, dok se vodena tijela i šume javljaju u tamnijim tonovima.

Landsat 8 misija pored svih pojaseva iz prethodnih misija ima ugrađeno nekoliko novih kao što su: plavi pojas za penetraciju kroz priobalnu vodu / detekcija aerosola (band 1 – coastal 0,43 – 0,45 μm) i pojas za cirus oblake (band 9 – cirrus, 1,36 – 1,38 μm). Osim toga termalni IC pojas 6 Landsat 7 misije je podijeljen u 2 pojasa za Landsat 8: pojas 10 – TIRS1 (10,6 – 11,9 μm) i pojas 11 – TIRS2 (11,5 – 12,51 μm).

Transformacija odnosa podataka daljinskih istraživanja se koristi za smanjenje negativnih efekata u okolišu. Odnosi takođe pružaju jedinstvene informacije i finiju spektralnu refleksiju ili razlikovanje boja između različitih materijala na površini koje je često vrlo teško detektovati na standardnom snimlu. Navedeni koncept je posebno koristan i za razlikovanja tipova površinske pokrovnosti i strukture i sastava vegetacije.

Broj mogućih kombinacija odnosa za multispektralni senzor sa P pojaseva je $n = P(P-1)$. Prema tome za šest pojaseva refleksije TM-a postoji 30 različitih kombinacija odnosa od kojih je 15 originalnih i 15 recipročnih. Ovdje ćemo razmotriti neke od njih.

TM3/TM4: Ovaj odnos definiše golo tlo i urbane zone, ali nemože definisati vodena tijela, šume i usjeve.

TM4/TM3: Ovaj odnos razlikuje vegetaciju, vodu i usjeve. On naglašava šume i golo tlo. Budući da šume ili vegetacija ispoljavaju veću refleksiju u blizu IC regionu (0.76 -0.90 μm) i snažnu absorpciju u crvenom regionu (0.63-0.69 μm) ovaj odnos jasno definiše distribuciju vegetacije. Što je svijetlija nijansa boje to je veća količina vegetacije.

TM5/TM7: Ovaj odnos razdvaja vodu od kopna. Budući da tlo ispoljava jaku absorpciju u pojasu 7 (2,08 - 2,35 μm) i visoku refleksiju u pojasu 5 (1.55 - 1.75 μm), tlo je naglašeno u ovom odnosu i prikazano je svjetlijim tonovima dok je voda prikazana tamnijim tonovima.

TM2/TM3: Ovaj odnos jasno razdvaja usjeve i golo tlo, ali nemože razdvojiti usjeve, šume i vodena tijela. Šume i vodena tijela su prikazana svjetlijim tonovima dok je golo tlo prikazano tamnijom bojom. Ovaj band ne ističe urbane zone. Hlorofil ima snažnu refleksiju u pojasu 2 (0,52 - 0,60 μm) i snažnu absorpciju u pojasu 3 (0.63 - 0.69), tako da je vegetacija prikazana višim tonom.

TM3/TM2: Ovaj odnos razdvaja šume i usjeve. Budući da pojas 3 (0,63 – 0,69 μm) predstavlja crveni hlorofil absorpcioni pojas zdrave vegetacije a pojas 2 (0,52 – 0,69 μm) je pojas refleksije sa površine lista. Ovaj odnos je koristan za razlikovanje širokih klasa vegetacije. Usjevi su prikazani kao svjetlijom a šume tamnijom bojom.

TM4/TM5: Naglašava vodena tijela, vegetaciju i prisustvo sadržaja vlage u usjevima. Vodeno tijelo je prikazano tamnom bojom a vegetacija svjetlijom bojom, jer voda snažno absorbuje u blizu IC regionu (band 4) sa višom refleksijom u pojasu 5. Koristi se za razlikovanje vodenih tijela od kopna.

TM5/TM4: razdvaja vodena tijela od šume, golog tla i vegetacije. U ovom odnosu voda je javlja u tamnoj boji dok se šume i gola tla javljaju u svjetlijoj boji.

TM5/TM7: razdvaja vodena tijela od kopna (tlo). Takođe naglašava prisustvo vlage u usjevima. Sva vodena tijela su prikazana tamnijom bojom. Pojas 5 i pojas 7 su senzitivni na varijacije u sadržaju vlage u tlu i vegetaciji. Ovaj odnos je koristan za istraživanja otpornosti biljaka na vodeni stres.

TM3/TM5: Ovaj odnos naglašava golo tlo, i saobraćajnice u urbanim zonama te građevinske objekte. Koristan za posmatranje razlika u turbiditetu vode, jer može naglasti turbidnu vodu. Golo tlo, saobraćajnice i urbane zone se javljaju u svjetlijim nijansama dok se šume, vodena tijela i usjevi javljaju u tamnijim nijansama.

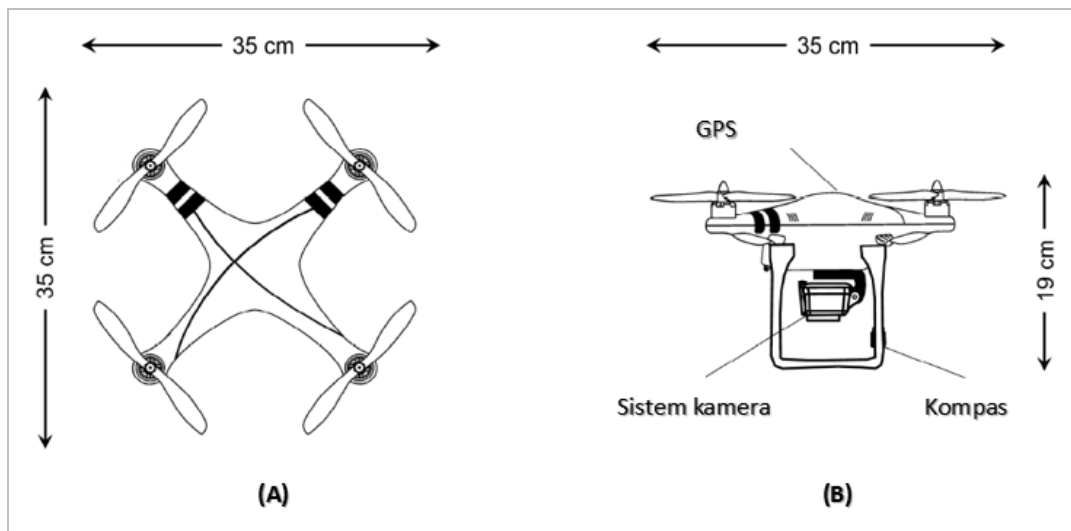
TM7/TM2: Ovaj odnos razdvaja šume od usjeva. Nemože razdvojiti šume od vodenih tijela, te se oni javljaju u tamnijoj boji. Naglašava ceste, urbane zone i usjeve koji se javljaju u svjetlijim nijansama

3.3 Bepilotne letelice

Sistemi za daljinsku detekciju zasnovani na satelitima kao što su Landsat, SPOT ili MODIS imaju nisku rezoluciju (>30m) i vrlo su skupi te vrlo često nisu podesni za istraživanja na mikro skali. S druge strane sateliti kao što su QuickBird ili GeoEye-1 ili Worldview imaju finiju prostornu rezoluciju (<0,5 m) ali su takođe skupi za rad ograničen na određeno vrijeme i na mali prostorni obuhvat.

Najpodesniju alternativu satelitskim sistemima u navedenim slučajevima predstavljaju danas relativno jeftini bepilotni zračni sistemi ili dronovi (Slika 3.29.). Ovi sistemi se danas uspješno koriste za istraživanje prirodnih resursa.





Slika 3.29. (A) Pogled odozgo pokazuje propelere i motore (B) Bočni pogled pokazuje kameru, kompas, i GPS. Ovaj dron je lagan može se nositi u ruksaku, radi na malim visinama (<330 m), i kratko vrijeme leta (5-30 min).



Slika 3.30. (A) Bespilotne letjelice su opremljene različitim vrstama senzora za tematsko kartiranje (B) Zračni snimak polavljenog područja u Bosni i Hercegovini tokom majskih polava 2014.godine napravljen pomoću bespilotne letjelice.

Bespilotna zračna vozila ili dronovi su u suštini leteći roboti koji se mogu daljinski kontrolirati ili letjeti autonomno softverski kontrolisanim planom leta uz korištenje GPS-a od tačke A do tačke B bez direktnog mješanja čovjeka. Brzi tehnološki razvoj ovih sistema, miniturizacija senzora sa napretkomu tehnikama i softverima za obradu snimaka su omogućili sve širu primjenu ovih platformi u daljinskim istraživanjima (Slika 3.30. (a) i (b)).

4. PROGRAM BESPILOTNIH LETELICA

Sateliti prikupljaju mnoštvo fotografija širokih pronstranstava Zemlje, ali zbog velikih visina sa kojih se beleže rezolucija fotografija dostupnih na javnim i komercijalnim servisima ni

danas ne prevazilaze 30cm/pix. Obzirom na prednosti fotografija visokog kvaliteta uočenih tokom II Svetskog rata velike vojne sile su u posleratnim godinama nastavile sa razvojem tehnika prikupljanja aviofotografija. Drugi aspekt avioindustrije koji se tokom rata pokazao kao visoko efikasan u obukama gađanja je bilo uvođenje i korištenje bespilotnih letelica – dronova. Još za vreme rata postalo je jasno da su mogućnosti njihove primene mnogo šire, ali da tehnologiju treba tek razviti. Jedna od osnovnih primena ka kojoj se težilo je bio razvoj izviđačkih bespilotnih letelica, obzirom da se na taj način mogla smanjiti incidenca nesreća koje doživljavaju školovani borbeni piloti, ali i smanjuju troškovi izrade pravih aviona koji su korišteni u izviđačke svrhe.

Vojska SAD-a je već 1955. godine počela sa finansiranjem različitih programa bespilotnih letelica i u narednih trideset godina pokušavala da razvije bespilotni program. Svaki od programa donosio je pojedinačna dobra i uspešna rešenja, međutim ni jedan program nije uspeo da proizvede potpuno funkcionalnu bespilotnu letelicu koja bi mogla samostalno da izvrši izviđačku misiju. U posleratnim godinama razvoja dronova tendencija išla je ka povećanju brzine, gabarita i autonomnosti leta, a letelice su razvijane u formi bespilotnih dvokrilaca (Slika 20). Za potrebe mornarice i poletanja sa kratkih „pista“ na bojnim brodovima 1959. godine konstruisan je i prvi dron tipa koptera (Slika 21). Ova inovacija se na početku činila kao potencijalno rešenje za mornaricu, međutim zbog prilično loših rezultata testiranja i velikih troškova razvoja ovaj program je eventualno ugašen. Jedna od velikih prednosti koptera u odnosu na dvokrilce osim vertikalnog uzletanja i sletanja, predstavljala je i mogućnost kretanja u svim pravcima, ali i veoma laka kontrola letelice. Bilo je dovoljno svega nekoliko sati obuke da bi se savladale kontrole, a upravljač nije morao biti školovani pilot (Blom, 2010).



Slika 20. *Firebee II* dron

https://en.wikipedia.org/wiki/Ryan_Firebee#/media/File:BQM-34F_launch_Tyndall_AFB_1982.JPEG



Slika 21. *Gyrodyne QH-50 DASH* kopter

https://en.wikipedia.org/wiki/Gyrodyne_QH-50_DASH#/media/File:QH-50_DD-692_1967.jpg

Fairchild kompanija je tokom 1964. godine razvila sistem koji je mogao da transmituje fotografije sa drona do kontrolnih stanica, za prvu fotografiju bilo je potrebno dva minuta, a za svaku sledeću svega 8s. Pored navedenog, razvijeni su sistemi za praćenje leta bespilotnih letelica pomoću radara koji je na mapi područja pokazivao tačnu lokaciju letelice. Pokretne kontrolne stanice su bile opremljene instrumentima koji su u svakom trenutku pokazivali visinu i brzinu leta, kao i udaljenost letelice od stanice. Sve ove tehnologije predstavljaju aspekte navigacije bespilotnih letelica koji se aktivno koriste i danas (Blom, 2010).

Prvu uspešnu flotu izviđačkih dronova formirala je vojska Izraela početkom 1970-tih godina kada od američke kompanije *Ryan Aeronautical* kupila prvi kontigent bespilotnih letelica. Već krajem decenije Izraelska vojska je samostalno proizvela prve izviđačke bespilotne letelice (Slika 21) (Blom, 2010). Za razliku od tadašnjih tendencija ka povećanju gabarita dronova Izraelska vojska je išla u suprotnom pravcu, te su njihovi dronovi bili manji i za tadašnje standarde spadali u grupu mini-dronova iako su imali raspon krila od oko 4m. Tendencija smanjenja veličine bespilotnih letelica je nastavljena tokom 1980-tih i 1990-tih godina (CA), cilj miniaturizacije je bio lakši prenos bespilotnih letelica čak do veličine koja bi mogla sa lakoćom mogla biti nošena ručno u pešadijskim trupama (BB). Tokom 2000-tih godina dolazi do uvođenja mikro bespilotnih letelica (Slika 22). Pored smanjenja gabarita, povećanje visine i prouženje dužine leta su bila dva osnovna cilja prilikom razvoja modernih bespilotnih letelica. Letelice koje zadovoljavaju ove standarde *High Altitude – Long Eendurance (HALE)* razvijene su tek u 21 veku. Prva bespilotna letelica pod nazivom *Laima* preletela je Atlantik 1998. godine za 27h (Slika23).



Slika 22. *Black Hornet Nano* dron dug svega 10cm

https://en.wikipedia.org/wiki/Black_Hornet_Nano#/media/File:ARMY_WARFIGHTING_EXPERIMENT_2017TESTING_THE_NEXT_GENERATION_OF_TECHNOLOGY_MOD_45162646.jpg



Slika 23. *AAI Aerosonde – Laima* duga 1.7m

https://en.wikipedia.org/wiki/AAI_Aerosonde#/media/File:Aerosonde_Laima_bottom_view.jpg

Tehnologija visokosofisticiranih dronova je dugo bila veoma skupa, samim tim ograničena na vojnu upotrebu svetskih sila koje su to mogle da finansiraju. Međutim ulaskom u 21. vek cena proizvodnje i sirovina za izradu letelica opada, a smim tim i cena gotovih letelica (CA). Ovo dovodi do masovnije upotrebe bespilotnih letelica širom sveta, do 2017. godine vojske bar 90 zemalja su koristile ovu tehnologiju (Slika 24) (Franke, 2017).

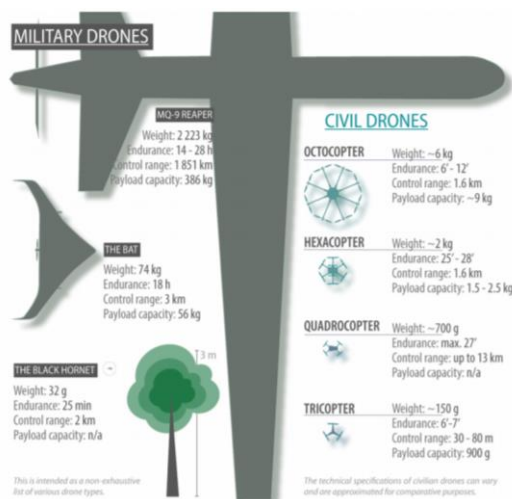


Slika 24. Mapa sveta sa obeleženim državama čije vojske koriste dronove (Franke, 2017)

https://ecfr.eu/article/essay_a_european_approach_to_military_drones_and_artificial_intelligence/

Presedan upotrebe dronova u civilne svrhe desio se 2006. godine u SAD nakon uragana Katrina kada je Federalna uprava za vazdušni saobraćaj (*Federal Aviation Administration, FAA*) odobrila upotrebu dronova (Vyas, 2020) u svrhu pretrage područja i otkrivanja žrtava. U prvih nekoliko godina odziv civilnog sektora nije bio visok, FAA je izdavala svega nekoliko dozvola godišnje (RT). Nakon spasilačkih misija, mogućnosti upotrebe dronova u civilnom sektoru su uglavnom i dalje bile vladinom sektoru u smislu, patroliranja na granicama, nadgledanja požara itd. Prekretnicu u širokoj upotrebi dronova u civilne svrhe predstavlja najava američke kompanije *Amazon* 2013. godine o nameri da uvede dostavu dobara pomoću dronova, nakon čega kreće lavina u proizvodnji i upotrebi različitih tipova bespilotnih letelica. (RT, Carothers, 2020)

Danas, nakon manje od 100 godina od početka razvoja bespilotnih letelica postoji čitav niz različitih tipova bespilotnih letelica (Slika 25). Ukoliko se posmatra opšta namena letelice tada dronove možemo da podelimo u tri velike kategorije: vojna namena (dronovi za izviđanje, borbeni dronovi), državna mirnodropska namena (pogranična kontrola, pretraga i akcije spašavanja, monitoring šuma, gašenje požara, inspekcijski nadzor..) i civilna upotreba (monitoring predela, nadgledanje, inspekcija građevinskih objekata, dostava, kinematografija, rekreacija) (Boucher, 2015)



Slika 25. Različiti tipovi bespilotnih letelica – dronova (European Parliament, 2019)

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/642230/EPRS_BRI\(2019\)642230_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/642230/EPRS_BRI(2019)642230_EN.pdf)

4.1 Moderni sistemi bespilotnih letelica koji se koriste u daljinskoj detekciji u ekologiji

Za potrebe daljinske detekcije u ekologiji danas se dominantno koriste dronovi koji pripadaju grupi civilnih dronova. U kategoriji civilnih dronova postoji čitav niz podela u odnosu na težinu, visinu leta, domet, formu i aplikaciju (Chamola, 2020). Bez obzira na to kojoj od kategorija pripadaju svi bespilotni sistemisastoje se od minimum dve komponente. Jednu komponentu predstavlja sama letelica, a drugu komponentu predstavlja daljinski upravljač. Upravljač se sastoji od džojstika kojim se vrši kontrola letelice i kamere, antena pomoću kojih komunicira sa letelicom i ekrana pomoću kog može da se prati pozicija drona na području ili da se posmatra kadar koji trenutno snima kamera drona. Ukoliko na upravljaču ne postoji ekran kao dodatna jedinica se koristi pametni telefon ili tablet na kom je instalirana aplikacija za upravljanje letelicom.

Prema legislativi Evropske Unije koja je stupila na snagu u junu 2021. godine u domenu civilnih bespilotnih letelica prepoznaju se tri osnovne kategorije: kategorija otvorenih (eng. *Open*), specifičnih (eng. *Specific*) i sertifikovanih (eng. *Certified*) letelica (EASA, 2021). Kategorija *Open* podrazumeva većinu rekreativnih upotreba dronova i komercijalnih aktivnosti sa niskim rizikom. Ova kategorija se trenutno deli na A1, A2 i A3 podkategorije (Tabela 1). Ovakva prelazna podela će se primenjivati do 31.12.2022. Nakon tog datuma, počće primena nove klasifikacije koja podrazumeva pet kategorija C0-C5 (Tabela 2). Operativni rizici *Open* kategorije se smatraju malim i stoga nije potrebno odobrenje pre početka leta.

Tabela 1. Kategorizacija bespilotnih letelica u EU do 1.12.2022.

Klasa do 31.12.2022.	Let iznad ljudi	Težina [g]	Pilotska dozvola	Starost pilota [god]
A1	Dozvoljen let iznad ljudi, ali ne iznad skupova	> 250 > 500	/ da	/ 16
A2	Dozvoljen let na horizontalnoj udaljenosti 30m od ljudi	< 2000	da	16
A3	Dozvoljen let na horizontalnoj udaljenosti 150m od ljudi	<25000	da	16

Tabela 2. Kategorizacija *Open* bespilotnih letelica u EU od 01.01.2023.

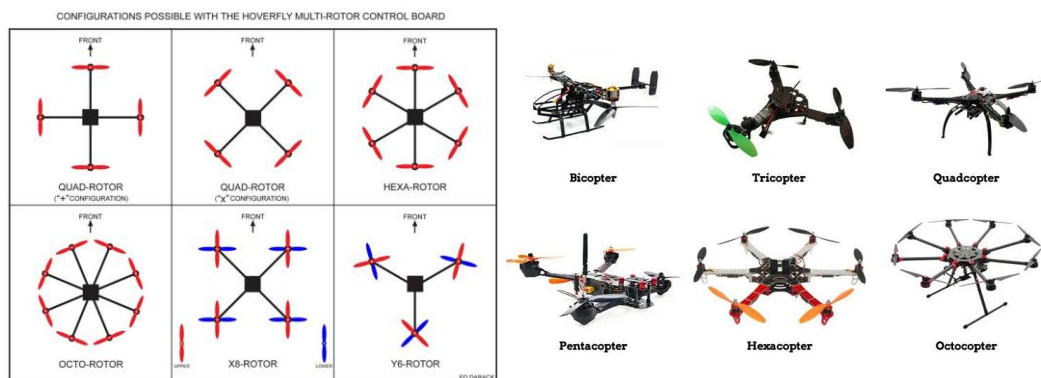
Klasa od 31.12.2022	Pilotska dozvola	Težina [g]	Raspon [m]	Maksimalna brzina [m/s]	Maksimalna visina leta [m]	Starost pilota [god]
C0	/	<250		19	120	/
C1	da	<900		19	120*	/
C2	da	<4000			120*	>16
C3	da	<25000	<3		120*	>16
C4	da	<25000			/	>16

Dron može svrstan u *Open* kategoriju letelica ukoliko: Nosi jednu od oznaka za identifikaciju klase C0, C1, C2, C3 ili C4; ili je Privatno je konstruisan, ali težina ne prelazi 25 kg; Kupuljen je pre 1. januara 2023. godine, bez C oznake klase kao gore; Neće se leteti direktno nad ljudima osim ako nema oznaku klase ili je lakši od 250 g; Leteće se u vidnom polju pilota ili će pilotu pomagati udaljeni posmatrač; Leti na visini manjoj od 120 metara; Ne nosi opasnu robu i neće ispuštati materijal (EASA, 2021).

Kategorija *Specific* obuhvata rizičnije operacije, gde bezbednost leta obezbeđuje operater drona koji pre početka operacije dobije operativno ovlašćenje nacionalnog nadležnog organa. Da bi dobio ovlašćenje, operater drona je dužan da izvrši procenu rizika, koja će koja će utvrditi zahteve neophodne za bezbedan rad dronova. Za letove u ovoj kategoriji potrebno je operativno odobrenje nacionalnih vazduhoplovnih agencija, osim ukoliko tip leta nije obuhvaćen Standardnim scenarijem (STS). Standardni scenario je unapred definisana operacija, a do danas su utvrđena dva STS 1 i STS 2. STS1 se odnosi na letove izvršene u vidnom polju pilota, na maksimalnoj visini od 120 m nad kontrolisanom površinom tla u naseljenom okruženju (oznaka klase C5). STS2 se odnosi na letove koji se izvode izvan vidnog polja pilota ali udaljenost letelice ne sme biti veća od 2 km od daljinskog pilota uz prisustvo dodatnog posmatrača, na maksimalnoj visini od 120 m nad kontrolisanom površinom tla u retko naseljenom okruženju (oznaka klase C6). Dron se može kategorisati kao *Specific* ukoliko ne zadovolji neki od uslova *Open* kategorije (EASA, 2021).

U kategoriji *Certified* bezbednosni rizik je toliko visok da je uvek potrebna sertifikacija i licenciranje pilota drona, kao i letelice kako bi se osigurala sigurnost leta. Upravljanje saobraćajem bespilotnih letelica biće obezbeđeno kroz U-prostor, a predstavlja skup usluga koji će biti raspoređeni u nekom vazдушnom prostoru, posebno onim gde se očekuje veći promet, poput urbanih područja. Stvara i usklađuje neophodne uslove za vazduhoplov sa posadom i bespilotnom posadom da bezbedno rade u vazдушnom prostoru U-prostora, kako bi se sprečili sudari između letelica i ublažili vazdušni i zemaljski rizici. Regulisan U-prostor omogućuje bezbedne operacije aviona u svim oblastima i za sve vrste bespilotnih operacija. Ova kategorija podrazumeva tri tipa vazdušnih operacija: Tip 1. Bespilotne letelice koje nose kargo, a poleću i sleću na aerodrome. Tip 2. Transport ljudi ili dobara u urbanim ili ruralnim sredinama, gde bespilotna letelica sleće na balkon ili na krov zgrade. Tip 3. Isto kao Tip 2. samo što podrazumeva pilota u letelici, odnosi se primarno na taksi aerotaksi službe (EASA, 2021).

U zavisnosti od toga kakva je u osnovi konstrukcija bespilotne letelice sve dronove možemo podeliti na dve velike kategorije na koptere i dronove sa fiksnim krilima. Kopteri predstavljaju letelice koje lete pomoću različitog broja rotirajućih elisa. U kategoriji koptera mogu se razdvojiti tehnologije bespilotnih helikoptera (eng. *Single-rotor helicopter*) sa jednom glavnom elisom i tehnologije multi-koptera (eng. *Multi-rotor*). Kategorija multi-koptera se dalje deli u odnosu na to koji broj jednakih elisa pokreće letelicu, pa tako postoje tri-kopteri (eng. *Tricopter*, 3 elise), kvad-kopteri (eng. *Quadcopter*, 4 elise), heksa-kopteri (eng. *Hexacopter*, 6 elisa), okto-kopteri (eng. *Octocopter*, 8 elisa) (Slika 26).



Slike 26 i 27. Različite konstrukcije koptera (Darrack, 2014)

<https://www.airspacemag.com/flight-today/build-your-own-drone-180951417/>

<https://roboticsbiz.com/seven-basis-components-for-building-a-drone/>

Kopteri predstavljaju najjednostavniju i najjeftinija opciju prikupljanja aerofotografija. Velike prednosti koje ova tehnologija nosi jesu mogućnost vertikalnog i horizontalnog poletanja i sletanja, lebdenja u mestu, ali i let u svim pravcima, kao i brze promene smera kretanja,

dobra kontrola kamere omogućava lako kadriranje . Pored navedenog kopteri su letelice koje omogućavaju veoma precizne letove u malom prostoru, kao i veoma lako manevrisanje tako da letelicom vrlo lako može da upravlja i osoba bez dugotrajne obuke (Chapman, 2016). U zavisnosti od veličine letelice menja se i količina tereta koju mogu da ponesu, tako da velikim letelicama može da se ponese umerena količina tereta. Međutim, veće letelice zahtevaju i veću količinu energije, te se u tom slučaju vreme leta skraćuje. Visina leta i domet koptera su u poslednjih nekoliko godina drastično povećani, tako da mogu da lete i do visina 6km (Phantom 4 Pro) i udaljenosti od preko 18km (Mavic Air 2), a za profesionalne i 100km (AC1. ATLAS-T) za profesionalne dronove. U najvećem broju slučajeva ograničavajući faktor leta predstavlja kapacitet baterija. Standardna dužina leta većine koptera je oko 30min, dok trajanje leta kod nekih industrijskih dronova ide i do sat vremena. Dužina leta ujedno predstavlja i najveću manu ovog tipa letelice. Potencijalno rešenje ovog problema leži razvoju koptera sa kombinovanom tehnologijom baterija i benzinskih motora, tako već sada postoje modeli koji mogu u vazduhu da izdrže četiri sata bez sletanja (Hybrix 2.1). Još jedna od velikih prednosti koptera je kompaktnost letelice i laka prenosivost.

Dronovi sa fiksnim krilima su bespilotne letelice koje su u osnovi zadržale osnovnu formu aviona, oni se dalje mogu podeliti u kategorije sa repom i bez repa (Thato, 2021) (Slike 27 i 28).



Slika 27. Dron sa fiksnim krilima bez repa

<https://www.sensefly.com/drone/ebec-x-fixed-wing-drone/>



Slika 28. Dron sa fiksnim krilima sa repom

<https://heighttech.nl/pd1/>

Prednosti i mane dronova sa fiksnim krilima su slike u ogledalu prednosti i mana koptera. Ova vrsta dronova može da razvije mnogo veću brzinu i u toku jednog leta da pokrije mnogo veću površinu od koptera. Energiju koriste samo za kretanje napred, ali nemaju mogućnost lebdenja i promena smera kretanja. Za poletanje i sletanje koriste „piste“ ili katapulte i zahtevaju mnogo veći otvoren i ravan prostor u odnosu na koptere (Chapman, 2016). Dužina leta ovih letelica je oko 4h na baterije (Albatross, eBee X) sa dometom od preko 200km, a

modeli sa benzinskim motorim dostižu i preko 15h leta. Dronovi sa fiksnim krilima su po pravilu većih dimenzija od koptera i zahtevaju više transportnog prostora. Obzirom da im je tehnologija izrade skuplja i njihova cena je uglavnom viša od cene koptera. Za upravljanje ovakvim letelicam potrebno je opširnije znanje i iskustvo.

Posebna kategorija dronova koja kombinuje najbolje osobine koptera i dronova sa fiksnim krilima su hibridi ove dve tehnologije.



Slika 29. Hibrid koptera i drona sa fiksnim krilima
(Baskaran K)

<https://www.auav.com.au/articles/drone-types/>

<https://wingtra.com/mapping-drone-wingtraone/>

Hibridi VTOL (eng. *Vertical Take Of and Landing*) predstavljaju letelice koje spajaju najbolje karakteristike oba sveta bespilotnih letelica. Naime ugradnjom koptera na dronove sa fiksnim krilima otklonjen je veliki nedostatak ove tehnologije. Na ovaj način letelice su dobile mogućnost vertikalnog poletanja i sletanja, a pri tom su zadržale izvorne karakteristike samog leta. Ove letelice predstavljaju veliki novi potencijal tehnologije bespilotnih letelica. (Autel Dragonfish, Wingtra One)

Helikoteri su letelice koje se u vazuhu održavaju pomoću jedne glavne elise i jedne repne elise. U domenu bespilotnih letelica njihova osnovna prednost leži u tome što se u vazduhu održavaju pomoću jedne velike elise koja je efikasnija od većeg broja manjih elisa. Takođe, ovo su letelice koje u najvećem broju slučajeva pokreće motor na benzin što dodatno povećava njihovu upotrebnu vrednost u smislu prenosa tereta i lebdeja pod opterećenjem. U skladu sa tim ovo su letelice koje se koriste kada je u vazduhu potrebno podići težak sensor. Međutim njihova mehanička kompleksnost, visoka cena, vibriranje tokom leta i opasnost koju stvaraju velike snažne elise prilikom poletanja i sletanja čine ovaj tip letelice manje popularnom opcijom (Chapman, 2016).

Svaki od navedenih tipova bespilotnih letelica ima svoje prednosti i mane, međutim letelica se bira u zavisnosti od karakteristika i konkretnog zadatka misije te da svaka od navedenih vrsta letelica zapravo nalazi svoju ulogu (Tabela 3).

Bespilotne letelice u civilnoj upotrebi najčešće nose standardne RGB ili multispektralne senzore. Multispektralne kamere bespilotnih letelica u najvećem broju slučajeva imaju senzore za 6 talasnih dužina (R, G, B, NIR, RedEdge). Multispektralne kamere još uvek ne predstavljaju standard u daljinskoj detekciji pomoću bespilotnih letelica, ali s obzirom na razvoj tehnologije koji se u ovom domenu trenutno dešava nagoveštava da bi to moglo da se desi u najskorijoj budućnosti. Trenutno velika većina studija u ovom domenu koristi RGB kamere, ali rešejna za upotrebu multispektralnih fotografija postoje i polako, ali sigurno se integrišu u tehnologiju bespilotnih letelica. Rezolucija RGB fotografija prikupljenih dronovima može da postigne prostornu rezoluciju <1cm, kamerama koje imaju rezoluciju i do 100MP, većina standardnih kamera na dronovima u najširoj upotrebi može da obezbedi prostornu rezoluciju ~2cm. Multispektralne kamere imaju nešto nižu rezoluciju od RGB kamera, trenutno mogu da obezbede rezolucije od oko 1-2cm. Imajući u vidu brzinu razvoja tehnologije bespilotnih letelica može se očekivati veoma brz napredak i povećanje rezolucije.

Tabela 3. Komparativni prikaz osnovnih prednosti i mana različitih vrsta dronova (osnova Chapman, 2016, Tmušić 2020)

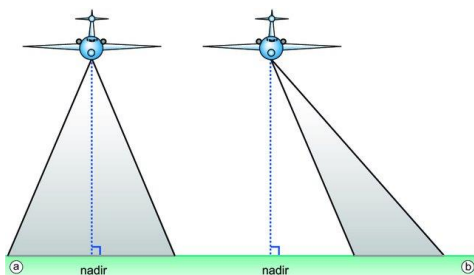
Tip letelice	Prednosti	Mane	Osnovna namena
Multi-kopter	Pristupačnost		
	Jednostavnost upotrebe		
	Vertikalno poletanje i sletanje	Kratko vreme leta	Fotografija
	Stacionarno lebdenje	Osetljivi na vetar	Kinematografija
	mogućnost niskog i sporog leta	Mala nosivost	Inspekcijski nadzor
	Dobra kontrola kamere		Ekomonitoring
	Može da leti u ograničenom prostoru		
Dron sa fiksnim krilima	Dugo vreme leta	Poletanje i sletanje je prostorno zahtevno	Mapiranje područja
	Mogućnost pokrivanja velikih površina	Nemogućnost vertikalnog poletanja i sletanja	Inspekcijski nadzor
	Velike brzine leta	Usled velikih brzina leta javljaju se teškoće u	

		mapiranju malih područja	
		Teški za upravljanje, potrebna je dobra obuka	
		Cena	
	Vertikalno poletanje i sletanje	Rizični za upotrebu	
	Stacionarno lebdenje	Teški za upravljanje, potrebna je dobra obuka	Snimanje LIDAR-om
Helikopter	Dugo vreme leta (benzinski motor)	Cena	
	Velika nosivost		
	Vertikalno poletanje i sletanje	Kompleksna tehnologija	
	Dugo vreme leta	Nisu savršeni ni u lebdjenju niti u letu unapred – tehnologija se usavršava	Dostava
Hibrid	Mogu brzo da lete napred, a mogu i da lebde		
	Mogućnost pokrivanja velikih područja, ali stacionarnog leta		
	Tehnologija koja se razvija		

5. Aerofotografija - aerosnimanje bespilotnim letelicama

Aerofotografija (eng. *aerial photography, airborne imagery*) kao disciplina predstavlja snimanje objekata, a naročito zemljišta i predela pomoću kamere nekog sa uzvišenog položaja na Zemlji ili iz vazduhoplova ili nekog drugog letećeg objekta. Platforme za snimanje iz vazduha uključuju avione, helikoptere, bespilotne letelice (bespilotne vazduhoplove ili dronove), balone, zepeline i dirizable, rakete, golubove, zmajeve, padobrane, samostalne teleskopske stubove i stubove postavljene na vozila. Ova definicija predstavlja najširi opšti kontekst pojma *aerofotografija*. U domenu daljinske detekcije ovaj kontekst se ipak uglavnom odnosi na fotografije snimljene sa nekog tipa letelice, a vrlo često mu se pridružuje segment satelitske fotografije (eng. *satellite images, spaceborne photography*).

Fotografije snimljene iz vazduha se prema tehnici snimanja dele na dve velike grupe. Prvu grupu čine fotografije snimljene „pod uglom“ (eng. *oblique photographs*), integracijom više sukcesivnih fotografija pod uglom dobijaju se panoramske i 3D fotografije područja. Drugu grupu čine vertikalne ili ortogonalne fotografije, odnosno fotografije snimljene tako što je objektiv fotokamere postavljen pod pravim uglom u odnosu podlogu. Integracijom većeg broja većeg broja vertikalnih fotografija dobijaju se ortofotografije područja. Upravo ortofotografije predstavljaju jedan od osnovnih fotoprodukata koji se koristi u procesu daljinske detekcije generalno, ali i u ekologiji.



Slika 1. Način prikupljanja vertikalnih i fotografija pod uglom (Bakker, 2012)

https://www.researchgate.net/publication/233792689_Sensors_In_The_core_of_GIScience_and_earth_observation_a_process_-_based_approach/figures?lo=1

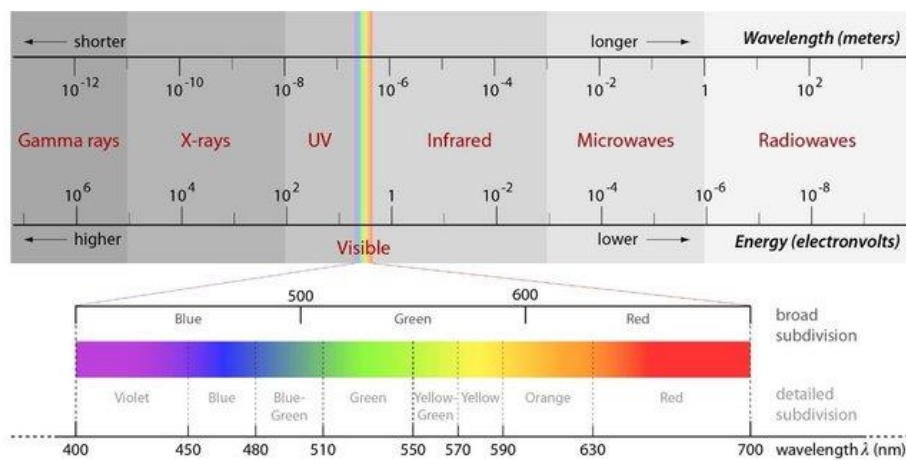
Fotografija predstavlja jedno od prvih sredstava korištenih u procesu daljinske detekcije. Prema tehničkim specifikacijama fotokamere pripadaju grupi pasivnih optičkih senzora koji beleže Sunčevu svetlost reflektovanu od strane objekata na površini planete Zemlje (Kumar). Pored bele svetlosti - vidljivog dela spektra u domenu plave, zelene i crvene svetlosti od Sunca se na Zemlju isporučuje čitav spektar različitog elektromagnetnog zračenja (Tabela 1)(Slika 2).

Tabela1. Elektromagnetni spektar (Đug, 2015)

Tip zračenja	Talasna	Opis
--------------	---------	------

	dužina	
Gama zraci	<0.30 nm	Ovaj rang kompletno absorbuje gornja atmosfera tako da nije dostupan za daljinska istraživanja
X -zraci	0.03—30.0 nm	Ovaj rang kompletno absorbuje gornja atmosfera tako da se ne koristi za daljinska istraživanja
UV - zraci	0.03—0.40 μm	Ovaj rang kompletno absorbuje gornja atmosfera tako da se ne koristi za daljinska istraživanja
Fotografski UV	0.30—0.40 μm	Ovaj rang ne absorbuje atmosfera i može se detektovati pomoću filma ili foto detektora, ali sa snažnim rasipanjem od strane atmosfere.
Vidljiva plava	0.45—0.52 μm	Budući da voda značajno absorbuje elektromagnetno zračenje pri većim talasnim dužinama, kanal (<i>band</i>) 1 pruža najbolje podatke za kartiranje finih detalja u zonama koje su pokrivene vodom. Koristi se i za razlikovanje tla od vegetacije, kartiranje šuma i razlikovanje antropogenih objekata.
Vidljiva zelena	0.50—0.60 μm	Plavo-zeleni region spektra odgovara absorpciji hlorofila od strane zdrave vegetacije i koristan je za kartiranje detalja kao što su dubina ili sedimenti u vodenim tijelima. Veštački objekti, kao što su saobraćajnice i zgrade se takođe dobro vide na ovom kanalu.
Vidljiva crvena	0.60—0.70 μm	Kod zdrave vegetacije hlorofil absorbuje ove talasne dužine, te se stoga ovaj kanal koristi za razlikovanje biljnih vrsta kao i granica između tipova tala i geoloških formacija.
Blizu IC	0.70—0.80 μm	Ovaj rang odgovara regionu elektromagnetnog zračenja koji je posebno senzitan na varirarnje biomase vegetacije. Takođe naglašava granice između tla i usjeva i kopna i vode.
Blizu IC	0.80—1.10 μm	Ovaj drugi blizu IC rang se koristi za razlikovanje vegetacije, te granice kopna i vode.
Srednji IC	1.55—1.74 μm	Ovaj region je senzitan na sadržaj vode u biljkama, što je korisna mera u istraživanjima zdravlja vegetacije. Takođe se koristi i za razlikovanje oblaka, snega i leda.

Srednji IC	2.08—2.35 μm	Ovaj region se koristi za kartiranje geoloških formacija. Takođe je osetljiv i na sadržaj vlage u tlu i biljkama.
Srednji IC	3.55—3.93 μm	Termalni kanal koji detektuje reflektovano sunčevo zračenje i zračenje emitovano sa zemlje i koristan je za razlikovanje snega od leda te detekciju šumskih požara.
Termalno IC	10.40—12.50 μm	U ovom regionu elektromagnetnog spektra potpuno dominira zračenje koje emituje zemlja. Koristan je za detekciju stresa kod useva, merenje intenziteta toplote, primene insekticida, termalnog zagađenja i geotermalno kartiranje. Ovaj kanal se obično koristi za merenja temperature površinske vode.
Mikrotalasni radar	0.10—100 cm	Mikrotalasi mogu prodrati kroz oblake, maglu, i kišu. Slike se mogu dobiti aktivnim i pasivnim putem. Radar je aktivni oblik mikrotalasnog daljinskog istraživanja.
TV i Radio	>10 m	Najduže talasne dužine elektromagnetnog spektra



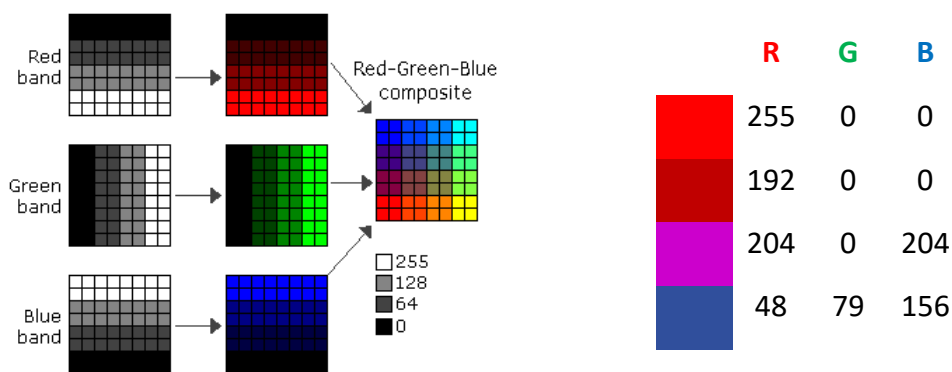
Slika 2. Elektromagnetni spektar Sunčevog zračenja (Verhoeven, 2017)

https://www.researchgate.net/publication/320616988_The_reflection_of_two_fields_-_Electromagnetic_radiation_and_its_role_in_aerial_imaging/figures?lo=1

5.1 Spektralna rezolucija fotografija

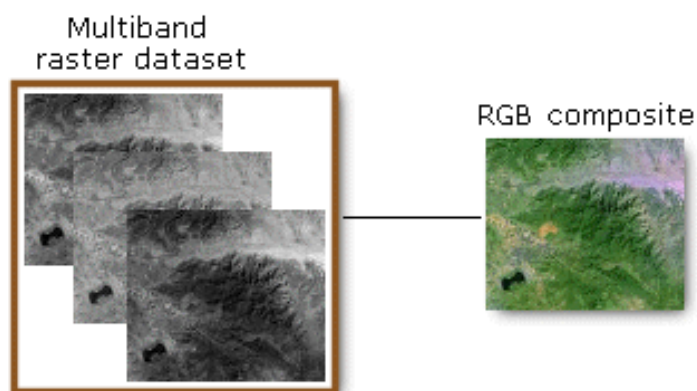
Standardne fotokamere beleže svetlost upravo u tri navedena domena plave, zelene i crvene (**Red Green Blue**) svetlosti. Beleže količinu energije koja je reflektovana u svakom od ova tri dela spektra, na određenim talasnim dužinama. Boja na fotografiji predstavlja kombinaciju niva osvetljenosti u navedena tri domena. Na digitalnim fotografijama nivo osvetljenosti u svakom od tri domena se beleži pojedinačno i čuva u formi zasebnih kanala (eng. *bands*). Nivo osvetljenosti u svakom domenu se kreće od 0 do 255, gde je 0 prestavlja potpuni mrak, a 255 maksimalnu osvetljenost tj. 0 je potpuno odsustvo elektromagnetne energije u datom delu spektra, a 255 znači da je sva prisutna elektromagnetna energija upravo u ovom delu spektra. Ove vrednosti se nazivaju digitalnim brojevima (eng. *digital numbers, DN*).

U strukturnom smislu digitalne fotografije predstavljaju mreže piksela, a pikseli predstavljaju najmanje nedeljive jedinice fotografije. Svaki kanal (eng. *band*) prestavlja pojedinačnu mrežu piksela (Slika 3a). Kombinacija nivoa osvetljenosti u svim kanalima fotografije daje konačnu boju piksela (Slika 3a, 3b).



Slika 3a. RGB koncept digitalne fotografije (ArcGIS, 2021)

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/raster-bands.htm>



Slika 3b. RGB koncept digitalne fotografije (ArcGIS, 2021)

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/raster-bands.htm>

Obzirom da vidljivi deo predstavlja samo mali fragment ukupnog elektromagnetnog zračenja, a da objekti na Zemlji reflektuju i druge zrake, razvojem optičke tehnologije konstruisane su kompleksne kamere koje imaju senzore koji pored vidljivog beleže količinu reflektovane energije i u drugim delovima spektra (na drugim talasnim dužinama). Isto kao i u domenu vidljivog zračenja kolilčina energije u svakoj talasnoj dužin se beleži digitalnim brojevima za svaki piksel. Obzirom da se ovi vidovi energije ne manifestuju bojama koje čovek može da vidi njima se u procesu računarske obrade signala dodeljuju boje koje čovek može da vidi, a koje nisu tako često zastupljene u predeonoj fotografiji. Zbog toga fotografije dobijene na ovaj način često imaju neobične koloritete (Slika 4).



Slika 4. Komparativni prikaz RGB i multispektralne fotografije (Topodrone, 2018)

<https://topodrone.org/news/article/multispectral/>

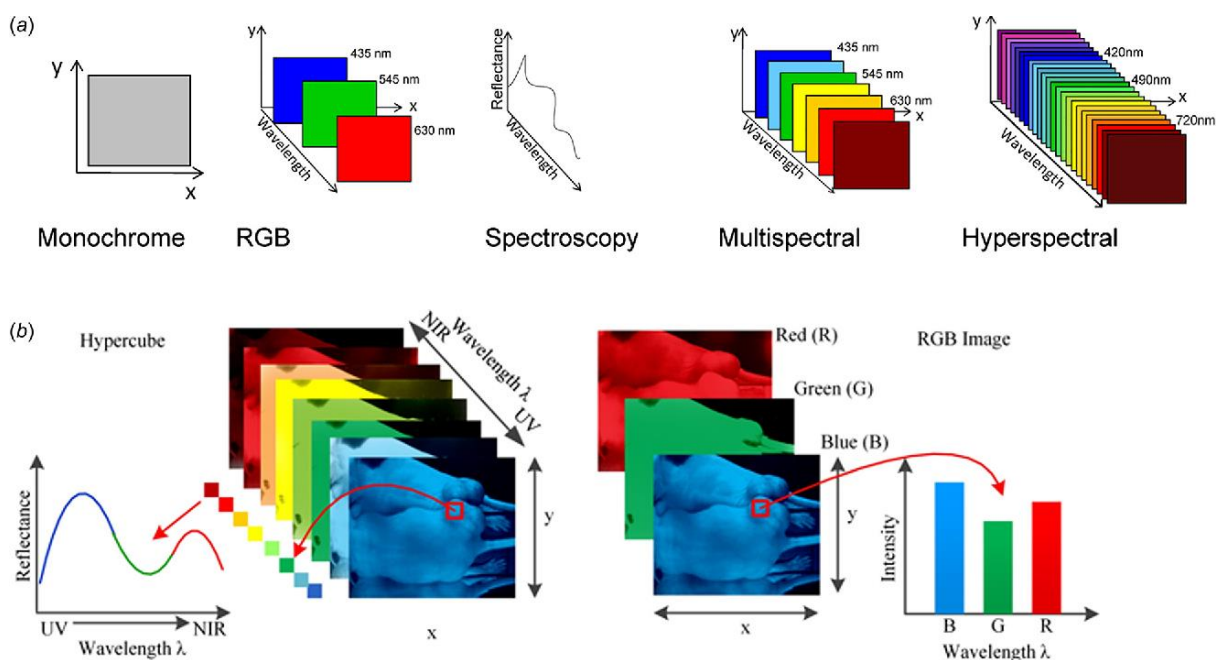
Delovi spektra koji se beleže multispektralnim sensorima su najčešće: Red ($\sim 0.665 \mu\text{m}$), Green ($\sim 0.560 \mu\text{m}$), Blue ($\sim 0.490 \mu\text{m}$), Near InfraRed ($\sim 0.842 \mu\text{m}$), RedEdge ($\sim 0.740 \mu\text{m}$), Short-wave InfraRed, Panchromatic, Cirrus ($\sim 1.375 \mu\text{m}$), Thermal Infrared ($\sim 11.19 \mu\text{m}$), DeepBlue / Coastal aerosol ($\sim 0.443 \mu\text{m}$), Water vapour ($\sim 0.945 \mu\text{m}$). Različiti multispektralni senzori beleže navedene kanale na različitim talasnim dužinama, međutim rangovi unutar kojih se beleže određene vrste elektromagnetnog zračenja su univerzalne.

Većina senzora multispektralnih kamera je konstruisana tako da beleži informacije u prilično uskom opsegu talasnih dužina: *Landsat OLI2 Band 4 Red* - $0.64 - 0.67 \mu\text{m}$, *Landsat OLI2 Band 10 TIRS1* - $10.6 - 11.19 \mu\text{m}$. Sa druge strane na većini multispektralnih kamera postoji i panhromatski sensor koji je konstruisan tako da beleži količinu energije u veoma širokom opsegu talasnih dužina: *WorldView4- panchromatic band* - $0,45-0,8 \mu\text{m}$, *Palades - panchromatic band* - $0,47-0,83 \mu\text{m}$. Široki opsezi talasnih dužina ovih senzora omogućavaju



dobar odnos signal – šum, obzirom da su konstruisani tako da ima veliki deo dalasnih dužina zapravo bude signal koji beleže, što znači da ostaje mnogo manje talasa koji mogu da predstavljaju šum prilikom merenja. Ova karakteristika omogućava prikupljanje fotografija veće prostorne rezolucije u odnosu na ostale senzore uskog opsega. Ukoliko se opseg panhromatskog senzora nađe u domenu vidljivog dela spektra tada panhromatske fotografije u predstavljaju crnobeke prikaze određenog područja, s obzirom da se količina energije u svim delovima vidljivog spektra meri i beleži na jednom kanalu (*band-u*).

Pored RGB i multispektralnih senzora, postoje i hiperspektralni senzori. Hiperspektralni senzori koristi kontinuirane i neprekidne opsege talasnih dužina, beleže količine reflektovane energije u uskim interavlima (npr. 400 - 1100 nm u koracima od 1 nm). Cilj hiperspektralnog snimanja je dobijanje kompletnog spektra za svaki piksel na slici u svrhu detekcije različitih objekata, identifikacije materijala, načina upotrebe zemljišta, detekcije proces itd. Osnovna razlika u odnosu na koncept multispektralnog snimanja je u tome što multispektralni senzori beleže refleksiju u tačno određenim delovima spektra, a cilj hiperspektralne fotografije je da se se odredi refleksija u celokupnom spektru elektromagnetnog zračenja (Slika 5). Hiperspektralne fotograifije u zavisnosti od konstrukcije senzora mogu da sadrže od nekoliko stotina do nekoliko hiljada kanala (eng. *bands*).



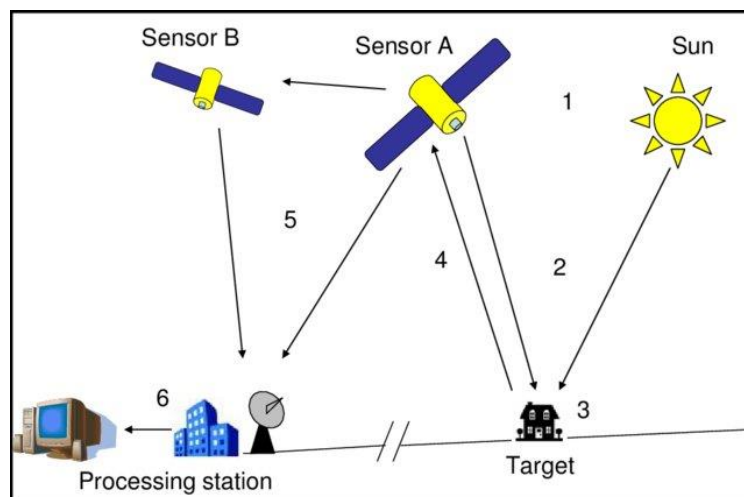
Slika 5. Komparativni šematski prikaz monohromne, RGB, multispektralne, hiperspektralne fotografije

(Mehta 2018)

<https://www.semanticscholar.org/paper/Single-Cell-Analysis-Using-Hyperspectral-Imaging->

Svi objekti i sve materije na planeti reflektuju, emituju ili zrače određen vid elektromagnetnih talasa. U zavisnosti od karakteristika materije spektar i količina energije se menja od objekta do objekta. Prilikom daljinske detekcije, u procesu identifikacije, izdvajanja, mapiranja, kvantifikacije i karakterizacije različitih objekata se koriste upravo ove spektralne razlike (Kumar).

Proces pasivne daljinske detekcije se odvija u sledećim fazama: 1. Emisija elektromagnetnog zračenja (u ovom slučaju Sunca) 2. Transmisija od Sunca do objekata 3. Interakcija elektromagnetnog zračenja sa objektom i posledična refleksija i emisija zračenja 4. Transmisija zračenja od objekta do senzora 5. Beleženje energije zračenja od strane senzora i slanje informacija do zemaljske kontrolne stanice 6. Analiza podataka (Kumar).



Slika 6. Faze procesa daljinske detekcije (Ilie, Vasile, 2011)

https://www.researchgate.net/publication/316473726_Spaceborne_SAR_Tomography_Application_in_Urban_Environment/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic

5.2 Radiometrijska rezolucija fotografija

Radiometrijska rezolucija se predstavlja senzitivnost fotosenzora na varijacije u nivoima refleksije. Što je veća radiometrijska rezolucija fotosenzora, to je on senzitivniji za detekciju malih razlika u vrednostima refleksije. Viša radiometrijska rezolucija omogućava daljinskom senzoru da pruži precizniju sliku specifičnog dela elektromagnetnog spektra. Senzori konvertuju primljeno zračenje u digitalne brojeve piksela unutar određenog opsega vrednosti. Slikovni podaci su predstavljeni pozitivnim brojevima koji se kreću u rang od 0 do (jedan manje od) odabrane eksponencije 2. Ovaj rang odgovara broju bita koji se koriste za kodiranje brojeva u binarni format. Svaki bit beleži eksponent 2 (npr. 1 bit=2). Maksimalan

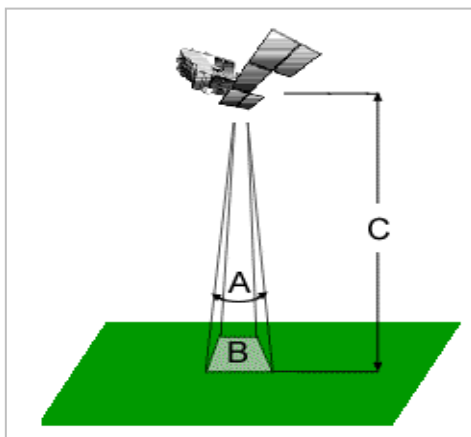
broj raspoloživih nivoa osvetljenja zavisi od broja bita koji se koriste u predstavljanju zabeležene energije. Na primer, vrednosti podataka koje beelži Landsat Thematic Mapper (Landsat TM) mogu varirati od 0 do 255 (8-bitna slika), dok se kod satelita IKONOS ove vrijednosti se kreću od 0 do 2048 (10-bitna slika), te je njegova radiometrijska rezolucija veća.

5.3 Temporalna rezolucija fotografija

Temporalna rezolucija se odnosi na to koliko često platforma na kojoj se nalazi fotosenzor može pružiti pokrivanje određenog područja. Spektralne odlike objekata se mogu menjati u toku vremena, tako da se sakupljanjem i poređenjem snimaka prikupljenih u različitim vremenskim periodima mogu detektovati takve promene. Bez obzira na to da li one javljaju prirodno, kao što je to slučaj u toku vegetacijske sezone, ili kao rezultat čovekovih aktivnosti, kao što je urbani razvoj ili deforestacija. Faktor vremena je vrlo značajan kada postoji trajniji sloj oblaka koji onemogućava dobijanje kvalitetnih snimaka bez oblaka, što je posebno značajno u tropima, kada je riječ o kratkotrajnim pojavama kao što su poplave ili izljevanja nafte, kada je potrebno poređenje snimaka iz različitih vremenskih perioda, npr. širenje šumskih bolesti kao što napadi potkornjaka iz godine u godinu. Temporalna rezolucija senzora zavisi od niza faktora koji uključuju mogućnosti platforme na kojoj se senzor nalazi, ali i karakteristike samog senzora koje uključuju veličinu površine Zemlje koju jednom fotografijom senzor može da obuhvati.

5.4. Prostorna rezolucija fotografija

Prostorna rezolucija podrazumeva ukupni prostorni obuhvat na Zemlji koji jednovremeno posmatra senzor. Ova površina na tlu se označava kao rezolucijska ćelija, odnosno piksel i determiniše maksimalnu prostornu rezoluciju senzora. Piksel je najmanji jasno definisan element scene i slike. Ako je objekat manji on se ne može detektovati. Prostorna rezolucija pasivnih senzora primarno zavisi od trenutno posmatranog polja (eng. *Instantaneous Field of View - IFOV*) koje predstavlja konus vidljivosti senzora (A) i determiniše površinu na površini Zemlje (B) koja se vidi sa određene visine u određenom vremenskom trenutku (C) (Slika 565) (Đug, 2015).



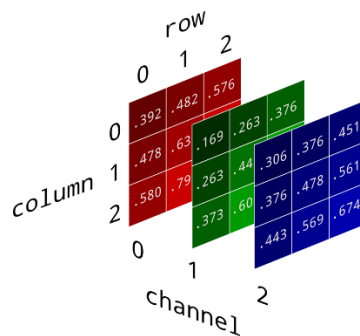
Slika 565. Koncept prostorne rezolucije fotografija (Đug, 2015)

Da bi se detektovali homogeni objekti potrebno je da njihova veličina bude jednaka ili veća od veličine piksela. Sa druge strane Viša prostorna rezolucija ne mora nužno biti uvijek prikladnija za određena istraživanja. Potrebno je imati na umu da snimci veće rezolucije nose više podataka i pokrivaju manje površine u odnosu na snimke niže rezolucije, tako da ih je potrebno spajati u jedan snimak što je često vrlo zahtevan proces. Takođe, od rezolucije zavisi i veličina samog fajla. Tako, na primer, na snimku rezolucije 1 m će biti 100 puta više piksela nego na snimku rezolucije 10 m, te će samim time fajl biti i 100 puta veći. Stoga je prilikom istraživanja podesnije koristiti što manji broj snimaka koji pokrivaju područje od interesa.

Kada se vrši prikupljanje podataka daljinskom detekcijom potrebno je uzeti u bozir da: sa porastom prostorne rezolucije (podaci sa finijom skalom) opada veličina površine koja je obuhvaćena snimkom; dok sa porastom prostorne rezolucije opada temporalna rezolucija; a sa porastom prostorne rezolucije raste i količina prikupljenih podataka.

5.6. Analiza aerofotografija

Prve fotografije satelitskih misija su analizirane ručno, na štampanim fotografijama. Analizirane su i poređene boje, teksture, oblici i kompaktnost različitih karakteristika na fotografijama (Phiri, 2017). Za obradu fotografija prve *Landsat* misije bilo je angažovano preko 300 stručnjaka iz celog sveta, obzirom da poduhvat takvih razmera do tada nije izveden, te je bilo mnogo nepoznanica. Prve automatske metode obrade i klasifikacije fotografija su razvijene još 1970-tih godina. Automatske metode obrade se mogu podeliti u dve grupe: tehnike parcijalnog filtriranja i tehnike numeričke klasifikacije. Tehnike filtriranja se temelje se na pooštavanju i redukciji šumova fotografija i izdvajanju pojedinačnih karakteristika. Tehnike numeričke klasifikacije se temelje na kategorizaciji piksela u diskretne grupe na osnovu međusobne sličnosti njihovih digitalnih brojeva (eng. *digital numbers, DN*) a. Naime, digitalne fotografije predstavljaju mreže piksela, gde svaki piksel svakog kanala (*band-a*) fotografije ima određen nivo osvetljenosti u datom delu spektra, a taj nivo osvetljenosti je kvantifikovan numeričkom vrednošću koja se naziva digitalnim brojem. Metode numeričke klasifikacije predstavljaju najznačajniji napredak u procesu prepoznavanja obrazaca (eng. *pattern recognition*) i predstavljaju temelj modernih metoda klasifikacije fotografija (Phiri, 2017).



Slika 26. Šema RGB digitalne fotografije (Brandon 2019)

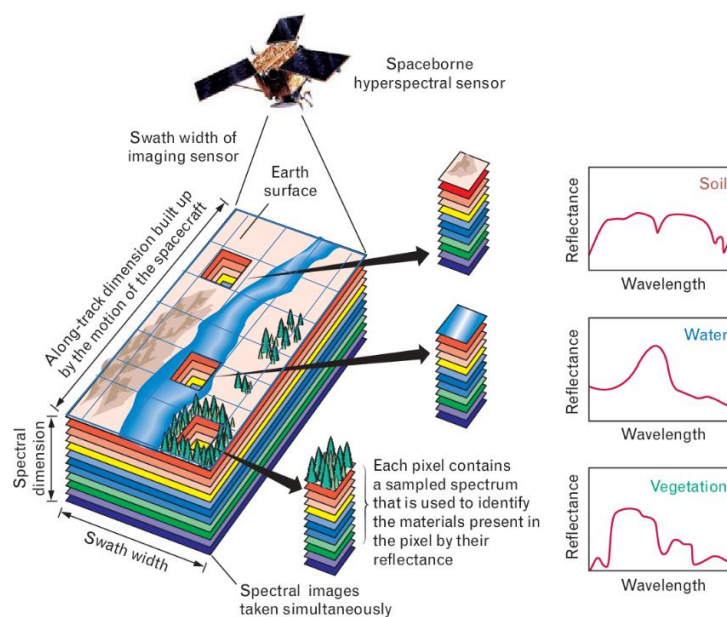
https://e2eml.school/convert_rgb_to_grayscale.html

Metode numeričke klasifikacije imaju tri osnovne faze:

I. Predprocesuiranje fotografija podrazumeva kalibraciju piksela u smislu korekcije geometrijskih distorzija nastalih usled promena nagiba satelitskih platformi i radiometrijske korekcije tj. uklanjanja šumova kroz atmosfersku i topografsku korekciju spektralnih karakteristika piksela. DN vrednosti piksela se tom prilikom kovertuju u vrednosti zračenja koje odgovaraju zračenju na vrhu atmosfere i na površini Zemlje.

II. Korekcija fotografije podrazumeva niz podešavanja sa ciljem boljeg vizuelnog izgleda slike. Ovaj korak nema presudan uticaj za proces numeričke klasifikacije te ne mora nužno biti urađen.

III. Klasifikacija fotografije podrazumeva podelu piksela po klasama odnosu na različite karakteristike. U prvoj fazi klasifikacije vrši se određivanje međusobne sličnosti piksela na fotografiji (Slika 27). Sličnost se utvrđuje pomoću korelacija ili Euklidove distance, a vrlo često kombinacijom ovih metoda. Nakon toga sledi podela piksela u odgovarajuće klase (kategorije upotrebe zemljišta i pokrovnosti tla, eng *land use, land cover*). Podela se vrši pomoću algoritama (klasifikatora) koji na različite načine vrše diskriminaciju i grupisanje piksela prema uslovima zadatim u postavci analize (Phiri, 2017).



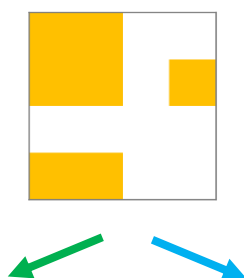
Slika 27. Kocept spektroskopije fotografija (Shaw, 2003)

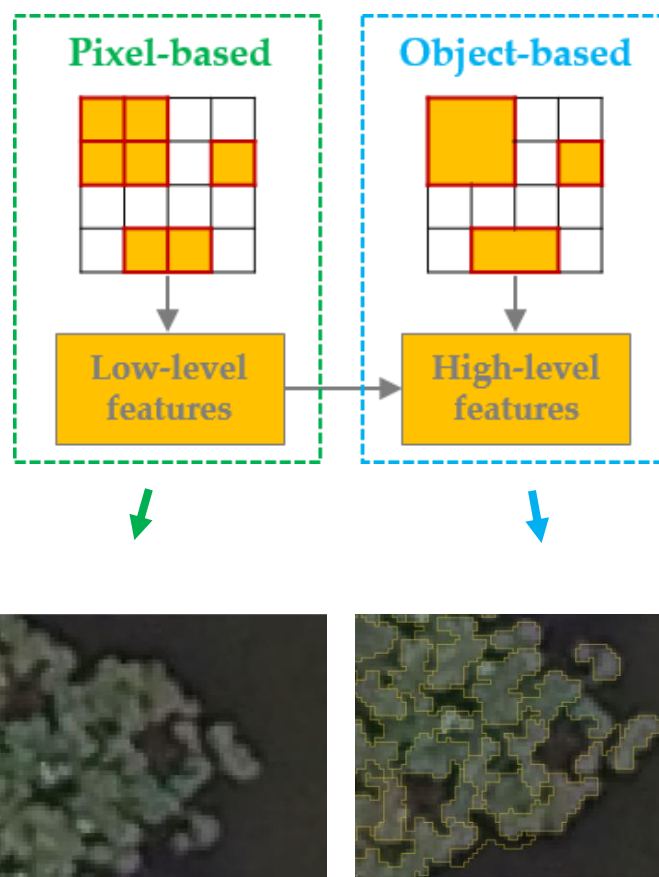
<https://www.semanticscholar.org/paper/Spectral-Imaging-for-Remote-Sensing-Shaw-Burke/26ffa240d824f1503f3afafdc14e4a1711449138/figure/0>

Na početku razvoja metoda numeričke klasifikacije prvo su dizajnirane metode klasifikacije pojedinačnih piksela (eng. *pixel-based approach*). Ove metode klasifikacije razvijene su u periodu kada su pojedinačni piksela imali prostornu rezoluciju od 80m, te je takav pristup u osnovi bio zadovoljavajući. Problem u ovakvom pristupu klasifikaciji fotografija predstavljali su takozvani „mešoviti pikseli“. Mešoviti pikseli su pikseli koji pokrivaju delove područja sa kompleksnim pejzažom tj. mesta na kojima dolazi do mešanja nekoliko različitih načina upotrebe zemljišta. U narednoj deceniji performanse satelitskih senzora bile sve bolje i bolje, a prostorna rezolucija piksela svedena je na 30m. Međutim problem mešovitih piksela je i dalje ostao prisutan obzirom da je i unutar piksela 30x30m dolazilo do mešanja različitih

načina upotrebe zemljišta. Da bi problem bio prevaziđen tokom 1980-tih godina su razvijene *sub-pixel image classification* metode koje se temelje na teoriji fazi skupova (eng. *fuzzy-set*), *Dempster-Shafer* teoriji i teoriji faktora sigurnosti (*fuzzy-set theory, Dempster-Shafer theory and certainty factor theory*). Napojznatije *sub-pixel* metode su fazi pristup (eng. *fuzzy approach*) i analiza spektralnih mešavina (eng. *spectral mixture analysis, SMA*). U tehnikama fazi skupova, svaki piksel parcijalno pripada svim mogućim klasama, a analizom se procenjuje stepen pripadnosti svakoj klasi. Tako jedan piksel može pripadati istovremeno više fazi skupova (Perić, 2014). Na ovaj način svakoj od klasa dodeljuju se fazi članovi (pikseli) na osnovu stepena pripadnosti. Tehnika koja se pokazala najbolje u problemu mešovitih piksela je *SMA* metoda koja računa procentualni udeo svake klase unutar jednog piksela na osnovu spektralnih karakteristika krajnjih klasa (GG). Krajnji rezultat analize predstavlja procentualni udeo svake klase na datoj fotografiji.

Kako je rezolucija satelitskih snimaka bila sve viša, a u domen daljinske detekcije aktivno ušle aerofotografije visoke rezolucije prikupljene pomoću aviona ili dronova dolazilo je do grešaka oprečne prirode. Naime usled prevelike rezolucije prilikom klasifikacije fotografija dolazi pogrešne klasifikacije pojedinačnih piksela unutar jednog entiteta ili do pojave biber-so (eng. *peper-salt*) efekta. Do ovih grešaka dolazi u situacijama kada su spektralne karakteristike pojedinik piksela nekog objekta na fotografiji drugačije u odnosu na ostatak te ih klasifikator počešno smesti u drugu klasu. Sa ciljem prevazilaženja problema pogrešne klasifikacije pojedinačnih piksela 1990-tih godina došlo je do drugog velikog pomaka u razvoju metoda klasifikacije fotografija kada je dizajnirana objektna analiza (eng. *object-based approach*). Objektna analiza uvodi proces segmentacije fotografije u kom izdvaja i grupiše slične i bliske piksele u pojedinačne objekte (segmente, entitete). U fazi segmentacije se podešavaju parametri algoritma kojima se kontroliše nivo spektralne razlike i udaljenosti između susednih piksela koji se mogu tolerisati tako da pikseli pripadnu jednom entitetu, kao i maksimalne i minimalne veličine izdvojenih segmenata. Na ovaj način pojedinačni pikseli jednog entiteta sa nesto drugačijim karakteristikama ne bivaju izdvojeni i pogrešno klasifikovani.





Slika 28. Konceptualne razlike piksel-po-piksel i objektne klasifikacije fotografije

Vrste algoritama za segmentaciju fotografija:

Prema pristupu segmentaciji algoritmi se mogu podeliti u dve grupe Top-down segmentation i Bottom-up segmentation.

Proces segmentacije vrše algoritmi koji prilikom segmentacije traže slične piksele i grupišu ih u jedan segment (*Region based approach*) i algoritme koji traže različite piksele i između njih povlače granice koje odvajaju segmente (*Boundary-based Approach*). U Tabeli broj 8 je predstavljen komparativni pregled metoda segmentacije koje se najčešće koriste u daljinskoj detekciji:

Mean shift - *Large scale Mean Shift* algoritam formira okvir zadatih dimenzija (*spatial range*) oko pojedinačnih piksela. Unutar datog okvira izračunava srednju vrednost spektralnih karakteristika piksela. Nakon toga poredi vrednost svakog pojedinačnog piksela sa izračunatom srednjom vrednošću. Ukoliko je vrednost piksela ispod postavljene granične vrednosti (*spectral range*) tada piksel ulazi u posmatrani segment. Pikseli koji prođu zadate uslove grupišu se u jedan segment (101). Ovaj način segmentacije spada u grupu *Threshold segmentation* obzirom da se postavlja granična vrednost pripadnosti segmentu. Prednosti ovog algoritma leže u tome što ne podrazumeva *a priori* pretpostavku o obliku segmenata,

niti o broju segmenata i kategorija koje će biti izdvojene, nije osetljiv na *outlayer-e* (pojedinačne ekstremno različite vrednosti), zagarantovana konvergencija. Manu algoritma predstavlja arbitražno odabiranje veličine okvira što može dovesti do lošeg kvaliteta segmentacije. Da bi izbegli formiranje premalih ili prevelikih segmenata potrebno je postaviti odgovarajuće minimalne i maksimalne veličine segmenta. Prilikom ovih podešavanje treba voditi računa da minimalna veličina segmenta ne sme biti manja od najmanjeg pojedinačnog objekta koji želimo da izdvojimo na ortomozaiku (ArcGIS, QGIS, GrassGIS).

Chessboard Segmentation (Top-Down) je jedan od najjednostavnijih algoritama segmentacije. Algoritam izdela ortomozaik na određen broj jednakih segmenata definisane veličine. Ovaj algoritam se često koristi kao pred-analiza za neke druge algoritme segmentacije poput *multiresolution segmentation* u kojima se segmenti izdvojeni ovim algoritmom koriste kao *seed* odnosno kao **početne sekvence** (eCognition).

Quadtree-Based Segmentation (Top-Down) funkcioniše na sličan način kao i *Chessboard Segmentation* sa tom razlikom što ortomozaik podeli na četiri kvadrata različite veličine. Nakon prvog ciklusa proverava da li je varijabilnost piksela unutar kvadrata ispod postavljene granične vrednosti. Ukoliko je varijabilnost veća od maksimalno dozvoljene algoritam nastavlja dalje, opet deli kvadrat na četiri nejednaka dela i ponavlja ciklus iz početka. Ciklusi se ponavljaju i kvadrati se dele sve dok varijabilnost piksela unutar jednog kvadrata ne bude manja od granične vrednosti. Tada dati kvadrat postaje izdvojeni segment ortomozaika (eCognition).

Contrast Filter Segmentation (Top-Down) je vrlo brz algoritam za početnu segmentaciju i, u nekim slučajevima, može izolovati objekte od interesa u jednom koraku. Algoritam vrši promenu oblika objekata na fotografiji i kreira novi tematski lejer. Algoritam dalje klasifikuje svaki piksel u jednu od četiri klase: bez objekta, objekat u prvom lejeru, objekat u drugom lejeru, objekat u oba lejera, odbačen zbog granične vrednosti. svaki piksel je klasifikovan kao jedna od sledećih klasa: nijedan objekat, objekat u prvom sloju, objekat u drugom sloju, objekat u oba sloja i zanemaren pragom. Nakon toga *Chessboard Segmentation* se koristi za konvertovanje novog lejera u nivo ortomozaika. Algoritam je posebno pogodan za fluorescentne slike gde su informacije o sloju slike dobro razdvojene (eCognition).

Contrast Split Segmentation (Top-Down) algoritam u prvom koraku deli ortomozaik na tamne i svetle objekte u odnosu na zadatu graničnu vrednost. Algoritam procenjuje optimalnu graničnu vrednost zasebno za svaki objekt ortomozaika. Nakon toga vrši *Chessboard Segmentation*, nakon toga dalje deli kvadrate **xxxxx** (eCognition).

Multiresolution Segmentation (Bottom-up) algoritam kreće od pojedinačnih piksela, vrši evaluaciju okolnih piksela i spaja ih u jedan objekat ukoliko zadovolje kriterijum homogenosti. Kriterijum homogenosti podrazumeva kombinaciju dozvoljene varijabilnosti boja i oblika segmenta pre o nakon dodavanja piksela u okolini. Moguće je podesiti

prostornu skalu radijusa evaluacije okolnih. Što je veći operativni radijus, veći će biti i izdvojeni segmenti ortomozaika (eCognition).

Multi-Threshold Segmentation and Auto Thresholds vrši podelu ortomozaika na pojedinačne objekte i onda klasifikuje izdvojene objekte na osnovu podešene ili automatski generisane granične vrednosti. Granična vrednost može biti univerzalna za ceo ortomozaik ili za pojedinačne segmente, a na osnovu nje se segmenti dalje dele tako da se heterogenost maksimalno poveća. Algoritam koristi kombinaciju histogram-metoda i mera homogenosti za izračunavanje praga koji deli izabrani skup piksela na dva podskupa (eCognition).

Nakon segmentacije se u narednim fazama prilikom poređenja međusobne sličnosti posmatraju osobine (boja, oblik, tekstura, veličina, prostorni raspored, kompaktnost, obrasci ponavljanja) i klasifikuju izdvojeni segment, a ne pojedinačni pikseli.

Bez obzira na to koji od dva modela klasifikacije se primeni potrebno je na osnovu karakteristika podataka odabrati odgovarajući klasifikator. Prilikom odabira klasifikatora potrebno je testirati distribuciju vrednosti piksela u svakom od kanala (eng. *bands*) fotografije. Ukoliko je distribucija podataka normalna tada može biti primenjen neki od parametarskih klasifikatora koji se zasniva na teoriji verovatnoće: *Maximum likelihood, Minimum distance, Bayesian*. Međutim, ukoliko podaci odstupaju od normalne distribucije tada može biti primenjen neki od neparametarskih klasifikatora koji se zasnivaju na determinističkim teorijama: *k-Nearest Neighbor, Support Vector Machine, Artificial Neural Network, Random forest*, a za čiju upotrebu normalna distribucija podataka nije neophodan uslov.

U zavisnosti od toga da li za istraživano područje pored aerofotografija postoje i referentni terenski podaci (obučavajući skup podataka) o distribuciji objekata koje treba izdvojiti može se izabrati neki od algoritama nenadgledane (eng. *unsupervised*), nadgledane (eng. *supervised*) ili polu-nadgledane (eng. *semi-supervised*) klasifikacije. Algoritmi nenadgledane klasifikacije rade automatski, međusobno porede sve piksele ili segmente na fotografiji i smeštaju ih u odgovarajuće kategorije. Ovi algoritmi se dalje dele u dve grupe u zavisnosti od toga da li je na početku analize potrebno definisati krajnji broj izdvojenih klasa ili to klasifikator radi automatski. Najčešće korišćeni algoritmi nenadgledane klasifikacije su *k-means* i *ISODATA*, a koriste se u situacijama kada referentni terenski podaci nisu dostupni ili kao predanaliza za neku od nadgledanih ili polu-nadgledanih klasifikacija. U grupi algoritama nadgledane klasifikacije najučestalije se koriste *k-Nearest-Neighbor, Minimum distance, Maximum likelihood, Artificial Neural Networks, Support Vector Machine, Principal components, Random Forest*. Proces rada ovih klasifikatora je uslovljen postojanjem referentnih vrednosti za svaku od karakteristika koje se na mapi javljaju. Naime klasifikatori na osnovu referentnih vrednosti u trening (obučavajućem) setu podataka uočavaju obrasce i uče relacije između vrednosti koje karakterišu pojedinačne klase. Kasnije na osnovu

naučenih relacija klasifikuju ostatak piksela ili segmenata. Polu-nadgledani klasifikatori su algoritmi koji na osnovu malog poduzorka za koje postoje referentne vrednosti za svaku klasu mogu da klasifikuju ostatak piksela date fotografije (DF).

Referentne vrednosti mogu biti prikupljene klasičnim terenskim istraživanjem gde se pomoću GPS / GNSS uređaja beleže referentne tačke za svaku klasu. Sa druge strane, ukoliko je istraživač koji vrši analizu dovoljno iskusan da pregledanjem fotografije može da izdvoji odgovarajuće reprezentativne referentne delove oni mogu biti određeni i na taj način. Obzirom da je danas većina fotografija koje se preuzimaju sa satelitskih sistema kalibrisane za neke klase pokrovnosti tla i načina upotrebe zemljišta postoje gotovi šifarnici u kojima postoje već izdvojene spektralne karakteristike, a koji se kao takvi mogu upotrebiti u analizama.

Vrste algoritama za klasifikaciju fotografija:

Algoritmi nenadgledane klasifikacije (unsupervised classification)

ISODATA klasifikator izračunava srednje vrednosti podataka ravnomerno raspoređene u prostoru, a zatim iterativno grupiše preostale piksele koristeći tehnike minimalne udaljenosti (eng. *minimum distance*). Svaka iteracija ponovo izračunava srednje vrednosti i reklasifikuje piksele u odnosu na njih. Iterativno razdvajanje, spajanje i brisanje klasa se vrši u odnosu na podešene granične vrednosti parametara analize. Pikseli se smeštaju u najpodesniju klasu, osim ako prema postavljenim graničnim vrednostima ne zadovoljavaju kriterijume ni jedne klase, u tom slučaju ostaju neklasifikovani. Ovaj proces se nastavlja sve dok se broj piksela u svakoj klasi u jednoj iteraciji ne promeni za manje od izabrane granične vrednosti ili dok se ne dostigne maksimalan broj iteracija predviđen postavkama analize (KL). K-means klasifikator radi na istom principu kao i ISODATA sa bitnom razlikom u tome što K-means klasifikator zahteva definisanje tačnog broja klasa na početku analiza, a ISODATA ne (IDKL).

Algoritmi nadgledane klasifikacije (supervised classification)

K Nearest-Neighbor, KNN klasifikator izračunava Euklidovu udaljenost svakog segmenta ili piksela na slici od definisanih referentnih tačaka za trening. Udaljenost se meri u n-dimenzionalnom prostoru, gde je n broj karakteristika spram kojih se vrši klasifikacija. Segmenti ili pikseli se smeštaju u kategoriju kojoj su najbliži (KL).

Maximum likelihood klasifikator pretpostavlja da podaci svake klase u svakom kanalu (*band*) fotografije imaju normalnu distribuciju i izračunava verovatnoću da dati piksel pripada određenoj klasi. Ukoliko se ne postave granične vrednosti za pripadnost klasi svi pikseli će



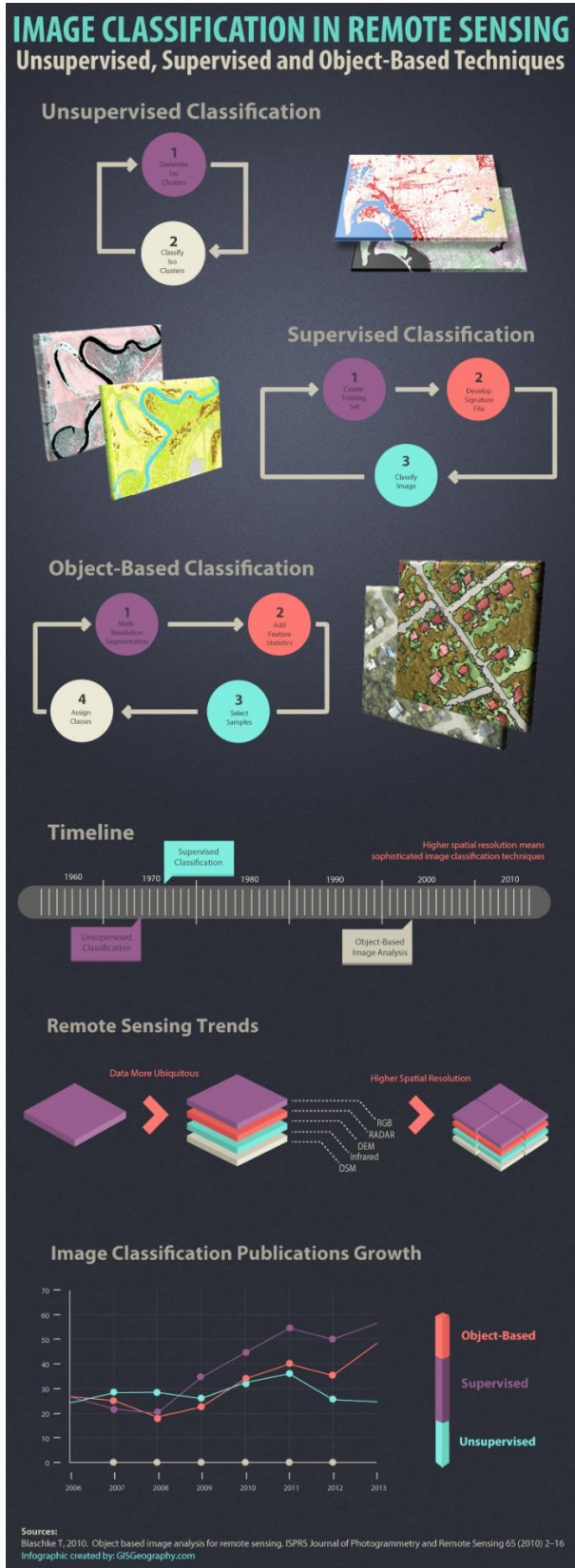
biti klasifikovani. Svaki piksel se dodeljuje klasi za koju ima najveću verovatnoću pripadnosti. Ako je najveća verovatnoća manja od podešenog praga piksel ostaje neklasifikovan (KL).

Artificial Neural Networks, ANN klasifikatori koriste standardne algoritme propagacije greške unazad (eng, *backpropagation algorithm*). Prilikom postavke klasifikatora određuje se broj skrivenih slojeva neuronske mreže kao i odgovarajuća funkcija aktivacije algoritma (logistička ili hiperbolička). Algoritam se obučava podešavanjem važnosti čvorova tako da se što bolje smanje razlike između **aktivacije izlaznog čvora i izlaza**. Greška se mrežom šalje unazad i vrši se prilagođavanje važnosti i rekurzivnom metodom (KL).

Random Forest, RF klasifikator se oslanja na *decision tree* (stabla odlučivanja) koncept mašinskog učenja. Razlika leži u tome što *random forest* model obuhvata više *decision trees*. Ideja upotrebe višestrukih stabala u odnosu na samo jedno se oslanja na statističku sigurnost višestrukog odabira iste klase. Stabla automatski definišu pravila na svakom čvoru grananja na osnovu obrazaca uočenih u grupi referentnih tačaka. RF nastoji da smanji heterogenost dva rezultujuća podskupa podataka izdvojenih u odnosu na odabrano pravilo. Heterogenost se u ovom slučaju izražava kao Ginijev indeks nečistoće i pravilo koje stvara najmanje heterogene podskupove podataka koristi se za odgovarajući čvor. Svako stablo odluka je nasumično, odnosno ima dva sloja slučajnosti. Prvo, koristi slučajni poduzorak referentnih tačaka u obuci za rast svakog pojedinačnog stabla. Druga komponenta slučajnosti je nasumičan izbor karakteristika koje se razmatraju na svakom čvoru kako bi se utvrdilo najbolje pravilo za podelu podataka i konačno raspoređivanje piksela ili segmenta u odgovarajuću klasu. To znači da različita stabla u *RT*, polazeći od iste polazne tačke mogu da izvedu različite zaključke, odnosno jedan te isti piksel ili segment da svrstaju u različite klase. Konačna odluka o pripadnosti piksela ili segmenta određenoj klasi se izvodi na osnovu većine glasova to znači da se entitet smešta u onu klasu koju je kao odredio najveći broj stabala (RF).

Support vector machine, SVM je binarni linearni klasifikator koji u visoko-dimenzionalnom prostoru razdvaja klase podataka tako što u praznini između klasa konstruiše hiperravan. Vrednosti podataka koje se nalaze najbliže hiperravni nazivaju se potporni vektori (*support vectors*), a oni predstavljaju granične vrednosti referentnih tačaka za obuku algoritma. SVM je u svom najjednostavnijem obliku binarni klasifikator, međutim on može da generiše i više od dve klase kombinovanjem nekoliko SVM klasifikatora (stvarajući binarni klasifikator za svaki mogući par klasa).





Slika. Rezime sistema klasifikacije fotografije

<https://gisgeography.com/image-classification-techniques-remote-sensing/>

Daljinska istraživanja u ekologiji

William Pecora, 1970: „*Since we must take from the Earth to provide for ourselves we must employ value judgment and trade-off concepts in deciding how much to take. If the Earth is to provide the materials for the survival of man’s society, then a prudent society must provide for an intimate understanding of the Earth.*“

William Pecora: „Zadovoljavajući sopstvene potrebe čovečanstvo mora da koristi i menja prirodne resurse planete, ali da bi znali do koje mere je ta upotreba održiva potrebno je što bolje i sveobuhvatnije razumeti Zemlju.“ U eri razvoja nove satelitske tehnologije koja je omogućavala holistički uvid u globalne karakteristike planete javila se ideja o monitoringu resursa pomoću fotografija iz svemira (Markham, 2017). U skladu sa tim jedan od osnovnih ciljeva satelitskih programa u civilnom sektoru postaje nadgledanje i monitoring prirodnih resursa, naročito stanja šuma, vodnih resursa i geoloških karakteristika Zemlje, ali i praćenje razvoja poljoprivrednih površina (Markham, 2017). Serija *Landsat* satelitskih misija je razvijana upravo sa tim ciljem, što prvobitno naziv programa i govori *Earth Resources Technology Satellite* – Satelitska tehnologija zemaljskih resursa. Tako je razvijen koncept daljinske detekcije pomoću fotografija iz vazduha. Od tada daljinska detekcija i prati i podstiče razvoj novih tehnologija, a sve sa ciljem sto efikasnijeg monitoringa i praćenja promena karakteristika na Zemlji. Dinamička priroda i prostorna varijabilnost procesa životne sredine koji se dešavaju na veoma sitnim razmerama zahtevaju fotografije visoke prostorne i vremenske rezolucije (Manfreda, 2018). Razvoj tehnologije satelitske fotografije konstantno napreduje, bez obzira na napredak rezolucija produkata i dalje ne može u potpunosti da odgovori na sve potrebe moderne daljinske detekcije. Komercijalni sateliti nude proizvode prostorne rezolucije i do 0.3m, međutim cena usluge često predstavlja ograničavajući faktor za njihovu upotrebu, naročito ukoliko postoji potreba i za finijom vremenskom rezolucijom. Besplatni satelitski sistem još uvek ne mogu da ponude proizvode koji mogu da pariraju komercijalnim s obzirom da je prostorna rezolucija ovih podataka najčešće niža od 10m. Avioplatforme (avioni) sa posadom mogu da obrežbde visoku prostornu i vremensku rezoluciju proizvoda. Međutim, u praksi njihova rutinska upotreba ima čitav niz ograničenja kao što u operativna kompleksnost, logistička zahtevnost, visoka rizičnost, ali i velika količina sredstava koja potrebna za njihovu upotrebu (Manfreda, 2018). S obzirom da je za upravljanje avionima potrebna kompleksna obuka i iskustvo koju većina istraživača ne poseduje ovaj način prikupljanja aerofotografija opet zavisi od privatnog sektora komercijalnih letova (Manfreda, 2018). Razvoj i dostupnost tehnologije bespilotnih letelica u poslednjih 10 godina otvorio je nove mogućnosti za istraživače. Postale su dostupne platforme koje u mogu da prikupljaju fotografije veoma visoke prostorne i vremenske rezolucije (0.005m), kojima može upravljati operater bez pravog letačkog iskustva ili isprogramirati letelicu da let izvrši sama pomoću autopilot aplikacija. Dok su bužetska sredstva potrebna za upotrebu ove tehnologije neuporedivo mala u odnosu na komercijalne



satelitske i avio platforme. Recimo, RGB fotografija visoke prostorne rezolucije (50 cm/piksel) sa satelita (npr. *GeoEie-1*) može koštati do 3000 USD, dok bespilotna letelica početnog nivoa može biti kupljena za oko 1000 USD (Manfreda, 2018). Matese i saradnici su uradili relativno poređenje troškova prikupljanja i obrade aerofotografija pomoću navedene tri platforme. Istraživanje je pokazalo da bu bespilotne letelice najefikasniji način prikupljanja podataka za područja veličine do 20ha, dok su troškovi izrada NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) indeksa stanja vegetacije za područje od 5ha za 30% jeftiniji ukoliko se rade pomoću tehnologije bespilotnih letelica (Manfreda, 2018). Sa druge strane u slučaju robusnijeg mapiranja velikih područja ili na globalnom nivou satelitska tehnologija odnosi prevagu s obziro da u relativno kratkom vremenskom periodu mogu biti prikupljene fotografije koje pokrivaju čitavo područje planete. Ovakav podvig pomoću avio odnosno tehnologije bespilotnih letelica bi zahtevao ozbiljan logistički podvig koji bi moralo da radi nekoliko ili mnogo istraživačkih ekipa paralelno prema jednakom protokolu. Matese i saradnici su poređenjem troškova na skali od 50ha utvrdili da je tehnologija bespilotnih letelica najmanje efikasna tehnologija. Upotreba aviotehnologije i troškovi obrade prikupljenih fotografija su i na rezoluciji od 5ha i 50ha bili serenje sa srednjom efikasnosti. U tabeli 11 se nalazi komparativni pregled osnovnih prednosti i mana svakog od tri tipa platformi za prikupljanje fotografija u daljinskoj detekciji.

Tabela 11. Komparativni pregled tehničkih karakteristika tri tipa platformi za prikupljanje fotografija iz vazduha (Delavarpour, 2021)

	Sateliti	Avion	Besplotne letelice
Cena	Visoka*	Visoka	Niska
Vremenska zahtevnost	Najniža	Niska	Niska
Napor pri radu	Nizak	Visok	Srednji
Operacionalni rizici	Srednji	Visoki	Niski
Potreba za iskusnim pilotom	Ne	Da	Ne
Prostorna rezolucija	Niska	Umerena	Visoka
Prostorna preciznost	Niska	Visoka	Visoka
Vremenska rezolucija	Ne	Ne	Da
Adaptivnost	Niska	Niska	Visoka
Lakoća manevrisanja	Niska	Umerena	Visoka
Poletanje	Veoma	Kompleksno	Lagano

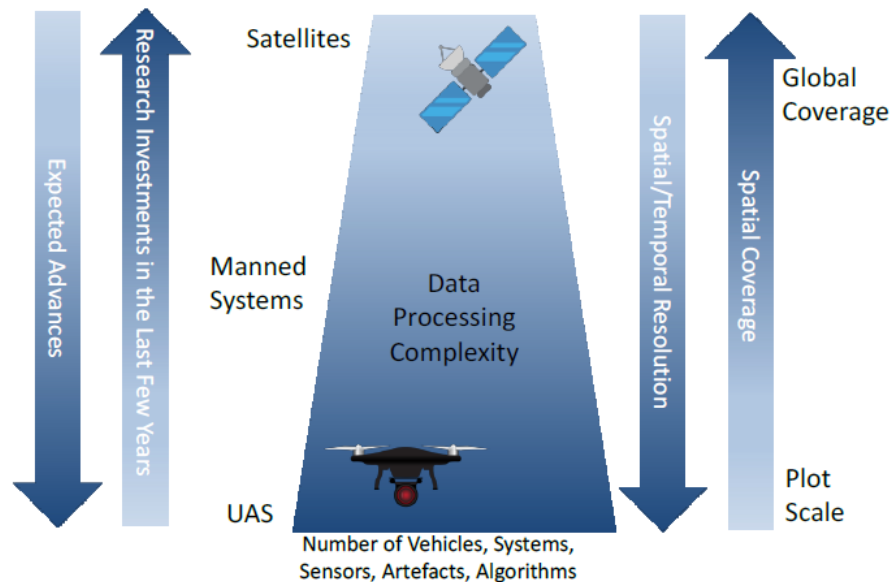
	kompleksno		
Ponovljivost	Na dnevnom nivou	Na nivou sata	Na nivou minuta
Pogodnost za upotrebu na manjim područjima	Ne	Ne	Da
Autonomnost istraživača u radu	Niska	Niska	Visoka
Dostupnost podataka u realnom vremenu	Ne	Da	Da
Ograničenost dostupnosti fotografija samo u određenim vremenskim okvirima	Da	Ne	Ne
Niski letovi	Ne	Ne	Da
Opseg postmatranja	Velika	Srednja	Niska
Nivo primene	Globalno	Regionalno	Lokalno
Kompleksnost sistema	Kompleksan	Kompleksan	Jednostavan

* Cena lansiranja pojedinačnih dronova je visoka. Međutim troškovi korisnika mogu da budu ili praktično nepostojeći ukoliko se koriste fotografije iz besplatnih izvora ili prilično skupe ukoliko se koriste fotografije sa komercijalnih satelita

Pregledom karakteristika prikupljanja fotografija na različite načine možemo zaključimo da zapravo odabir najbolje tehnologije zavisi strogo od namene, odnosno konkretnih ciljeva pojedinačnih istraživanja. Ukoliko se rade robusne analize na globalnom nivou ili regionalnom nivou tada sateliti predstavljaju najoptimalniju tehnologiju, međutim ukoliko se istraživanja vrše na lokalnom nivou na relativno malim površinama, tada tehnologija bespilotnih letelica ima ogromnu prednost. Samim tim su ovo dve opcija za koje se istraživači u najvećem broju slučajeva odučuju.

Aspekt koji do sada nije evaluiran, a koji ograničava i usmerava odabir platforme i načina rada sa produktima istih jeste i hardverska ograničenost računara na kojima će biti vršena dalje procesuiranje fotografija. Naime obrada fotografije je hardverski veoma zahtevan proces, te su u najvećem broju slučajeva potrebne iznadprosečne konfiguracije računara za njihovu uspešnu implementaciju. Ovaj aspekt jednako se odnosi na fotografije sa sve tri vrse letelica, razlika je samo u broju fotografija i skladišnoj i radnoj memoriji koja je potrebna da prihvati i obradi potrebnu količinu podataka. Težina pojedinačnih satelitskih slika je daleko veća od pojedinačnih slika sa bespilotnih letelica, međutim kada bi se uporedila količina memorije potrebna da skladišti satelitske i fotografije bespilotnih letelica koje pokrivaju isto područje, satelitska fotografija predstavlja mnogo optimizovaniju

varijantu. To je još jedan od razloga efikasnosti upotrebe bespilotnih letelica na lokalnom, a satelitske tehnologije na regionalnom ili globalnom nivou.



Slika. Poređenje najvažnijih aspekata satelitskog i monitoringa pomoću bespilotnih letelica (Manfreda, 2018)

<https://www.mdpi.com/2072-4292/10/4/641> .

6. Praktična primena aerofotografija – proces rada

6.1 Daljinska detekcija pomoću satelitskih snimaka

Interpretacija i analiza snimaka dobijenih daljinskom detekcijom uključuje identifikaciju i merenje različitih objekata na satelitskim snimcima radi ekstrakcije informacija o analiziranim objektima. Objekti mogu biti predstavljeni kao tačke, linije ili površine i moraju se jasno razlikovati od svog okruženja.

Veći deo interpretacije i identifikacije skeniranih objekata se vrši manualnom geovizualizacijom odnosno kroz proces koji vrši ekspert koristeći analogni ili digitalni format fotografija. Digitalno procesuiranje i analiza snimljenih prostornih sadržaja se može izvršiti

primenom adekvatnih analiza obrade i klasifikacije fotografije. Obe tehnike interpretacije imaju svoje prednosti, ali i nedostatke. Manualnom interpretacijom može da se vrši analiza samo jednog kanala podataka ili samo jednog snimka u isto vreme, dok GIS softveri koji se koriste u digitalnoj analizi mogu paralelno analizirati velike setove podataka, vremenski mnogo efikasnije. Tačnost determinacije određenih prostornih sadržaja i preciznost rezultata digitalne analize često mogu biti nedovoljno precizne, tako da se u praksi najčešće koristi kombinacija manualne i digitalne tehnike pri analizi snimaka, mada krajnju odluku ipak mora doneti ekspert (Đug, 2015). Tehnike i algoritmi za analizu fotografija konstantno napreduju, procenat uspešne klasifikacije podataka je iz godine u godinu sve viši, tako da ove analize sada predstavljaju vredan alat koji može da pruži nove informacije i poveća rezoluciju podataka prikupljenih tradicionalnim metodama istraživanja.

Satelitske fotografije se mogu slobodno ili uz naknadu preuzeti direktno sa mnoštva dostupnih internet servisa. Proces obrade satelitskih fotografija se može izvesti u nekoliko koraka (Lillesand, 1987) koji podrazumevaju: 1. rektifikaciju i korekcija snimaka, 2. poboljšavanje snimaka, 3. klasifikacija snimka (nadgledana ili nenadgledana) 4. kombinovanje podataka, odnosno integracija sa ostalim dostupnim setovima digitalnih podataka za istraživano područje (Đug, 2015).

6.2 Pruzimanje satelitskih snimaka

Prikupljanje ili ispravnije pribavljanje (akvizicija) satelitskih fotografija u eri modernih tehnologija ne predstavlja veliki logistički problem. Prilikom dizajna istraživanja potrebno je samo definisati zadovoljavajući nivo prostorne i spektralne rezolucije snimaka i utvrditi količinu sredstava koja može biti izdvojena za ovu aktivnost. Na raspolaganju stoji čitav niz besplatnih i komercijalnih web servisa koji nude usluge satelitskog snimanja. Svi web servisi rade na principu *on line* kupovine gde se odabrani proizvod nakon regulisanja troškova u digitalnoj formi isporučuju naručiocu. Javno dostupni servisi zahtevaju samo registraciju korisnika na *on line* platformi kao i kratko obrazloženje o namenama snimaka koje istraživač potražuje. Nakon registracije istraživač pristupa servisu i definiše područje kao i vremenski okvir satelitskih snimaka koji su potrebni. Nakon toga pretraživači nude opcije koje odgovaraju podešenim parametrima, a na istraživaču ostaje da odabere najoptimalnije snimke i da ih se servisa preuzme (Slika 100). Komercijalni sevisi mahom rade na principu upita. Nakon registracije korisnici podešavaju parametre po istom principu kao i na javnim servisima. Razlika leži u tome što odgovor servisa stiže zajedno sa cenovnom ponudom na mail kontakt istraživača. Nakon pretrage na istraživaču ostaje samo da preuzme odabrane satelitske snimke.

Spisak javno dostupnih servisa:

Google Earth:

<https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>



Sentinel Hub:

<https://www.sentinel-hub.com/>

USGS Satellite imagery - Landsat, MODIS, and ASTER data:

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

NOAA:

<https://www.nesdis.noaa.gov/content/imagery-data-0>

Copernicus Open Access Hub - API access to Sentinel data:

<https://scihub.copernicus.eu/>

Earth on AWS - Free satellite data, available for processing:

<https://aws.amazon.com/earth/>

Zoom.Earth - Near real-time satellite data and high resolution archival data:

<https://zoom.earth/>

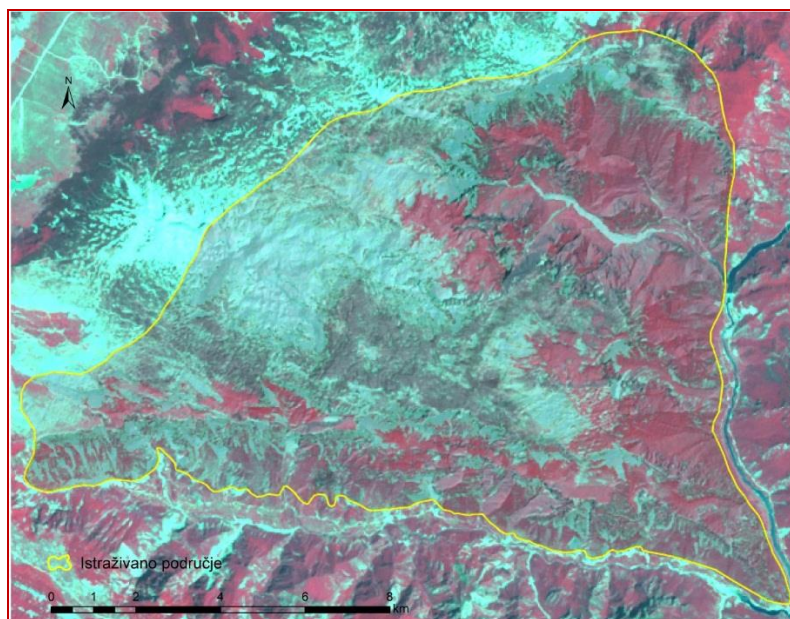
NASA Worldview - Track wildfires, icebergs, and earthquakes from space:

<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

NASA EarthData (GIBS) - API access to NASA satellite data:

<https://earthdata.nasa.gov/eosdis/science-system-description/eosdis-components/gibs>

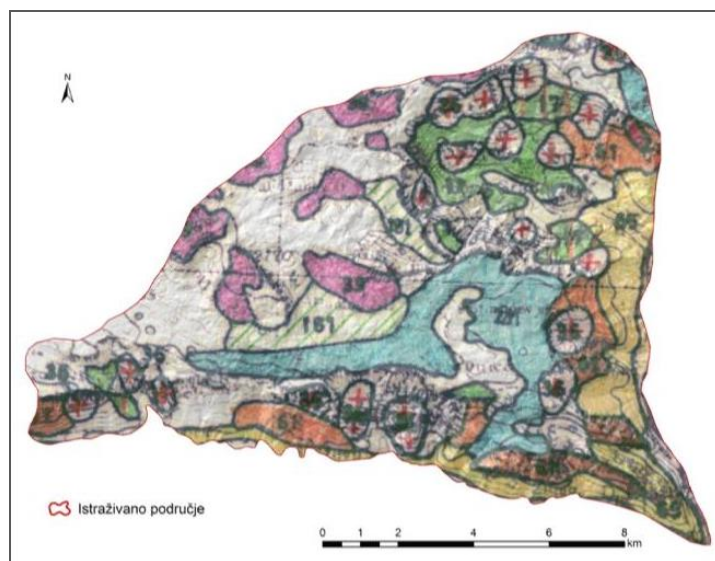
Opis osnovnih karakteristika satelitskih snimaka koji su na navedenim servisima dostupni mogu se pogledati na web adresi: <https://www.skywatch.com/blog/free-sources-of-satellite-data>



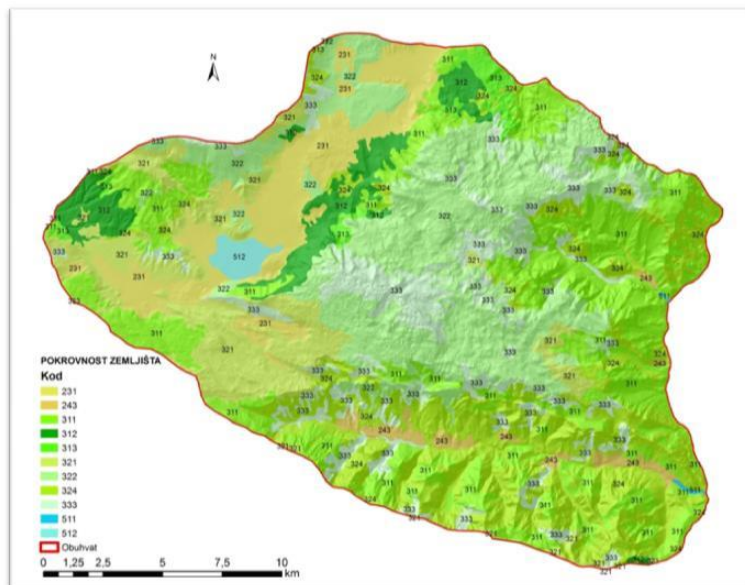
Slika 100. LANDSAT 7 infracrveni snimak istraživanog područja (dobiven kombinacijom srvenig i bliskoinfracrvenog pojasa)

Pripremna faza

Nakon odabira odgovarajućih satelitskih snimaka u skladu sa ciljem istraživanja potrebno je prikupiti informacije o karakteristikama i pojavama od interesa na istraživanom području. Informacije mogu biti prikupljene pretragom literarnih izvora i prethodnih istraživanja na odabradnom području (Slika 101 i 102). Drugi vid prikupljanja informacija predstavlja terensko istraživanje tokom kog će se pomoću GPS ili GNSS uređaja odrediti tačna lokacija referentnih celina za svaku od karakteristika ili pojava od interesa na istraživanom području. Karakterizacija referentnih celina se vrši ekspertskim znanjem istraživača ili se pomoću spektrometara beleže spektralne karakteristike svake klase.



Slika 101. Karta realne šumske vegetacije i pokrovnost zemljišta istraživanog područja (Đug, 2015)



Slika 102. Tipovi pokrovnosti na istraživanom području (Đug, 2015)

Obrada podataka

Pojava greške na snimcima dobijenim daljinskom detekcijom, bilo da je reč o aero ili satelitskim snimcima je redovna pojava s obzirom da se u ovim procesima realna trodimenzionalna površina Zemlje prikazuje kao dvodimenzionalni snimak. Svi snimci dobijeni daljinskom detekcijom u prvom redu imaju određeni stepen geometrijske distorzije. Na veličinu geometrijske distorzije utiču brojni i različiti faktori kao što su perspektiva optike senzora (vertikalne ili fotografije pod uglom), kretanje istema za skeniranje, stabilnost platforme, njena visina i brzina, reljef terena te zakrivljenost i rotacija Zemlje (Đug, 2015).

Korekcija i obrada snimaka se u tom slučaju obično odvija u nekoliko faza. U prvoj fazi je potrebno izvesti korekciju grešaka koje nastaju za vreme sprikupljanja fotografija. Ovde spadaju greške koje nastaju usljed kretanja satelita, zakrivljenosti zemljine površine, rotacije Zemlje, nelinejskog skeniranja, panoramske distorzije i dr. Kako bi se prikupljeni podaci mogli koristiti za ekstrakciju tematskih informacija i karakterizaciju određenih struktura područja potrebno je izvršiti još nekoliko neophodnih pripremnih koraka. Potrebno je u izvršiti geometrijsku i radiometrijsku korekciju kao i različite vrste poboljšanja slike (Đug, 2015).

Geometrijska korekcija uključuje podešavanje položaja i orijentacije snimka prema topografskim sadržajima na georeferenciranim kartama, na osnovu referentnih tačaka na zemljinoj površini (eng. Ground Control Point, GCP) dobijenih pozicioniranjem pomoću GPS / GNSS uređaja, ili međusobnom korekcijom snimaka, pri čemu jedan snimak predstavlja referentni snimak, a drugi je snimak onaj koji je potrebno georeferencirati. Postoji nekoliko osnovnih načina geometrijske korekcije: (1) Prostorna interpolacija (2) RST (rotacija,

skaliranje, transformacija), polinomialna, triangulacija (3) RMS – *root mean square error* (4) Intenzitet (vrijednost piksela) interpolacije (5) Metod najbližeg susjeda koji može biti bilinearni i kubični.

Radiometrijska korekcija uključuje otklanjanje grešaka nastalih na detektoru ili senzoru (interne greške), atmosferskih grešaka i topografskih greškaka (eksterne greške). Postoji nekoliko načina da se izvrši atmosferska korekcija podataka. Neke od njih su jednostavne dok su druge složene i zasnovane na fizičkim principima i zahtjevaju značajnu količinu informacija da bi pravilno funkcionisale. Dva ključna tipa atmosferske korekcije su apsolutna atmosferska korekcija i relativna atmosferska korekcija. Prilikom putovanja kroz vakum svemira ne dolazi do znatnijih promjena u solarnoj radijaciji. Međutim, prilikom prolaska kroz Zemljinu atmosferu solarna radijacija biva selektivno apsorbirana ili reflektovana, ova pojava se naziva atmosferska redukcija. Generalni cilj apsolutne radiometrijske korekcije je prevođenje digitalnih bojeva piksela koje beleži fotosenzor u skaliranu vrednost površinske refleksije (Đug, 2015). Ove vrednosti se zatim mogu porediti ili koristiti paralelno sa skaliranim vrednostima površinske refleksije koje su dobijene bilo gde na planeti. Relativna atmosferska korekcija se koristi kada nema dostupnih podataka za apsolutnu atmosfersku korekciju. Ova metoda se može koristiti za normalizaciju pojedinačnog snimka upotrebom podešavanja histograma. Metoda se zasniva na činjenici da efekti atmosferske radijacije nemaju uticaja na IC podatke ($> 0,7$ mm), ali da imaju vrlo snažan efekat na vidljivi region (0,4-0,7 mm). Za korekciju atmosferske radijacije na snimku koristi se tzv. oduzimanje tamnog. Digitalni broj koji se koristi za oduzimanje od svakog kanala (eng. *band-a*) može biti ili minimum ili prosječna vrijednost datog kanala zasnovana na definisanom regionu od interesa, ili neka specifična vrednost koji podesi istraživač.

Pojava atmosferske redukcije otežava povezivanje podataka o spektralnim karakteristikama objekta na području koje se mapira dobijenih *in situ* merenjem pomoću spektrometara sa podacima zabeleženih daljinskom detekcijom. Ovaj problem može znatno da utiče na preciznost klasifikacije fotografije. Do istog problema dolazi kada atmosferska redukcija znatno varira unutar jednog snimka.

S obzirom da nagib i ekspozicija terena takođe uzrokuju radiometrijsku distorziju (npr. pojava senke) neophodno je izvršiti i topografsku korekciju. Ova korekcija ima za cilj da ukloni topografski uzrokovane varijacije u osvetljenju tako da dva objekta koja imaju jednaka svojstva refleksije imaju i jednaku vrednost osvetljenosti (ili DB) na istom snimku bez obzira na razlilitu orijentaciju prema položaju Sunca. Ova metoda se zasniva na DEM-u i položaju Sunca nad horizontom.

U narednoj fazi vrši se poboljšavanje snimaka radi lakše vizualne interpretacije i razumevanja sadržaja na njima. Prednost digitalnog snimka je u tome što je moguće manipulisanje vrednostima digitalnog piksela na snimku. Vrlo često su satelitski snimci pre distribucije



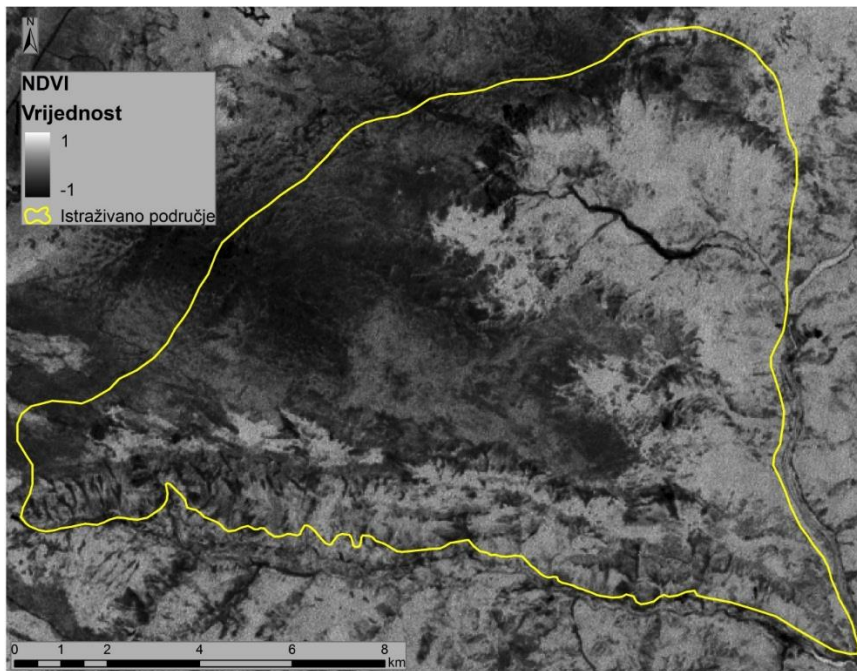
krajnjim korisnicima već radiometrijski korigovani, međutim dešava se da snimak još uvijek nije optimizovan za manuelnu vizuelnu interpretaciju. Zbog značajnog variranja spektralnih odgovora različitih površina (šuma, pustinja, voda, stijena, itd.) neophodno je od istraživanja do istraživanja za svaki snimak izvršiti prilagođavanje rangaova i distribucije vrijednosti za osvetljenje. Poboljšavanje kontrasta uključuje promenu originalnih vrednosti i povećanje kontrasta između ciljanih objekata i njihove pozadine (Đug, 2015). Ova faza nema uticaj na kvalitet numeričke obrade podataka, tako da u slučaju digitalne interpretacije ne mora biti sprovedena.

Analiza satelitskih snimaka

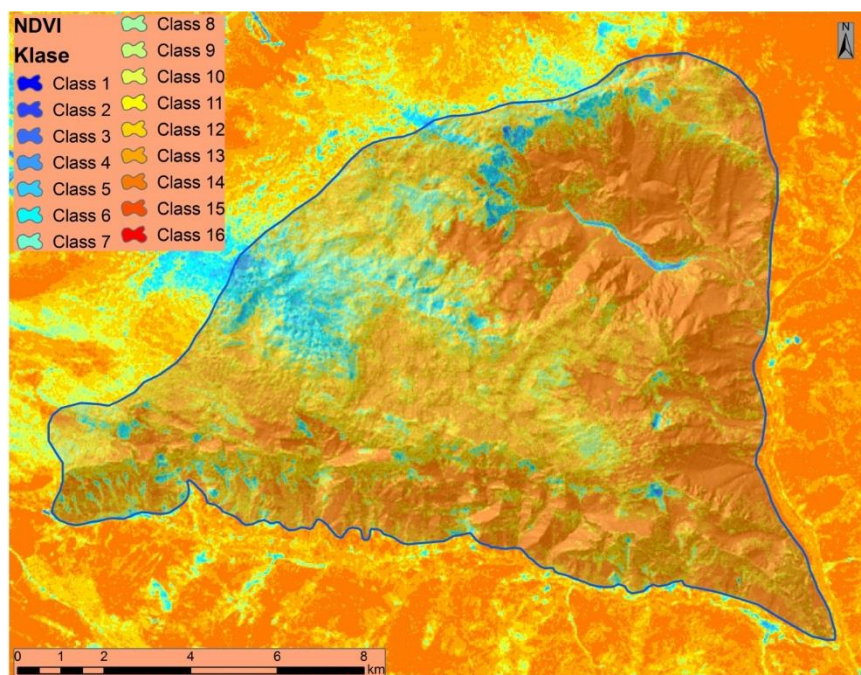
Analiza satelitskih snimaka vrši se procesom klasifikacije piksela na osnovu numeričkih vrednosti u svakom od kanala (*eng. band*). Pikseli se grupišu u klase objekata (kategorije) od interesa na datom području. Prvi korak predstavlja vizuelna interpretacija satelitskog snimka. Ovaj korak uslovljen je serijom operacija vezanih za korekciju slike i njeno poboljšanje nakon čega se može izvršiti klasifikacija piksela. Klasifikacije satelitskih snimaka se može vršiti nadgledanim ili nenadgledanim metodama klasifikacije, a princip klasifikacije može biti baziran na klasifikaciji pojedinačnih piksela ili na izdvajanju segmenata i naknadnoj objektnoj klasifikaciji. U domenu klasifikacije satelitskih snimaka dominantno se koriste piksel-po-piksel metode, s obzirom da je rezolucija podataka niska i da jedan piksel u slučaju javno dostupnih satelitskih snimaka pokriva područje od 10m-1km. Međutim, s obzirom da na tržištu postoji priličan broj komercijalnih satelitskih sistema sa višom rezolucijom snimaka već od 03,m u ovom domenu klasifikacije satelitskih snimaka se može upotrebiti i objektna klasifikacija.

Prilikom klasifikacije satelitskih snimaka vrlo često se kao preliminarne analize koriste nenadgledane metode automatske klasifikacije (Slika 103 i 104). Ovaj pristup omogućava podešavanje parametara koje računar koristi kao granične vrednosti prilikom statističke obrade vrednosti piksela. Rezultati ovih analiza ne moraju uvek direktno pratiti i izdvajati karakteristike onako kako ih istraživač manuelno interpretira, već izdvojene klase predstavljaju grupe piksela sa sličnim spektralnim karakteristikama. U nekim slučajevima ovaj korak je od presudnog značaja jer istraživaču daje uvid u to kako određeni algoritam "vidi" dato područje (Tabela 100). Drugim rečima nekada je značajnije je identifikovati grupe piksela sa sličnim spektralnim karakteristikama nego u prvom koraku direktno sortirati piksele u krajnje kategorije. Ova metoda se često koristi kao pred-analiza kada ne postoji dovoljna količina iskustva ili znanja o karakteristikama područja koje se obrađuje. Rezultati nenadgledanih metoda vrlo često istraživačima služe kao smernice u konstrukciji referentnog (obučavajućeg) skupa podataka za finalne nadgledane analize.





Slika 103. NDVI inkdeks izračunat na osnovu satelitskog snimka za istraživano područje (Đug, 2015)



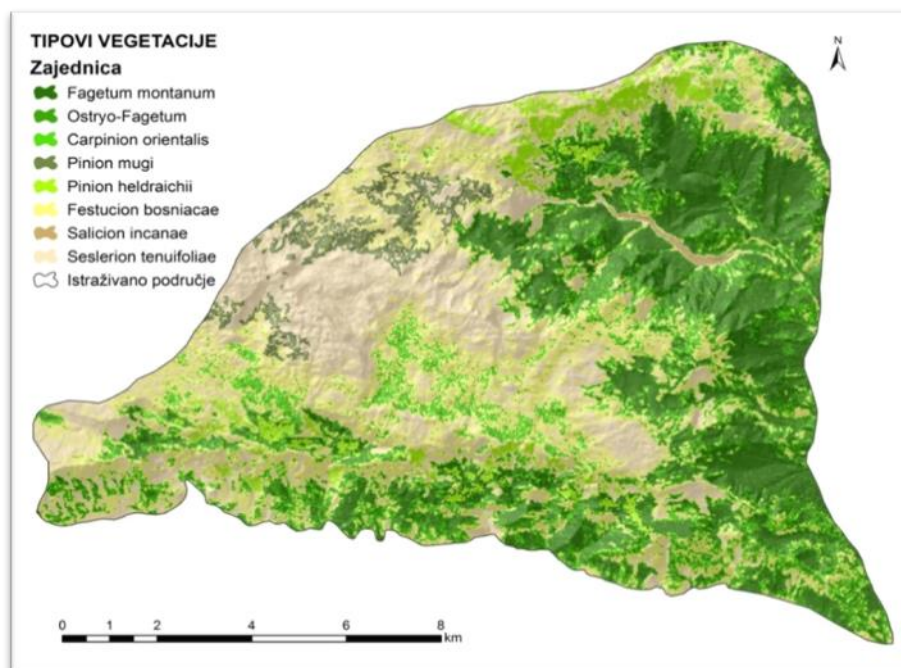
Slika 104. Prostorni raspored različitih klasa pokrovnosti izdvojenih metodom nenadgledane klasifikacije (Đug, 2015)

Tabela 100. Rezultati nenadgledane klasifikacije tipova pokrovnosti zemljišta (Đug, 2015)

Klasa	Srednja vrijednost	Opis
Class 1	-0,29	Kombinovane površine - golo i livadsko tlo
Class 2	0,24	Golo tlo
Class 3	0,37	Livade
Class 4	0,43	Zona sa vrlo oskudnom vegetacijom
Class 5	0,46	Zona sa vrlo oskudnom vegetacijom
Class 6	0,48	Vegetacija pukotina stena
Class 7	0,51	Vegetacija pukotina stena
Class 8	0,53	Vegetacija pukotina stena
Class 9	0,56	Zajednice sa žbunjem i šikarama (zajednice bora, jele i bukve, crnog i belog graba)
Class 10	0,58	Zajednice sa žbunjem i šikarama (zajednice bora jele i bukve, crnog i belog graba)
Class 11	0,61	Zajednice sa žbunjem i šikarama (zajednice bora jele i bukve, crnog i belog graba)
Class 12	0,63	Mešovite šume (zajednice graba, bukve, bora i jele sa lišćarsko-listopadnim šumama)
Class 13	0,66	Mešovite šume (zajednice graba, bukve, bora i jele sa lišćarsko-listopadnim šumama)
Class 14	0,68	Mešovite šume (zajednice graba, bukve, bora i jele sa lišćarsko-listopadnim šumama)
Class 15	0,71	Zajednice bukve
Class 16	0,71	Zajednice bukve

Metode nadgledane klasifikacije u kom istraživač poseduje informacije o prostornom rasporedu klasa ili kategorija objekata koje analizom želi da izdvoji i karakteriše se mnogo češće koriste. U ovom procesu, istraživač na osnovu pripreme faze pregleda literature, terenskih istraživanja i pred-analiza odabira piksele koji predstavljaju referentne vrednosti objekata ili formacija na predelu koji istražuje. U ovom slučaju poznavanje podataka i željenih klasa, je neophodno za uspešan proces klasifikacije. Putem identifikacije referentnih vrednosti algoritam dobija instrukcije o karakteristikama piksela koji pripadaju određenim klasama objekata na istraživanom području. Na osnovu prirode podataka vrši se izbor odgovarajućeg algoritma klasifikacije, koji klasifikuje svaki piksel pojedinačno i smešta ga u

odgovarajuću grupu. Nakon uspješne klasifikacija izdvojene klase predstavljaju definisane kategorije objekata prisutnih na datom području (Slika 105) (Tabela 101).



Slika 105. Prostorni raspored klasa pokrovnosti istraživanog područja definisanih nakon terenske verifikacije i objedinjavanja klasa sa identičnim sadržajem (Đug, 2015)

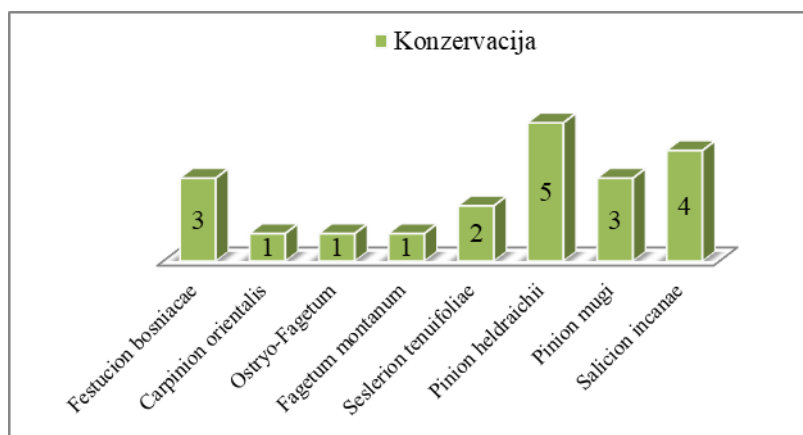
Tabela 101. Definisane klase pokrovnosti istraživanog područja (Đug, 2015)

Klasa	Srednja vrijednost	Opis
Class 1	-0,29 – 0,0	Kombnovane površine - golo i livadsko tlo
Class 2	0,0 - 0,24	Golo tlo
Class 3	0,241 - 0,37	Livade
Class 4	0,43 – 0,48	Zona sa vrlo oskudnom vegetacijom
Class 5	0,51 – 0,56	Vegetacija pukotina stena
Class 6	0,58 – 0,61	Zajednice sa žbunjem i šikarama (zajednice bora, jele i bukve, crniogi belog graba)
Class 7	0,63 – 0,71	Mešovite šume (zajednice graba, bukve, bora i jele sa lišćarsko-listopadnim šumama)
Class 8	0,711 – 0,86	Zajednice bukve

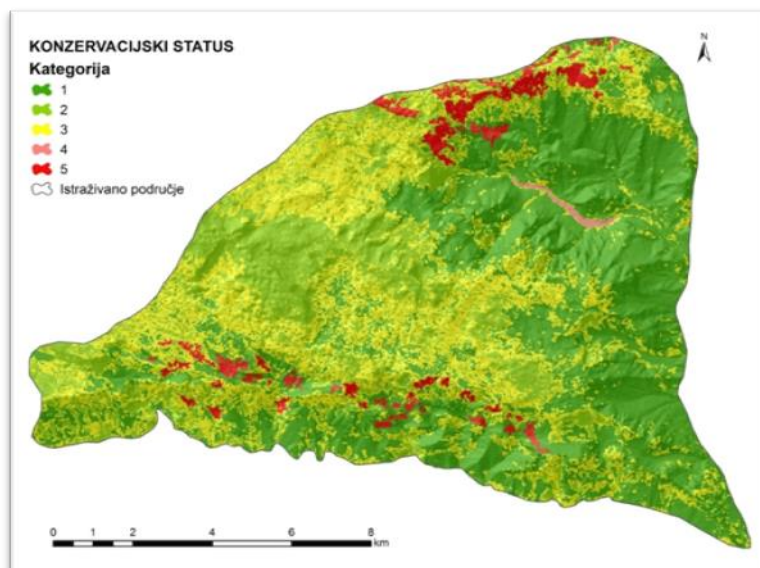
Na osnovu finalne klasifikacije vrši se interpretacija rezultata, određuje kontekst i karakteristike izdvojenih klasa. Pomoću prostornih analiza mogu se definisati procentualni udeli i distribucija različitih klasa objekata (Tabela 102, Slika 106, 107).

Tabela 102. Karakterizacija i procentualni udeo različitih klasa pokrovnosti na istraživanom području (Đug, 2015)

Zajednica	P (ha)	P (%)
<i>Pinion heldraichii</i>	490,77	4
<i>Salicion incanae</i>	36,35	0
<i>Festucion bosniacae</i>	3776,84	27
<i>Pinion mugii</i>	382,80	3
<i>Seslerion tenuifoliae</i>	3004,65	21
<i>Carpinion orientalis</i>	1568,34	11
<i>Ostryo-Fagetum</i>	1963,89	14
<i>Fagetum montanum</i>	2789,32	20
Ukupno:	14.012,96	100

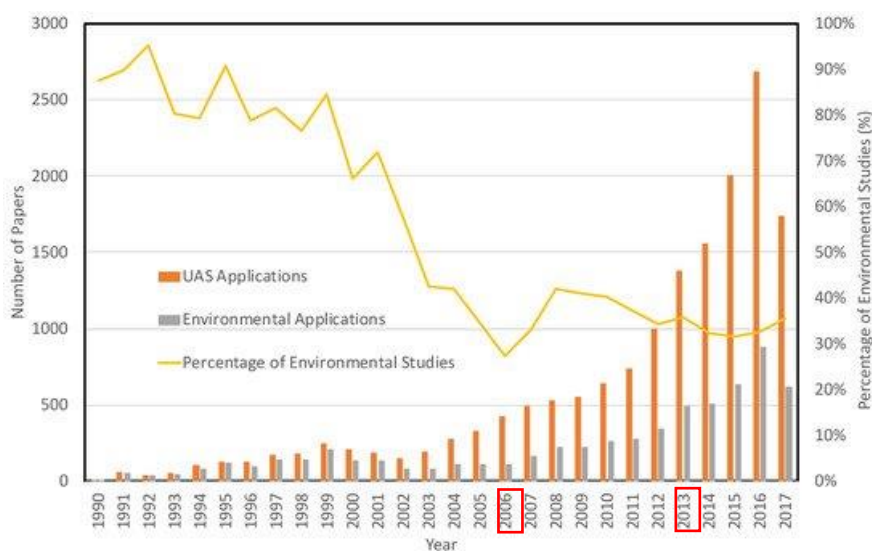


Slika 106. Stepen konzervacije utvrđenih klasa pokrovnosti na području istraživanja (Đug, 2015)



Slika 107. Konzervacioni status zajednica istraživnog područja (Đug, 2015)

Slobodna upotreba bespilotnih letelica u civilnom sektoru dozvoljena tek od 2006. godine, a ekspanzija i napredak u tehnologiji se desio tek nekoliko godina nakon toga te bi se moglo reći da je ovo jedna relativno nova tehnologija za civilni sektor, pa i za širu naučnu zajednicu. Ukoliko na vremenskoj osi posmatramo intenzitet i broj naučnih istraživanja koja uključuju upotrebu bespilotnih letelica, može se uočiti povećanje krive koje se poklapa sa vremenskim okvirima otvaranja i razvoja tehnologije bespilotnih letelica (Slika 71).



Slika 71. Broj naučnih članaka koji uključuju upotrebu bespilotnih letelica prema Internation Scientific Indexing) web bazi podataka objavljenih od 1990 do 2017 (Manfreda, 2019)

<https://www.mdpi.com/2072-4292/10/4/641>

Istraživanje dronovima

Dizajn studije

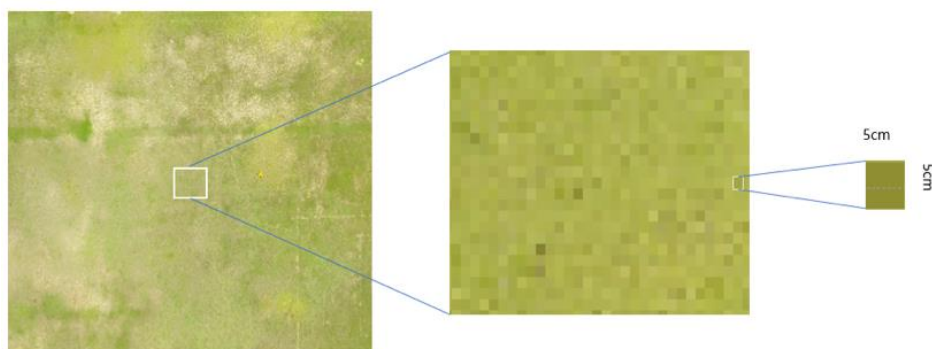
Pre samog izlaska na teren i prikupljanja podataka potrebno je definisati cilj istraživanja i odabrati parametre na osnovu kojih ćemo u odgovoriti na pitanja i hipotezu postavljene ciljem istraživanja. Kada se definiše cilj istraživanja i odaberu parametri potrebno je konstruisati plan istraživanja i odabrati metode, uređaje i platforme pomoću kojih će se potrebni podaci meriti i beležiti. Prilikom izrade plana istraživanja potrebno je istražiti nacionalnu legislativu zemlje ili zemalja u kojima se istraživanje planira, kako bi se upoznali sa dozvoljenim letačkim operacijama.

U slučaju internacionalnih istraživanja potrebno se upoznati sa legislativama svih zemalja, s obzirom da su pravila veoma varijabilna od države do države.

Kada se utvrde mogućnosti leta vrši se odabir letelice i senzora koji će beležiti podatke na terenu. Odabir letelice se dominantno vrši spram veličine i fizičkih karakteristika istraživanog područja. Neophodno je dobro ispitati tehničke karakteristike letelice i oceniti da li one mogu da ispune predviđene zadatke na terenu u smislu visine leta, maksimalne dužine trajanja leta, udaljenosti koju letelica može da postigne, autonomije leta, mogućnosti nesmetanog poletanja i sletanja, kao i manevrisanja tokom leta u ograničenom prostoru. Proces se najčešće svodi na izbor između koptera i dronova sa fiksnim kriilma. Nakon odabira letelice bira se senzor odnosno tip kamere kojom će fotografije biti prikupljane. Tip senzora se bira u odnosu na spektralnu i prostornu rezoluciju, kao i prostornu preciznost podataka koji su potrebni za postizanje cilja istraživanja. U praksi ovo se u najvećem broju slučajeva svodi na izbor između RGB i multispektralne kamere i odabira odgovarajućeg geopozicionog sistema kamera i letelica. Vrlo često se ova dva procesa međusobno prepliću, obzirom da većina proizvođača u ponudi već ima gotove kombinacije letelice i senzora koje su konstruisane za različite namene.

Nakon odabira letelice i tipa senzora sledi tačno utvrđivanje karakteristika leta i konkretno planiranje letačke misije kako bi se prikupile fotografije odgovarajućeg kvaliteta. Jedan od osnovnih parametara kvaliteta fotografije je prostorna rezolucija, u dalinskoj detekciji se ona često definiše kao *Ground Sampling Distance (GSD)*, a najjednostavnije rečeno predstavlja površinu područja na Zemlji koja je obuhvaćena jednim pikselom na fotografiji (Slika 78). Zadovoljavajuća prostorna rezolucija se definiše planom istraživanja u odnosu na to koja je veličina najmanjeg objekta koji sa fotografija želimo da izdvojimo. U zavisnosti od rezolucije i fokalne dužine objektiva kamere bira se odgovarajuća visina leta.





Slika 78. Postorna rezolucija fotografije - *Ground Sampling Distance (GSD)*

<https://enterprise-insights.dji.com/blog/ground-sample-distance>

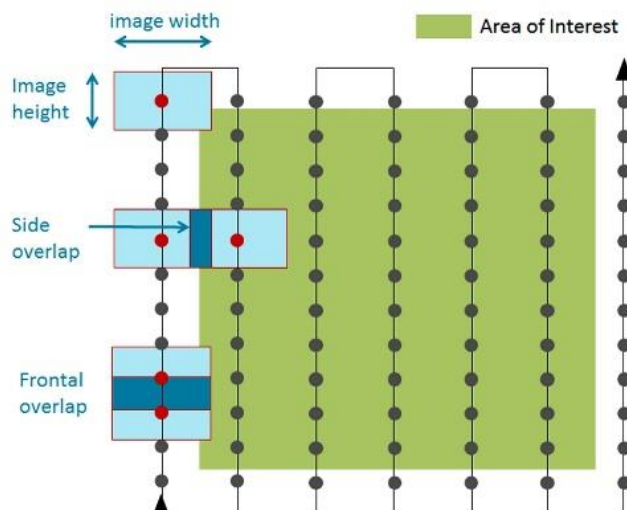
Kako izračunati GSD?

$GSD_v = (\text{visina leta} * \text{visina senzora}) / (\text{fokalna dužina} * \text{visina fotografija})$

$GSD_{\text{š}} = (\text{visina leta} * \text{širina senzora}) / (\text{fokalna dužina} * \text{širina fotografija})$

GSD se može izračunati i pomoću *online* kalkulatora: <https://www.propelleraero.com/gsd-calculator/>

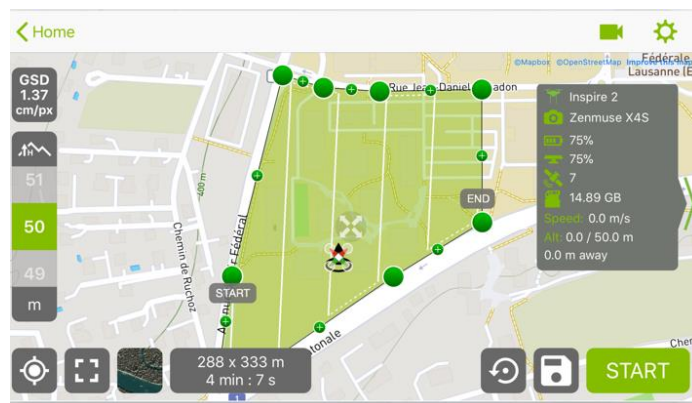
Pored visine bitno je obratiti pažnju i na brzinu leta kako bi se na fotografijama maksimalno smanjila zamućenja usled kretanja. Većina letelica automatski gasi motore ili se potpuno zaustavlja u trenutku fotografisanja kako bi se izbegla zamućenja usled kretanja, ali svakako treba obratiti pažnju na ovaj problem. Pored svih preduzetih mera na terenu svakako može doći do prirodnog strujanja vazduha koje će pomerati letelicu, tako da se ova pojava ne može u potpunosti iskontrolisati. Osim karakteristika leta na kvalitet fotografije utiče format u kom će biti sačuvane. Najučestaliji format fotografija je JPEG, međutim iskustvo je pokazalo i sada najveća grupa istraživača preporučuje RAW format. Poslednja stavka u planiranju misije jeste podešavanje međusobnog položaja fotografija. Naime, da bi od prikupljenih fotografija bilo moguće konstruisati fotogrametrijske proizvode - ortomape, 3D modele, digitalne modele reljefa (*Digital Elevation Model, DEM*) i digitalne modele predela (*Digital Surface Model, DSM*), potrebno je da se dve susedne fotografije preklapaju u određenom procentu (Slika 74). Zlatni standard predstavlja frontalno preklapanje fotografija od 80% i bočno preklapanje fotografija od 70-80%, a nikada manje od 55%. Ovo je takođe jedan od parametara koji je potrebno uključiti u planiranje leta.



Slika 74. Šematski prikaz bočnog i frontalnog preklapanja fotografija tokom snimanja dronom

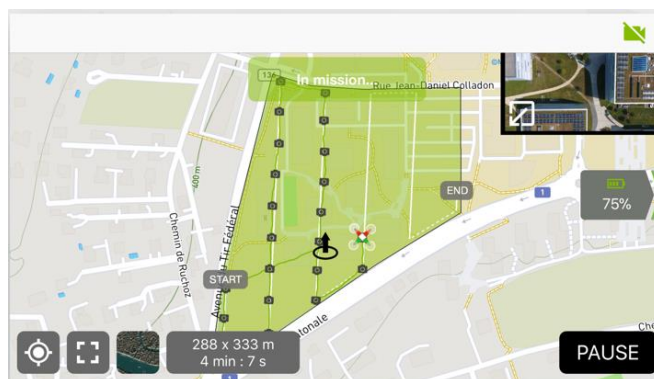
<https://www.mining.com/web/how-a-sensor-gimbal-improves-efficiency-of-an-aerial-mapping-mission/>

Kada su svi parametri leta definisani pre izlaska na teren potrebno odrediti tačku poletanja i sletanja letelice, kao i putanju kojom će se kretati letelica tokom prikupljanja fotografija. Ova faza može biti izvedena manuelno računajući svaki od potrebnih parametara, a može biti urađena automatski upotrebom softvera za planiranje letaćkih misija ili autopilot aplikacija. Većina velikih proizvođača dronova koji imaju profesionalnu ili profesionalno-rekreativnu namenu svojim korisnicima nude besplatna softverska rešenja namenjena modelima koje proizvode. Pored softvera koje distribuiraju proizvođači dronova postoji niz nezavisnih (*third-party*) aplikacija i softvera. Neke od aplikacija su besplatne *Pix4Dcapture*, *DJI GS Pro*, *Precision flight free*, *DroneDeploy*, *Mission Planner*, *APM Planner 2/Mission Planner*, dok su neki komercijalni *Litchi UgCS*, *eMotion 3*, *UAV Toolbox*, *DroneLink*. S obzirom da broj softvera i aplikacija konstantno raste najbolja praksa nakon kupovine drona jeste ispitivanje tržišta i izbor opcije koja u tom trenutku nudi najbolja rešenja. Prilikom izbora nezavisnog softvera potrebno je pažljivo pročitati uslove garancije proizvođača drona koji je kupljen, s obzirom da neki od proizvođača ukidaju pravo na garanciju ukoliko se kvar dogodi dok dron leti pomoću aplikacije ili softvera koji nije odobren od strane proizvođača. Softveri za planiranje misija i autopilot softveri funkcionišu tako što od korisnika u prvom koraku zahtevaju da se oiviči površina koja treba da bude snimljena, a onda se u nastavku da unese otale parametre leta i željene karakteristike proizvoda. Na kraju, na osnovu unetih parametara softver nudi najpotimalniju varijantu leta koju korisnik može da menja pre poletanja da (Slike 72-73). Ovi softveri prate dron tokom leta i pružaju informacije o statusu misije u realnom vremenu.



Slika 72. Pix4Dcapture softver – priprema misije

<https://appagg.com/ios/utilities/pix4dcapture-12867937.html?hl=en>



Slika 73. Pix4Dcapture softver – monitoring misije

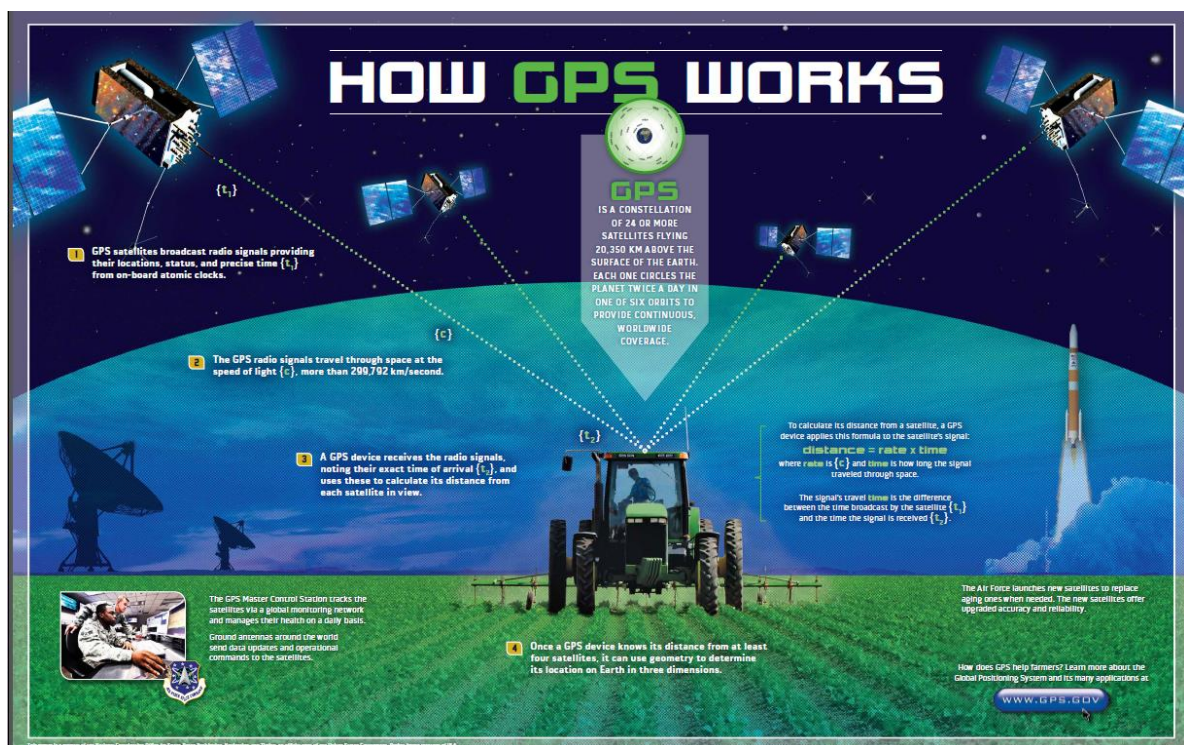
<https://appagg.com/ios/utilities/pix4dcapture-12867937.html?hl=en>

Terenski rad pre letačke misije

Rekognizacija terena je pripremna faza istraživanja koja vrlo često određuje efikasnost i uspeh čitave ekspedicije, ali se veoma često u istraživanjima zanemaruje. U procesu daljinske detekcije pomoću bespilotnih letelice ova faza je od izuzetne važnosti i morala bi biti urađena svaki put. U ovoj fazi se izlaskom na teren utvrđuju lokaliteti pogodni za prilazak istraživanom području, utvrđuju se odgovarajuća mesta za poletanje i sletanje drona i pozicije sa koje je moguće pratiti letačku misiju. Tom prilikom se vrši izviđanje i za potrebe klasičnog terenskog istraživanja, ukoliko je no predviđeno planom istraživanja.

Pre same letačke misije potrebno je odabrati način georeferenciranja. Georeferenciranje podataka predstavlja jedan od stubova moderne daljinske detekcije. Svi podaci koji se u

procesu daljinske detekcije koriste bi trebali da budu što preciznije geopozicionirani. Proces georeferenciranja podrazumeva vezivanje koordinata za informacije prikupljene na terenu. Podaci koji se prikupljaju klasičnim terenskim metodama se georeferenciraju pomoću GPS ili GNSS uređaja direktno na lokalitetu na kom su zabeleženi ili izmereni. Princip rada obe grupe uređaja je isti, a osnovna razlika između njih je u tome što GPS uređaji vrše pozicioniranje samo u odnosu na GPS (SAD) satelitski pozicioni sistem, dok GNSS uređaji mogu da vrše pozicioniranje u odnosu na više različitih pozicionih sistema kao što su GLONASS (Rusija), GALILEO (EU), BEIDOU (Kina) i samim ti obezbeđuju veći preciznost izmerenih koordinata. GPS uređaji mogu da očitaju koordinatu u roku od nekoliko sekundi, dok je GNSS sistemima za precizno pozicioniranje (greška merena u mm ili cm) potrebno i do 15min. Prilikom odabira uređaja za pozicioniranje treba dobro odmeriti nivo potrebne prostorne preciznosti i utrošenog vremena koji je najoptimalniji za vrstu istraživanja koja se realizuje.



Slika 79. Kako rade GPD uređaji?

<https://www.gps.gov/multimedia/poster/>

Fotografije koji se prikupljaju pomoću bespilotnih letelica mogu biti georeferencirane direktno ili indirektno. Bespilotne letelice imaju integrisane GPS prijemnike pomoću kojih se orjentisu u prostoru i vrše navigaciju. Pomoću ovih prijemnika oni beleže koordinate svake pozicije na kojoj je snimljena fotografija. Koordinate se integrišu sa fotografijama, a izmerena vrednost predstavljaju centralnu tačku fotografije. Ovaj proces se naziva geotagovanje. Neke od letelica imaju integrisane i GNSS prijemnike, koji mogu da vrše preciznije pozicioniranje.

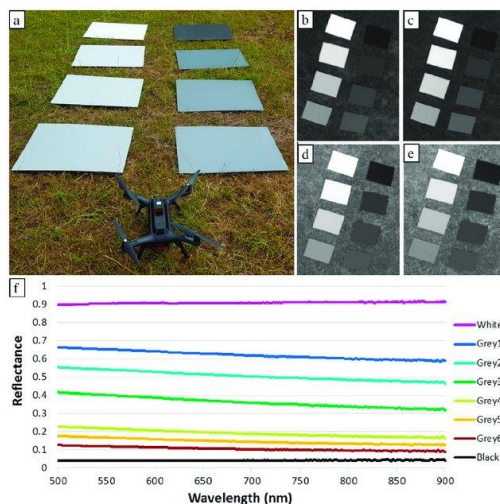
Međutim, pošto se letelice brzo kreću za pozicioniranje pomoću GNSS sistema potrebno na područje istraživanja postaviti referentne bazne GNSS zemaljske stanice. Ove stanice komuniciraju sa prijemnikom na letelici i omogućavaju mu precizno pozicioniranje. Postavljanje referentnih stanica predstavlja veliki logistički problem u većini ekoloških studija, a finalni rezultat georeferenciranja vrlo često ne opravda uloženi trud. Metoda koja se pokazala kao najefikasnija za precizno georeferenciranje fotogrametrijskih produkata je tradicionalna metoda triangulacije. Ova metoda zahteva precizno merenje pozicije nekoliko kontrolnih tačaka (eng. *Ground Control Points, GCP*) na području koje će biti snimano (Slika 80). Sa matematičke strane potrebno je minimum 3 ovakve kontrolne tačke na zemlji da bi fotografija mogla biti naknadno georeferencirana. Što je područje veće, potreban je i veći broj ravnomerno raspoređenih tačaka. Iskustvo je pokazalo da je optimum za planarno georeferenciranje pet, a za vertikalno deset tačaka po hektaru (Tmušić, 2020).



Slika 80. Postavljanje referentnih tačaka i njihovo georeferenciranje pomoću GNSS uređaja

Usled povećanja kvaliteta GPS prijemnika i algoritama obrade fotografija veoma dobri rezultati georeferenciranja fotogrametrijskih produkata se dobijaju i samo na osnovu standardnih geotagova koju svaka fotografija nosi, tako da pre početka istraživanja treba analizirati da li uloženi trud ima opravdanje u smislu potrebne prostorne preciznosti.

U pripreмноj fazi istraživanja vrši se i postavljanje panela za radiometrijsku korekciju fotografije zarad osiguranja spektralne preciznosti proizvoda. Najčešće se na nekoliko lokaliteta na području postavljaju crni, sivi i beli kontrolni paneli spram kojih će se vršiti radiometrijska korekcija fotografije, odnosno korekcija spektralnih karakteristika piksela. Radiometrijska korekcija fotografija može da se vrši i pomoću podataka dobijenih merenjem spektralnih karakteristika objekata na zemlji pomoću ručnog spektrometra.



Slika 75. Osam radiometrijskih kalibracionih meta i 3DR Solo kuadcopter; (b) zelenu traku; (c) crvena traka; (d) traka sa crvenom ivicom; (e) NIR opseg; i (f) odgovarajuće signale refleksije između 500 i 900 nm od osam meta, u boji u rasponu od bele do crne sa šest nivoa sive skale. (Johansen, 2018)

https://www.researchgate.net/publication/325511437_Using_Multi-Spectral_UAV_Imagery_to_Extract_Tree_Crop_Structural_Properties_and_Assess_Pruning_Effects/figures?lo=1

Poslednja pripremna operacija pred samo prikupljanje fotografija predstavlja klasično terensko prikupljanje podataka. Ovi podaci će u procesu analize fotografija biti iskorišteni kao referentni podaci za obuku i validaciju algoritama. Referentne pozicije procesa ili objekata koji treba da budu izdvojeni na mapi moraju biti tačno georeferencirane kako bi podaci mogli biti integrirani sa fotogrametrijskim produktima (Slike 81 i 82). U zavisnosti od veličine područja prikuplja se i različita količina referentnih tačaka. Broj referentnih tačaka po jedinici površine još uvek nije standardizovana vrednost, ne postoji pravilo već istraživači na procesom pokušaja i greške testiraju različite vrednosti. Ono što predstavlja primere najbolje prakse u ovom domenu su sledeće stvari: broj referentnih tačaka treba da bude ujednačen za svaku klasu objekata koja će na mapi biti izdvojena, broj tačaka ne treba da bude ni prevelik ni premali - brojevi od 30-70 tačaka po klasi su ono što se najčešće sreće u literaturi, tačke treba da budu ravnomerno raspoređene po istraživanom području, ne treba ih grupisati i postavljati preblizu (može se definisati pravilo najmanjeg rastojanja), referentne tačke treba postavljati na reprezentativne objekte date klase tj na deo u kom ne dolazi do mešanja dve ili više klasa objekata.

Faza terenskog prikupljanja podataka može eventualno biti sprovedena i neposredno nakon snimanja i preliminarnog pregleda fotografija. Iskusni istraživači na osnovu ekspertskog znanja mogu prepoznati i direktno na fotografijama odrediti referentne tačke za svaku klasu,

a onda samo za one objekte koji su ostali nejasni ili nepoznati ciljano otići na lokalitet, utvrditi pripadnost i referencirati.

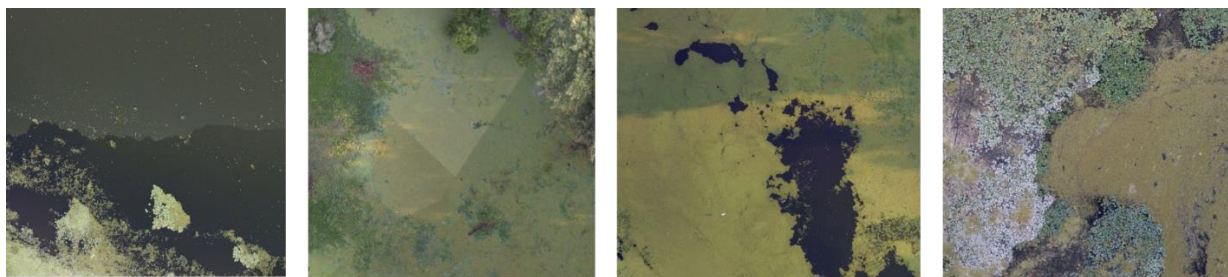


Slike 81 i 82. Klasično terensko prikupljanje i georeferenciranje podataka

Prikupljanje podataka pomoću bespilotne letelice

Terensko prikupljanje podataka pomoću bespilotnih letelica je visoko uslovljeno vremenskim prilikama na terenu. Loši vremenski uslovi podrazumevaju padavine, visoku oblačnost, mestimičnu oblačnost, vetar, visoku vlažnost vazduha, ali i visoke i niske temperature. Padavine, visoke i niske temperature direktno onemogućavaju siguran let bespilotnih letelica usled tehničkih ograničenja. Tek u poslednjih par godina neki delovi bespilotnih letelica imaju sertifikat vodonepropusnosti. Pored tehničkih ograničenja letelice snimanje u toku padavina nije preporučljivo obzirom da dolazi do konstantnih promena izgleda predela koji se snima. Preporučene temperature rada većine letelice se kreću 0-40°C i van ovih okvira ne bi trebalo vršiti snimanje. Čak i unutar preporučenog opsega snimanje nije preporučeno pri niskim temperaturama obzirom da se životni vek baterija smanjuje, a samim tim i očekivano vreme leta. U slučaju visokih temperatura dolazi do pregrevanja letelice, kamere i baterija i u tom slučaju treba praviti pauze između dva naleta, ali i skratiti vreme pojedinačnih letova da ne bi došlo do kvara letelice u letu. Visoka i mestimična oblačnost, kao i visoka vlažnost vazduha predstavljaju problem zbog smanjenja količine svetlosti, ali i zbog promenljivog intenziteta svetlosti u kratkim vremenskim periodima, što krajnje negativno utiče na kvalitet fotogrametrijskih produkata (Slika 90). Jak vetar ometa rad same letelice, koja troši više energije da bi se održala na zadatoj putanji, a jak vetar može i fizički da je pomeri sa zadate putanje leta. Sa druge strane vetar utiče i na pomeranje objekata koji se snimaju. Sva fizička pomeranja doprinose povećanju šumova na fotografijama. Najbolji uslovi za snimanje bespilotnim letelicama su vedri, sunčani dani bez vetra ili dani sa umerenom, ali konstantnom oblačnošću.

Naredna stavka predstavlja izbor dela dana u kom treba izvršiti snimanje. U ovom domenu mišljenja su podeljena i zavise od karakteristika područja koje se snima. U slučaju snimanja terestričnih predela smatra se da snimanje treba izvršiti u neposrednoj okolini podneva, obzirom da je tada Sunce u zenitu i da je površina pod senkama najmanja. Vodena staništa su nešto izazovnija za snimanje obzirom da snimanje oko podneva tokom sučanih dana dovodi do pojave velike refleksije svetlosti od otvorene vodene površine i dovodi do pojave „spaljenih“ fotografija (Slika 90). Refleksija usled prevelike osvetljenosti može da se desi na nekim drugim površinama i strukturama na Zemlji (stene, beton, lišće krošnji) (Slika 90). Rešavanje problema refleksije se rešava prikupljanjem fotografija sa što većim stepenom preklapanja kako bi se prilikom njihove integracije sa svake fotografije mogli iskoristiti fragmenti na kojima je ovetljenje optimalno. Još jedno potencijalno rešenje može da bude letenje u gridu umesto standardnog linijskog letenje. Broj prikupljenih fotografija se u ovom slučaju uduplava, kao trajanje dužine leta, ali mnoštvo fotografija može da rezultira uspešnom konstrukcijom fotogrametrijskih proizvoda bez „spaljenih“ delova. Prilikom računarske obrade fotografija problemi refleksije mogu dodatno biti korigovani upotrebom odgovarajućih algoritama integracije fotografija.

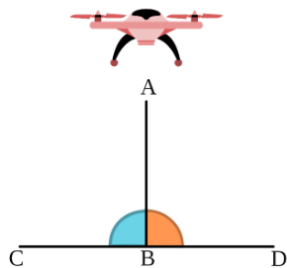


Slika 90. Problemi do kojih dolazi prilikom obrade fotografija prikupljenih u neoptimalnim vremenskim uslovima

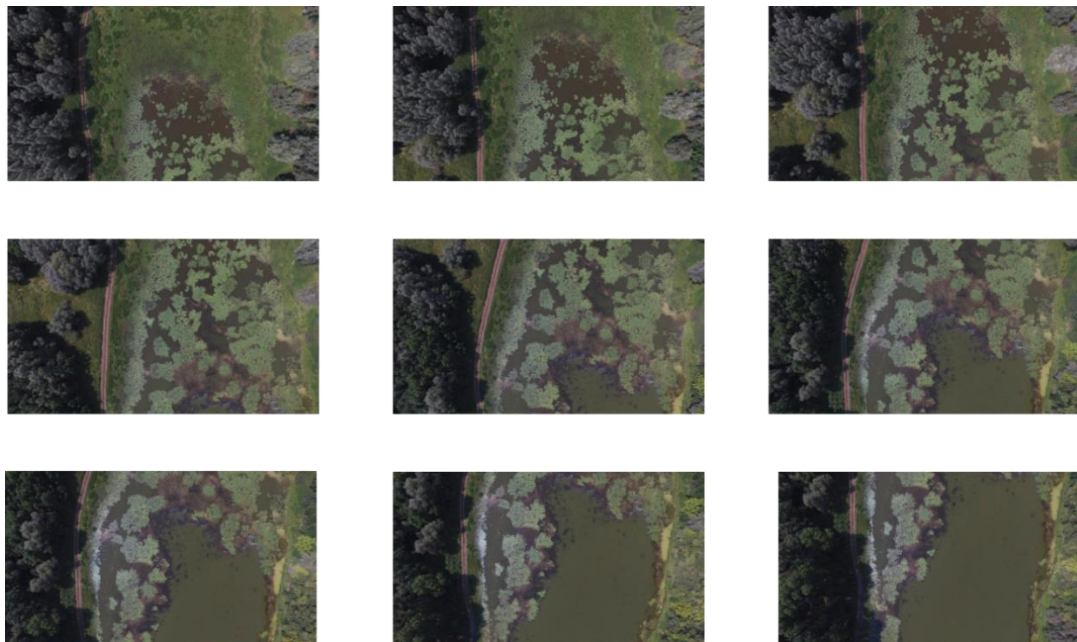
Sam let može biti izvršen manuelno ili pomoću autopilota. Manuletno letenje dozvoljava veću kontrolu letelice i preciznije manevrisanje, mađutim skoro uvek je energetski i vremenski manje efikasno od autopilota. Ovakav način letenja zahteva određen trening i iskustvo letača, naročito u situaciji kada sve priši snimanje velikih područja. Letenje pomoću autopilota je sigurnije, obzirom da letelica leti po unapred isplaniranoj putanji, parametri leta se prate toko čitave misije i u situaciji da dodje do neke greške u sistemu letelice ulaze u mod automaskog povratka na tačku sa koje su poleteli i bezbedno sleću. Ovaj vid snimanja pored operativnih prednosti dozvoljava ponavljanje identičnih letova što je u slučaju manuelne kontrole praktično nemoguće. Identični letovi predstavljaju značajan resurs u akcijama cikličnih monitoringa i praćenja promena na području.



Slika. Snimanje bespilotnim letelicama



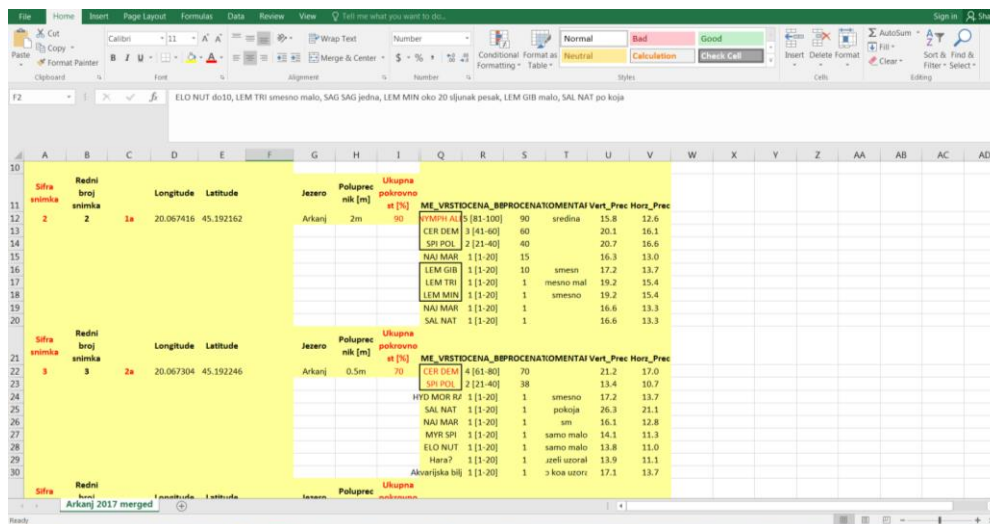
Slika. Šematski prikaz načina prikupljanja ortogonalne / vertikalne fotografije



Slika . Ortogonalne geotagovane fotografije područja

Obrada podataka

Podaci prikupljeni klasičnim terenskim metodama se sređuju, digitalizuju i kao takvi pripremaju za rad u geografskim informacionim sistemima (eng. *Geographic Information System, GIS*) (Slika 90).



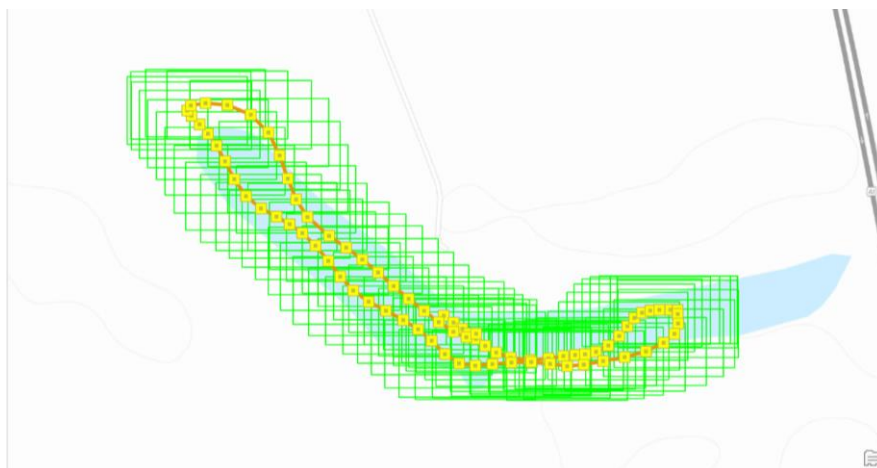
Sifra snimka	Redni broj snimka	Longitude	Latitude	Jezero	Poluprecnik [m]	Ukupna pokrivenost at [%]	ME_VRSTIDCENA_BPPOCENATORMENTAI	Vert_Prec	Horz_Prec
2	2	20.067416	45.192162	Arkanj	2m	80	HYD MOR R2	1	100
							CER DIEM	3	41-60
							SPI POL	2	21-40
							NAJ MAR	1	1-20
							LEM GIB	1	1-20
							LEM TRI	1	1-20
							LEM MIN	1	1-20
							NAJ MAR	1	1-20
							SAL NAT	1	1-20
3	3	20.067304	45.192246	Arkanj	0.5m	70	ME_VRSTIDCENA_BPPOCENATORMENTAI	21.2	17.0
							CER DIEM	4	61-80
							SPI POL	2	21-40
							HYD MOR R2	1	1-20
							SAL NAT	1	1-20
							NAJ MAR	1	1-20
							MYR SPI	1	1-20
							ELO NUT	1	1-20
							Hara?	1	1-20
							Alvarijka bij	1	1-20

Slika 90. Digitalizovani terenski podaci

Fotografije prikupljene bespilotnom letelicom se čuvaju na memoriji koja se nalazi u samoj letelici. Nakon završetka leta podaci se prebacuju na memoriju računara na kom će biti dalje procesuirane.

Pre početka obrade podataka potrebno je odabrati odgovarajući softver. Komercijalni softveri i platforme pomoću kojih se mogu konstruisati i analizirati navedeni produkti su *DroneDeploy*, *Pix4D Mapper*, *AutoDesk ReCap*, *Agisoft*, *ESRI Drone2Map for ArcGIS*, *ArcGIS Pro*, *Propeller Aero*, *Trimble eCognition*, *DJI Terra*, dok su neke besplatne i *open source* opcije *QGIS*, *SAGA GIS*, *Grass GIS*, *OpenDroneMap*, *Microsoft ICE*, *VisualSFM*. Dobra komercijalna rešenja za obradu fotografija i konstrukciju produkata su *Pix4D*, *Drone Deploy*, *AgiSoft*, *ArcGIS Pro* dok u domenu besplatnih softvera ove mogućnosti pruža *OpenDroneMap* ili kombinacija nekog besplatnog usko fotogrametrijskog programa poput *Microsoft ICE* ili *VisualSFM* sa platformom *QGIS*. Standardni fotogrametrijski programi vrlo često nemaju mogućnost izrade georeferenciranih ortomozaka, već se georeferenciranje mora obaviti posebno na nekoj GIS platformi pomoću kontrolnih tačaka (GCP). U klasi komercijalnih softvera *ArcGIS Pro* se prema mnogima kotira kao najbolje i sveobuhvatnije rešenje, dok je njegov pandan u sferi besplatnih softvera *QGIS*. Ove dve platforme ujedno predstallaju i najčešće korišćene opcije. *QGIS* softver osim toga što je besplatan predstallja i *open-source* platformu te je njegovala velika prednost mogućnost integracije sa drugim softverima i paketima za obradu prostornih podataka, ali pruža mogućnost razvoja sopstvenih alata koji mogu biti integrisani u softver. Odabir softvera se vrši spram potreba istraživanja, ali budžeta koji istraživačima stoji na raspolaganju. Prilikom odabira softvera treba izvršiti istraživanje tržišta i odabrati opciju koja najviše odgovara potrebama projekta.

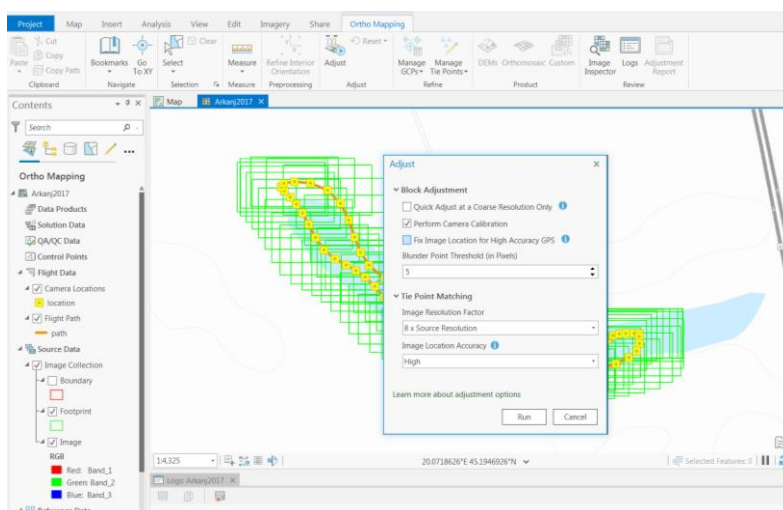
Prvi korak obrade podataka je unos fotografija u neki od softvera koji mogu da izvrše potrebne korekcije fotografija, konstruišu i analiziraju fotogrametrijske proizvode - ortomape, 3D modele, digitalne modele reljefa (*Digital Elevation Model, DEM*) i digitalne modele predela (*Digital Surface Model, DSM*) (Slika 91).



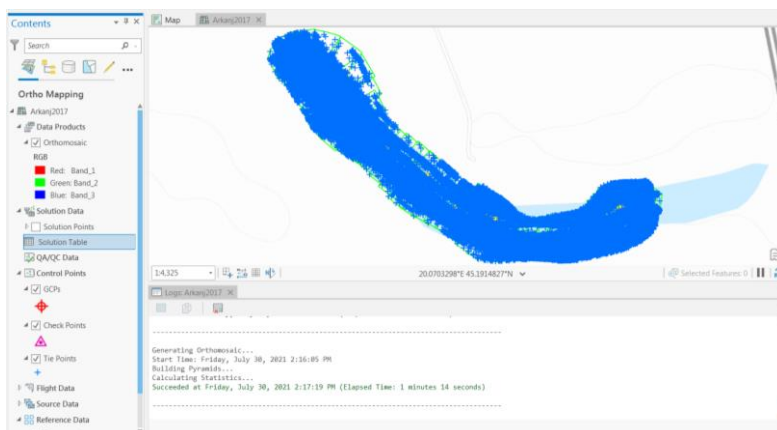
Slika 91. Putanja leta i okviri fotografija prikupljenih dronom, žute oznake predstavljaju centralne koordinate svake fotografije odnosno tačne lokacije na kojoj su fotografije zabeležene (*ArcGISPro*)

Nakon unosa fotografija potrebno je uraditi korekcije položaja, orijentacije i spektralnih karakteristika fotografija. Ovi koraci se nazivaju geometrijskom i radiometrijskom korekcijom fotografija. U slučaju geometrijske korekcije većina softvera za izradu DSM i ortomozaika koristi *Structure from Motion SfM* tehnike i slede opšti tok rada: (1) izračunavanje lokacija kamera za generisanje oblaka tačaka male gustine (eng. *low-density point cloud*); (2) generisanje oblaka tačaka velike gustine iz rezultata prethodnog koraka (eng. *high-density point cloud*); i (3) korišćenje oblaka tačaka velike gustine za izgradnju georeferencirane mreže fotografije (Tmušić, 2020) (Slika 93). U slučaju postojanja kontrolnih tačaka (GCP) one u ovoj fazi mogu biti uključene u proces geometrijske korekcije i georeferenciranja fotografija. Kontrolne tačke se u većini softvera unose i ručno prezino podešavaju. Na ovaj način se dodatno poboljšava prostorna preciznost produkta. U drugim grupama softvera ovakva korekcija geometrije se vrši tek nakon konstrukcije produkta.

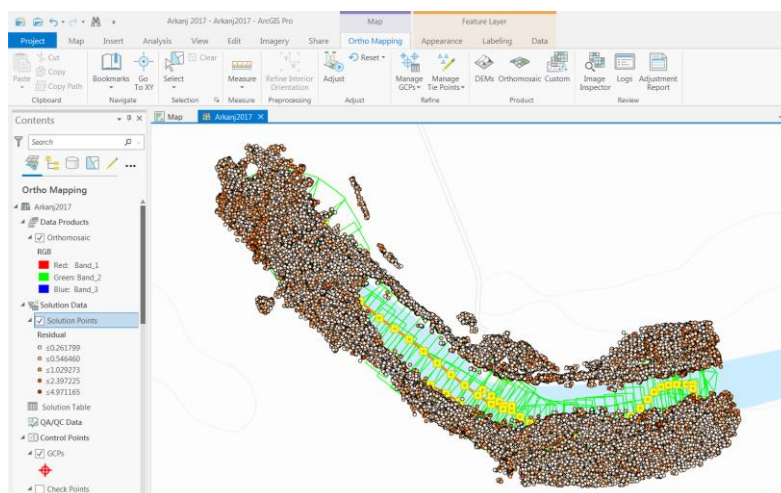
U procesu geometrijske korekcije fotografija različiti softveri omogućavaju podešavanje nekih dodatnih parametara (Slika 92). U slučaju *ArcGIS Pro* softvera dodatne opcije predstavljaju automatsku kalibraciju kamere, koja se preporučuje svaki put kada se fotografije prikupljaju kamerom koja nije kalibrisana pre poletanja, kao što je slučaj sa većinom RGB kamera. Tokom ovog procesa koriguje se orijentacija i izobličenje objektiva, određuje orijentacija slike i koordinate fotografija na zemlji. Naredna karakteristika koja može biti podešena je granična vrednost rezidualne greške tačaka vezivanja fotografija iznad koje tačka neće biti uzimana u obzir prilikom geometrijske korekcije. Takođe se može podešavati i nivo rezolucije na kom će biti generisane tačke vezivanja, gde je najviši mogući nivo ni rezolucija samih fotografija, a može se podesiti i niža rezolucija ukoliko predeo nije uniforman poput peska, livada, vode, nepreglednih šuma. Još jedna karakteristika koja utiče na brzinu procesa jeste procena preciznosti koordinata koje je zabeležila letelica. Što se podesi viši faktor tačnosti to će proces brže biti završen jer će algoritam pretraživati manje okruženje za identifikovanje istovetnih karakteristika na preklapajućim fotografijama.



Slika 92. Podešavanje geometrijske korekcije fotografija

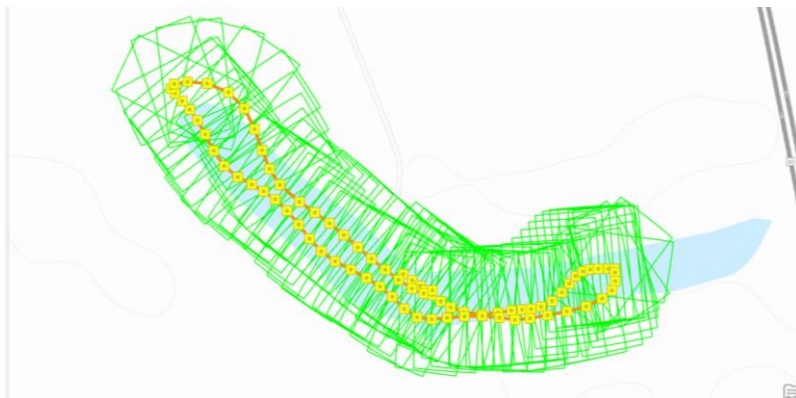


Slika 93. Tačke vezivanja fotografija generisane procesom geometrijske korekcije fotografija



Slika 94. Grafički prikaz rezidualnih grešaka tačaka vezivanja

Nakon završenog procesa geometrijske korekcije pozicije, oblik i orijentacija fotografija su izmenjeni u odnosu početne položaje, orijentacija svake fotografije je tačno podešena na osnovu prepoznavanja i kombinovanja istih fragmenata područja na susednim fotografijama, ali i u odnosu na kontrolne tačke ukoliko su korištene (Slika 95). Tačni podaci procesa geometrijske korekcije za svaku fotografiju dostupni su u izveštajima koji formiraju softveri (Slika 96) .



Slika 95. Rezultat procesa geometrijske korekcije fotografija

Adjustment Report

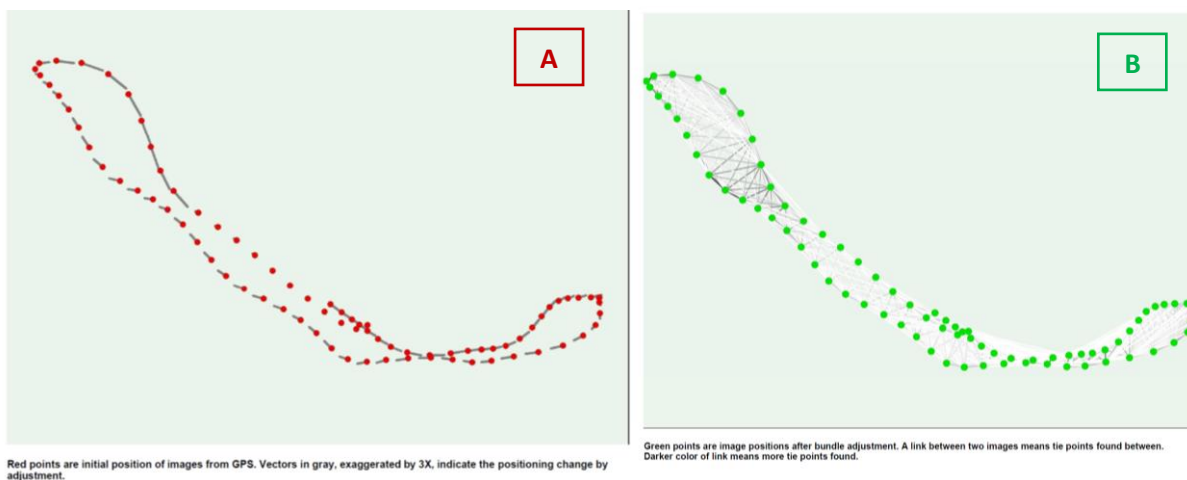
Project Name: Arkanj2017

Adjustment Summary

Project Name	Arkanj2017
Report Time	2021-7-30 14:28:23
Number of Input Images	84
Number of Adjusted Images	84
Number of Tie Points	286207
Number of Solution Points	92292
Mean Reprojection Error (pixel)	0.22
Ground Resolution (m/pixel)	0.018
Adjustment Type	Frame
Ground Control Points Involved in Adjustment	No

Summary of Tie Points

Min	1294
Max	7188
Median	2916
Average	3169



Slika 96. Izveštaj procesa geometrijske korekcije: A. Grafički prikaz pomeranja pozicije svake fotografije, crvene tacke su originalne pozicije fotografija B. Grafički prikaz količine tačaka vezivanja između različitih slika, što je veza tamnija, tačaka je više.

Nakon geometrijske korekcije potrebno je izvršiti radiometrijsku tj spektralnu korekciju fotografija, pre izrade ortomozaika. Smernice za ovaj proces izdvajaju nekoliko bitnih koraka

koje je potrebno izvršiti da bi se dobio radiometrijski i spektralno konzistentan i uporediv produkt: (1) karakterizacija i kalibracija senzora (i spektralna i radiometrijska), (2) generisanje faktora refleksije, (3) radiometrijska normalizacija scene, (4) radiometrijska validacija (5) generisanje metapodataka (Tmušič, 2020).

Kamere i senzori uglavnom stižu već kalibrisane od strane proizvođača, prodavca ili obvlaštenog serviseru. Kamere koje je potrebno kalibrisati pred svako poletanje dolaze sa uputstvom i kitom za kalibraciju (uglavnom multipsektralne kamere). Kamere koje se dugo koriste bi svakako trebalo periodično kalibrisati u laboratoriji u uslovima konstante svetlosti. Izrada finalnih produkata predstavlja poslednju fazu obrade u kojoj se koriste pojedinačne fotografije. Izrada ortomozaika predstavlja međusobnu integraciju svih prikupljenih fotografija i izradu velike 2D ortogonalne projekcije područja. Ortomozaici predstavljaju najučestaliji produkt daljinske detekcije u ekologiji. Pogodni su za dalju obradu i klasifikaciju sa ciljem izdvajanja i kvantifikacije različitih objekata ili procesa na istraživanom području. Proces izrade ortomozaika se razlikuje od platforme do platforme. Veliki broj softvera radi po principu crne kutije odnosno dozvoljava samo izvesan nivo interakcije istraživača (*Drone Deploy, Pix4D, Agisoft*), a suštinski deo procesa radi automatski. Drugi softveri, poput *ArcGIS Pro* nude i varijantu automatske izrade ortomozaika prema **standardnim** podešavanjima automata (*wizard-a*) za izradu ortomozaika, međutim dozvoljava istraživaču da u svakom koraku izrade ortomozaika odabere postavke i algoritme koji su pogodni da izradu ortomozaika konkretnog projekta.

Na samom početku procesa potrebno je definsati digitalni model reljefa (DEM) u odnosu na koji će biti izvršena ortorektifikacija ortomozaika. Postoji mogućnost odabira referentnog DEM-a samog softvera, ali postoji i mogućnost uvoza referentnog DEM-a po izboru. Dalje postoji mogućnost automatskog filtriranja fotografija koje će ući u proces integracije na osnovu stepena međusobnog preklapanja. Tako mogu biti uklonjene fotografije koje imaju prevelik procenat preklapanja sa ostalima, a ne doprinose mnogo u generalnoj površini ortomozaika. Na ovaj način se smanjuje količina fotografija koje ulaze u proces i sam proces ubrzava.

U narednom koraku podešavaju se parametri i biraju algoritmi koji na različite načine vrše balansiranje boja ulaznih fotografija tako da izlazni proizvod u svim domenima bude ujednačen. Prvo se bira metod balansiranja: *Dodging, Histogram i Standard deviation (AGP)*. **Dodging - Vrednosti piksela ortomozaika se koriguju spram target boje. Kada se koristi ova tehnika potrebno je odabrati i tip površine target boje. Tip površine se određuje spram karakteristika područja. Ukoliko je predeo uniforman sa malo različitih površina odgovarajuća opcija je *Single color* s obzirom da se svi pikseli koriguju prema prosečnoj vrednosti svih piksela na mapi. Ukoliko je situacija suprotna (područje kompleksno sa mnogo klasa), odgovarajuća opcija je *Color grid* – gde se pikseli koriguju spram više boja koje postoje u kolekciji fotografija. *First, Second i Third order polinomial* tehnike da kreiraju umereniju promenu boja i koristi manje prostora za skladištenje, ali je obrada vremenski zahtevnija u**

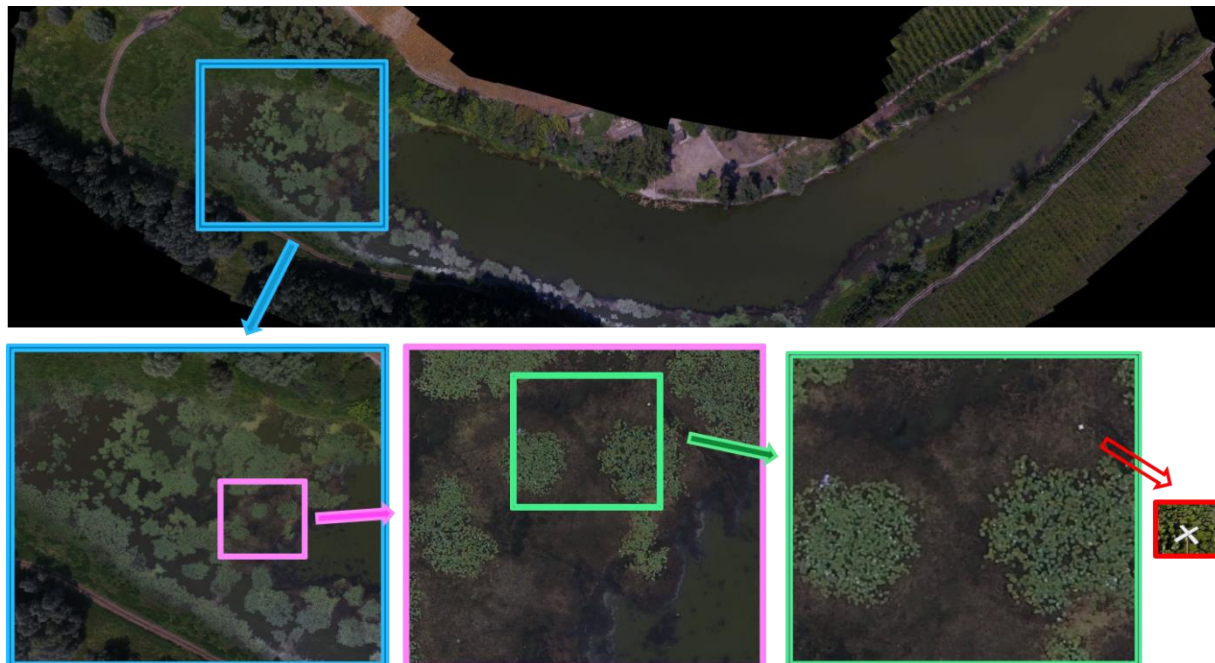


poređenju sa prethodnim tehnikama. Prema ovum tehnikama svi pikseli ulaznih fotografija se koriguju prema skupu više tačaka dobijenih iz dvodimenzionalne polinomske kose ravni, parabolične površine ili kubične površine. Histogram - Vrednost piksela ortomozaika se prilagođava usklađivanjem histograma svake slike sa histogramom cele zbirke slika ili histogramom spoljnog ciljnog rastera ako je naveden. Ova tehnika dobro funkcioniše kada sve slike za balansiranje boja imaju sličan histogram. Standardna devijacija - Vrednost piksela ortomozaika se prilagođava usklađivanjem histograma unutar jedne standardne devijacije između svake slike i cele zbirke slika ili ciljnog rastera ako je naveden. Ova tehnika najbolje funkcioniše kada sve slike koje imaju balans boja imaju normalnu distribuciju. Ukoliko postoji referentna fotografija spram koje bi trebalo korigovati boje ostalih u kolekciji ona se može u ovom koraku definisati.

Naredni korak podrazumeva podešavanje pravila prema kom će se fotografija međusobno uklapati i na koji način će se formirati „šavovi“ koji će ih povezivati u ortomozaik (AGP). Disparity – Šavovi se formiraju na osnovu slika razlike između dve stereo fotografije. Voronoi – kreira šavove na osnovu Voronoi dijagrama predela. Radiometry – Šavovi će biti formirani na osnovu spektralnih sličnosti i razlika fragmenata fotografija koje se međusobno preklapaju. Edge Detection – Šavovi se formiraju po detektovanim ivicama objekata na fotografijama. Geometry – Šavovi se formiraju prema ivicama fotografija koje se preklapaju. U ovom koraku se takođe može definisati „širina šava“ u pikselima, odnosno određuje se koliko piksela dve susedne fotografije će biti sjedinjeno.

U poslednjem koraku se podešava rezolucija i odabira format ortomozaika. Najviša moguća rezolucija jeste vrednost prostorne rezolucije ulaznih fotografija. Format finalnog ortomozaika koji se pokazao kao najpodesniji za dalju obradu jeste .geotiff fajl.



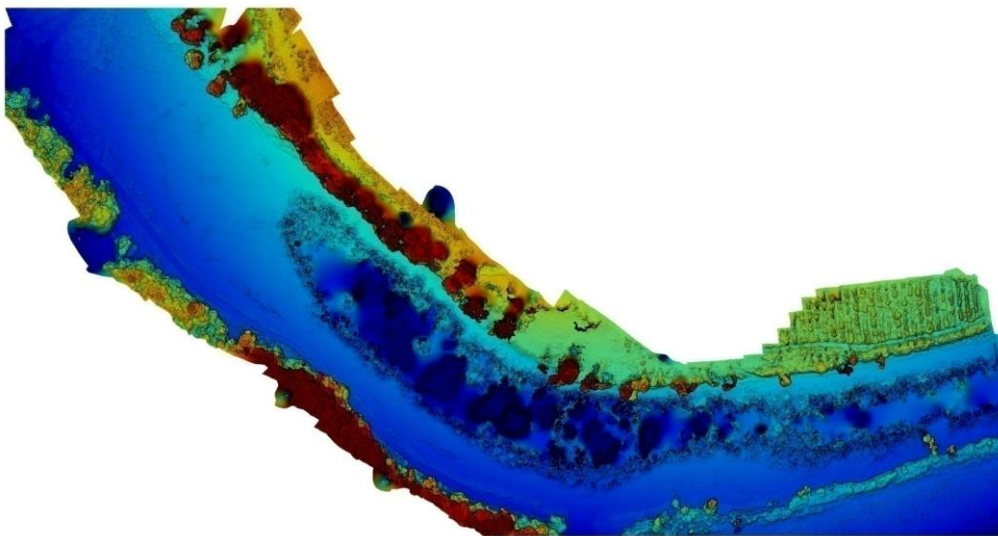


Slika 97. Ortomozaik područja sa zumiranim detaljima i prikazom kontrolne tačke za georeferenciranje

Pored ortomozaika većina GIS fotogrametrijskih softvera nudi mogućnost izrade Digitalnih modela reljefa i terena (DEM, DSM) i 3D modela. Izrada ovih produkata je nešto autonomniji proces za koji u najvećem broju softvera nije potrebno dodatno podešavanje procesa od strane istraživača, dok se u nekima podešava svega nekoliko parametara.

Digitalni model reljefa (eng. *Digital Elevation Model/Digital Terrain Model, DEM*) predstavlja model terena područja koji prikazuje obrasce promene orografije terena. Digitalni model područja (*Digital Surface Model, DSM*) predstavlja model područja koji uključuje i površine koje se nalaze na zemli poput kuća, zgrada, mostova, krošnji drveća (AGP). DEM modeli se koriste za porces ortorektifikacije ortomozaika. Većina GIS softvera za ove potrebe koristi sopstveni ili neki od javno dostupnih DEM modela (AGP). Kao i satelitske fotografije i globalni DEM modeli se mogu preuzeti sa nekog od javno dostupnih ili komercijalnih servisa. Prilikom preuzimanja DEM modela treba obratiti pažnju na njihovu prostornu rezoluciju. S obzirom da je veliki deo ovih produkata konstruisan na osnovu satelitski prikupljenih podataka rezolucija DEM modela prati rezoluciju ovih podataka i treba biti oprezan prilikom odabira odgovarajuće rezolucije. Neki od javno dostupnih DEM modela su *JAXA's Global ALOS 3D World* – 30m, *ASTER Global Digital Elevation Model* – 90m, *Space Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* – 30m, dok su neki od komercijalnih *Intermap* – 1m, *SPOT* – 30m, *Vricon DSM-0.5* – 0,5m, *WorldDEM* – 12m, *ALOS WORLD 3D Standard* – 5m. Za izradu

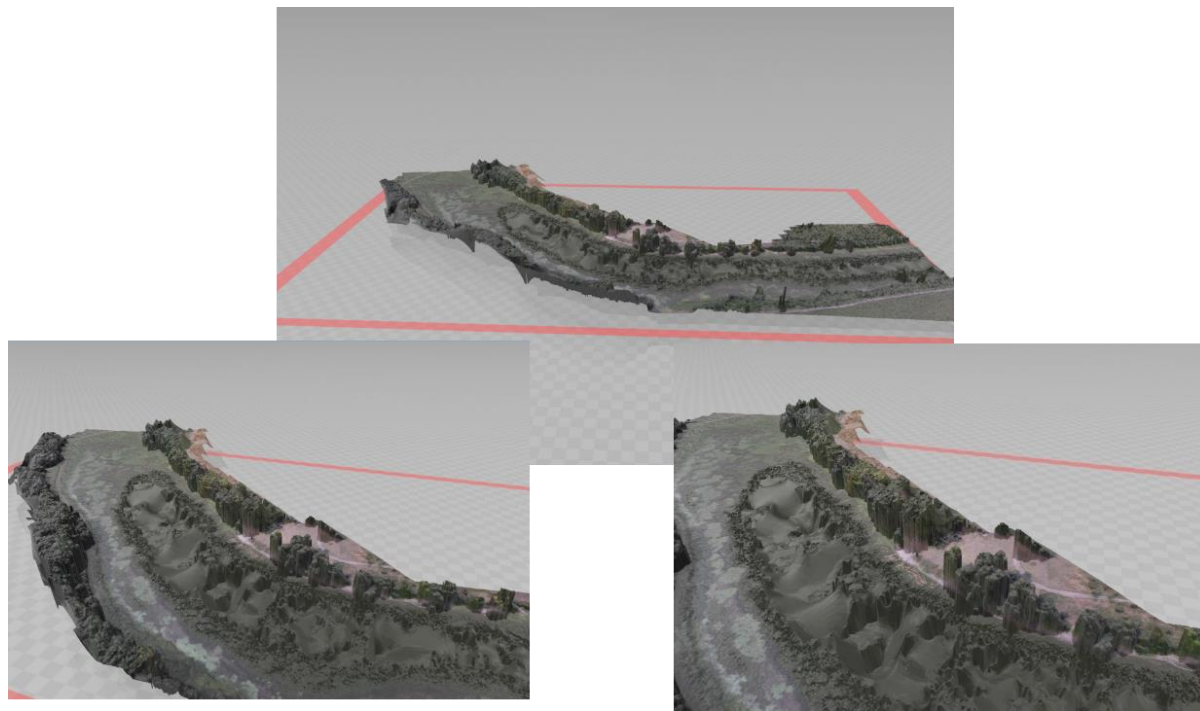
DEM i DES modela se koriste tačke preklapanja susednih fotografija (stereo fotografija). Ove 3D tačke se dalje koriste za izradu digitalnih modela. Da bi se konstruisao DEM model na osnovu fotografija prikupljenih dronom procenat preklapanja susednih fotografija bi trebalo da bude minimum 80% frontalnog preklapanja i 60% bočnog (AGP). Izrada referentnih DEM modela za ortorektifikaciju projekata od fotografija sa dronova se ipak ne preporučuje obzirom da dolazi do velikih geometrijskih distorzija kod ovih fotografija. Kao referentni DEM modeli se preporučuju neki od javno dostupnih modela. DSM modeli se mogu koristiti kao dodatni parametri prilikom klasifikacije ortomozika ili ce koriste kao osnova prilikom proučavanja fizičkih karakteristika predela (Slika 96) (AGP).



Slika 96. Digitalni model područja (DSM) (Drone Deploy, platforma)

Proces izrade digitalnih modela se sastoji iz dve faze. U prvoj fazi se na osnovu parova stereo fotografija izdvajaju 3D tačke koje grade oblak tačaka. Na osnovu oblaka tačaka se u narednoj fazi vrši interpolacija i kreiranje rasterskog fajla. Tokom ovog procesa moguće je odavrti način uparivanja susednih fotografija u stereo parove *ETM (Extended Terrain Matching)*, *SGM (Semi-Global Matching)* i *MVM (Multi-View Matching)* metod (AGP). ETM metod formira najređi oblak tačaka, samim tim i proizvod najlošije rezolucije, pogodan je za područja na kojima nema velike verijabilnosti, SMG formira nešto gušći oblak, pogodan je za kompleksna područja poput gradova, dok je MVM najkompleksniji i formira gustu mrežu 3D tačaka u oblaku. Za svaki od navedenih metoda moguće je odrediti graničnu vrednost za filtriranje odnosno za izjednačavanje sa površinom zemlje. Takođe mogu se podesiti i granične vrednosti za izbor stereo parova u smisli maksimalne i minimalne rezlike u uglovima, visinske razlike na kojoj su fotografije prikupljene, broj parova koji je potreban da bi se generisala jedna 3D tačka, gustina tačaka (preporučuje se gustina od 5 x GSD). Za izradu kvalitetnog 3D modela nije dovoljno prikupiti ortogonalne fotografije područja već je

potrebno prikupiti i određen broj fotografija snimljenih iz različitih uglova i visina. Samim tim ukoliko postoji potreba za preciznim 3D modelom potrebno je u plan istraživanja uvrstiti i ovakav način prikupljanja fotografija (Slika 97).



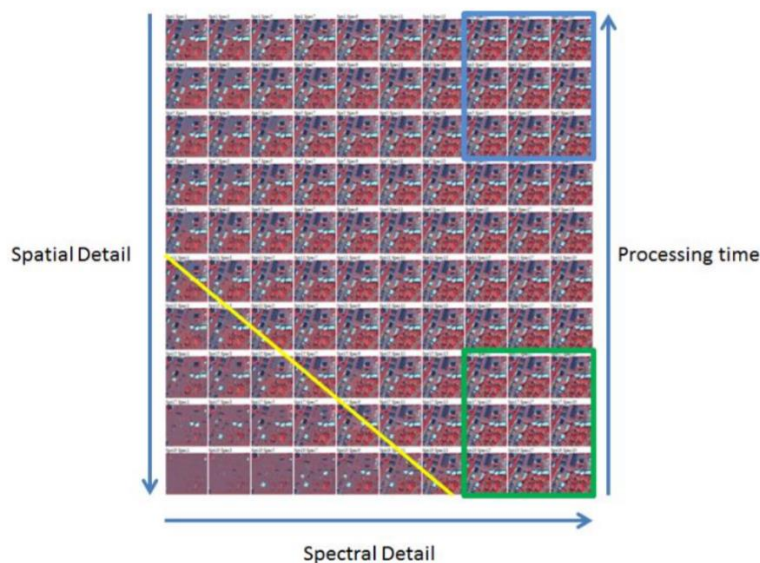
Slika 97. 3D model područja (Visual SFM softver)

Analiza ortomozaika

Analiza ortomozaika se u najvećem broju slučajeva vrši nekom od metoda numeričke klasifikacije podataka. Ortomozaici konstruisani na osnovu fotografija sa dronova imaju veoma veliku prosotrnju rezoluciju podataka, GSD 0,5-10cm. Ovako velika prostorna rezolucija u kombinaciji sa heterogenim i kompleksnim staništima na kojima domira vrainabilna vegetacija može dovesti grešaka pogrešne klasifikacije pojedinačnih piksela unutar jednog entiteta ili do pojave biber-so efekta u slučaju upotrebe piksel-po-piksel metoda numeričke klasifikacije. S obzirom na to metode objektna klasifikacije predstavljaju optimalnije rešenje u najvećem broju slučajeva. Objektna analiza se temelji na dva odvojena, ali međusobno uslovljena procesa: proces segmentacije ortomozaika i proces klasifikacije izdvojenih segmenata.

Proces segmentacije predstavlja prvi korak obrade otromozaika, a podrazumeva izdvajanje pojedinačnih segmenata koji u manjoj ili većoj meri izdvajaju pojedinačne ili grupe željenih objekata sa fotografije. Algoritam segmentacije se bira na osnovu karakteristika snimljenog područja i spektralnih razlika objekata. Prilikom odabira algoritma treba u vidu imati i njegovu kompleksnost, odnosno vreme koje će biti potrebno da se proces izvrši. Većina GIS softvera ima ograničen set od nekoliko mogućih ili samo jedan ponuđen algoritam. *Open-source* platforme dozvoljavaju kreiranje sopstvenih alata, kao i modifikaciju postojećih, ali od istraživača zahtevaju određen nivo informatičkog znanja.

Algoritmi dostupni u GIS softverima (uglavnom na osnovi *Mean shift* algoritma) dozvoljavaju korisniku podešavanje granične vrednosti spektralnih i prostornih okvira unutar kojih će algoritam vršiti izvajanje segmenata. Pored toga, moguće je podesiti i vrednosti maksimalne i minimalne vrednosti segmenta. Na taj način dolazi do smanjenja šumova u konačnoj klasifikaciji usled filtriranja ekstremno malih segmenata. Podešavanje odnosa spektralnih i prostornih parametara algoritama se i dalje u najvećem broju studija vrši procesom testa i greške, međutim postoje neke preporuke u kojim odnosima dolazi najboljih rezultata (Slika 98).

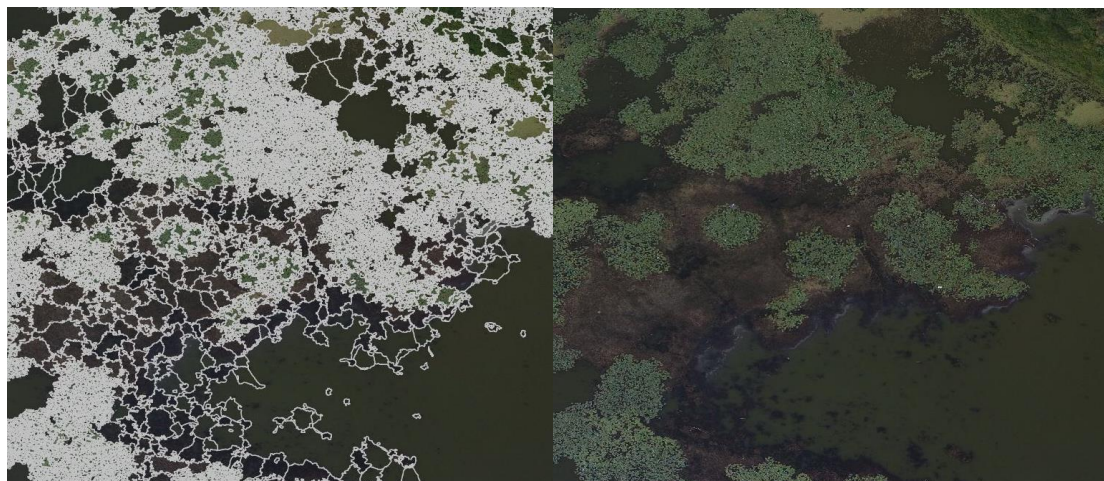
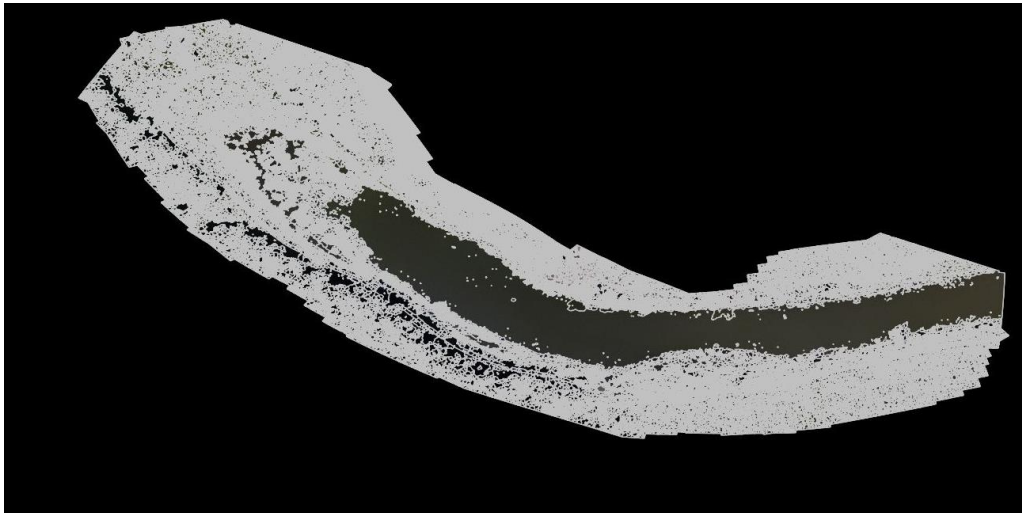


Slika 98. Dijagram odnosa prostorne i spektralne skale u algoritmima segmentacije, površine uokvirene plavim i zelenim kvadratom predstavljaju najoptimalnije odnose (Ledtke&Hu, 20)

https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc18/tech-workshops/tw_1666-182.pdf

Ukoliko je predeo koji se klasifikuje heterogen sa veoma sitnim objektima (nivoa 1-50cm) koje treba izdvojiti i velikom spektralnom sličnosti objekata, tada je proces segmentacije veoma zahtevan. Pristup koji se pokazao kao optimalan je kombinacija podešavanja niske granične vrednosti dozvoljene spektralne varijabilnosti unutar segmenta i velikog prostornog

okvira pomoću kog će biti izvršena analiza. Ukoliko na ortomozaiku postoje objekti koje imaju velike spektralne razlike tada nivo spektralne varijabilnosti može povećati obzirom da će algoritam i sa takvim **olabavljenim** uslovima uspešno izdvojiti objekte, narocito ukoliko su objekti veći (desetine, stotine metara). Ovaj deo objektivne analize predstavlja jednu od ključnih faza obzirom da proces segmentacije uslovljava sve naredne faze obrade fotografije. Softveri imaju podešene *default* vrednosti algoritama segmentacije i u najvećem broju slučajeva se prvo uradi segmentacija prema datim parametrima. Nakon vizuelne inspekcije inicijalne segmentacije vrši se fino podešavanje odgovarajuće kombinacije parametara algoritma, najčešće procesom pokušaja i greške.



8. Legislativa o bespilotnim letelicama u BiH

Aktuelni zakonski okvir o kategorizaciji i uslovima leta dronova „Pravilnik o uvjetima za izvođenje letačkih operacija dronovima“ je donešen 12. augusta 2020. godine na osnovu Zakona o zrakoplovstvu Bosne i Hercegovine ("Službeni glasnik BiH", broj 39/09 i 25/18), a objavljen je u Službeni glasnik BiH broj 51/20 [18.8.2020.].

Navedeni pravilnik se odnosi na dronove čija masa pri poletanju iznosi 0,248-25 kg. Odredbe ovog pravilnika se ne primjenjuju na dronove koji se koriste za potrebe državnih organa (vojska, policija, služba traganja i spasavanja, carina, sigurnosno-obaveštajne službe i slično), osim u delu upisa u evidenciju.

Kompletan tekst pravilnika može se pronaći na sledećoj web adresi:

<http://www.sluzbenilist.ba/page/akt/2yFM2KkWhf8=>

Definicija bespilotne letelice – drona prema ovom pravilniku glasi:

„Zrakoplov na daljinsko upravljanje - je svaki zrakoplov bez posade, kojim se vrše operacije i kontrolirani let ili je izrađen da vrši autonomni let uz pomoć daljinskog upravljača.“

„Zrakoplovni sistem na daljinsko upravljanje - sistem koji je namijenjen za izvođenje letova zrakoplovom bez pilota, a kojim se upravlja i izvršava kontrolirani let od strane računara koji se nalazi u zrakoplovu ili uz pomoć daljinskog upravljača na zemlji. Sistem se sastoji od zrakoplova na daljinsko upravljanje i drugih komponenti koje su neophodne za izvršavanje kontroliranog leta od strane jedne ili više osoba“

Podela dronove prema ovom pravilniku je izvršenana osnovu namene leta i maksimalne mase pri poletanju.

Kategorije operacija dronom (klasifikacija u odnosu na namenu) su:

1. Nekomercijalne operacije

Nekomercijalno letenje dronom je dozvoljeno samo danju i unutar vidnog polja operatora drona. U nekomercijalnom letenju, letenje dronom nije dozvoljeno: a) iznad ljudi, životinja, objekata, vozila, plovila, puteva, železničkih pruga, vodenih puteva, dalekovoda ili drugih zrakoplova na daljinsko upravljanje na horizontalnoj udaljenosti manjoj od 30 m; b) iznad skupa ljudi na horizontalnoj udaljenosti manjoj od 50 m; c) iznad industrijskih zona, ambasada, objekata državnih službi i institucija, kao i drugih objekata koji su od javnog značaja na horizontalnoj udaljenosti manjoj od 500 m; d) unutar aerodromske zone ili zone

CTR, u zavisnosti šta je veće, kao ni unutar prilazne i odletne ravni; e) unutar zone letilišta; i f) unutar zone koja je definisana za zrakoplovne priredbe.

Izuzetno letovi se mogu obavljati samo uz prethodno odobrenje operatora letilišta ili uz pisanu saglasnost rukovodioca zrakoplovne priredbe. Operater drona mora da bude upoznat sa operativnim ograničenjima koja su definisana u tehničkoj dokumentaciji i da se pridržava istih.

Maksimalna dozvoljena visina letenja drona je do 30 m AGL, a letenje dronom se može odvijati na udaljenosti dronom najmanje 1.5 km od aerodroma, a maksimalna dozvoljena visina letenja drona je do 30 m AGL, uz obaveznu rezervaciju prostora kod Jedinice za upravljanje zračnim prostorom.

Pri nekomercijalnom letenju drona nije dozvoljena: a) vuča i izbacivanje predmeta; b) raspršivanje i izbacivanje tečnosti; c) upravljanje dronom sa ili iz objekta u pokretu; d) upravljanje istovremeno sa više dronova. Nekomercijalno letenje dronom nije dozvoljeno iznad vojnih objekata i vojnih zona, kao i na horizontalnoj udaljenosti manjoj od 500 m. Takođe, nije dozvoljeno nekomercijalno letenje dronom sa terena unutar pojasa zaštitnog područja, a koji se nalazi unutar 300 m od granične linije u dubini teritorije BiH.

2. Komercijalne operacije

Komercijalno letenje dronom se vrši samo danju, unutar vidnog polja, pri čemu operator drona mora biti upoznat sa okolinom u kojoj leti, osigurati predviđeno mjesto za sletanje i isto vidljivo obeležiti (u slučaju autonomnog sletanja). Ukoliko se operacije dronom vrše izvan vidnog polja, horizontalno rastojanje ne smije biti veće od 1000 m. Vlasnik drona mora Direkciji za civilno zrakoplovstvo Bosne i Hercegovine (BHDCA) podnijeti zahtev za upis drona u evidenciju, posedovati važeću polisu osiguranja i postupati u skladu sa tehničkom dokumentacijom, kako u pogledu operacija, tako i u pogledu održavanja. Za letenje u noćnim uslovima dron mora biti obeležen svetlosnom signalizacijom, letenje dronom se vrši isključivo unutar vidnog polja, a predviđeno mjesto za sletanje mora biti u neposrednoj blizini operatora drona (u slučaju autonomnog sletanja) i maksimalna visina nije veća od 30 m AGL. Nije dozvoljeno letenje iznad grupe ljudi, objekata od značaja i slično.

U ovoj kategoriji operacija nije dozvoljeno letenje dronom: a) iznad ljudi, životinja, objekata, vozila, plovila, puteva, železničkih pruga, vodenih puteva, dalekovoda ili drugih vazduhoplova na daljinsko upravljanje, na horizontalnoj udaljenosti manjoj od 30 m, pri čemu operator drona ne sme da naruši privatnost, sigurnosti letenja (eng. *Safety*) i sigurnost;



b) iznad skupa ljudi na horizontalnoj udaljenosti manjoj od 20 m; c) iznad industrijskih zona, ambasada, objekata državnih službi i institucija, kao i drugih objekata koji su od javnog značaja na horizontalnoj udaljenosti manjoj od 100 m; d) unutar aerodromske zone na udaljenosti manjoj od 1.5 km od aerodroma ili zone CTR, samo uz prethodnu saglasnost nadležne kontrole letenja ili Jedinice za upravljanje zračnim prostorom (AMC), pri čemu je operator drona obavezan da se pridržava uslova saglasnosti, dok unutar prilazne i odletne ravni nije dozvoljeno letenje dronom bez posebnog odobrenja BHDCA; e) unutar zone letilišta; i f) unutar zone koja je definisana za vazduhoplovne priredbe.

Izuzetno letenje dronom se može obavljati samo uz prethodno odobrenje operatora letilišta, pri čemu odobrenje mora biti u pisanoj formi (dokument, elektronska pošta i sl.). Letenje se može obavljati iznad priredbe uz prethodnu saglasnost rukovoditelja zrakoplovne priredbe. Operator drona mora biti upoznat sa operativnim ograničenjima koja su definisana u tehničkoj dokumentaciji i da se pridržava istih.

Maksimalna dozvoljena visina letenja drona je do 120 m AGL ili najviše do 50 m iznad prepreke (zgrada ili drugi objekti), u zavisnosti šta je veće.

Tokom letenja drona nije dozvoljena: a) vuča i izbacivanje predmeta; b) raspršivanje i izbacivanje tečnosti; c) upravljanje dronom sa ili iz objekta u pokretu; d) upravljanje istovremeno sa više dronova. Nije dozvoljeno letenje dronom iznad vojnih objekata i vojnih zona, kao i na horizontalnoj udaljenosti manjoj od 500 m; letovi dronom se mogu obavljati samo uz prethodno odobrenje Ministarstva odbrane. Nije dozvoljeno letenje dronom sa terena unutar pojasa zaštitnog područja, a koji se nalazi unutar 300 m od granične linije u dubini teritorije BiH, ukoliko operator drona ili vlasnik drona nije pribavio prethodnu saglasnost Granične policije BiH. U slučaju da operator drona, prilikom letenja dronom, zbog okoline i okolnih prepreka nije u mogućnosti da se pridržava propisanih horizontalnih rastojanja, može da leti dronom na manjem horizontalnom rastojanju, ali ne manjem od 5 m, pri čemu visina letenja ne sme biti veća od 20 m AGL. Ukoliko operator drona namerava da odstupa od bilo kog drugog operativnog ograničenja mora prethodno da pribavi posebno odobrenje BHDCA. Prilikom podnošenja zahtjeva za operativno odstupanje, vlasnik drona i/ili operator drona mora da izvrši procenu rizika i da predloži mere za ublažavanje rizika.

Izvođenje radova iz vazduha

Letenje dronom u svrhu izvođenja radova iz vazduha dronom može se izvoditi unutar vidnog polja ili izvan vidnog polja, bez obzira na kategoriju drona. Radovi iz vazduha dronom mogu da se vrše i na visinama koje su preko 120 m AGL i na udaljenosti manjoj od 1.5 km od aerodroma, ali uz obaveznu saglasnost nadležne kontrole letenja ili Jedinice za upravljanje zračnim prostorom (AMC) i odobrenje BHDCA, bez obzira da li se letenje dronom vrši u kontrolisanom ili nekontrolisanom vazдушnom prostoru.



Letenje dronom se mora vršiti u skladu sa priručnikom za izvođenja operacija dronom, a koji mora biti propisan od strane vlasnika i/ili operatora drona. Priručnik za izvođenje operacija dronom mora biti odobren od strane BHDCA, na osnovu kojeg BHDCA izdaje Operativno odobrenje za radove iz zraka dronom. Operator drona mora posjedovati Potvrdu o poznavanju zrakoplovnih propisa za operatora drona. Ukoliko operator drona nije ujedno i vlasnik drona, operator drona mora posjedovati dokaz da je imenovan od strane vlasnika drona za vršenje operacija. Za letenje u noćnim uslovima dron mora biti obilježen svetlosnom signalizacijom, bez obzira na kategoriju drona.

U profesionalne operacije spadaju: I. Aero-fotografsko snimanje; II. Snimanje termalnim kamerama; III. Ispitivanje iz vazduha; IV. Istraživački letovi; i V. Druge slične operacije.

Tokom letenja drona nije dozvoljena: (a) vuča i izbacivanje predmeta, kao i nošenje predmeta koji nisu sastavni dio drona, osim ako nije odobreno Operativnim odobrenjem; (b) raspršivanje i izbacivanje tečnosti, osim ako nije odobreno Operativnim odobrenjem; (c) upravljanje dronom sa ili iz objekta u pokretu; (d) upravljanje istovremeno sa više dronova. Nije dozvoljeno izvođenje radova iz zraka dronom iznad vojnih objekata i vojnih zona; letovi dronom se mogu obavljati samo uz prethodno odobrenje Ministarstva odbrane. Letenje dronom sa terena unutar pojasa zaštitnog područja, a koji se nalazi unutar 300 m od granične linije u dubini teritorije BiH, nije dozvoljeno ukoliko operator drona ili vlasnik drona nije pribavio prethodnu saglasnost Granične policije BiH i Jedinice za upravljanje vazdušnim prostorom (AMC). a sve prethodno navedeno, pored saglasnosti i odobrenja od strane zainteresiranih strana, operator drona ili vlasnik drona mora pribaviti odobrenje BHDCA.

Kategorizacija dronova se vrši na osnovu maksimalne mase:

- a) Kategorija A1 - dron čija maksimalna masa na poletanju veća od 0.248 kg, a manja ili je jednaka od 1 kg;
- b) Kategorija A2 - dron čija je maksimalna masa na poletanju veća od 1 kg, a manja ili je jednaka od 2 kg;
- c) Kategorija A3 - dron čija je maksimalna masa na poletanju veća od 2 kg, a manja ili je jednaka od 5 kg;
- d) Kategorija A4 - dron čija je maksimalna masa na poletanju veća od 5 kg, a manja ili jednaka od 25 kg

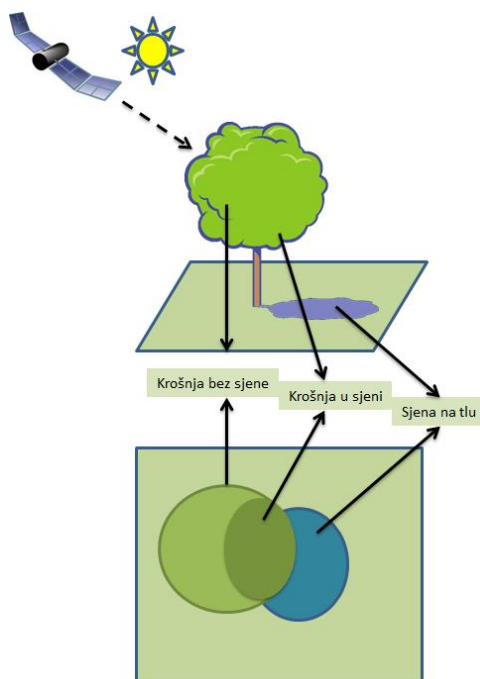
Navedeni pravilnik predstavlja prvi korak ka usaglašavanju nacionalne legislative sa legislativom Evropske Unije koja je takođe redefinisana 2020. godine.



VEGETACIJSKI INDEKSI

Različiti materijali ispoljavaju specifičan absorpcioni minimum i maksimum u određenoj talasnoj dužini i time usložnjava interpretaciju objekata na tlu. Budući da složenost spektra nameće potrebu za pojednostavljenim pristupom koji se može primijeniti za što jasniju determinaciju ključnih biofizičkih parametara kod vegetacije razvijeni su spektralni indikatori koji predstavljaju kombinaciju dvaju ili više spektralnih pojaseva koji su jasno povezani sa biofizičkim parametrima kao što su indeks list-površina. Većina vegetacijskih indeksa je zasnovana na oštrom povećanju refleksije od vegetacije koja se javlja na oko 700 nm (crvena),

Ekolozi i konzervacijski biolozi pored podataka koje mogu dobiti sa karata zemljišnog pokrova često trebaju dodatne informacije o vegetacijskom pokrovu. Sa razvojem tehnologija daljinskog istraživanja i poboljšavanjem algoritama porasla je i sposobnost istraživača da precizno prate različite odlike vegetacije na određenom području. Danas postoje brojni proizvodi bazirani na satelitskim snimcima koji se koriste u ove svrhe. Na primjer podaci sakupljeni sa MODIS senzora se koriste za izradu brojnih proizvoda vezanih za vegetaciju kao što su vegetacijski indeksi, zemljišni pokrov, fenologija, indeks lisne površine, neto primarna produkcija, itd.



Slika 4. 16. Konceptualna shema definiranja vegetacijskog indeksa

Mjerenje ovih svojstava se zasniva na činjenici da na refleksiju, transmisiju, i rasipanje energije u krošnji veliki uticaj ima struktura i sastav vegetacije kao i način na koji pojedine

komponente vegetacije (listovi, grane, i stablo) reaguju sa spektrom energije koji emituje određeni instrument za daljinsko istraživanje sa satelitske platforme (Slika 4.16).

Vegetacijski indeksi se mogu računati pomoću algoritama koji se oslanjaju na fundamentalni princip da hlorofil u zelenoj zdravoj vegetaciji snažno absorbuje i crvene i plave talasne dužine dok snažno reflektuje IC talasne dužine. Budući da postoji pozitivna i vrlo visoka korelacija između vegetacijskih indeksa i primarne produkcije ovi indeksi se koriste za globalna istraživanja promjena u vegetaciji i vrlo su efikasni u kartiranjima suše, desertifikacije, fenologije, i deforestacije. Prije nešto više od dvije decenije naučnici su počeli koristiti podatke dobivene daljinskim istraživanjima za mjerenje i kartiranje gustine vegetacijskog pokrivača na Zemlji.

Koristeći Napredni visokorezolutni radiometar –AVHRR sa NOAA satelita naučnici su počeli sakupljati slike površine naše planete. Pažljivim mjerenjem talasnih dužina i intenziteta vidljive svjetlosti i blizu IC svjetlosti koju reflektuje površina zemlje natrag u svemir naučnici koriste algoritam koji se naziva “vegetacijski indeks” za kvantifikaciju koncentracije zelenolisne vegetacije. Zatim su kombinovanjem dnevnih vrijednosti vegetacijskog indeksa u 8, 16, ili 30 dana kompozitne snimke kreirali detaljnu kartu gustine zelene vegetacije koja identificira područja gdje biljke normalno rastu a gdje su pod stresom, usljed npr., gubitka vode.

Za determinaciju gustine zelene na komadu tla, istraživači moraju posmatrati određene boje (talasne dužine) vidljivog i blizu IC sunčevog zračenja koja reflektuju biljke. Hlorofil u biljkama snažno absorbuje vidljivo svjetlo (od 0,4 do 0,7 μm) koje mu je potrebno u procesu fotosinteze. Stanična struktura listova sa druge strane snažno reflektuje blizu IC svjetlost (od 0.7 do 1.1 μm). NOAA AVHRR instrument ima pet detektora, od kojih su dva senzitivna na talasne dužine između 0,55–0,70 μm i 0,73–1,0 μm . Pomoću AVHRR detektora istraživači mjere intenzitet svjetla koje se vraća sa Zemlje u vidljivim i blizu IC talasnim dužinama i kvantificiraju fotosintetski kapacitet vegetacije u datom pikselu (jedan AVHRR piksel je 1 km^2) površine zemlje. Generalno, ako postoji mnogo više reflektovanog zračenja u blizu IC talasnim dužinama nego u vidljivim talasnim dužinama, onda je vegetacija u tom pikselu vjerovatno vrlo gust i može uključivati neke tipove šume. Ako postoji vrlo malo razlika u intenzitetu reflektovanih vidljivih i blizu IC talasnih dužina, onda je vegetacija vjerovatno vrlo rijetka i može uključiti travnjake, tundru, ili čak pustinju.

Gotovo svi satelitski vegetacijski indeksi koriste formulu prema kojoj se intenzitet vrijednosti digitalnog broja (DB), svakog vidljivog crvenog pojasa oduzima od infracrvenog pojasa na bazi piksel-po-piksel. Ta vrijednost se zatim dijeli sumom od ova dva pojasa. Rezultat u ovoj formuli se naziva NDVI, odnosno Normalized Difference Vegetation Indeks.

NDVI koristi slijedeću jednačinu gdje IC označava infracrveni pojas a C vidljivi crveni pojas:

$$\text{NDVI} = (\text{IC} - \text{C}) / (\text{IC} + \text{C})$$

Vrijednost NDVI za dati piksel je uvijek broj koji ima vrijednosti od minus jedan (-1) do plus jedan (+1), gdje 0 označava zonu bez vegetacije, kao npr., ceste, golo tlo, i zgrade, dok vrijednost blizu +1 (npr., 0,8 – 0,9) indicira najveću moguću gustinu zelenih listova. Slobodna stajaća voda (npr., oceani, mora, jezera) i tekućice imaju prilično nisku refleksiju u oba spektralna pojasa (barem daleko od obala) te stoga rezultiraju vrlo niskim pozitivnim ili čak neznatno negativnim NDVI vrijednostima. Tla generiraju prilično male pozitivne NDVI vrijednosti (od 0,1 do 0,2). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) je jednostavan numerički indikator koji se može koristiti za analizu mjerenja daljinskih istraživanja, i procjenu da li cilj koji se posmatra sadrži živu zelenu vegetaciju ili ne.

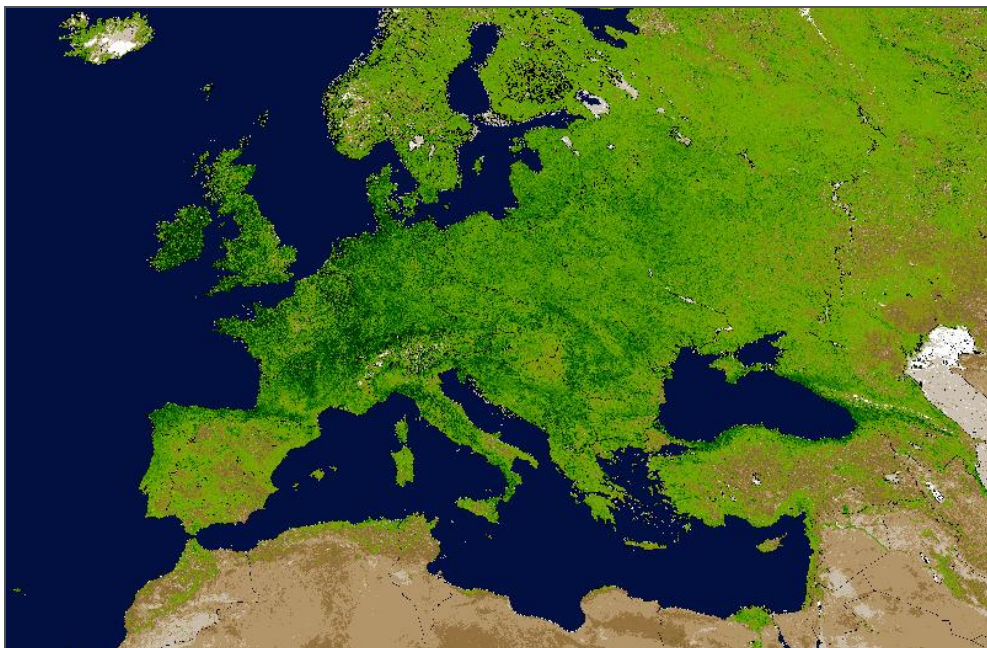
NASA je 1999. godine lansirala svemirsku letjelicu Terra koja je nosila senzor pod nazivom Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS sa prostornom rezolucijom do 250 metara, što je uveliko poboljšalo sposobnost naučnika da mjere rast biljaka na globalnoj skali (Slika 4.17.). MODIS tim naučnika je pripremio Enhanced Vegetation Index (EVI) koji je poboljšan u odnosu na NDVI. EVI se računa na sličan način kao i NDVI, s tim da on ispravlja neke distorzije u reflektovanom svjetlu koje su uzrokovane česticama u zraku kao i zemljišnim pokrovom ispod vegetacije. EVI takođe ne postaje zasićen tako lako kao NDVI kada posmatra kišne šume i druge oblasti na Zemlji sa velikim količinama hlorofila. EVI se računa prema formuli:

$$\text{EVI} = G \times [(\text{BIC} - \text{Crvena}) / (\text{BIC} + C1 \times \text{Crvena} - C2 \times \text{Plava} + L)]$$

gdje G predstavlja težinski faktor, L vrši kompenzaciju za različite načine na koje se blizu IC i crvena svjetlost ponašaju (rasijavaju i absorbuju) unutar i ispod krošnje, a C1, C2 su koeficijenti koji minimiziraju rezidualne varijacije aerosola korištenjem plavog pojasa za korekciju uticaja aerosola u crvenom pojasu. Koeficijenti koji su usvojeni u MODIS-EVI algoritmu su; L=1, C1 = 6, C2 = 7.5, i G (težinski faktor) = 2.5.

Dok je NDVI senzitivn na hlorofil, EVI više reagira na strukturalne varijacije u krošnji, uključujući i indeks lisne površine, tip krošnje, fizionomiju biljke i arhitekturu krošnje.





Slika 4.17. MODIS-ov poboljšani vegetacijski indeks za Evropu (MODIS Enhanced Vegetation Index - EVI)

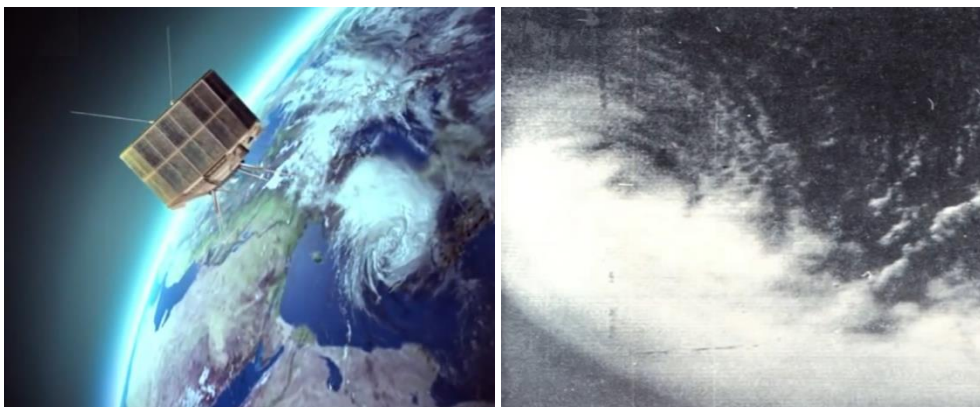
Na slici 4.16. su vrlo niske vrijednosti EVI (bijeले i smeđe zone) odgovaraju golim površinama pod stijenama, pijeskom ili snijegom. Umjerene vrijednosti (svijetlo zelena) predstavljaju travnjake, dok visoke vrijednosti indiciraju umjerene šume (tamno zelena). MODIS EVI predstavlja novi alat za monitoring krupnih fluktuacija u vegetaciji i razumijevanja kako one utiču i kako na njih utiču klimatski trendovi.

Ova dva vegetacijska indeksa dopunjuju jedan drugoga u istraživanjima globalne vegetacije i poboljšavaju detekciju promjena vegetacije i ekstrakciju biofizičkih parametara krošnje. MODIS vegetacijski indeks MOD13 uključuje i NDVI i EVI. Potrebno je naglasiti da je slika koja se koristi za izradu MODIS vegetacijskih indeksa prethodno procesirana kako bi se reducirali efekti posmatranja pod određenim uglom kao i pada sunčevog zračenja pod određenim uglom. Međutim, ni NDVI ni EVI ne eliminišu sve prepreke. Oblaci i aerosol često mogu zasititi neke piskele, a povremeni kvarovi na instrumentima na satelitu mogu poremetiti snimak. Osim ova dva indeksa postoji još nekoliko vegetacijskih indeksa kao što su Simple Vegetation Indeks (SVI), Soil Adjusted Vegetation Indeks (SAVI), te modificirani SAVI (MSAVI).

PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U KLIMATSKIM OBSERVACIJAMA

Jedna od najznačajnijih aplikacija daljinskih istraživanja jeste u oblasti istraživanja fizičkih struktura sadržanih u atmosferi. S obzirom da najveći dio njih direktno ili indirektno učestvuje u različitim fazama nastanka i razvoja atmosferskih pojava i procesa može se konstatovati da se primjena daljinskih istraživanja u atmosferi najvećim dijelom odnosi na definiranje i praćenje meteorološkog vremena, posebno sa sineoptičkog aspekta. Konkretnije, može se konstatovati da su savremena naučna istraživanja i njihova primjena u meteorologiji, klimatologiji i drugim atmosferskim naukama danas nezamislive bez primjene daljinskih istraživanja u detekciji i kvantifikaciji intenziteta praktično svih osnovnih meteoroloških elemenata i s tim u vezi kreiranje adekvatnih dinamičkih modela atmosfere.

Koncept primjene daljinskih istraživanja u meteorologiji se bazira na identifikaciji i observacijama atmosferskih pojava i procesa primjenom satelitskih ili radarskih senzora za detekciju. Ovakav koncept se pojavio i razvijao kao dio cjelokupnog procesa tehnološkog razvoja satelitskih sistema tako da se prve satelitske meteorološke observacije javljaju već početkom šedesetih godina prošlog stoljeća. Konkretnije, neposredno nakon lansiranja sovjetskog satelita Sputnik, SAD su intenzivirale program svemirskih istraživanja koji je rezultirao kreiranjem različitih vlastitih satelitskih misija. Jedna od najranijih bila je 1959. godine kada su naučnici Sveučilišta Wisconsin-Madison (Space Science and Engineering Center) razvili pionirski eksperimentalni program meteorološkog satelita pod vodstvom dr. Verner E. Suomi-ja, (kojeg većina savremenih naučnika smatra osnivačem satelitske meteorologije). Lansiranjem satelita Tiros I 1960.godine je započelo kontinuirano observiranje, modeliranje i automatizirano prognoziranje meteorološkog vremena koje je u današnjem periodu gotovo u potpunosti oslonjeno na sisteme za daljinska istraživanja (Slika 5.1. (a) i (b)).



Slika 5.1. TIROS I satelit: (a) animacija misije (b) jedna od prvih satelitskih fotografija meteorološkog vremena snimljena televizijskom kamerom sa satelita TIROS I

Shodno značaju meteorološkog vremena na odvijanje cjelokupnih društvenih procesa kao i njegovog uticaja na obrazovanje i intenzitet različitih prirodnih nepogoda (kao što su poplave, suše, požari i sl.) danas je veliki broj država svijeta uspostavilo vlastite sisteme za daljinska meteorološka istraživanja. Najveći broj njih je opremljen sensorima za detekciju i identifikaciju većeg broja meteoroloških elemenata kakvi su intenzitet Sunčevog zračenja, ekstraterestička radijacija, temperatura površine Zemlje i na određenim visinama u atmosferi, količinu vodene pare, visinu i vrstu oblaka (smjer i relativna brzina kretanja), vrstu i količinu padavina (hidrometeori), zračni pritisak, smjer i brzinu vjetra i sl.

U svrhu identifikacije atmosferskih procesa i pojava meteorološki sateliti su postavljeni u dvije standardne orbite: polarnu i geostacionarnu. U geostacionarnoj orbiti sateliti imaju relativno stacionaran položaj u odnosu na određenu tačku na Zemljinoj površini. Zbog toga su geostacionarni meteorološki sateliti locirani u Zemljinoj orbiti na 36.000 km iznad ekvatora. Zbog relativno velike udaljenosti ove satelitske misije imaju veliki prostorni obuhvat snimka meteorološke situacije koji može iznositi i do 35 % od površine Zemlje tako da nekoliko njih koje su raspoređene na nekoliko različitih orbitalnih pozicija istovremenim snimanjem slika pokrivaju površinu cijele planete. Iako je zbog velikog prostornog obuhvata snimka prostorna rezolucija ovih snimaka mala oni su sasvim pogodni za identifikaciju i praćenje meteorološkog vremena. S obzirom na poziciju iznad ekvatora ovi sateliti praktično nemaju mogućnost snimanja polarnih područja zemlje. Iz ovog razloga je u polarnoj orbiti Zemlje lansiran također veći broj meteoroloških satelita koji snimaju vremenske procese u niskoj orbiti Zemlje, na visini od oko 700 do 1.000 km.

Identifikacija atmosferskih procesa i pojava za potrebe proučavanja meteorološkog vremena se bazira na primjeni oba tipa senzora (pasivnih i aktivnih) čiji se princip rada bazira na primjeni:

- fotooptičkih senzora,
- elektrooptičkih senzora,
- mikrotalasnih senzora.

Princip rada fotooptičkih senzora se bazira na primjeni širokog spektra fotokamera sa filmovima koji registruju elektromagnetno zračenje. Savremeni filmovi imaju mogućnost snimanja širokog spektralno područja, od bliskog ultraljubičastog zračenja (0,25 - 0,40 μm , preko vidljivog (0,40 – 0,70 μm) do bliskog infracrvenog zračenja (0,70 - 1,50 μm) i s tim u vezi mogu registrovati intenzitet i prostorni razmještaj različitih meteoroloških elemenata i pojava u atmosferi.

Elektrooptički senzori rade na principu pretvaranja emitovane i reflektovane elektromagnetne energije u električni impuls. Glavni elektrooptički senzori su televizijske, foto i video kamere i skeneri. Sve vrste kamere rade na principu trenutne registracije elektromagnetnog zračenja za posmatrano područje. Snimanja vremenskih procesa i pojava se mogu obavljati u: crno-beloj tehnici, koloru ili multispektralno (istovremeno u većem broju užih spektralnih pojaseva). Osim u vidljivom savremene kamere mogu snimati elektromagnetno zračenje i u blisko infracrvenom zračenju (do 1,1 μm).



Skeneri imaju isti princip rada kao kamere, s tim da se emitovanje i registracija elektromagnetnog zračenja vrši pomoću rotirajućeg ili oscilirajućeg ogledala po uskim, međusobno bliskim i gusto raspoređenim pojasevima. Identifikacija fizičkih struktura u atmosferi ili na Zemljinoj površini se u odnosu na pravac kretanja nosača-platforme obavlja na dva načina skeniranja: uzdužno (along track) i poprečno (across track). Skeneri za identifikaciju se u odnosu na princip i opseg registracije elektromagnetnog zračenja dijele na: multispektralne i termalne. Savremeni multispektralni skeneri registruju elektromagnetno zračenje u većem broju kanala (preko 10) od blisko ultraljubičastog (UV), vidljivog, infracrvenog (IC) do termalnog IC spektralnog područja (od 0,25 do 14 μm). Svaki kanal ima mogućnost registracije elektromagnetnog zračenja u određenom spektralnog rasponu. Skeneri termalnog zračenja vrše detekciju i identifikaciju fizičkih struktura u atmosferi registracijom elektromagnetskog zračenja prvenstveno u termalnom infracrvenom (TIR) pojasu. U odnosu na prethodne (multispektralne) skenere razlikuju se samo u vrijednostima pojaseva za registraciju elektromagnetnog zračenja. Konkretnije, u meteorološkim istraživanjima najbolje detekcijske efekte postižu u dva dijela elektromagnetnog spektra: 3 do 5 μm i 8 do 14 μm . U navedena dva dijela spektra vrši se detekcija elektromagnetne energije koju emituju fizičke strukture u atmosferi poput vodene pare, kapljica vode, kristalića leda i drugih primjesa u atmosferi. U svrhu eliminisanja emitovane energije kraćih talasnih dužina (do 2 μm) koju zrače tijela zagrijana Sunčevom energijom senzori na termalnim skenerima su prekriveni specijalnom folijom koja propušta zračenje u talasnim dužinama dva navedena dijela elektromagnetnog spektra.

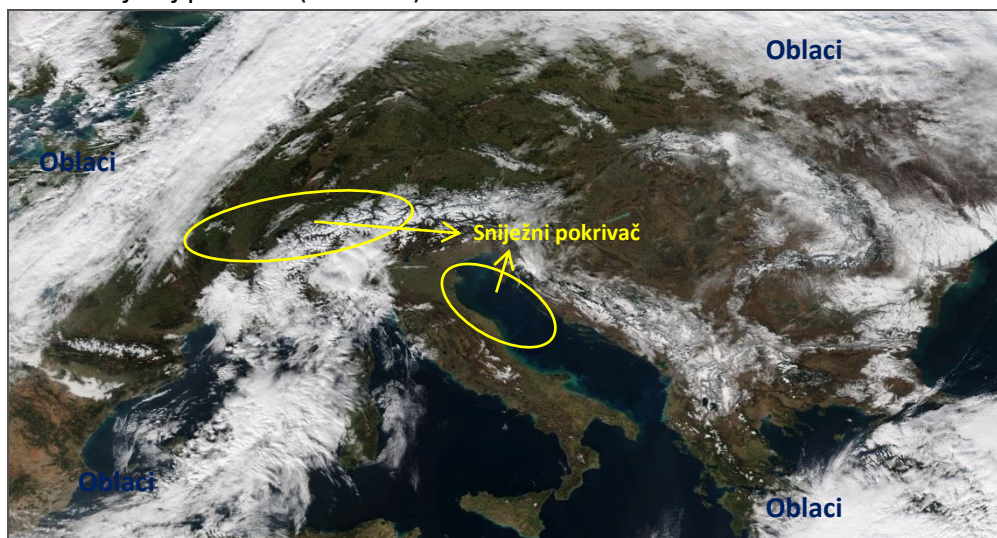
Mikrotalasni senzori služe registruju elektromagnetno zračenje u spektralnog dijelu sa najvišim talasnim dužinama od 1.000 do 1.000.000 μm (od 1 mm do 1 m). U odnosu na to dali registruju energiju koju emituju određene fizičke strukture ili reflektovanu, koju odašilju sami, mikrotalasni senzori se mogu podijeliti na pasivne i aktivne. S obzirom na činjenicu da je nergetski potencijal prirodnih tijela vrlo malen pasivni mikrotalasni senzori se praktično vrlo malo koriste u daljinskim istraživanjima. Za razliku od njih, aktivni mikrotalasni senzori imaju vrlo široku primjenu u meteorološkim istraživanjima i, posebno, u prognozi vremena. Osnovna prednost njihove primjene jeste mogućnost detekcije i identifikacije fizičkih struktura u atmosferi neovisno od sunčevog zračenja, tako da se mogu koristiti tokom 24 sata. Najčešći tip aktivnog mikrotalasnog senzora je Radar (Radio Detection And Ranging – RADAR), odnosno uređaj koji služi za detekciju, identifikaciju i merenje udaljenosti objekata putem radio talasa. U daljinskim meteorološkim istraživanjima se najviše koristi tzv.bočno usmjereni radar (Side Looking Airborne Radar - SLAR) u dvije varijante: radar sa realnom (Real Aperture Radar - RAR) i radar sa sintetičkom aperturom (Synthetic Aperture Radar - SAR). Oba tipa služe za površinsku i djelimično dubinsku detekciju fizičkih struktura u atmosferi i na površini Zemlje. Važna karakteristika ovih senzora je da mogu emitovati mikrotalase većeg intenziteta koji mogu nesmetano prolaziti kroz oblačne sisteme i maglu i tako praktično nesmetano detektovati objekte na zemljinoj površini. Poseban značaj raari



imaju u detekciji svih vrsta oblačnih padavina što je od esencijalne važnosti za svjetsku i nacionalne meteorološke službe.

Shodno istaknutim činjenicama može se konstatovati da danas postoji veliki broj satelitskih sistema i aplikacija za praćenje strukture i dinamike atmosferskih pojava i procesa za različite svrhe, posebno sa aspekta praćenja i prognoze meteorološkog vremena. Svaki od njih ima svoje specifičnosti kako sa aspekta primijenjene tehnologije i principa rada tako i sa aspekta metodologije koja se primjenjuje za praćenje i mjerenje ciljanih procesa i pojava u oblasti atmosferskih proučavanja.

Jedan od najviše zastupljenih metoda daljinskih istraživanja u meteorološkim proučavanjima i prognozi vremenskih stanja se zasniva na identifikaciji elektromagnetnog zračenja u vidljivom dijelu spektra za reflektovano sunčevo zračenje u atmosferi ili na površini Zemlje. Konkretnije, detekcija hidrometeora se zasniva na snažnijoj refleksiji vidljivog zračenja što omogućava da se definiraju prostorni položaj, veličina i intenzitet djelovanja. Na ovaj način se detektuju i identificiraju svi oblici kondenzovane ili sublimirane vodene para u atmosferi, kakvi su na pr. oblaci različite fizičke strukture (vodeni, ledeni ili mješoviti), različiti oblici oblačnih padavina sa aspekta vrste i intenziteta njihovog izlučivanja i sl. S obzirom na navedeno može se konstatovati da se fizičke strukture koje imaju snažnu refleksiju na snimcima identificiraju intenzivnom bijelom bojom kao što su na primjer različite vrste kumulusnih oblaka (kumulusi, kumulonimbusi, stratokumulusi i sl.) ili kao što je sniježni pokrivač na Zemljinoj površini (slika 5.2.).

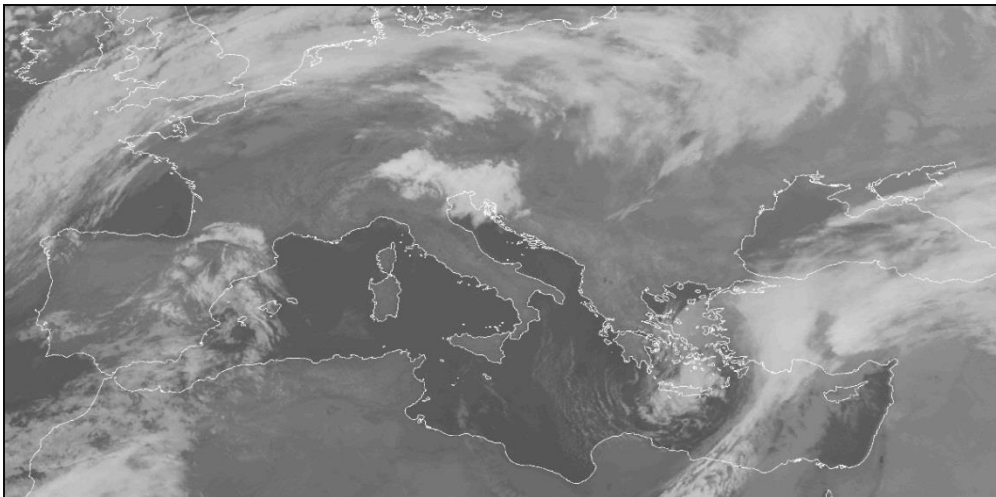


Slika 5.2. NOAA snimak meteorološke situacije nad većim dijelom evropskog kontinenta u „lažnim“ realnim bojama (snimak situacije za 13.01.2015.). Na slici su vidljivi kumulusni oblaci kao i površine pod sniježnim pokrivačem. (Izvor: <http://www.nvl.noaa.gov/>)

S druge strane fizičke strukture koje imaju slabiju refleksiju u vidljivom dijelu elektromagnetnog zračenja se na snimku detektuju kao nijanse sive boje ili kao crna ako izostaje refleksija. Iako su u osnovi ove vrste satelitskih snimaka u vidljivom dijelu spektra u

osnovi crno-bijele, one se mogu prezentirati u prirodnim bojama ako se svakom nivou sive boje pridruži odgovarajuća kolorna boja.

U toplinskom (IC) dijelu spektra mjeri se intenzitet primljenog infracrvenog zračenja koje emituju različite fizičke strukture na površini Zemlje ili u atmosferi. Primjenom ovog koncepta najhladnije područja na površini Zemlje ili u atmosferi imaju dominantno bijeli odraz na satelitskoj slici, dok najtoplija područja imaju tamne nijanse sive boje (Slika 5.3.). Prednos ovog načina snimanja jeste cjelodnevna dostupnost termalnih satelitskih snimaka što je posebno važno za praćenje i analizu meteorološkog vremena.



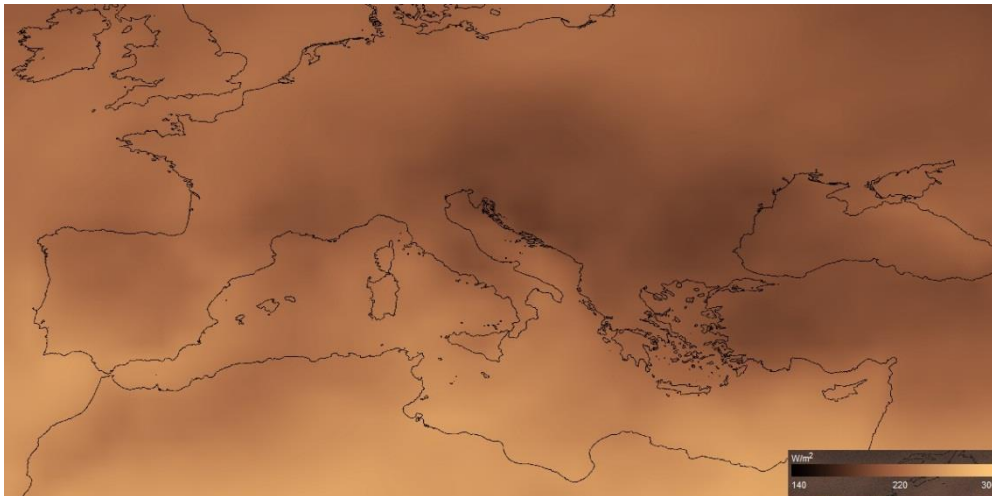
Slika 5.3. NOAA snimak oblačnih sistema dektovanih IC sensorima nad većim dijelom evropskog kontinenta. (Izvor: <http://www.nvvl.noaa.gov/>)

Posebno značajan aspekt ovog sistema za detekciju je mogućnost snimanja u detektovanju i identifikaciji visokih oblaka konvektivnog tipa koji imaju padavinski karakter i proizvode intenzivne pljuskovite padavine i s tim u vezi vremenske nepogode. Princip njihove detekcije se zasniva na izrazito nižoj temperaturi ovih oblaka od okolnog zraka. Uvažavajući ovu činjenicu jasno je da se niska oblačnost teže detektuje s obzirom da je temperatura oblaka vrlo slična temperaturi okolnog zraka.

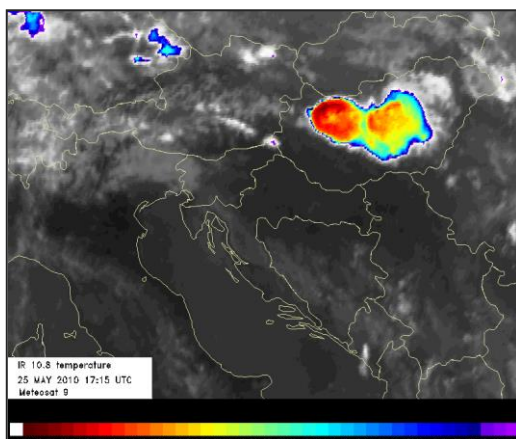
Vodena para je najvažnija atmosferska primjesa od čije masene zastupljenosti zavisi karakter meteorološkog vremena. Ona u velikom broju apsorpcijskih vrpca snažno absorbira kako kratkotalasno infracrveno elektro-magnetsko zračenje Sunca tako i tamno dugotalasno infracrveno zračenje Zemlje i atmosfere što je iskorišteno za identifikaciju njenog prisustva u atmosferi.

Tokom osvijetljenog dijela dana atmosfera apsorbuje od 15 do 18 % od ukupne količine kratkotalasnog sunčevog zračenja usljed čega se djelimično zagrijava. Najveći dio apsorbovanog zračenja pripada vodenoj pari sadržanoj u oblačnim sistemima. Također vodena para u atmosferi apsorbuje cjelodnevno dugotalasno infracrveno zračenje Zemljine površine koje ima vrlo slab toplinski efekat s obzirom na male energetske vrijednosti (Slika

5.4.). Shodno navedenom, ako u atmosferi postoji povećana količina vodene pare onda će ona u prostornom dijelu koji zauzimaju oblačni sistemi izračiti manje energije u IC dijelu spektra te će ta područja na satelitskim snimkama imati svjetliji odraz i obratno.



Slika 5.4. NOAA snimak intenziteta dugotalasne Zemljine radijacije i atmosfere detektovane IC sensorima nad većim dijelom evropskog kontinenta. (Izvor: <http://www.nnvl.noaa.gov/>)



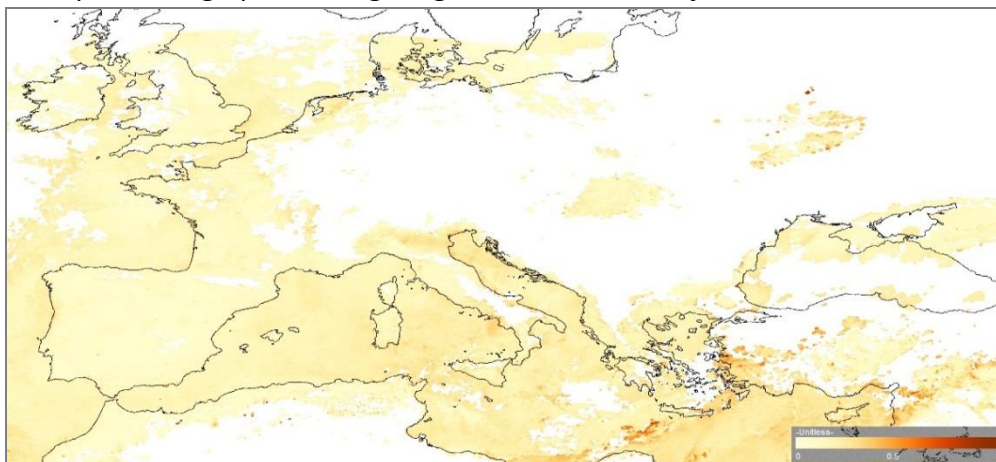
Slika 5.5. Infracrveni odraz vrha visokih oblaka na meteosat 9 snimku. (Izvor: meteosat)

Pri tome je važno istaknuti da satelitske snimke u spektru za identifikaciju vodene pare daju podatke o njenoj zastupljenosti preva-shodno u gornjoj polovini atmosfere zbog čega će najsvjetlije odraze imati oblaci intenzivnog vertikalnog razvića, odnosno, područja u atmosferi koja su zahvaćena frontalnom naoblakom čija moćnost je više kilometara i koji produkuju frontalne padavine. Važna osobina konvektivnih oblaka je i njihov eliptičan odraz na snimcima (Slika 5.5.).

Identifikacija niskih oblaka je znatno otežanija posebno kada su u pitanju prizemne (tadijacione i advektivne) magle. U tu svrhu najviše je u funkciji termalni infracrveni pojas, posebno kada je u pitanju noćna detekcija navedenih meteoroloških pojava. Termalni pojasevi kod većine satelitskih misija također ima značajnu primjenu u procjeni temperatura tla i površine mora tokom noćnih sati, kao i u za identifikaciju šumskih požara.

Važan segment u razvoju vremenskih stanja predstavljaju kondenzaciono-sublimacioni procesi čiji intenzitet zavisi od količine kondenzacionih jezgara koje u čistom zraku prevashodno čine aerosoli. Konkretnije, koncentracija ovih mikroskopskih čestica u kombinaciji sa drugim meteorološkim elementima predstavlja jedan od temeljnih preduvjeta za formiranje padavina. Detekcija čestica aerosoli se bazira na sličnom principu refleksije emitovanog IC zračenja (Slika 5.5.). Senzorski pojas u kratkotalasnom dijelu

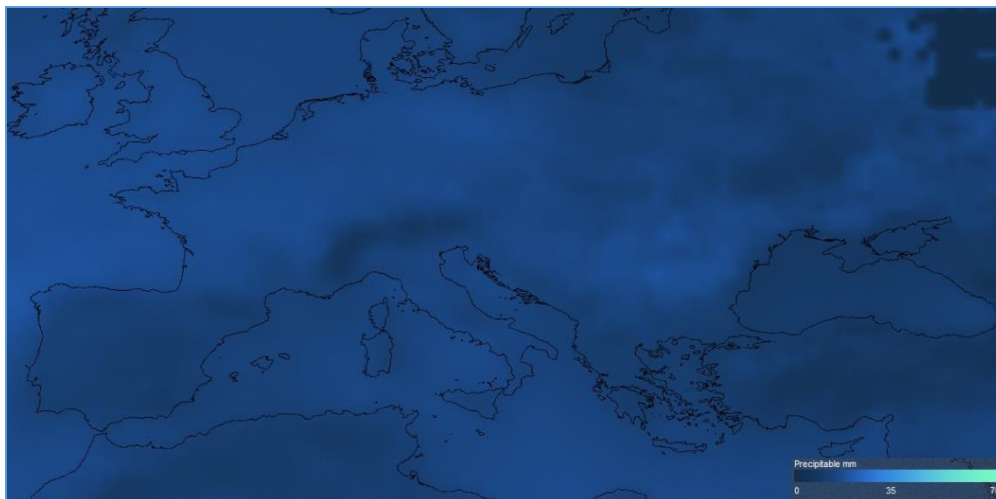
elektromagnetnog spektra od 1,6 μm (blisko infracrvenom zračenju), detektuje reflektovano Suncevo zračenje i tako omogućava razlikovanje snijega od oblaka i vodenih od ledenih oblaka (vidjeti sliku 5.1.). Osim za identifikaciju aerosola ovaj pojas je vrlo važan za zrakoplove zbog upravo zbog mogućnosti identifikacije ledenih oblaka.



Slika 5.5. NOAA snimak prostorne raspodjele aerosoli (jezgra kondenzacije) detektovanog IC sensorima nad većim dijelom evropskog kontinenta. (Izvor: <http://www.nnvl.noaa.gov/>)

U procesu identifikacije postojećeg i budućeg razvoja vremenskih stanja osim vodene pare važno je detektovati i ostale značajne meteorološke elemente i primjese u atmosferi.

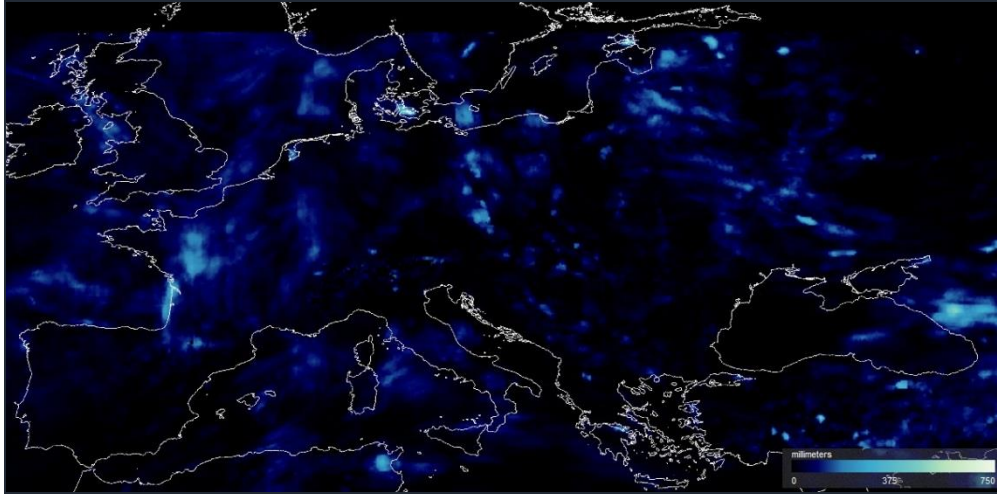
Jedan od najznačajnijih elemenata za identifikaciju predstavlja zračni pritisak. Senzori za detekciju Zračnog pritiska rade na kombinaciji masenog učešća vodene pare i drugih primjesa u odnosu na vrijednosti suhog zraka čime se rezultati mogu kvantificirati i prostorno prezentovati (Slika 5.6.).



Slika 5.6. NOAA snimak prostorne raspodjele zračnog pritiska detektovanog IC sensorima nad većim dijelom evropskog kontinenta. (Izvor: <http://www.nnvl.noaa.gov/>)

Kombinacijom navedenih kanala za identifikaciju visokih i niskih oblaka kao i njihove strukture (kišni, ledeni, mješoviti), temperature zraka na različitim visinama u atmosferi i prostorne raspodjele zračnog pritiska moguće je izvršiti detekciju različitih oblika visokih

(oblačnih) padavina. U tu svrhu se koriste kombinacije adekvatnih senzorskih pojaseva - multispektralne analize, koje se primjenjuju za sve faze nastanka padavina: intenziviranje isparavanja i porasta količine vodene pare u atmosferi, preko formiranja oblačnih sistema do izlučivanja padavina, uključujući pri tome i procese premještanja padavinskih zona u periodu izlučivanja padavina (Slika 5.7.).



Slika 5.7.

NOAA snimak prostorne raspodjele i sume padavina detektovane multispektralnom senzorskom analizom nad većim dijelom evropskog kontinenta, u periodu 19.05. – 24.05.2014. (period intenzivnih poplava u regionu Balkanskog poluotoka).

(Izvor: <http://www.nnvl.noaa.gov/>)

Bazni element u detekciji padavina kod većine meteoroloških satelita se bazira na identifikaciji promjena u reflektivnosti konvektivnih oblačnih sistema koje bilježe adekvatni senzorski kanali u termalnom infracrvenom dijelu. Konkretnije, identifikacija putem senzorskih kanala se odnosi na postupke praćenja od niske reflektivnosti koju ima inicijalna faza formiranja konvektivnih ćelija do visoke reflektivnosti koju imaju vrhovi oblaka (usljed prisutnosti većih kristala leda koje izbacuju snažne uzlazne struje), što je indicira na fazu razvijenih konvektivnih ćelija iz kojih se izlučuju padavine. Praćenjem tendencije u prostornim promjenama zračnog pritiska, smjera i brzine vjetera kao i

Jedan od najvažnijih događaja u primjeni daljinskih istraživanja za potrebe proučavanja meteorološkog vremena predstavlja lansiranje nove generacije satelita (Meteosat Second Generation – EUMETSAT) koji će mjeriti atmosfersko i zračenje Zemljine površine istovremeno snimati svakih 15 minuta (odnosno svakih 5 minuta nad Evropskim kontinentom) u 12 različitim pojaseva elektromagnetnog zračenja. U sinoptičkoj praksi najčešće se koriste satelitske slike u vidljivom i toplinskom spektru te spektru vodene pare u kombinaciji s klasičnim meteorološkim kartama i radarskim slikama. Osnovni instrument za mjerenje reflektovane energije elektromagnetnog zračenja je unaprijeđeni rotirajući skener za vidljivo i infracrveno zračenje (engl. **S**pinning **E**nhanced **V**isible and **I**nfrared **I**mager - SEVIRI) koji ima osam pojaseva u termalnom infracrvenom spektru (IR), tri u području solarnog odnosno vidljivog dijela spektra (VIS) kao i širokopojasni vidljivi pojas visoke prostorne rezolucije (HRVIS). Prostorna rezolucija 11 kanala iznosi 3 km / piksel-u dok ista za

HRVIS kanal u području neposredno ispod satelita iznosi 1 km / piksel-u. Za svaki od navedenih 12 pojaseva skeniranja ima baznu funkciju u detekciji i identifikaciji fizičkih struktura u atmosferi i na površini Zemlje. U vidljivom dijelu spektra postoje dva pojasa (0,6 i 0,8 μm) koji služe za detekciju i identifikaciju niskih, srednjih i visokih oblaka, aerosola te hidro-termičkog stanja tla. Kombinacijom ova dva kanala mogu se vršiti istraživanja u oblasti sastava i strukture vegetacijskog pokrivača. Pojas u infracrvenom dijelu elektromagnetnog spektra od 1,6 μm mjeri reflektovano Sunčevo zračenje u svrhu diferencijacije sniježnog pokrivača i niskih oblaka odnosno prizemnih magli. Na osnovu intenziteta albeda mjerenjima u ovom pojasu moguće je identificirati ledene oblake i aerosole i druge oblike kondenzacionih jezgara u atmosferi. Infracrveno zračenje u pojasu od 3,9 μm ima primjenu u detekciji i identifikaciji magle i niskih oblaka tokom noći, noćnom mjerenju površinske temperature tla i mora, kao i u identifikaciji šumskih požara. Za detekciju i identifikaciju vodene pare sa aspekta količine i prostorne distribucije u srednjoj i visokoj atmosferi i s tim u vezi visine, smjera i relativne brzine kretanja poluprozirnih oblaka koriste se dva pojasa u infracrvenom dijelu elektromagnetnog zračenja - 6,2 i 7,3 μm . Njihovom kombinacijom može se definirati količina latentne toplotne energije i s tim u vezi meteorološka nestabilnost atmosfere. Pojas od 8,7 μm u infracrvenom dijelu spektra koristi se za detekciju i identifikaciju fizičke strukture visokih oblaka tipa cirusa odnosno ledenih i vodenih cirusnih oblaka što u kombinaciji sa vodenom parom također omogućava definiranje nivoa meteorološke nestabilnosti atmosfere.

Praćenje koncentracije Ozona u nižoj stratosferi na nivou dnevnih promjena kao i praćenje visine tropopauze bazirano je mjerenjima emisije u infracrvenom pojasu od 9,7 μm . Pojasevi od 10,8 μm i 12,0 μm pripadaju termalnom infracrvenom zračenju i primjenjuju se za mjerenje površinske temperature tla, temperature gornje osnovice oblaka, detekciju i identifikaciju fizičke strukture i vrste oblaka i polja vjetra i s njima u vezi definiranja stepena meteorološke nestabilnosti atmosfere. Posljednji pojas od 13,4 μm služi za detekciju i identifikaciju toplotnog zračenja koje emituje atmosferski CO_2 , temperaturi niže troposfere, visine i fizičke strukture polutransparentnih oblaka kao i za definiranje stepena meteorološke nestabilnosti atmosfere.

S obzirom da se primjena satelitskih snimaka dobivenih mjerenjima prema pojedinačnim (panhromatskim) pojasevima koristi u svrhu dosta uskih observacijskih spoznaja danas su u znatno široj upotrebi multispektralni snimci. Dobivaju se kombinacijama pojaseva na više različitih načina

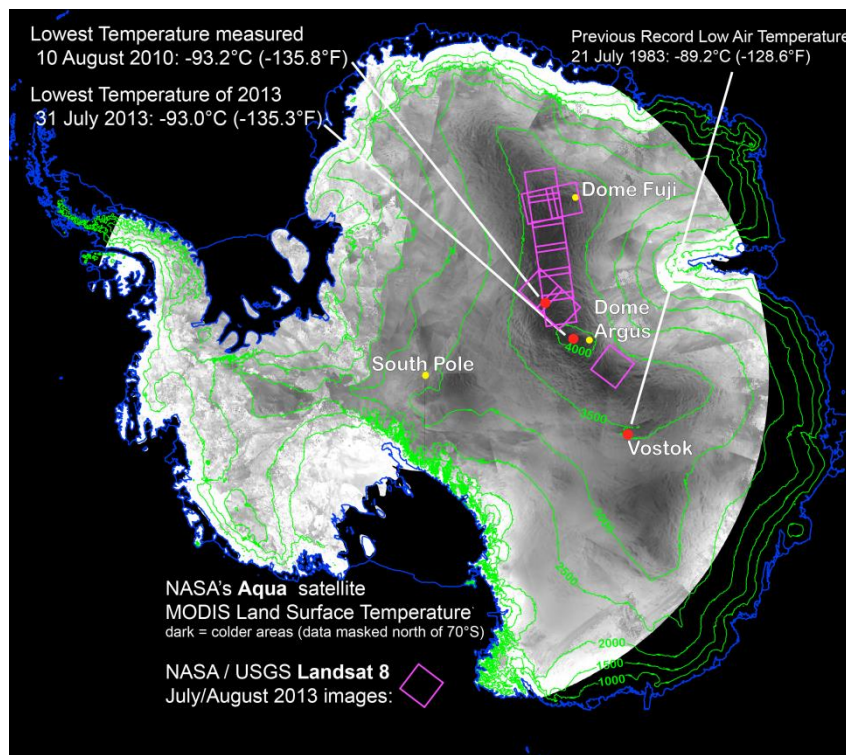
Njihovom primjenom je u značajnoj mjeri kvantitativno i kvalitativno unaprijeđen proces detekcije i identifikacije praktično svih fizičkih struktura u atmosferi i s tim u vezi je observacija meteorološkog vremena podignuta na do sada najviši nivo.

Bez obzira na vrstu satelitskih misija danas se meteorološki satelitski snimci šalju u pravilnim vremenskim razmacima od 15 minuta do 1 sata, što omogućava izradu dinamičkih modela atmosfere koji vrlo ilustrativno reprezentuju razvoj i kretanje atmosferskih sistema od malih



preko srednjih do velikih razmjera što predstavlja osnovu za izradu dinamičkih prognostičkih modela.

Daljinska istraživanja se vrlo često koriste i za praćenje određenih atmosferskih i vremenskih fenomena na dnevnom nivou. Tako je na primjer primjenom termalnih snimanja detektovano najhladnije mjesto na Zemlji - visoki greben na Antarktiku na Istočnoantarktičkom platou gdje se temperatura za vrijeme vedre zimske noći 10. augusta 2010. godine u nekoliko udubljenja spustila na $-93,2^{\circ}\text{C}$ (Slika 5.8.) Ovo je otkriveno analizom najdetaljnijih karata globalne temperature na površini koje su do sada izrađene korištenjem satelitskih podataka.



Slika 5.8. Landsat 8 termalni snimak Antarktika prostorne distribucije površinske temperature na dan 31.07.2013. i sa lokacijom najniže površinske temperature na planeti koju su detektovali MODIS-ovi senzori. Izvor: NASA/USGS Landsat 8. <http://www.noaa.gov/>

Istraživači su za ove svrhe koristili podatke sa dva tipa satelitskih senzora a to su Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) instrumenti sa NASA Terra i Aqua satelita i Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) koji se nalazi na nekoliko satelita koji su u vlasništvu National Oceanic and Atmospheric Administration. Ovi senzitivni instrumenti mogu pokupiti termalnu radijaciju koja se emituje sa površine Zemlje, čak i sa područja na kojima nema mnogo toplote. Zahvaljujući ovim sensorima detektovane su ekstremno niske temperature na području grebena dužine oko 1.000 km na visokim nadmorskim visinama između uzvisina Argus i Fudži, pa čak i niže temperature na nižim nadmorskim visinama u džepovima pored grebena. Korištenjem visokorezolutnih termalnih infracrvenih senzora

(Thermal Infrared Sensor - TIRS) koji se nalaze na Landsatu 8, istraživači su precizno odredili ove tačke.

PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U OBSERVACIJAMA TIPOVA POKROVNOSTI I KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA

Jednu od osnovnih aplikacija daljinska istraživanja imaju u oblasti definiranja tipova pokrovnosti i načina korištenja zemljišta kako na kontinentalnom tako i na nivou pojedinačnih država i njihovih osnovnih administrativno-organizacionih jedinica. Navedena aplikacija posebno je dobila na značaju tokom prošlog stoljeća kada su pritisci na prirodne i prostorne resurse usljed naglog porasta broja stanovnika višestruko porasli. S tim u vezi tokom posljednjih decenija učinjeni su značajni kako pojedinačni (nacionalni) tako i zajednički (regionalni) naponi da se utvrde tipovi pokrovnosti i promjene u korištenju zemljišta širih područja. Jedan od prvih takvih pokušaja bio je međunarodni program geosfera-biosfera je predstavljao prvi pokušaj da se kartira zemljišni pokrov rezolucije 1 km korištenjem Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) 1992. godine. Na sličan način je 30 timova iz cijelog svijeta učestvovalo u realizaciji projekta Global Land Cover 2000 (GLC2000) 1999. godine kojim je kartiran pokrov i izrađen VEGA2000 set podataka na osnovu snimaka rezolucije 1 km koje je načinio SPOT4 (Slika 5.9.) . Također, NASA je 2001. godine objavila set podataka o globalnom pokrovu koji je načinio MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), ključni instrumenta smješten na Terra (EOS AM) i Aqua (EOS PM) satelitima.

Detaljnost istraživanja zavisi od veličine područja istraživanja pa je uobičajeno da se za kontinentalni i regionalnokontinentalni nivo koriste podaci o pokrovnosti u sitnijem mjerilu, odnosno sa prostornom rezolucijom satelitskih snimaka istraživanja od 0,5 km ili nižom. Za istraživanja tipova pokrovnosti i načina korištenja zemljišta koja su na nacionalnom ili na nižem administrativnom nivou organizacije uobičajeno se koriste satelitski snimci veće prostorne rezolucije, od 0,25 do 0,1 km ili krupnije.

U odnosu na tradicionalne metode daljinska istraživanja u oblasti definiranja tipova pokrovnosti i korištenja zemljišta imaju niz značajnijih prednosti, među kojima posebno mogu izdvojiti sljedeće:

- Automatizirano i vremenski kontinuirano satelitsko snimanje istog područja i uz primjenu identičnog metodološkog koncepta interpretacije snimaka;
- Satelitski snimci mogu biti dobiveni sa varijacijama u prostornoj rezoluciji u ovisnosti od veličine prostornog obuhvata i sadržaja pokrovnosti istraživanih područja,





Slika 5.9. Satelitski snimak (Spot satelit) regiona Khufra (Lybia): Krugovi za navodnjavanje, (Koordinate: 24°11'N 23°17'E)

- satelitski snimci praktično u potpunosti eliminišu probleme koji se, usljed nepristupačnosti ili otežane pristupačnosti određenim područjima, javljaju kod primjene tradicionalnih terenskih istraživanja i na taj način čine dostupnim sadržaje koji nedostaju,
- Interpretacija satelitskih snimaka je u odnosu na tradicionalne metode terenskih istraživanja neusporedivo brža, efikasnija i ekonomski prihvatljivija s obzirom da u značajnoj mjeri smanjuje količinu terenske opreme i broj uključenih istraživača u ovakvim projektima,
- Satelitski snimci nakon interpretacije daju objektivnu, kontinuiranu i lako dostupnu bazu podataka o tipovima pokrovnosti i korištenju zemljišta koja može biti široko primijenjena u zavisnosti od oblasti nauke ili privrede.

S

U odnosu na navedene osnovne prednosti primjene satelitskih snimaka svakako da postoje i određene nedorečenosti ili nedostaci koji se prije svega odnose na detaljnu identifikaciju određenih sadržaja koji se slabo uočavaju ili se ne mogu uočiti na snimcima. Jedan od osnovnih nedostataka je nedostatak horizontalne perspektive u dinamičnom i energetski izraženom reljefu što može uzrokovati odsustvo određenih strukturnih sadržaja u

identifikaciji nekih kategorija površinske pokrovnosti (poput endemskih biljnih vrsta, vegetacijskih zajednica, strukture podloge i sl.). Također savremena naučna dostignuća u ovoj oblasti upućuju na zaključak da rezultati automatizirane interpretacije tipova pokrovnosti i korištenja zemljišta, sa aspekta povećanja detaljnosti sadržaja kao i u svrhu dopune postojećih baza novim dodatnim podacima ipak trebaju biti dopunjeni i verificirani terenskim istraživanjima.

Shodno istaknutim činjenicama mogu se definisati određeni zadaci koji trebaju biti uvaženi u savremenim konceptima primjene daljinskih istraživanja u ovoj oblasti:

1. Tipovi pokrovnosti i korištenje zemljišta predstavljaju višerazinski sistem kojeg sačinjavaju: aktivnosti – korištenje zemljišta i resursi – tipovi pokrovnosti (Anderson i dr., 1976.),
2. Minimalna razina tačnosti u identifikaciji kategorija pokrovnosti i korištenja zemljišta trebala bi biti najmanje 85 %,
3. Tačnost interpretacije satelitskih snimaka za sve kategorije pokrovnosti i oblike korištenja zemljišta u kontinuitetu bi trebala biti jednaka,
4. Ponovljeni postupci interpretacije istih satelitskih snimaka koju provode adekvatne institucije ili referentni naučnici u različitim vremenskim periodima bi sa aspekta dobivenih rezultata trebali biti iste tačnosti,
5. Sistem bi trebao biti primjenljiv za varijabilnu skalu prostornog obuhvata uz mogućnost interpretacije podataka za ista područja podatke dobivenih u svim klimatološkim sezonama,
6. Sistem treba imati mogućnosti dopune sa subkategorijama koje mogu biti izvedene iz terenskih istraživanja ili iz snimaka dobivenih drugim satelitskim misijama,
7. Automatska dopuna sa novim podacima zasnovana na usvojenim metodološkim procedurama je neophodna,
8. Uvažavajući činjenicu da je višenamjensko korištenje zemljišta vrlo često ovaj oblik korištenja bi trebao biti zastupljen u adekvatnim klasifikacionim sistemima,
9. Metodološki koncepti interpretacije i obrade dobivenih podataka o kategorijama pokrovnosti i korištenju zemljišta bi trebao omogućiti automatizirano poređenje sa podacima budućih planiranih mjerenja,

Osnovni elementi koncepta su aplikacijski tako da potencijalni korisnici podataka za svoje potrebe mogu izabrati tip i skalu snimka koji odgovaraj cilju projekta. Podaci u tabeli 5.1. prezentuju sisteme i skale satelitskih snimaka upotrijebljenih za svaki od četiri klasifikacijska nivoa.

Tabela 5.1. Pregled osnovnih skala i sistema u interpretaciji satelitskih snimaka u oblasti kategorija pokrovnosti i oblika korištenja zemljišta

Nivoi	Sistemi	Skala snimaka
Nivo 1	Sistem LANDSAT TM i MSS snimci;	Mjerilo:



	AVHHR snimci niske rezolucije	< 1:250000
Nivo 2	Zračne fotografije sa velikih visina; TM i SPOT snimci, AVHHR snimci (sa pomoćnim podacima)	Mjerilo: 1:80.000 do 1:250000
Nivo 3	Zračne fotografije sa srednjih visina	Mjerilo: 1:20.000 do 1:80.000
Nivo 4	Zračne fotografije sa niskih visina	Mjerilo: > 1:20.000

Izvor: The U.S. Department of Agriculture, 1976.

Nivo 1 je pogodan za kategorije i klase nacionalnog prostornog obuhvata dok je nivo 3 pogodan za interpretaciju sadržaja čiji prostorni obuhvat odgovara najnižim administrativnim jedinicama tipa općine.

Međutim, iskustva u praktičnoj implementaciji navedenih principa daljinskih istraživanja u oblasti definiranja kategorija pokrovnosti i oblika korištenja zemljišta su pokazala i određene slabosti. Na satelitskim ili zračnim snimcima se često teško prepoznaju definisani tipovi pokrovnosti za različite kategorije ili oblici korištenja zemljišta. Tako na primjer, razlikovanje zemljišta od vodenih površina je uglavnom jednostavan proces osim u izvanrednim slučajevima kao što su sezonske poplave, kada dolazi do izlivanja vode iz korita kada je praktično nemoguće determinisati stvarni položaj vodotoka. Slična situacija je na primjer u područjima močvara sa sezonskom promjenom biljnog pokrivača u kojima se moraju obavljati sezonska snimanja kako bi se pomenute promjene identificirale. Jedan od značajnijih problema javlja se u procesu delineacije preciznih granica između pojedinih tipova pokrovnosti, s obzirom da je najčešći slučaj naizmjeničnog zalaženja graničnih područja, posebno kada su u pitanju subkategorije iste kategorije. U takvim slučajevima granica je povučena tako da se kartirana područja podijele prema dominantnom tipu korištenja. Također, vrlo je čest slučaj da se na jednom području susreće više različitih kategorija ili podkategorija pokrovnosti ili oblika korištenja usljed čega istu praktično nije moguće podijeliti, odnosno takve su površine predstavljene kao multikorisničke. Tako na primjer skladišta u kategoriji trgovine i usluga su uglavnom locirane u dominantno industrijskim područjima.

Jedan od baznih interpretacijskih principa se odnosi manjinsko korištenje, odnosno kada ista zauzima više od 1/3 područja koriste se miješane kategorije na nivou 2 (tabela 5.2.). Alternativni način je spajanje kategorija gdje se manjoj kategoriji daje druga pozicija (na pr. 160/140). Višenamjensko korištenje zemljišnih parcela je također jedan od značajnijih interpretatorskih zadataka. Na primjer, šumska zemljišta se dosta često koriste u rekreacijske svrhe kao što su lov i kampiranje. U navedenom slučaju oblici korištenja se mogu spojiti u kategoriju 410/170 (sadržane u tabeli 5.2.).

Vrlo često se tokom definiranja oblika korištenja zemljišta ili kategorija pokrovnosti pojavljuju specifičnosti za koje je neophodno izvršiti određenu modifikaciju ili dopunu na nivou određenih subkategorija. U navedenim specijalnim slučajevima istraživači trebaju objasniti pravila interpretacije snimaka kao i modifikacije klasifikacijskog sistema korištenog u projektu. Iz ovog razloga klasifikacija može biti prilagođena posebnim zahtjevima. Tako na primjer, oznaci za navodnjavane voćnjake sadrane u tabeli 5.2. može se dodati i oznaka (i221), a nenavodnjavanim voćnjacima se može dodati n oznaka (n211). Također, u većini slučajeva teško je identificirati i kartirati područja čiji je prostorni obuhvat na snimku reprezentovan sa par milimetara. To se posebno odnosi na linijske (vodotoci, saobraćajnice i sl.) ili tačkaste (izvori, objekti i sl.) zbog čega se najčešće moraju koristiti dopunski podaci.

Uvažavajući navedene principe rada grupa naučnika (Anderson, R.J., and all., 1976.) odsjeka za poljoprivredu SAD (The U.S. Department of Agriculture) u saradnji sa agencijom za geološka istraživanja SAD (The U.S. Geological Survey) razvili su klasifikacijski sistem na tri nivoa koji je inicijalno prilagođen za oblast identifikacije tipova pokrovnosti i oblika korištenja zemljišta. Metodološki koncept organizacije podataka u navedenom sistemu klasifikacije prilagođen je daljinskim istraživanjima i rezultatima interpretacije tematskih satelitskih snimaka.

Shodno istaknutim činjenicama može se konstatovati da su inicijalne analize koje sveobuhvatno tretiraju površinsku pokrovnost i oblike i promjene u korištenja zemljišta primjenom metoda daljinskih istraživanja realizirane na području SAD, tako da su za primjer u ovom udžbeniku uzeti rezultati istih za regiju Los Anđelesa.

Kategorije tipova pokrovnosti i oblika korištenja zemljišta na 1. i 2. nivou u tabeli 5.2. su neznatno modificirani u odnosu na prethodno definirane skale. Kategorije 3. nivoa su prilagođene za primjenu u sveobuhvatnom i kompleksnom planiranju za različite potrebe i bazirane su na krupnorazmjernim skalama.

Najjednostavniji način za monitoring promjena zemljišnog pokrivača je primjena snimaka iz istog izvora, bilo daje riječ o AVHRR, Landsat, ili SPOT satelitima. Međutim, sa aspekta vremenskog kontinuiteta istraživanja često nisu dostupni snimci iz istog izvora tako da je neophodno koristiti podatke koje su prikupili različiti sistemi daljinske detekcije, te je neophodno vršiti kombinovanje podataka.

Osnovna analiza zemljišnog pokrova uključuje njegovu podjelu na određene tipove, odnosno njegovu klasifikaciju, što se postiže povezivanjem grupa srodnih piksela sa određenim tipovima zemljišnog pokrova. Zemljišni pokrov označava tip pokrova površine tla kao što je urbana zona, vegetacija, voda, ili golo tlo. Prepoznavanje pojedinih tipova zemljišnog pokrova i njihovo jasno razgraničavanje je od velikog značaja u prostornom planiranju i upravljanju resursima, kao i za izradu osnovnih tematskih karata.

Upotreba zemljišta označava svrhu korištenja zemljišta, npr. poljoprivreda, šumarstvo, industrija, rekreacija, itd. Tematske karte upotrebe zemljišta su neophodne u procesu

monitoringa kojim se vrši procjena potencijalnih promjena u načinu korištenja određenih površina, kao što su deforestacija, degradacija staništa ili širenje urbanih cjelina. Daljinska detekcija omogućava prikupljanje informacija o zemljišnom pokrovu na osnovu čega je moguće izdvojiti informacije o upotrebi zemljišta. Istraživanja vezana za zemljišni pokrov i upotrebu zemljišta su multidisciplinarnе prirode i uključuju široki spektar stručnjaka iz različitih oblasti, čime se omogućava znatno uspješnije upravljanje prirodnim resursima na održivim osnovama, zaštita prirodnih staništa, procjena zona zahvaćenih prirodnim katastrofama (zemljotrsi, poplave, požari, vulkanske erupcije), itd.

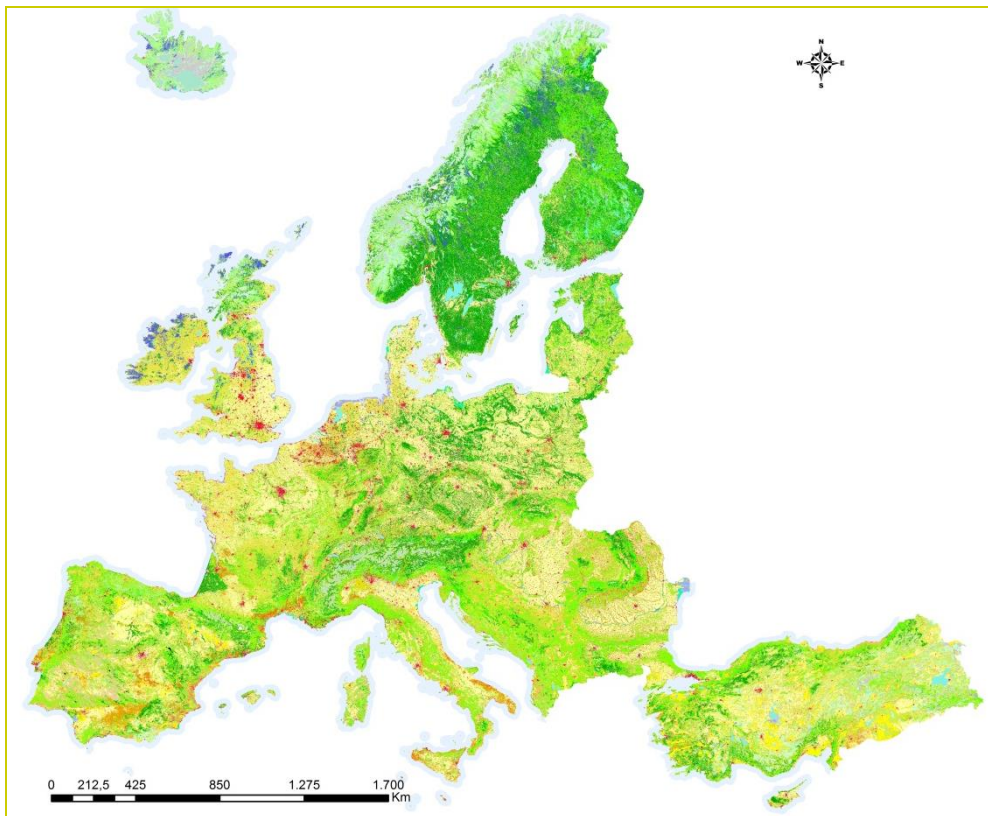
PRAKTIČNA PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U OBSERVACIJAMA TIPOVA POKROVNOSTI I KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA EVROPE

Značaj pokrovnosti zemljišta i promjene u načinu njegovog korištenja su također vrlo brzo uočile i zemlje-članice Evropske unije (ranije Evropske ekonomske zajednice) koje su već skraja osamdesetih godina prošlog stoljeća započele istraživanja u ovoj oblasti. Konkretnije, u periodu od 1985. do 1991.godine je osmišljen i uspostavljen zajednički informacijski sistem za praćenje zemljišnog pokrivača sa usvojenom istraživačkom metodologijom i nomenklaturom za obilježavanje teritorijalnih jedinica. Na konferenciju u Dobrisu (1991.godine) ministri za okoliš zemalja-članica Evropske unije su donijeli odluku da se istraživanja tipova pokrovnosti prošire i na zemlje Centralne i Istočne evrope, koje su bile uključene u Phare program Evropske komisije, čime je istraživački program proširen na još 13 zemalja. Shodno odluci Evropskog vijeća iz 1990.godine uspostavljene su Evropska okolinska agencija (**European Environment Agency - EEA**) i Evropska informacijska i promatračka mreža za okoliš (**European Environment Information and Observation Network - EIONET**), odgovornost za uspostavu i dopunjavanje CORINE baze podataka prenešena je na EEA. Na ovaj način je uspostavljena najveća digitalna baza podataka u oblasti pokrovnosti zemljišta na evropskom nivou (**CORINE Land Cover - CLC**).

Tokom perioda 1990. do 2015. realizirano je ukupno 4 CORINE Land Cover projekta: 1990., 2000., 2006. i 2012.godine. Realizacija navedenih projekata uključivala je određene promjene koje su se odnosile kako na satelitske misije kojima su realizirani tako i u strukturi i interpretaciji dobivenih podataka (Tabela 5.3.). Konkretnije, za izradu CORINE Land Cover za Evropu kao ulazni podaci za fotointerpretaciju prvo su korišteni Landsat MSS podaci rezolucije 80 m koji su zamjenjeni Landsat TM podacima veće spektralne (7 pojaseva) i prostorne rezolucije (30 m) (Slika 5.10.). Landsat 7 nije bio dostupan za CLC 2006, tako da su korišteni snimci koje su načinili SPOT-4 i IRS P6. Veličina najmanje kartirne jedinice predstavlja kompromis između nivoa detalja koje je snimio **multispektralni skener** i pouzdanosti štampanih karata. CORINE land cover za Evropu uključuje ukupno 44 klase zemljišnog pokrova grupisane u tri hijerarhijska razreda sa po 11 klasa za vještačke površine i poljoprivredne zone, 12 klasa za šumska i poluprirodna područja, te pet za vlažna staništa i vodena tijela nominalnog kreiranih u razmjeri 1:100.000. Za svaku identificiranu podklasu



osim nomenklaturnog broja i naziva definirana je i boja za kartografsko predstavljanje ([vidi Legendu za CORINE Land Cover klase pokrovnosti](#)).



Slika 5.10. CLC2000 baza podataka iz 2006.godine za evropski kontinent. Prostorna rezolucija korištenih satelitskih snimaka iznosi 250 x 250 m. **Izvor: ESA**

Kao minimalna kartirna jedinica u prostornim istraživanjima uzeti su poligoni veličine 25 ha, a u pojedinim slučajevima je korištena i finija rezolucija od 5 ha. Osim dodatnih podataka koji su uključivali karte, zračne snimke i statističke podatke korištena su i terenska istraživanja za provjeru preciznosti fotointerpretacije.

Tri osnovna cilja CORINE su da sakupi informacije o stanju okoliša u odnosu na određene teme koje su definisane kao prioritete od strane zemalja članica EU, da koordinira sakupljanje podataka i organizaciju informacija unutar zemalja članica EU ili na međunarodnom nivou, te da osigura da su informacije konzistentne a podaci kompatibilni. CORINE je definisan kao “eksperimentalni projekat za sakupljanje, koordiniranje i osiguravanje konzistentnosti informacija o stanju okoliša i prirodnih resursa u Zajednici” (Official Journal L 176, 6.7.1985).


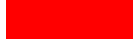
Tabela 5.3. Vremenski kontinuitet i promjene u strukturi organizacije CORINE Land Cover projekta

CLC PROJEKT	CLC1990	CLC2000	CLC2006	CLC2012
Satelitska misija	Landsat-5 MSS/TM, pojedinačni podaci	Landsat-7 ETM, pojedinačni podaci	SPOT-4/5, IRS P6 LISS III, dualni podaci	IRS P6 LISS III, RapidEye, dualni podaci
Vremenski period	1986-1998	2000 +/- 1 godina	2006+/- 1 godina	2011-2012
Prostorna rezolucija satelitskih snimaka	≤ 50 m	≤ 25 m	≤ 25 m	≤ 25 m
Minimalna kartirna jedinica/širina	25 ha/ 100m	25 ha/ 100m	25 ha/ 100m	25 ha/ 100m
Geometrijska tačnost za CLC podatke	100 m	> 100 m	> 100 m	> 100 m
Tematska tačnost za CLC podatke	> 85%	≥ 85%	≥ 85%	≥ 85%
Promjene u kartiranju (CLC Changed)	Nije implementiran	Minimalne promjene granica 100 m, Površinska promjena za postojeće poligone ≥ 5 ha; za izolirane poligone ≥ 25 ha	Minimalno pomjeranje granice 100 m, 100 m; Sve površinske promjene ≥ 5 ha su kartirane	Minimalno pomjeranje granice 100 m, 100 m; Sve površinske promjene ≥ 5 ha su kartirane
Tematska tačnost promjena (CLC Changed)	-	> 85%	≥ 85%	≥ 85%
Vremenski period produkcije podataka	10 godina	4 godine	3 godine	2 godine
Dokumentacija	Metapodaci nisu kompletirani	standardni metapodaci	standardni metapodaci	standardni metapodaci
Dostupnost podataka (CLC, CLCC)	Nedifinisana politika distribucije podataka	Definisana politika distribucije podataka	Slobodni pristup podacima	Slobodni pristup podacima
Broj zemalja-članica CLC projekta	26 (+ 1 u kasnijoj fazi implementacije)	30 (+ 5 u kasnijoj fazi implementacije)	38	39





Legenda za CORINE Land Cover klase pokrovnosti

1. VJEŠTAČKE POVRŠINE




1.1. Gradsko područje

-  111 - Kontinuirana urbana površina
-  112 - Diskontinuirana urbana površina


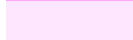
1.2. Industrijske, trgovačke i prijevozne jedinice

-  121 - Industrijska i komercijalna područja
-  122 - Cestovna i željeznička mreža i pripadajuće zemljište
-  123 - Lučke površine
-  124 - Aerodromi

1.3. Rudnici, odlagališta otpada i gradilišta




-  131 - Područja ekstrakcije minerala
-  132 - Odlagališta otpada
-  133 - Gradilišta

1.4. Umjetni, nepoljoprivredni, biljni pokrov

-  141 - Urbano zelenilo
-  142 - Sportski i rekreacioni tereni

2. POLJOPRIVREDNE POVRŠINE


2.1. Obradivo zemljište

-  211 - Nenavodnjavano obradivo zemljište
-  212 - Stalno navodnjavano zemljište
-  213 - Rižišta





2.2. Trajne kulture

-  221 - Vinogradi
-  222 - Voćnjaci
-  223 - Maslinici

2.3. Pašnjaci




-  231 - Pašnjaci

2.4. Raznovrsne poljoprivredne površine





-  241 - Jednogodišnji usjevi u zajednici s višegodišnjim
-  242 - Kompleksna kultivacija
-  243 - Poljoprivredne površine sa značajnim udjelom prirodne vegetacije
-  244 - Područja poljoprivrednog šumarstva

3. ŠUME I POLUPRIPRODNA PODRUČJA

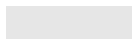
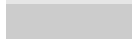
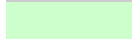

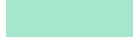
3.1. Šume

-  311 - Lišćarsko-listopadna šumska vegetacija
-  312 - Četinarska šumska vegetacija
-  313 - Mješovita šumska vegetacija

3.2. Grmlje i/ili travnati biljni pokrov



-  321 - Prirodni travnjak
-  322 - Visokoplaninska šumska vegetacija i vrištine
-  323 - Sklerofilna vegetacija
-  324 - Tranzicijska šuma/šikara

3.3. Područja s neznatnim ili bez biljnog pokrova

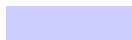

-  331 - Plaže, dine, pijesak
-  332 - Gole stijene
-  333 - Područja sa oskudnom vegetacijom
-  334 - Spaljena područja
-  335 - Lednici i vječni snijeg

4. VLAŽNA PODRUČJA

4.1. Kopnena vlažna područja

-  411 - Kopnene močvare
-  412 - Tresetišta

4.2. Priobalna vlažna područja

-  421 - Slane močvare
-  422 - Slaništa, solane

423 - Područja plimskog utjecaja

5. VODENA TIJELA

5.1. Kopnene vode

511 - Vodotoci

512 - Prirodne i vještačke akumulacije

5.2. Morske vode

521 - Obalne lagune

522 - Estuariji

523 – Morske površine

CLC2000 može, na primjer, pokazati gdje se fragmentacija pejzaža pogoršava usljed izgradnje saobraćajnica ili druge infrastrukture, i tako povećava rizik da određeni ekosistem gubi vezu sa drugim ekosistemima, što zauzvrat može ugroziti opstanak flore i faune. U oblasti poljoprivrede CLC2000 može ukazati gdje se nastavljaju ili pojačavaju strukturalne promjene, kao što su npr. konverzija pašnjaka u obradive površine, širenje ili redukcija obradivih površina itd.

Da bi determinisali okolinsku politiku EU, korektno procijenili efekte politike i ugradili okolinsku dimenziju u druge politike, potrebno je pravilno shvanje različitih odlika okoliša kao što su stanje pojedinih ekosistema, prostorna distribucija i stanje prirodnih zona, prostorna distribucija i gustina divlje flore i faune, kvalitet i gustina vodenih resursa, struktura zemljišnog pokrova i stanje tla, količine toksičnih supstanci koje se emituju u okoliš, lista prirodnih rizika, itd.

Dalji ciljevi CORINE programa je da poveže brojne pokušaje koji su se javili proteklih godina na različitim nivoima (međunarodni, EU, nacionalni i regionalni) kako bi se dobilo što više informacija o okolišu i načinu na koji se on mijenja. Poduzeta su dva glavna tipa komplementarnih akcija kako bi se postigli ciljevi programa. To su definisanje procedura za standardizaciju i razmjenu podataka o okolišu u zemljama članicama EU, i kreiranje geografskog informacionog sistema za pružanje informacija o okolišu koji je od suštinskog značaja u pripremi i implementaciji politike EU.

CORINE Land Cover baza podataka predstavlja značajnu podršku u aktivnostima vezanim za zaštitu ekosistema, zaustavljanje gubitka biodiverziteta, praćenje utjecaja klimatskih promjena, procjenu razvoja poljoprivrede i primjenu Okvirne direktive o vodama (EU Water Framework Directive) (European Commission European Environment Agency European Topic Centre on Land Cover, 1999). CLC2000 je značajan set podataka za implementaciju ključnih prioriteta 6. okolinskog akcionog programa Evropske zajednice (the Sixth Environment Action Programme of the European Community).

CLC2000 će poslužiti kao ulaz za EC 'Inspire' (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe - <http://inspire.jrc.it>) inicijativu, kojom se namjerava pokrenuti kreiranje evropske infrastrukture za prostorne informacije koja pruža korisnicima integrirane usluge o prostornim informacijama. CLC2000 daje doprinos i Global Monitoring for Environment and Security (GMES <http://gmes.info>) inicijativi koju vodi Evropska komisija i Evropska svemirska agencija, a koja od 2008. godine daje informacije o okolišu iz kombiniranih zračnih i svemirskih opservacijskih sistema, kao i iz in situ monitoringa.

PRAKTIČNA PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U OBSERVACIJAMA TIPOVA POKROVNOSTI I KORIŠTENJA ZEMLJIŠTA u BOSNI I HERCEGOVINI

Bazirajući se na navedenim konceptima uspostave i kreiranja prostornih geobaza prema navedenim klasama pokrovnosti, nakon 2000. odnosno 2006.godine isti su bili dostupni i za područje Bosne i Hercegovine. Konkretnije prvi Corine Land Cover projekt za Bosnu i Hercegovinu započeo je 1998. godine i uspješno je okončan 2000. godine. Rezultat ovog projekta je kreiranje Corine Land Cover 2000 (CLC2000) baza podataka o zemljišnom pokrivaču Bosne i Hercegovine. Nasilac projekta je bio Geodetski zavod Bosne i Hercegovine Sarajevo, uz suradnju sa Šumarskim fakultetom Sarajevo i Zavodima za planiranje razvoja Tuzlanskog i Kantona Sarajevo. Analizama tipova pokrovnosti CLC2000 dolazi se do podatka da u u Bosni i Hercegovini postoji 31 od ukupno 44 klase Corine Land Cover klase pokrovnosti, koje imaju sljedeće značenje (Karta 5.11.):

1. VJEŠTAČKE POVRŠINE

1.1.1. Kontinuirana urbana površina je predstavljena zgradama, cestama i vještačkim površinama koje zauzimaju gotovo cijelo zemljište. U ovu kategoriju spada i linearna urbana gradnja, čak i kada je gradnja locirana sa obje strane puta, pri čemu je put širok 75 m, i pod uvjetom da ukupna površina prelazi 25 ha.

1.1.2. Diskontinuirana urbana površina uključuje pokrovnost u kojoj većinu tla pokrivaju vještačke strukture. Zgrade, ceste i vještačke površine su povezane sa vegetacijom i/ili golim tlom, koje zauzima diskontinuirane ali značajne površine. Ovdje spadaju rubovi urbanih centara i određeni urbani distrikti u ruralnim zonama. Jedinice se sastoje od blokova stanova, privatnih kuća, vrtova, ulica i parkova, pri čemu svaki od ovih elemenata ima površinu manju od 25 ha. Zgrade, ceste i vještačke površine zauzimaju između 50% i 80% ukupne površine ove jedinice.

1.2.1. Industrijska i komercijalna područja uključuju betonirane, asfaltirane i makadamske isl. površine bez vegetacije koje zauzimaju većinu date zone, kao i kombinaciju zgrada i zona pod vegetacijom. Industrijske ili komercijalne jedinice locirane u kontinuiranoj ili diskontinuiranoj urbanoj zoni sa okolnim prostorom: parkiralištem, skladištima, isl. su uključene u ovu kategoriju samo ako imaju površinu veću od 25 ha i ako se mogu jasno razlikovati od stambenih zona. U ovu kategoriju također se ubrajaju sanatorijumi, banje, bolnice, odmarališta, vojne baze, obrazovne ustanove, univerziteti, komercijalni centri koji se nalaze na granici ili izvan urbanih centara kao i sa njima povezane površine, kao što su parkirališta, sportski tereni, sa površinom manjom od 25 ha. Ova kategorija uključuje i postrojenja za tretman otpadnih voda i riblje farme sa betonskim bazenima.

1.2.2. Cestovna i željeznička mreža su predstavljeni autoputevima i željezničkim prugama sa pripadajućim zemljištem, uključujući i prateće objekte (kao što su stanice i peroni). Minimalna širina za identifikaciju ove kategorije je 100 m.

1.2.4. Aerodromi obuhvataju aerodromske objekte: piste, zgrade i pripadajuće zemljište) uključujući okolne travne površine (koje se jasno vide na satelitskim snimcima). U ovu kategoriju također spadaju i ostali aerodromski objekti (uredi, terminali, hangari, radionice, skladišta, rezervoari, parking) sa pripadajućim zelenim površinama kao i heliodromi čija minimalna površina iznosi 25 ha.

1.3.1. Područja ekstrakcije minerala obuhvataju zone aktivnih ili napuštenih površinskih kopova (kao što su pjesak, ili kamenolom) ili drugih minerala (kao što su površinski kopovi rudnika), uključujući poplavljene šljunčare kao i lokacije na kojima se vrše građevinski radovi. U ovu kategoriju spadaju i zgrade i sa njima povezana industrijska infrastruktura i manja vodena tijela nastala rudarenjem površine manje od 25 ha.

1.3.2. Odlagališta otpada su predstavljena industrijskim ili javnim odlagalištima ili deponijama otpada. Odlagališta otpada sa površinama manjim od 25 ha su svrstana u kategoriju 1.2.1. (industrijska i komercijalna površina).

1.3.3. Gradilišta predstavljaju prostori na kome se vrši gradnja, iskopavanje zemljišta ili stijena kao i zemljani radovi. Ovdje pripadaju i gradilišta površine veće od 25 ha u ili oko urbanih zona trebaju kao i brane i autoputevi koji su u izgradnji spadaju.

1.4.1. Urbano zelenilo obuhvata zone sa vegetacijom unutar urbanih površina, uključujući parkove i groblja sa vegetacijom. Ovdje spadaju javni parkovi, privatne zelene površine i groblja sa vegetacijom sa površinom većom od 25 ha.

1.4.2. Sportski i rekreacioni tereni su predstavljani kampovima, sportskim terenima, rekreacionim parkovima, golf terenima, trkalištima isl., kao i parkovima izvan urbanih zona. U ovu kategoriju također spadaju sportski centri, motorciklistički tereni, centri za jahanje konja isl.

2. POLJOPRIVREDNE POVRŠINE

2.1.1. Nenavodnjavano obradivo zemljište obuhvata područja zasijana žitaricama, mahunarkama, krmnim biljem, kao i cvijećem i drvećem poput rasadnika i povrtnjaaka, bez obzira da li su na otvorenom ili u plastenicima. U ovu kategoriju spadaju i aromatske, ljekovite i kulinarske biljke.

2.1.2. Navodnjavano obradivo zemljište čine usjevi koji se stalno ili povremeno navodnjavaju korištenjem permanentne infrastrukture kao što su kanali za navodnjavanje ili mreža za drenažu. Voćnjaci koji se uzgajaju na stalno navodnjavanom zemljištu također pripadaju ovoj kategoriji.

2.2.1. Vinogradi obuhvataju sve površine pod nasadima vinove loze. Za njihovu identifikaciju od posebnog su značaja reljef i ekspozicije padina i tipovi tala.

2.2.2. Voćnjaci i plantaže bobičastog voća obuhvataju parcele na kojima su zasađena stabla ili grmovi sa jednom ili više vsta voća povezana sa trajnim travnatim površinama. Ovdje spadaju i plantaže oraha i kestena.

2.3.1. Pašnjaci su predstavljeni gustim travnatim pokrivačem u kojem dominiraju vrste iz porodice trava (koje nisu pod sistemom rotacije). Koriste se uglavnom za ispašu, ali se mogu koristiti i za mehaničko košenje. U ovu kategoriju su uključene i zone sa živicom kao i vlažni pašnjaci koji mogu biti poplavljeni u određeno doba godine (zimi između 10 i 30 cm) i koji se koriste za ispašu.

2.4.2. Kompleksna kultura je predstavljena sa gusto zbijenim malim parcelama različitih jednogodišnjih usjeva, pašnjaka i/ili trajnih usjeva. Na satelitskom snimku ova kategorija je uvijek predstavljena vrlo finom teksturom i lako prepoznatljivom poljoprivrednom shemom. Ovdje spada obradivo zemljište, pašnjaci i voćnjaci od kojih svaki zauzima manje od 75% od ukupne površine ove jedinice kao i gradski vrtovi.

2.4.3. Poljoprivredne površine sa značajnim udjelom prirodne vegetacije čine prvenstveno poljoprivredne zone, ispresijecane značajnijim prirodnim zonama. U ovim jedinicama nije moguće izolirati homogeni podset površine 25 ha ili više u okviru poljoprivrednog tla ili prirodnih zona (prirodna vegetacija, šume, travnjaci, vodena tijela, ili gole stijene). Poljoprivredno zemljište zauzima od 25 do 75% ukupne površine ove jedinice.

3. ŠUME I POLUPRIRODNE POVRŠINE

3.1.1. Lišćarsko-listopadna šumska vegetacija obuhvata vegetacijske formacije koje prvenstveno čini drveće, uključujući i šibove, sa dominacijom širokolisnih vrsta. Širokolisne vrste drveća moraju pokrivati najmanje $\frac{3}{4}$ površine ove jedinice. Mladi izdanci i mlade plantaže također spadaju u ovu kategoriju.

3.1.2. Četinarska šumska vegetacija obuhvata vegetacijske formacije koju prvenstveno čini drveće, uključujući i šibove, sa dominacijom četinarskih vrsta, pri čemu površina pod četinarima mora obuhvatati najmanje 75% ukupne površine ove jedinice.

3.1.3. Mješovita šumska vegetacija je predstavljena vegetacijskim formacijama koje prvenstveno čini drveće, (uključujući i šibove), u kojima nema dominacije niti lišćarsko listopadnih niti četinarskih vrsta. Ova kategorija uključuje ne samo mješane šume u striktnom silvikulturnom smislu, nego i kompleksne šumske parcele koje obuhvataju mozaik širokolisnih i četinarskih vrsta gdje nije moguće razlučiti homogenu sastojinu veću od 25 ha.

3.2.1. Prirodni travnjak predstavlja nisko produktivni travnjak koji je često lociran u zoni neravnog terena. Često uključuje stjenovite površine i vrištine. Prostorno, ova kategorija se najčešće nalazi u zonama gdje postoji intenzivna poljoprivredna aktivnost. U ovu kategoriju se ubrajaju zone na kojima se vrši ispaša, posebno u blizini staja ili planinskih torova pri čemu treba uzeti u obzir udaljenost od stalnih naselja i dužinu perioda ispaše (manje od 120 dana - od juna do septembra).

3.2.2. Visokoplaninska šumska vegetacija i vrištine čini vegetacija sa slabim pokrovom u kojoj dominiraju šibovi i zeljaste biljke (vrijesak, trnoviti žbunovi isl.). Moguće je razlikovati subalpinske vrištine koje gradi rhododendron i kaluna, a koje se generalno nadovezuju na subalpinske šume i pašnjake.

3.2.3. Sklerofilna vegetacija ili makija predstavlja gusto zbijenu vegetaciju sastavljenu od različitih vrsta žbunova koje u Mediteranskoj regiji mogu narasti i do 5 m. Ovu formaciju grade vrste iz roda Quercus, Arbutus, Juniperus, Myrtus isl. Garig predstavlja otvoreno kamenito tlo na kome dominiraju patuljasti žbunovi do 50 cm visine. Česte vrste su iz rodova Thymus i Cistus. Ova kategorija može sadržavati nekoliko pojedinačnih stabala.

3.2.4. Tranzicijska šuma/šikara je šibolika ili zeljasta vegetacija sa pojedinačnim stablima. Može predstavljati ili degradaciju šume ili njenu regeneraciju/kolonizaciju. Ova kategorija uključuje zone podložne eroziji ili gdje je zdravlje drvenastih vrsta biljaka narušeno, kao i zone na kojima je vršeno pošumljavanje.

3.3.1. Plaže, dine i pijesci obuhvataju plaže minimalne širine od 100 m. Budući da plima i osjeka variraju na satelitskim snimcima, obala mora se određuje prema najnovijim kartama razmjera 1:100.000, pri čemu se trebaju analizirati i promjene nastale erozijom, sedimentacijom ili gradnjom luka i lukobrana u obalnoj zoni.

3.3.2. Gole stijene su predstavljene liticama, padinama sa aktivnom erozijom, stijenama i grebenima. U tumačenju ove kategorije korisno je konsultovati topografske karte na kojima su predstavljene gole stijene i pukotine stijena.

3.3.3. Područja sa oskudnom vegetacijom uključuju tundru i zone sa oskudnom vegetacijom na visokim nadmorskim visinama što je rezultat erozije ili kasnog topljenja snijega ili ledenog pokriva (kao što su planinske stepe). Za pravilno tumačenje ove kategorije potrebni su dodatni podaci kao što su zračni snimci i geološke i pedološke karte.

3.3.4. Spaljena područja predstavljaju zone izložene nedavnim požarima zbog čega su na snimcima uglavnom crne boje. Ove zone su nastale požarima u šumama i poluprirodnim sredinama.

4. MOČVARE

4.1.1. Kontinentalne močvare čine nizijsko tlo koje je obično plavljeno tokom zime i koje je manje-više zasićeno vodom tokom cijele godine. Ovo područje je nastalo u depresijama u kojima vodonosni sloj sezonski dospjeva do topografske površine. Najpouzdaniji kriterij za karakterizaciju vlažnosti tla je nivo vodonosnika tokom zime.

5. VODENE POVRŠINE

5.1.1. Vodotoci obuhvataju prirodne ili vještačke vodotoke minimalne širine od 100 m. Pri čemu ne može biti previše prekida u linijskim elementima pejzaža.

5.1.2. Prirodne i vještačke akumulacije predstavljaju površine prirodnih ili vještačkih akumulacija.

5.2.3. Morska površina obuhvata dijelove teritorijalnih mora i okeana

Tokom ovih istraživanja pokazalo se da se su najveće prostorne promjene u tipovima pokrovnosti desile u zonama najvećih gradova (kao što su Sarajevo i Tuzla) tako da su u ovim slučajevima ponovljen proces identifikacije korištenjem snimaka krupne prostorne rezolucije kombinovano sa terenskim istraživanjima.

Nakon navedenih baznih istraživanja tokom marta 2006.godine Evropska agencija za okoliš (European Environment Agency – EEA) uspostavila je saradnju sa Evropskom svemirskom agencijom (European Space Agency - ESA) i Evropskom komisijom (European Commission - EC) oko uspostave novog servisa za monitoring zemljišta unutar projekta „Globalni monitoring za okoliš i bezbjednost“ (Global Monitoring for Environment and Security - GMES).

Shodno uspostavljenoj saradnji osnovan je Središnji servis za monitoring zemljišta 2006 (Land Monitoring Core Service 2006 – LMCS2006) sa zadatkom ažuriranja postojeće CorineLand Cover200 baze podataka o zemljišnom pokrivaču za 2006. godinu. Na nivou Bosne i Hercegovine istraživanja Corine Land Cover 2006 (CLC2006) su započela tokom septembra 2007.godine i završena su u novembru 2008.godine. Nosilac projekta je bio Poljoprivredo-prehrambeni fakultet Sarajevo uz saradnju sa istraživačima sa Šumarskog fakulteta Sarajevo i Zavoda za planiranje razvoja Kantona Sarajevo. Rezultatima projekta dopunjena je baza CLC baza podataka za Bosnu i Hercegovinu i izvršena je identifikacija prostornih promjena za pojedinačne klase pokrovnosti (Tabela 5.3.).

U odnosu na nivo 1. Klasifikacije u Bosni i Hercegovini dominira šumski pokrivač koji zauzima preko 61,05 %, zatim slijede čine poljoprivredne površine sa oko 36,69 % dok kategorija izgrađenog i urbanog zemljišta iznosi oko 1,48 %. Sve kategorije vodenih površina zauzimaju oko 0,77 % nacionalnog teritorija. Na 2. nivou najzastupljenije su kategorije: 310 (šumska vegetacija) sa oko 44,15 %, zatim 240 (obradive površine) sa oko 26,44 % a zatim slijede ostali tipovi šumske pokrovnosti.

Tabela 5.3. Zastupljenost pojedinačnih CLC kategorija pokrovnosti na području Bosne i Hercegovine tokom 2000. i 2006. Godine i njihove međusobne promjene u površinskom rasprostranjenju

Kod	Naziv CLC klase	CLC2000		CLC2006		CLC 2006-CLC 2000 (ha)
		(ha)	%	(ha)	%	
111	Kontinuirana urbana površina	229	0,004	187	0,004	-42
112	Isprekidana urbana površina	52500	1,025	56496	1,103	3996
121	Industrijska i komercijalna područja	5896	0,115	6452	0,126	556
122	Cestovna i željeznička mreža	172	0,003	172	0,003	0
124	Aerodromi	1382	0,027	1078	0,021	-304
131	Područja ekstrakcije minerala	9508	0,186	9930	0,194	422
132	Odlagališta otpada	702	0,014	815	0,016	113
133	Gradilišta	438	0,009	320	0,006	-118
141	Urbano zelenilo	36	0,001	0	0,000	-36
142	Sportski i rekreacioni tereni	529	0,010	436	0,009	-93
211	Nenavodnjavano obradivo zemljište	111177	2,171	111594	2,179	417
212	Navodnjavano obradivo zemljište	2900	0,057	2875	0,056	-25
221	Vinogradi	1460	0,029	1148	0,022	-312
222	Voćnjaci i plantaže	4383	0,086	4317	0,084	-66

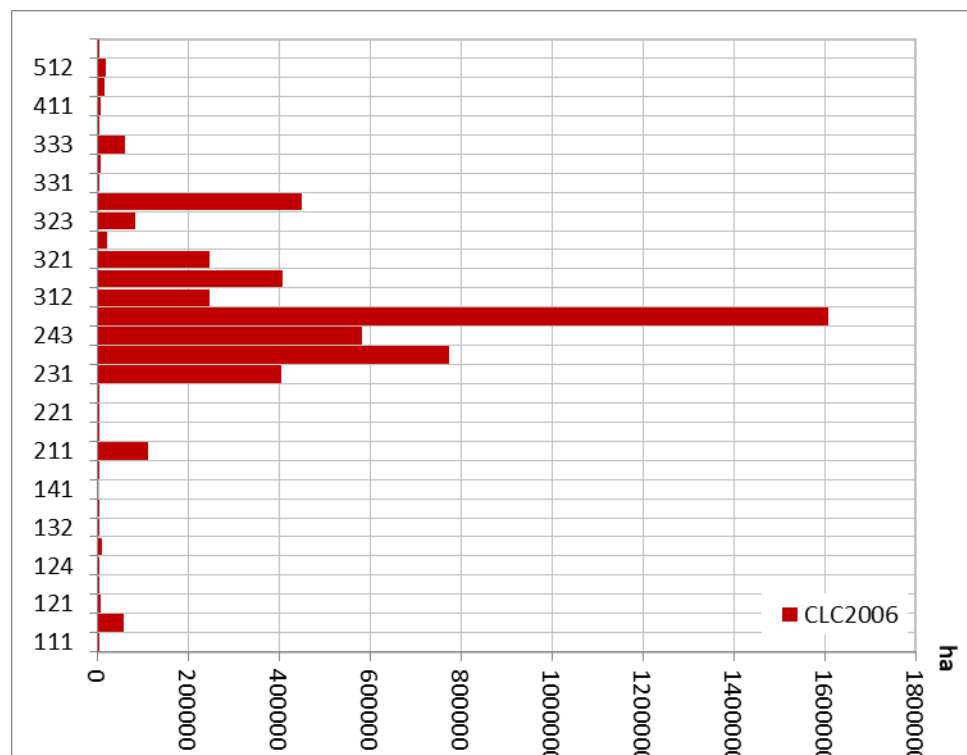
	bobičastog voća					
231	Pašnjaci	408540	7,977	405316	7,914	-3224
242	Kompleksna kultivacija	773685	15,107	773156	15,097	-529
243	Poljoprivredne površine sa udjelom prirodne vegetacije	582461	11,373	580978	11,344	-1483
311	Lišćarsko-listopadna šumska vegetacija	1611823	31,473	1608478	31,407	-3345
312	Četinarska šumska vegetacija	246336	4,810	245910	4,802	-426
313	Mješovita šumska vegetacija	405885	7,925	406775	7,943	890
321	Prirodni travnjak	248073	4,844	245265	4,789	-2808
322	Visokoplaninska šumska vegetacija i vrištine	20443	0,399	20389	0,398	-54
323	Sklerofilna vegetacija	83367	1,628	82372	1,608	-995
324	Tranzicijska šuma/šikara	443125	8,653	449588	8,779	6463
331	Plaže, dine i pijesci	595	0,012	550	0,011	-45
332	Gole stijene	5032	0,098	5032	0,098	0
333	Područja sa oskudnom vegetacijom	59707	1,166	61131	1,194	1424
334	Spaljena područja	70	0,001	827	0,016	757
411	Kontinentalne močvare	5111	0,100	5023	0,098	-88
511	Vodotoci	14721	0,287	14298	0,279	-423
512	Prirodne i vještačke akumulacije	19580	0,382	18958	0,370	-622
523	Morska površina	1457	0,028	1457	0,028	0
Ukupno:		5121323	100,00	5121323	100,00	

Izvor: CLC2006 baza podataka za Bosnu i Hercegovinu. European Environment Agency, 2008.

Najzastupljenija individualna klasa pokrovnosti na 3.nivou klasifikacije je 311 - Listopadna šumska vegetacija sa oko 31,41 %, 242 - Grupe obradivih parcela sa 15,1 %, 243 - Poljoprivredne površine sa udjelom prirodnog biljnog pokrov sa 11,34 %, 324 - Sukcesija šumske vegetacije sa 8,78 % i td. (Grafikon 5.1.).

Značajan aspekt primjene CLC2006 baze podataka predstavlja analiza promjena u površinskoj zastupljenosti pojedinih klasa pokrovnosti u Bosni i Hercegovini u periodu između dva satelitska snimanja. Najveće prostorne promjene zabilježene su u kategoriji izgrađenog i urbanog zemljišta (klase 111 do 142) u smislu porasta od 6.898 ha. Na nivou pojedinačnih subkategorija zabilježene su sljedeće promjene:

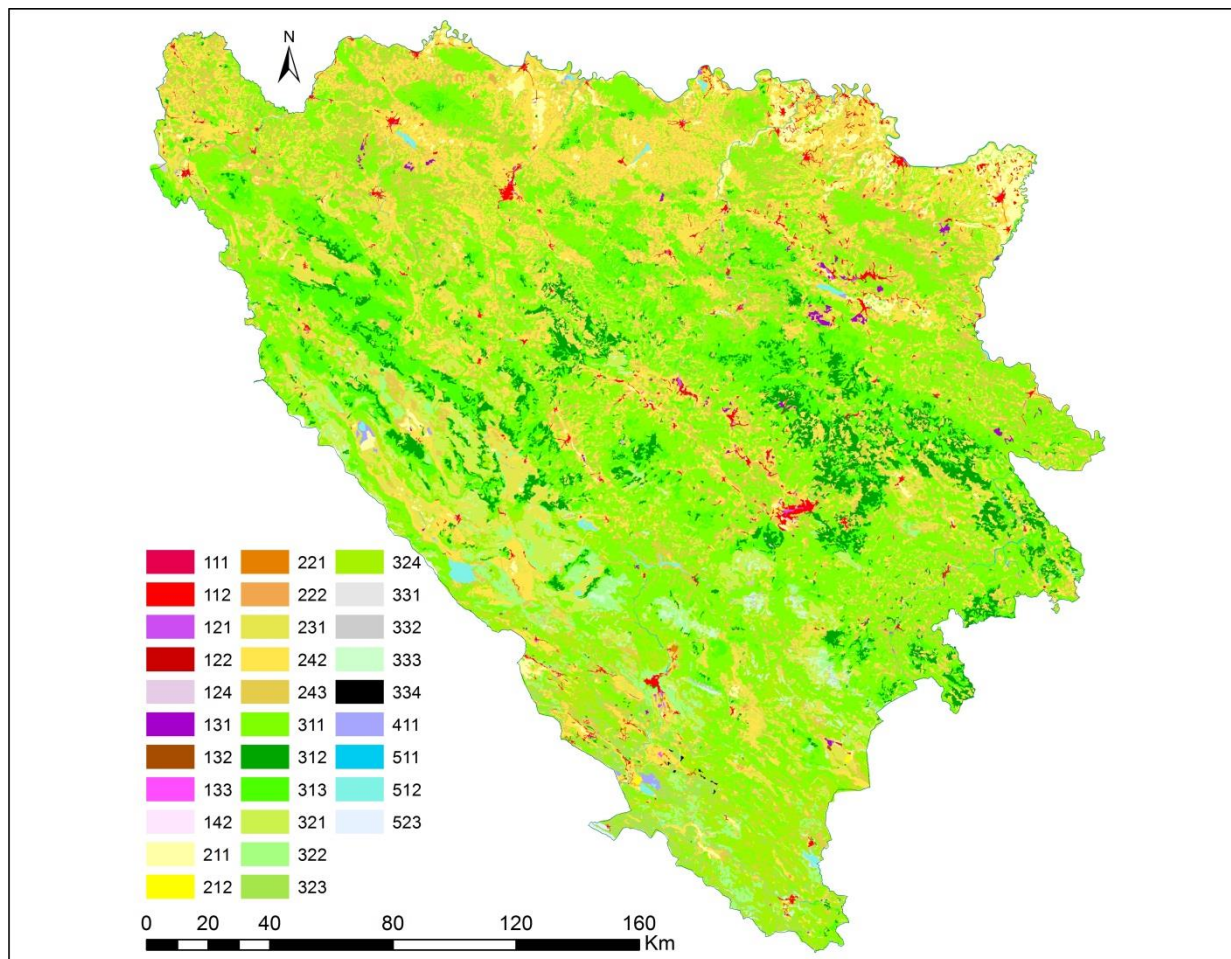
klasa 112 - 6119 ha, klasa 131 - 523 ha, klasa 133 - 440 ha, klasa 121 – 263 ha itd. Značajnije prostorne promjene su registrovane i u kategoriji umjetnih površina (klase 131 i 132) s obzirom na porast od oko 535 ha.



Grafikon 5.1. Udio pojedinačnih kategorija pokrivenosti na 3. nivou u Bosni i Hercegovini prema podacima CLC2006.

Trendove prostornih promjena registrovane su i u kategoriji poljoprivrednog zemljišta - klasa 211-Nenavodnjavane oranice ima povećanje od oko 417 ha što se sasvim sigurno negativno odražava na poljoprivrednu proizvodnju. Ostale subkategorije poljoprivrednog zemljišta su površinski značajno smanjene što također indicira na kontinuirani trend opadanja poljoprivredne proizvodnje: klasa 231 - Pašnjaci (-3.224 ha), klasa 243 - Poljoprivredne površine sa udjelom prirodnog biljnog pokrova (-1483 ha) itd. U oblasti zemljišta pod šumskim pokrivačem došlo je do smanjenja površina za oko 1.139 ha što indicira na intenzivniju aktivnost u oblasti eksploatacije drvnog resursa u Bosni i Hercegovini.

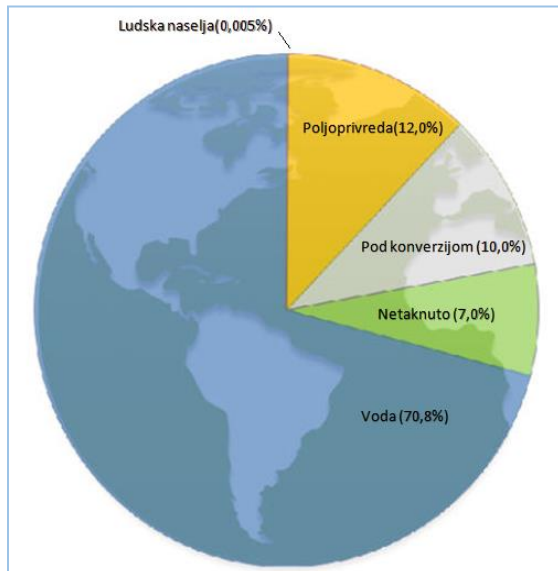
Najveći dio navedenih promjena je uzrokovan intenzivnijom urbanizacijom i snjom povezanom infrastrukturnom gradnjom u oblasti stambene, privredne, saobraćajne i energetske infrastrukture



Slika 5.11. Kategorije pokrovnosti na 3. nivou u Bosni i Hercegovini prema podacima CLC2006.

PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U OBSERVACIJAMA SASTAVA I STRUKTURE VEGETACIJSKOG POKRIVAČA

Danas u nauci postoji sve naglašenija potreba da istraživanja ekosistema daju doprinos tumačenju uticaja klimatskih promjena i promjena u načinu korištenja zemljišnog pokrivača na našem planetu. Primjena tehnika daljinskih istraživanja u ovoj oblasti omogućava da se na potpuno novi način sagleda stanje prirodnih resursa te strukture i funkcije ekosistema kroz mjerenja prostorne distribucije pojedinih vegetacijskih tipova. Precizne karte ekosistema koje uključuju podatke o tipovima vegetacije, procenat pokrovnosti, starost sastojina su neophodne za donošenje kvalitetnih odluka u procesima upravljanja i očuvanja funkcije i strukture ekosistema.



Grafikon 5.2. Odnos kopna i vode na Zemlji sa učešćem pojedinačnih tipova kopnene pokrovnosti

Od ukupne površine Zemlje na kopno otpada oko 30 %, od čega 30 % pokriva drveće, 30 % trave, 18 % gole stijene, 15 % snijeg i led, a 7 % čine pijesak i pustinjske stijene. Budući da vegetacija predstavlja osnovu za cjelokupni živi svijet na Zemlji njeno klasificiranje i kartiranje su od ključnog značaja za sagledavanje disitribucije pojedinih taksona ili biljnih zajednica, procjenu biodiverziteta, praćenje fenoloških ciklusa, monitoring promjena u zemljišnom pokrovu, kao i za upravljanje prirodnim naslijeđem i procjenu uticaja čovjeka na živi svijet.

Ekološka istraživanja imaju u fokusu istraživanje biljnih i životinjskih organizama i njihovih zajednica kao i njihovog neposrednog okruženja. Osnovu za ova istraživanja čine prostorni podaci o lokaciji i distribuciji vrsta, ali i brojne podatke o abiotičkim faktorima kao što su nadmorska visina, nagib i ekspozicija terena, itd.

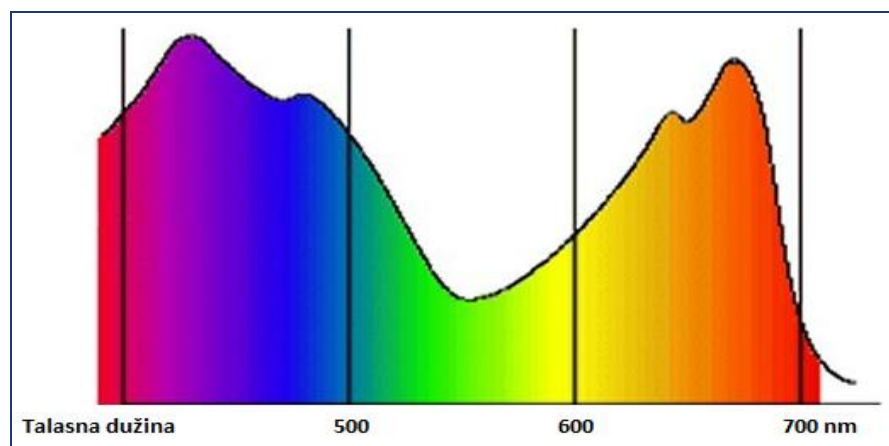
Tradicionalne metode kao što su terenska istraživanja, analiza postojećih literaturnih podataka, interpretacija karata, itd., su još uvijek neophodne,

iako nisu potpuno efikasne za detaljnu analizu vegetacije. Terenskim istraživanjima je moguće prikupiti vrlo precizne podatke za relativno mala područja, ali ona prvenstveno zahtjevaju mnogo vremena i sredstava, tako da su isplativa samo na lokalnoj skali. Procjenjuje se da je za kartiranje šumske vegetacije na površini od 10.000 ha (100 km²) u idealnim uvjetima na terenu potrebno dva mjeseca rada jednog stručnjaka (Antonić et al., 2005), što znači da bi za kartiranje cjelokupnog područja Bosne i Hercegovine na skali 1:100.000 bilo potrebno oko 255 mjeseci rada jednog istraživača ili nešto više od 21 godine. Uzevši u obzir reljef terena i trajanje vegetacijske sezone ovaj period istraživanja bi bio i znatno duži. Ovakva terenska istraživanja zahtijevaju i ogromna finansijska sredstva. Daljinska detekcija omogućava jednostavnije, realnije i isplativije načine za istraživanje promjena u vegetacijskom pokrivaču posebno na velikim područjima i u toku dužeg vremenskog perioda. Sakupljanje podataka predstavlja monitoring samo ako se taj proces kontinuirano odvija u trajanju od minimalno deset godina. Stoga je monitoring vrlo skup tako da u velikom broju projekata u oblasti održivog razvoja i konzervacije prirodnih resursa ovoj vrlo značajnoj obaveznoj komponenti nedostaje kontinuitet koji bi omogućio njenu ugradnju u širi kontekst.

Primjena daljinske detekcije predstavlja veliki izazov u predjelima koji imaju dinamičan reljef, ali ako se izvrši na pravilan način pruža vrlo značajne informacije koje je vrlo teško prikupiti na neki drugi način. Vrlo je zahtjevno definisati tipove vegetacije samo na osnovu njihovog spektralnog odgovora, zbog heterogenosti tipova zemljišnog pokrova i niza faktora koji utiču na spektralne odgovore. Stoga je veoma značajno da tumač podataka ima predznanje iz ekologije biljaka i shvatanje osnovnih kriterija klasifikacije vegetacije i razgraničavanja pojedinih jedinica na satelitskom snimku. Optička svojstva vegetacije ovise o nizu faktora, kao što su u prvom redu sastav posmatrane biljne zajednice i njena prostorna organizacija. Spektralni odgovor vegetacije ovisi prvenstveno o površini koju vegetacija pokriva. Kada vegetacija pokriva 100% tla njeno spektralno ponašanje je slično listovima mjerenim u laboratorijskim uvjetima. Kada vegetacija pokriva svega 20-30% površine njen spektralni odgovor je vrlo sličan golom tlu, sa varijacijama između ove dvije krajnosti. Naravno, na spektralni odgovor vegetacije imaju uticaj i orijentacija listova, broj slojeva vegetacije, itd.).

Vrlo je teško definisati vegetacijske klase samo na osnovu spektralnih podataka zbog heterogenosti tipova pokrova i faktora koji utiču spektralne odgovore. Daljinska detekcija omogućava karakterizaciju vegetacijskih klasa prema prostorno distribuiranim trendovima spektralnih odgovora i determinira viši stepen vegetacijskih klasa u planinskim regionima. Za efikasnu determinaciju vegetacijskih klasa putem daljinske detekcije potrebno je interpretator mora razumjeti osnovne kriterije za klasifikaciju vegetacije i delineaciju jedinica na satelitskim snimcima a satelitski senzori moraju biti sposobni da djeluju kao surogat za terenske tačke od interesa. Daljinska detekcija predstavlja vrlo snažan alat za identifikaciju i procjenu biljnog materijala od nivoa pojedinačnih biljaka pa sve do nivoa bioma na osnovu analize fotosintetske aktivnosti, pigmentacije, strukture listova, sadržaja vode u biljkama te strukturi krošnje i fenološkim ciklusima (Slika 5.12.).

Kod biljaka postoje tri tipa spektralnog ponašanja koja ovise o glavnim spektralnim domenima: (1) u vidljivom spektru vegetacija ispoljava određeno ponašanje zbog prisustva hlorofila, (2) u blizu IC dijelu spektra spektralno ponašanje je povezano sa strukturom tkiva, te (3) u reflektivnom srednjem IC spektru sadržaj vode u tkivima ima glavni uticaj. U istraživanjima vegetacije tehnikama daljinske detekcije osnovni parametar je efikasnost intercepcije elektromagnetnog zračenja a samim time i apsorpcija koja se koristi za procjenu produkcije biomase. U daljinskoj detekciji vegetacija se jasno razlikuje od ostalih tipova materije po vrlo izraženoj apsorpciji u crvenim i plavim segmentima vidljivog spektra, višoj refleksiji zelenog, te posebno vrlo snažnoj refleksiji u blisku IC dijelu spektra. Zahvaljujući razlikama u veličini i obliku listova, habitusu biljke, sadržaju vode, te gustini vegetacijskog pokrova moguće je razlikovati pojedine tipove vegetacije .



Slika 5.12. Stopa fotosinteze

Biljne stanice locirane u listovima u velikoj mjeri rasipaju svjetlost zbog visokog kontrasta u indeksu refrakcije između vodom bogatog sadržaja stanice i intercelularnih zračnih prostora. Vegetacija je vrlo tamna u vidljivom dijelu spektra (0.4 – 0.7 μm) zbog velike apsorpcije pigmenta u listovima. Kod viših biljaka za fotosintezu su značajni hlorofili i karotenoidi, pigmenti smješteni u hloroplastima. Hlorofila ima pet: a, b, c, d i e, od kojih samo hlorofil a i hlorofil b učestvuju u fotosintezi kod viših biljaka.

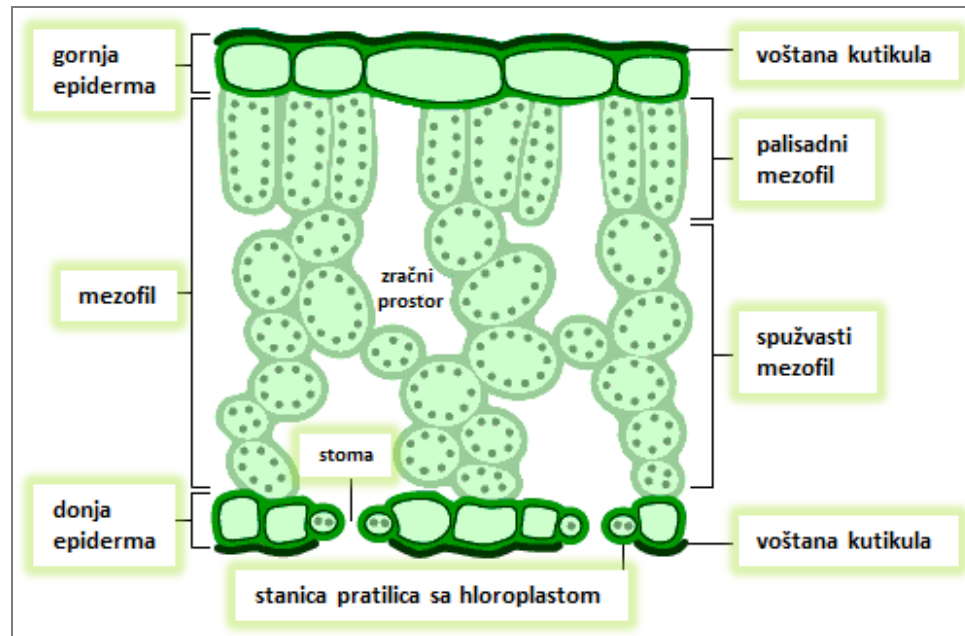
Vidljivi dio spektra (0,38 -0,70 μm)

U vidljivom dijelu spektra vegetacija ispoljava malu refleksiju (maksimalno 15%) sa maksimumom refleksije na 0,550 μm . Spektar apsorpcije hlorofila u hloroplastima smještenim u spoljnom palisadnom sloju ispod gornje epiderme lista kontrolira apsorpciju elektromagnetnog zračenja sa dva maksimuma i to jedan u plavom, a drugi u crvenom dijelu elektromagnetnog spektra. U okviru crvenog dijela spektra postoji više vrhova (maksimuma apsorpcije) što ukazuje na različite forme *hlorofila a*, ovisno o vrsti proteinskog nosača (mjereno *in vivo*) i povezivanje molekula hlorofila u dimere i trimere. Najvažniji maksimumi apsorpcije su na 0,68 i 0,70 μm što je odlika posebnih formi *hlorofila a* (*fotosistem I i II*). Kada se ove dvije boje, crvena i plava, uklone iz bijelog svjetla, dominantna ali smanjena refleksija vidljivih talasnih dužina je koncentrisana u zelenom dijelu spektra, te stoga većina vegetacije ima zelenu boju listova. Budući da pigmenti imaju najslabiju moć apsorpcije na oko 550 nm (vidljiva zelena) dolazi do neznatnog porasta reflektivnosti. Talasne duljine zelene i žute svjetlosti uglavnom se reflektiraju što rezultira bojom hlorofila koja je plavo-zelena (*hlorofil a*) ili žuto-zelena (*hlorofil b*).

Spektralno ponašanje suhe vegetacije ili vegetacije krajem sezone rasta se u značajnoj mjeri razlikuje od vegetacije bogate hlorofilom. U ovom dijelu spektra je moguće detektovati i oboljenja kod biljaka uzrokovana nedostatkom minerala ili napasnicima kao što su npr., potkornjaci jer oni imaju uticaj na sadržaj hlorofila.

Blizu IC (0,70-1,30 μm .)

U ovom dijelu spektra listovi apsorbiraju vrlo malu količinu zračenja, tako da su različita tkiva i raspored stanica i međustaničnih prostora primarno odgovorni za razlike u refleksiji. Na poprečnom presjeku lista cvjetnica se može uočiti nekoliko slojeva različitih tkiva: voštana kutikula različite debljine, sloj stanica koje grade gornji epidermis, palisadni parenhim koji se sastoji od izduženih gusto zbijenih stanica bogatih hlorofilom, spužvasti parenhim koji grade stanice nepravilnog oblika između kojih se nalaze međustanični prostori ispunjeni zrakom ili vodenom parom, sloj stanica koje grade donju epidermu u kojoj je smješten stomatalni aparat koji omogućava transpiraciju, te kutikulu (Slika 5.13.).



Slika 5.13. Poprečni presjek lista

Listovi se mogu podijeliti u dvije skupine. Prvu skupinu čine listovi sa dobro razvijenim palisadnim parenhimom i manje razvijenim mezofilom koji imaju manju refleksiju u blizu IC pojasu, dok drugu grupu čine listovi sa dobro razvijenim mezofilom i slabo razvijenim palisadnim parenhimom.

Kutikula se odlikuje snažnom refleksijom, dok se kroz palisadni parenhim zračenje prenosi sa malim devijacijama. Budući da su stanice spužvastog mezofila nepravilnog oblika sa velikim zračnim intercelularnim prostorima koji često sadrže i vodu, ovaj sloj stanica ispoljava pad u refleksiji na 800 nm za vrijeme punjenja ovih praznina vodom.

Fiziološke promjene koje se dešavaju u toku sazrijevanja i starenja uzrokuju značajne promjene u spektralnom odgovoru u vidljivim i IC pojasevima. Vegetacija koja je stara i suha se odlikuje većom refleksijom u ove dvije spektralne klase nego zelena i svježija vegetacija. Refleksija u blizu IC pojasu je rezultat propadanja stanica mezofila i gubitka vode.

Postoji vrlo snažna refleksija i u bliskom IC dijelu spektra (0,70 – 1,30 μm) u stanicama spužvastog mezofila lista koji se sastoji od stanica i zračnog prostora jer ove talasne dužine leže između elektronskih tranzicija koje obezbjeđuju apsorpciju u vidljivom i molekularnih vibracija koje apsorbiraju u dužim talasnim dužinama. U ovom spektralnom opsegu biljke vrše snažno rasipanje elektromagnetnog zračenja. Intenzitet refleksije je obično veći nego što je to kod anorganske materije tako da je vegetacija svijetlija u blizu IC talasnim dužinama.

Reflektivna srednja IC (1,30-2,50 μm)

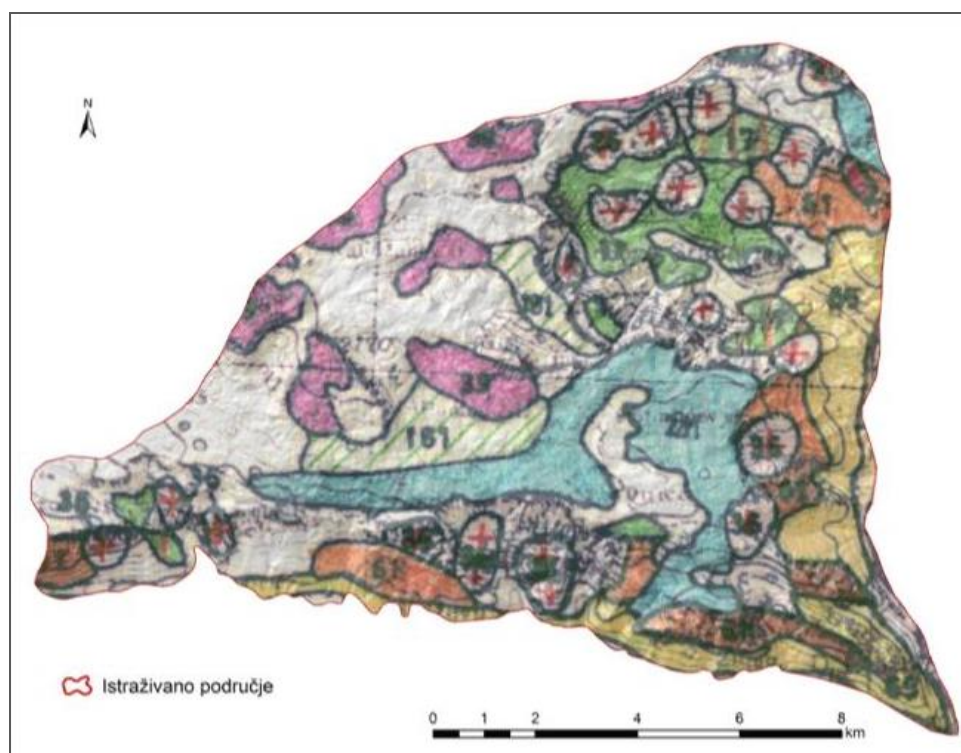
Spektralne odlike listova su uslovljene sadržajem vode u stanicama budući da voda ima apsorpcijske pojaseve na 1450, 1950 i 2500 nm, Zelene, svježije biljke imaju malu refleksiju u reflektivnom srednjem IC pojasu. Sa padom sadržaja vode usljed starenja ili sušenja usljed oboljenja i napada parazita refleksija u ovom spektralnom pojasu raste. Pojasevi od 1,40 do 1,80 μm i 2,10 i 2,35 μm su osjetljiviji na varijacije u sadržaju vode od pojasa od 1,90 do 2,00 μm . Komponente stanice, kao što su lignin i celuloza utiču na refleksiju vegetacije u ovom spektralnom rangu. Vegetacija bogata ligninom ima visoku apsorpciju na 1,720 μm što raste sa padom sadržaja vode.

U talasnim dužinama između 1,30 nm i 2,50 μm vegetacija je relativno tamna prvenstveno zbog apsorpcije od strane vode koja se nalazi u listovima. Celuloza, lignin i drugi biljni sastojci takođe apsorbuju u ovom spektralnom opsegu. Ova svojstva vegetacije doprinose njenom tonalnom potpisu na multispektralnim snimcima: tamnije nijanse u plavom, i posebno crvenim, pojasima, nešto svjetlija u zelenom pojasu i znatno svjetlija u blisko IC pojasima (maksimum u Landsatovim MS pojasima 6 i 7 i TM pojasu 4 i SPOT-ovom pojasu 3). Listopadne vrste imaju veću refleksiju od igličastih vrsta, te su na IC kompozitnim snimcima crvene boje talasnih dužina 0,7 – 1,1 μm obično svjetlije kod lišćarskih nego kod igličastih vrsta drveća. Ove spektralne varijacije olakšavaju preciznu identifikaciju i monitoring vegetacije na kopnu i ponekad u oceanima ili drugim vodenim tijelima. Budući da vegetacija predstavlja dominantnu komponentu većine ekosistema, to omogućava praćenje kvantitativnih promjena u primarnim, sekundarnim i tercijarnim ekosistemima.

Klasifikacija vegetacije ima vrlo značajnu ulogu u upravljanju i planiranju očuvanja prirodnih resursa. Kombinacijom podataka prikupljenih daljinskom detekcijom sa satelita (Landsat TM i SPOT HRV) i podataka prikupljenih terenskim istraživanjima vegetacije te analizom terena (DEM) moguće je izvršiti vrlo precizno kartiranje vegetacije do nivoa sveze. Primjena daljinske detekcije omogućava ažuriranje podataka za veće regione u relativno kratkom vremenskom periodu, te monitoring i detekciju promjena u vegetaciji.

PRAKTIČNA PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA U VEGETACIJSKIM ISTRAŽIVANJIMA

Polazni pokazatelji za karakteristike vegetacijskog pokrivača područja predstavljali su karta realne šumske vegetacije i pokrovnost zemljišta. Podaci o realnoj šumskoj vegetaciji bazirani su na istraživanjima koja su tokom devedesetih godina prošlog stoljeća proveli profesori sa Šumarskog fakulteta u Sarajevu. Rezultati tih istraživanja su u grafičkom dijelu predstavljeni kartama realne šumske vegetacije, urađene u mjerilu 1 : 200.000 na ukupno 12 listova, koji u potpunosti pokrivaju prostor Bosne i Hercegovine.



Slika 5.14. Karta realne šumske vegetacije i pokrovnost zemljišta istraživanog područja

Na širem području Dive Grabovice identificirano je nekoliko tipova šumskih zajednica (Slika 5.14.):

- 11 - *Fagetum montanum*
- 17 - *Seslerio - Fagetum, Ostryo - Fagetum, Aceri obtusati - Fagetum*
- 21 - *Abieti - Fagetum*
- 36 - *Pinetum heldreichii*
- 39 - *Pinetum mugii*
- 61 - *Querco - Ostryetum carpinifoliae, Orno – Ostryetum*

65 - *Quercus pubescentis* - *Carpinetum orientalis*, *Carpinetum orientalis*

181 - *Fagetum subalpinum*

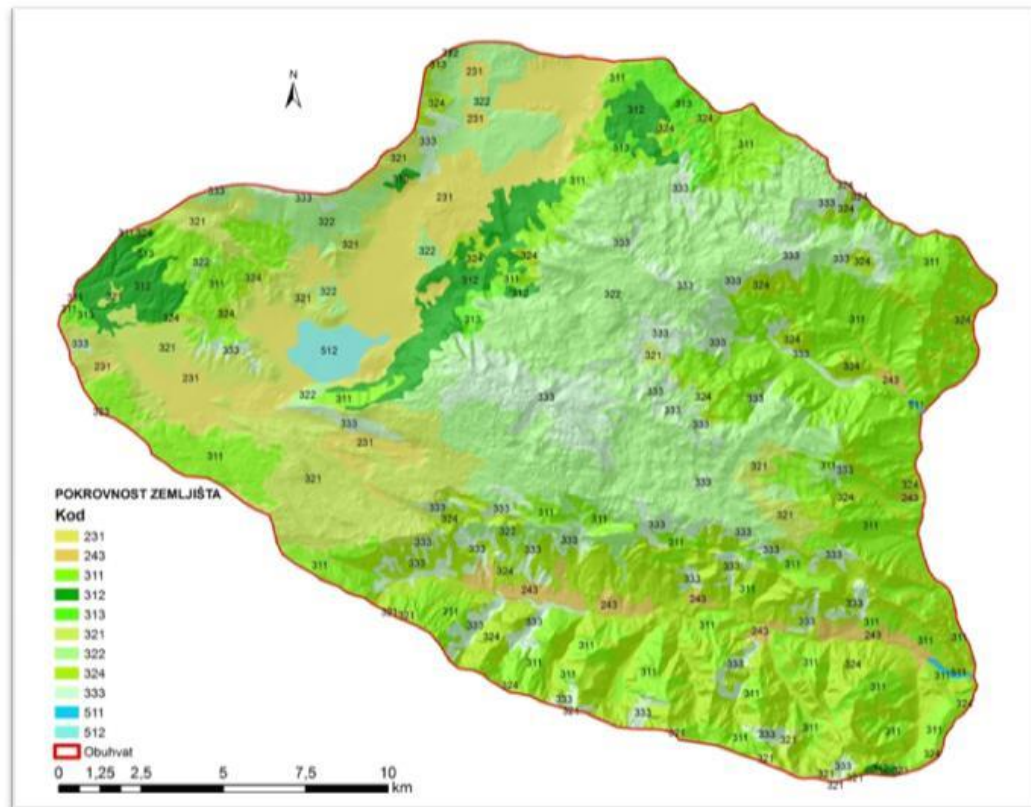


Slika 5.15. Infracrveni snimak šireg istraživanog područja

Na ovom području u formi oro-edafskih zajednica, rasprostranjene su šume bukve *Fagetum montanum* ili šume crnog jasena i graba (*Orno – Ostryetum carpinyfoliae*), koje su razvijene na strmim dolinskim, pretežno kanjonskim stranama. Posebno su dobro razvijene na krečnjačkom stijenskom supstratu i na južno eksponiranim padinama. Dominantni pedološki tipovi supstrata su iz razreda kalkomelanosola i kalkokambisola.

Iznad pojasa bukovih i hrastovih šuma, uvažavajući osnovne parametre visinske i klimatske pojavnosti, nadovezuje se gorski vegetacijski pojas bukovih šuma reda *Fagetalia*. Unutar ovog pojasa se, u vidu dosta raširenih prostornih cjelina, pojavljuje potpojas bukve i jele (*Abieti – Fagetum*). Brdske bukove šume su na ovom području izgrađene na krečnjačkoj stjenovitoj podlozi, posebno u zonama bogatim humusom (mull humus). Sa porastom visine na granici šumske vegetacije nastavlja se zajednica prilagođena na ekstremne surove planinske klime, nastanjuje subalpski i alpski pojas, zajednica klekovine bora *Pinetum mugii*. Kamenite i stjenovite terene subalpskog pojasa, gdje surovost planinske klime dolazi do izražaja, naseljava munika (*Pinus heldreichii*), koja tvori čiste ili miješane zajednice sa drugim četinarima *Pinetum heldreichii* ili lišćarskim vrstama.

Jedan od osnovnih ulaznih podataka u provedenim istraživanjima predstavljali su digitalni podaci o pokrovnosti terena. Analiza pokrovnosti istraživanog područja je rađena na osnovu ulaznih CORINE land cover podataka za Bosnu i Hercegovinu iz 2006. godine. Površina najmanje jedinice za kartiranje je 25 hektara, što za nivo istraživanog zaštićenog područja predstavlja solidnu osnovu za determiniranje glavnih tipova pokrovnosti, uključujući i vegetaciju. Rezultatima analiza utvrđeno je da se na istraživanom području nalaze sljedeći tipovi pokrovnosti: 2.4.3., 3.2.1., 3.2.2., 3.2.4., 3.3.3., 5.1.1. (Karta 5.16).



Slika 5.16. Tipovi pokrovnosti na istraživanom području (brojevi predstavljaju tipove pokrovnosti koji su dati u daljem tekstu)

Navedeni tipovi pokrovnosti imaju sljedeće značenje:

2.4.3. Zemljište koje u prvom redu zauzima poljoprivreda, sa značajnim udjelom prirodne vegetacije – prvenstveno poljoprivredne zone, ispresjecane značajnim prirodnim zonama. U ovim jedinicama nije moguće izolirati homogeni podset površine 25 ha ili više u okviru poljoprivrednog tla ili prirodnih zona (prirodna vegetacija, šume, travnjaci, vodena tijela ili gole stijene). Poljoprivredno zemljište zauzima između 25% i 75% ukupne površine ove jedinice. Ova zemljišta srećemo na lokalitetu „Drežnica“.

3.1.1. Lišćarsko-listopadna šuma – vegetacijske formacije koje prvenstveno čini drveće, uključujući i šibove, sa dominacijom širokolisnih vrsta. Jedina poteškoća u identifikaciji ovog tipa šume uzrokovana je efektom sjene u dolinama pod šumom, jer može doći do konfuzije sa četinarima. Redovi topola se mogu prepoznati na osnovu svog pravilnog geometrijskog oblika u blizini vodotoka. Širokolisne vrste drveća moraju pokrivati najmanje $\frac{3}{4}$ površine ove jedinice. Mladi izdanci i mlade plantaže također spadaju u ovu kategoriju (Slika 20).

3.2.1. Prirodni travnjak – nisko produktivni travnjak koji je često lociran u zoni neravnog terena. Često uključuje stjenovite površine i vrištine. Ova kategorija se najčešće nalazi u zonama gdje postoji intenzivna poljoprivredna aktivnost. Zone prirodnih travnjaka obično ne prikazuju granice parcela (žive ograde, zidove). Zone na kojima se vrši ispaša, kada je načinjen snimak, posebno u blizini staja ili planinskih torova, trebaju biti svrstane u kategoriju 3.2.1., a ne u kategoriju 3.2.2. (tresetišta) ili 3.3.3. (zona sa oskundom vegetacijom). Potrebno je uzeti u obzir udaljenost od stalnih naselja i dužinu perioda ispaše (manje od 120 dana - od juna do septembra). Na prirodnim travnjacima - livadama razvijaju se zajednice klase Festuco-Brometea, Brometea, Sedo-Scleranthetea, Nardo-Callunetea, Artemisietea - Kl.char., Mol.-Arrhenatheretea-Ges., Geranietea, Plantaginetea, Agropyretea, Asplenietea, Asplenietea trich. - Kl.char., Epilobietea

3.2.2. Vrištine – vegetacija sa slabim pokrovom u kojoj dominiraju šibovi i zeljaste biljke (vrijesak, trnoviti žbunovi itd.). Moguće je razlikovati subalpinske vrištine koje gradi rhododendron i kaluna, a koje se generalno nadovezuju na subalpinske šume i pašnjake. Postoji rizik od miješanja sa četinarskim šumama (3.1.2.) i tresetima na padinama (4.1.2.), te se preporučuje korištenje zračnih snimaka i provjera na terenu (Slika 5.18.).

3.2.4. Tranzicijska šuma/šikara – šibolika ili zeljasta vegetacija sa pojedinačnim stablima. Može predstavljati ili degradaciju šume ili njenu regeneraciju/kolonizaciju. Ova kategorija uključuje zone podložne eroziji ili mjesta gdje je zdravlje biljaka narušeno, kao i zone na kojima je vršeno pošumljavanje (Slika 5.19.). Ako je riječ o prirodnoj

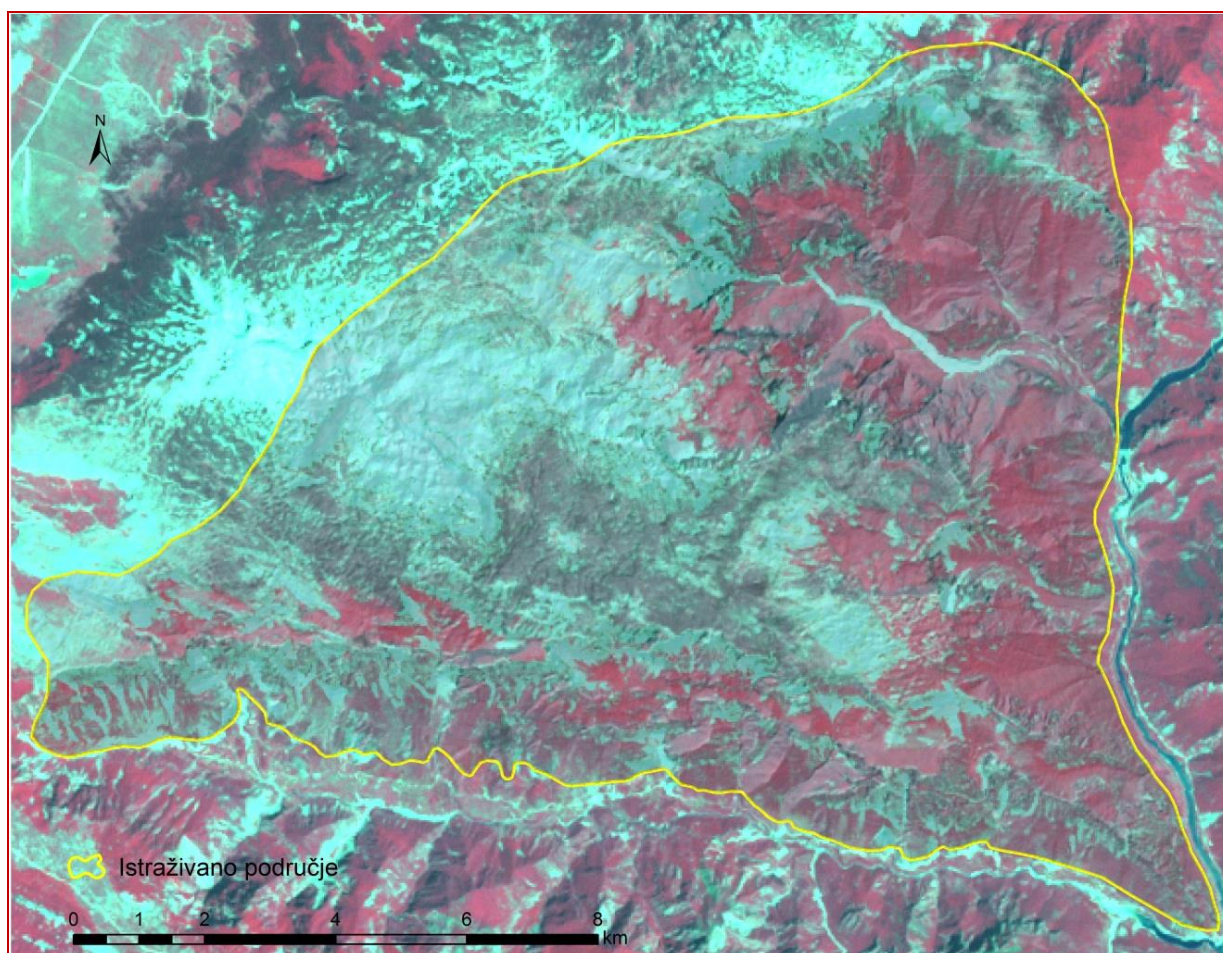
progradaciji šumske vegetacije, onda se ova zona svrstava u klasu 3.2.2. ili 3.2.3. Jedinice u ovoj kategoriji je obično teško identificirati i razlučiti na satelitskim snimcima, jer oni jedva označavaju njihovo prisustvo. Kontekst (zone sa erozijom, strme padine) mora biti uzet u obzir, ali je satelitske snimke potrebno provjeriti koristeći zračne snimke.

3.3.3. Zone sa oskudnom vegetacijom uključuju tundru i zone sa oskudnom vegetacijom na visokim nadmorskim visinama, što je rezultat erozije ili kasnog topljenja snijega ili ledenog pokrivača (planinske stepe). Potrebni su dodatni podaci (zračni snimci, geološke i pedološke karte) za pravilno tumačenje ove kategorije

5.1.1. Vodotoci – prirodni ili vještački vodotoci, koji služe kao kanali za drenažu vode. Minimalna širina je 100 m. Potrebno je posvetiti pažnju minimalnoj širini bez kreiranja previše prekida u linijskim elementima pejzaža (Slika 5.22.). Tokom naredne faze istraživanja vršene su analize na dostupnim satelitskim snimcima za zaštićeno područje, i to: LANDSAT i SPOT4.

Vrijednost NDVI za dati piksel uvijek je broj koji ima vrijednosti od minus jedan (-1) do plus jedan (+1), gdje 0 označava zonu bez vegetacije, kao npr. ceste, golo tlo i zgrade, dok vrijednost blizu +1 (npr., 0,8 – 0,9) indicira najveću moguću gustinu zelenih listova. Slobodna stajaća voda (npr. okeani, mora, jezera) i vodotoci imaju prilično nisku refleksiju u oba spektralna pojasa (barem daleko od obala), te stoga rezultiraju vrlo niskim pozitivnim ili čak neznatno negativnim NDVI vrijednostima. Shodno navedenom za zaštićeno područje je, primjenom GIS modela, izvršena transformacija LANDSAT-ovog snimka u novi NDVI snimak. U procesu transformacije svaki piksel je dobio svoju numeričku vrijednost koja reprezentira različite tipove pokrovnosti, od antropogenih površina preko golog tla do vegetacijskog pokrivača (Slika 5.23.).

Unutar analiziranog prostornog obuhvata uočljivo je da se numeričke vrijednosti kreću unutar vrijednosti od -1 (svijetlo siva kolorna nijansa) do 1 (tamno siva kolorna nijansa), s tim da u najvećem dijelu dominiraju vrijednosti iznad 0,30, što indicira na dominantno učešće različitih tipova vegetacijskog pokrivača.



Slika 5.23. LANDSAT 7 infracrveni snimak istraživanog područja (dobiven kombinacijom crvenig i bliskoinfracrvenog pojasa)

Navedeni primjeri primjene daljinskih istraživanja predstavljaju samo neke od najosnovnijih oblasti u kojima se ista mogu aplicirati. Konkretnije postoje i brojne druge oblasti primjene posebno kada je u pitanju oblast okoliša, razvoj poljoprivredne proizvodnje, eksploatacija mineralnih i nemineralnih resursa i slično. Opći je zaključak da će oblast daljinskih istraživanja već u bliskoj budućnosti praktično u potpunosti preuzeti analizu i razvoj u oblasti materijalnog razvoja ljudskog društva i stići u vezi bit će ključni alat za donošenje objektivnih i optimalnih odluka.

SONARI

LITERATURA

1. Adams, J. B., Gillespie, A. R. (2006): Remote sensing of landscapes with spectral images: A physical modelling approach. Cambridge: University Press.
2. Adderly, W. P., Simpson, I. A., Davidson, D. A. (2002): Color description and quantification in mosaic images of soil thin sections. *Geoderma*, 108: 181–195.
3. Adler, R. F., Huffman, G. J., Keehn, P. R. (1994): Global rain estimates from microwave-adjusted geosynchronous IR data. *Remote Sensing Reviews*, 11: 125–152.
4. Alexander, M. A., Blade, I., Newman, M., Lanzante, J. R., Lau, N.-C., Scott, J. D. (2002): The atmospheric bridge: the influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans, *J. Climate*, 15 (16): 2205–2231.
5. Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., Witmer, R. E. (1976): A land-use and land-cover classification system for use with remote sensor data. Washington, US Geological Survey Professional Paper 964.
6. Andres, L., Salas, W. A., Skole, D. (1994): Fourier analysis of multi-temporal AVHRR data applied to a land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 15: 1115–1221.
7. Angelici, L., Brynt, N. A., Friedman, S. Z. (1977): Techniques for land use change detection using Landsat imagery. *Proceed. Am. Society Photogrammetry*, pp. 217-228.
8. Anyamba, A., Tucker, C. J. (2005): Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. *J. Arid Environ.*, 63(3): 596–614.

9. Anyamba, A., Linthicum, K. J., Mahoney, R., Tucker, C. J., Kelley, P. W. (2002): Mapping potential risk of Rift Valley Fever outbreaks in African savannas using vegetation time series data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68: 137–145.
10. Aplin, P., Atkinson, P. M., Curran, P. J. (1997): Fine spatial resolution satellite sensors for the next decade. *International Journal of Remote Sensing*, 18: 3873-3881.
11. Aplin, P., Atkinson, P. M., Curran, P. J. (1999): Fine spatial resolution simulated satellite sensor imagery for land cover mapping in the United Kingdom. *Remote Sensing of Environment*, 68: 206–216.
12. Arkin, P. A., Joyce, R., Janowiak, J. E. (1994): IR techniques: GOES precipitation index. *Remote Sensing Reviews*, 11: 107–124.
13. Asrar, G. (1989): *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. New York: John Wiley & Sons. Wiley Series in Remote Sensing.
14. Avery, T. E., Berlin, G. L. (1992): *Fundamentals of remote sensing and air photo interpretation*, 5th Ed. New York: Macmillan Publishing.
15. Aydemir, S. (2001): Properties of Palygorskite-Influenced Vertisols and Vertic-like Soils in the Harran Plain of Southeastern Turkey.
16. Banner, A. V., Lynham, T. (1981): Multitemporal analysis of Landsat data for forest cut over mapping a trial of two procedures. In: *Proceedings of the 7th Canadian Symposium on Remote Sensing held in Winnipeg in 1981*. Winnipeg: Canadian Remote Sensing Society, 233-240.
17. Barr, S., Barnsley, M. (2000): Reducing structural cluster in land cover classification of high spatial resolution remotely-sensed images for urban land use mapping. *Computers and Geosciences*, 26: 433–449.
18. Baumgardner, M. F., Silva, L. F., Biebl, L.L. Stoner, E. R. (1985): Reflectance properties of soils. *Advances in Agronomy*, 38: 1-44.
19. Baxes, *Digital Image Processing*, 1994, New York: Wiley.
20. Biswas, S., Pal, N. R. (2000): On hierarchical segmentation for image compression. *Pattern Recognition Letters*, 21: 131–144.
21. Bonner, W. J., Rohde, W. G., Miller, W. A. (1982): Mapping Wildland Resources with Digital LANDSAT and Terrain Data. In: *Johannesen C. J., Sanders, J. L., eds.: Remote Sensing and Resource Management*. Iowa: SCSA, 73-80.
22. Brown, J. F., Loveland, J. T., Merchant, R. W., Reed, B.C., Ohlen, D. O. (1993): Using Multisource Data in Global Land Cover Characterization: Concepts, Requirements, and Methods, *Photogrammetric*.
23. Brown, M. E., Pinzon, J. E., Didan, K., Morisette, J. T., Tucker, C. J. (in press). Evaluation of the consistency of long-term NDVI time series derived from AVHRR, SPOT-Vegetation, SeaWiFS, MODIS and Landsat ETM+. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.
24. Bruzzone, L., Prieto, D. F. (2002): An adaptive semi parametric and context based approach to unsupervised change detection in multitemporal remote sensing images. *IEEE Transactions on Image Processing*, 11(4): 452–466.
25. Burnett, C., Blaschke, T. (2003): A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis. *Ecological Modelling*, 168: 233–249.
26. Burrough, P.A. (1986): *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Clarendon Press.
27. Campbell, J. B. (2007): *An Introduction to remote sensing*, 4th ed. London: Taylor and Francis.
28. Campbell, J. B. (1996): *Introduction to Remote Sensing*, 2nd Ed. New York: The Guilford Press.
29. Carleer, A. P., Wolff, E. (2004): Exploitation of very high resolution satellite data for tree species identification. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(1): 135–140.
30. Carleer, A.P., Debeir, O., Wolff, E. (2005): *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No. 11, pp. 1285–1294.
31. Carleer, A. P., Debeir, O., Wolff, E. (2004): Comparison of very high spatial resolution satellite image segmentations. In: Bruzzone, L., ed.: *Proceedings of SPIE Image and Signal Processing for Remote Sensing IX*, 5238: 532–542.
32. Charrupat, T. (1997): Application of Remote Sensing on Monitoring of Tropical Forest, FORTROP' 96. In: *Proceedings of an International Conference on Tropical Forestry in the 21st Century*, Bangkok: Kasetsart University, 10-18.
33. Chauhan H. B., Nayak, S. (2005): Land use/ cover changes near Hazira region, Gujarat using Remote Sensing Satellite data. *Journal of the Indian society of Remote Sensing* 33(3), 413-420.



34. Chijioke, G. E. (2012): Satellite Remote Sensing Technology in Spatial Modeling Process: Technique and Procedures. *International Journal of Science and Technology*, 2/5: 309-315.
35. Cibula, W.G., Nyquist, M.O. (1987): Use of Topographic and Climatological Models in a Geographical Data Base to Improve Landsat MSS Classification for Olympic National Park. *Photogrammetric Engineering by Remote Sensing*, 53(1): 67-75.
36. Cihlar, J. R., Latifovic, J. M., Beaubien, J. (2000): Selecting representative high resolution sample images for land cover studies. part 1: methodology. *Remote Sensing Environ.*, 71(1): 26-42.
37. Cihlar, J., St. Laurent, L., Dyer, J. A. (1991): The relation between normalized difference vegetation index and ecological variables. *Remote Sensing of Environment*, 35: 279–298.
38. Civo, D. L. (1989): Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery. *Photogrammetric Engineering* 6. *Remote Sensing*, 55(9): 1303-1309.
39. Collatz, G. J., Ball, J. T., Grivet, C., Berry, J. A. (1991): Physiological and environmental-regulation of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration – A model that includes a laminar boundary layer, *Agr. Forest Meteorol.*, 54(2–4): 107–136.
40. Collatz, G. J., Ribas-Carbo, M., Berry, J. A. (1992): Coupled Photosynthesis-Stomatal Conductance Model for Leaves of C4 Plants. *Aust. J. Plant Physiol.*, 19(5): 519–538.
41. Congalton R. G., Green, K. (1999): *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices*. New York: Lewis.
42. Congalton, R. G. (1988): A Comparison of Sampling Schemes Used in Generating Error Matrices for Assessing the Accuracy of Map Generated from Remote Sensing Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54 (5): 593-600.
43. Congalton, R.G., R.G. Oderwald, Mead, R. A. (1983): Assessing LANDSAT Classification Accuracy Using Discrete Multivariate Statistical Techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49, 2: 1671-1678.
44. Congalton, R. G. (1991): A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
45. Cracknell, A. P. (2008): Synergy in remote sensing – what's in a pixel? *International Journal of Remote Sensing*, 19: 2025-2047.
46. Cracknell, A. P., Hayes, L. W. B. (2007): *Introduction to remote sensing*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.
47. Crist, E. P., Cicone, R. C. (1983): Investigation of Thematic Mapper Data Dimensionality and Features Using Field Spectrometer Data. *Proceedings of the Seventeenth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Ann Arbor: Michigan, 3: 1313-1322.
48. Curran, P. J. (1985): *Principles of remote sensing*. London ; New York: Longman.
49. Cushnie, J. L. (1987): The interactive affect of spatial resolution and degree of internal variability within land-cover types on classification accuracies. *International Journal of Remote Sensing*, 8(1): 15–29.
50. Davenport, M. L., Nicholson, S. E. (1993): On the relation between rainfall and the normalized difference vegetation index for diverse vegetation types in East Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 14: 2369–2389.
51. Defries, R., Hansen, M., Townshend, J. R. G., Sohlberg, R. (1998): Global land cover classifications at 8 km spatial resolution: The use of training data derived from Landsat imagery in decision tree classifiers, *Int. J. Remote Sens.*, 19 (16): 3141–3168.
52. Döner, F. (2011): Using Landsat data to determine land use/land cover changes in Gümüşhane, Turkey. *Scientific Research and Essays*, 6(6): 1249-1255.
53. Đug, S, Drešković, N.(2014): Application of the Remote detection in the vegetation investigation on the example of the Protected area „Tajan“, Bosnia and Herzegovina. In: *Proceedings of the Third Congress of Geographers of Bosnia and Herzegovina*. Tuzla, 2012.
54. Eastman, J. R. (2006): *IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing*, Worcester: Clark Labs.
55. Eastman, J. R., Fulk, M. A. (1993): Long sequence time series evaluation using standardized principal components analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53: 1649–1658.
56. ERDAS, (1999). *Version 8.4, PC User's guide, Software toolkit manual*. 2801 Buford Highway, NE, Atlanta, GA 30329-2137, USA.

57. Estes, J. E., Stow, D., Jenson S. R. (1982): Monitoring land use and land cover changes. In: Johannsen, C. J., Sanders J. L., eds.: Remote Sensing for Resource Management, Iowa: Soil Conservation Society of America, 100-110.
58. Ferro, C. J. S., Warner, T. A. (2002): Scale and texture in digital image classification, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68 (1): 51–63.
59. Fitzgerald, R. W., Lees, B. G. (1994): Assessing the Classification of Multisource Remote Sensing Data. *Remote Sensing of Environment*, 47: 362-368.
60. Foody, G. M., Boyd, D. S. (1999): Detection of partial land cover change associated with the migration of inner-class transitional zones. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 2723–2740.
61. Foody, G. M. (1992): On the Compensation for Chance Agreement in Image Classification Accuracy Assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58/10: 1459-1460.
62. Ford, R., Ma, Z., Barsness, S., Redmond, R.L. (1997): Rule-Based Aggregation of Classified Imagery. *Proceedings of the 1997 ACSM/ASPRS Annual Convention, Technical Papers Volume 3, Remote Sensing and Photogrammetry*, 07-10 April, Seattle, Washington, pp. 115-123.
63. Fortey, N.J. (1995): Image analysis in mineralogy and petrology. *Mineral. Mag.* 59: 117–178.
64. Frank, T. D. (1988): Mapping Dominant Vegetation Communities in the forest Colorado Rocky Mountain Front Range with LANDSAT Thematic Mapper and Digital Terrain Data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(12): 1727-1734.
65. Franklin, S. E. (1987): Terrain Analysis from Digital Patterns in Geomorphometry and Landsat MSS Spectral Response, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 53(1): 59-65.
66. Franklin, S.E. (1990): Topographic Context of Satellite Spectral Response, *Computers and Geosciences*, 16(7): 1003-1010.
67. Funk, C., Michaelsen, J. (2004): A simplified diagnostic model of orographic rainfall for enhancing satellite-based rainfall estimates in data-poor regions. *Journal of Applied Meteorology*, 43: 1366–1378.
68. Furtado, J. J., Cai, Z., Xiaobo, L. (1998): Digital Image Processing: Supervised Classification using Genetic Algorithm in Matlab toolbox.
69. Gastellu-Etchegorry, J.P., C. Estreguil, E. Mougin (1993): A GIS based Methodology for Small Scale Monitoring of Tropical Forests - A Case Study in Sumatra. *International Journal of Remote Sensing*, 14(14): 2349-2368.
70. Geymen, A., Baz, I. (2008): The potential of remote sensing for monitoring land cover changes and effects on physical geography in the area of Kayisdagi Mountain and its surroundings (Istanbul).
71. Giri, C., Zhu, Z., Reed, B. (2005): A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets. *Remote Sensing of Environment*, 94: 123–132.
72. Gopal, S., Woodcock, C. (1994): Theory and Methods for Accuracy Assessment of Thematic Maps Using Fuzzy Sets, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 60(2): 181-188.
73. Gordon, S. (1980): Utilizing Landsat imagery to monitor land use change: A case study of Ohio. *Remote Sensing of Environment*, 9: 189-196.
74. Grevers, M. C. J., Jong, E. de (1992): Soil structure changes in subsoiled Solonetzic and Chernozemic soils measured by image analysis. *Geoderma* 53: 289–307.
75. Guindon, B. (1997): Computer-based aerial image understanding: A review and assessment of its application to planimetric information extraction from very high resolution satellite images, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 23(1): 38–47.
76. Guindon, B. (2000): Combining diverse spectral, spatial and contextual attributes in segment-based image classification. *Proceedings of the ASPRS Annual Conference*, Washington.
77. Guler, M., Yomraloglu, T., Reis, S. (2007): Using landsat data to determine land use/land cover changes in Samsun, Turkey. *Environ. Monitor. Assess.*, 127: 155-167.
78. Guneriusen, T., Johnsen, H. (1996): DEM Corrected ERS-1 SAR Data for Snow Monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 17(1): 181-195.
79. Gupta, R. P. (1991): *Remote Sensing in Geology*. New York: Springer-Verlag.
80. Haack, B., Jampoler, S. (1994): Agricultural classification comparisons using landsat thematic mapper data. *ITC J.*, 2(1): 113-118.

81. Hansen, M. C., Defries, R. S., Townshend, J. R. G., and Sohlberg, R. (2000): Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6–7): 1331–1364.
82. Haralick, R.M., L.G. Shapiro (1985): Survey: Image segmentation techniques, *Computer Vision, Graphics, and Image Understanding*, 29: 100–132.
83. Herold, M., Gardner, M.E., Roberts, D.A. (2003): Spectral resolution requirement for mapping urban areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(9): 1907–1919.
84. Herold, M., Goldstein, N.C., Clarke, K.C. (2003): The spatial –temporal form of urban growth: Measurement, analysis and modeling. *Remote Sensing of Environment* 86 (3): 286–302.
85. Herold, M., Scepán, J., Müller, A., and Günter, S. (2002): Object oriented mapping and analysis of urban land use/cover using IKONOS data. *Proceedings of 22nd EARSEL Symposium “Geoinformation for European-wide Integration”*, Prague.
86. Herold, M., Liu, X., Clarke, K.C. (2003): Spatial metrics and image texture for mapping urban land use, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(9): 991–1001.
87. Herold, M., M. Gardner, B. Hadley, D. Roberts (2002): The spectral dimension in urban land cover mapping from highresolution optical remote sensing data, *Proceedings of the 3rd Symposium on Remote Sensing of Urban Areas*, Istanbul, Turkey.
88. Heuvelink, G.B.M., Burroughs P.A., Stein, A. (1989): Propagation of Errors in Spatial Modelling with GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 3(4): 303-322.
89. Hill, R.A. (1999): Image segmentation for humid tropical forest classification in Landsat TM data, *International Journal of Remote Sensing*, 20(5): 1039–1044.
90. Hirose, Y., Marsh, S.E. Kliman, D.H. (1996): Application of Standardised Principal Component Analysis to Land Cover Characterization Using Multitemporal AVHRR data. *Remote Sens. Environ.* 58: 267-281.
91. Hiison, M., Scholz, D., Fuhs, N., Akiyama, T. (1980): Evaluation of Several Schemes for Classification of Remotely Sensed Data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 46(12): 1547-1553.
92. Holben, B. (1986): Characteristics of maximum-value composite images for temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1417–1434.
93. Hord, M. R. (1982): *Digital Image Processing of Remotely Sensed Data*. Academic Press, NY. pp. 256.
94. Howarth J. P., Boasson, E. (1983): Landsat digital enhancements for change detection in urban environment. *Remote Sensing of Environment*, 13: 149-160.
95. Howarth J. P., Wickware G. M. (1981): Procedure for change detection using Landsat digital data. *Int. J. Remote Sensing*, 2: 277-291.
96. Huete, A. R., Tucker, C. J. (1991): Investigation of soil influences on AVHRR red and near-infrared vegetation index imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 12: 1223–1242.
97. Huffman, G. J., Adler, R. F., Rudolf, B., Schneider, U., Keehn, P. R. (1995): Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information. *Journal of Climate*, 8: 1284–1295.
98. Hutchinson, C. F. (1998). *Social science and remote sensing in famine early warning*. D. Liverman, E. F. Moran, R. R. Rindfuss, P. C. Stern, Eds.: *People and pixels: Linking remote sensing and social science*. Washington: National Academy Press, 189–196.
99. Hutchinson, C.E. (1982): Techniques for Combining Landsat and Ancillary Data for Digital Classification Improvement. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 48(1): 123-130.
100. Ingram, K., Knapp, E., Robinson, J. W. (1981): Change detection technique development for improved urbanized area delineation. Technical memorandum CSCITM-81/6087, Silver Springs: Computer Sciences Corporation.
101. Irons, J.R., B.L. Markham, R.F. Nelson, D.L. Toll, D.L. Williams, R.S. Latty, and M.L. Stauffer (1985): The effects of spatial resolution on the classification of Thematic Mapper data, *International Journal of Remote Sensing*, 6(8): 1385–1403.
102. Janssen, L.F., J. Jaarsma, E. van der Linder (1990): Integrating Topographic Data with Remote Sensing for Land-Cover Classification, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56(11): 1503-1506.
103. Janssen, L. L. F., M. Molenaar (1995): Terrain objects, their dynamics and their monitoring by the integration of GIS and remote sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(3): 749–758.
104. Jensen, J. R. (2005): *Introductory digital Image Processing: a remote sensing perspective*. 3rd Ed. Prentice Hall Series in Geographic Information Science.

105. Jensen, J. R. (2007): Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective (2nd ed.). Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. pp. 592;
106. Jensen, J. R. (1996): Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
107. Jenson, R., Toll, D. L. (1982): Detecting residential land use development at the urban fringe. Photogrammetric Eng. Remote Sensing., 48: 629-643.
108. Johnsson, K. (1994): Segment-based land-use classification from SPOT satellite data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 60(1): 47–53.
109. Jones, A.R., J.J. Settle, B.K. Wyatt (1988): Use of Digital Terrain Data in the Interpretation of SPOT-1 HRV Multispectral Imagery. International Journal of Remote Sensing, 9(4): 669-682.
110. Joria, P.E., J.C. Jorgenson (1996): Comparison of Three Methods for Mapping Tundra with Landsat Digital Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 61(3): 321-327.
111. Joyce, A. T., Iwey, J. H., Burns, G. S. (1982): The use of Landsat MSS data for detecting land use changes in forest land. Proceedings of the 14th International Symposium on Remote Sensing of Environment held in Costa Rico in 1982 (Ann Arbor, Michigan: Environmental Research Institute of Michigan), pp.979-988.
112. Justice, C., J. Townshend (1982): A Comparison of Supervised and Unsupervised Classification Procedures on LANDSAT MSS Data for an Area of Complex Surface Conditions in Basilicata, Southern Italy, Remote Sensing of Environment, 12: 407-420.
113. Kara, F. (2012): Investigation of Effects of Spatial Resolution on Image Classification. Ocean Journal of Applied Sciences 5(2): 169-184.
114. Karantzalos, K.G., D.P. Argialas (2003): Evaluation of selected edge detection techniques in remotely sensing images. Proceedings of SPIE Image and Signal Processing for Remote Sensing VIII, (Sebastiano B. Serpico, editor), 485: 102–110.
115. Kaufman, Y. J., Holben, B. (1993): Calibration of the AVHRR visible and near-IR bands by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection. International Journal of Remote Sensing, 14: 21–52.
116. Kawabata, A., Ichii, K., Yamaguchi, Y. (2001): Global monitoring of interannual changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation. International Journal of Remote Sensing, 22: 1377–1382.
117. Kerr, Y. H., Imbernon, J., Dedieu, G., Hautecoeur, O., Lagouarde, J. P., Seguin, B. (1989): NOAA AVHRR and its uses for rainfall and evapotranspiration monitoring. International Journal of Remote Sensing, 10: 847–854.
118. Key, T., T.A. Warner, J.B. McGraw, M.A. Fajvan (2001): A comparison of multispectral and multitemporal information in high spatial resolution imagery for classification of individual tree species in a temperate hardwood forest. Remote Sensing of Environment, 75: 100–112.
119. Khorram, S., Biging, G. S., Chrisman, N. R., Congalton, R. G., Dobson, J. E., Ferguson, R. L., et al. (1999): Accuracy assessment of remote sensing-derived change detection. Bethesda: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
120. Kramer, H. J. (2002): Observation of the Earth and its Environment: Survey of Missions and Sensors. Berlin, Springer.
121. Krištof, O., Mulahusić, A. (2014): Daljinska istraživanja. Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu. Sarajevo i Ljubljana.
122. Lambin, E. F., Ehrlich, D. (1997): Land-cover changes in Sub-Saharan Africa (1982–1991): Application of a change index based on remotely sensed surface temperature and vegetation indices at a continental scale. Remote Sensing Environment, 61(2): 181–200.
123. Lee, S.U., S.Y. Chung, R.H. Park (1990): A comparative performance study of several global thresholding techniques for segmentation, Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 52: 171–199.
124. Lenney, M. P., Woodcock, C. E., Collins, J. B., Hamdi, H. (1996): The status of agricultural lands in Egypt: The use of multi temporal NDVI features derived from Landsat TM. Remote Sensing Environment, 56: 8–20.
125. Liang, S. (2004): Quantitative remote sensing of land surfaces. New York: John Wiley and Sons.
126. Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. C. (2008): Remote sensing and image interpretation, 6th ed. New York: John Wiley and Sons.
127. Lins, K. S., Kleckner, R. L. (1996): Land cover mapping: An overview and history of the concepts. In J. M. Scott, T. H. Tear, F. Davis (Eds.): Gap analysis: A landscape approach to biodiversity planning (pp. 57–65). Bethesda, MD: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

128. Lodwik, G. D. (1979): Measuring ecological changes in multi-temporal Landsat data using principal components. Proceedings of the 13th International Symposium on Remote Sensing of Environment held in Ann Arbor in 1979 (Ann Arbor, Michigan: Environmental Research Institute of Michigan), pp.1-11.
129. Los, S. O. (1998): Estimation of the ratio of sensor degradation between NOAA AVHRR channels 1 and 2 from monthly NDVI composites. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36: 206–213.
130. Los, S. O. (1993): Calibration adjustment of the NOAA AVHRR Normalized Difference Vegetation Index without recourse to Channel 1 and 2 data. International Journal of Remote Sensing, 14: 1907–1917.
131. Los, S. O., Collatz, G. J., Sellers, P. J., Malmstrom, C. M., Pollack, N. H., DeFries, R. S., Bounoua, L., Parris, M. T., Tucker, C. J., and Dazlich, D. A. (2000): A global 9-yr biophysical land surface dataset from NOAA AVHRR data, J. Hydrometeorol., 1(2): 183–199.
132. Los, S. O. (1998): Linkages between Global Vegetation and Climate: An Analysis Based on NOAA-Advanced Very High Resolution Radiometer Data, Ph.D. Dissertation. Amsterdam: Vrije Universiteit.
133. Lotsch, A., Friedl, M. A., Pinzon, J. E. (2003): Spatio-temporal deconvolution of NDVI image sequences using independent component analysis. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41: 2938–2942.
134. Lotsch, A., Friedl, M. A., Anderson, B. T., Tucker, C. J. (2003): Coupled vegetation-precipitation variability observed from satellite and climate records. Geophysical Research Letters, 30.
135. Love, T. B., Kumar, V., Xie, P., Thiaw, W. M. (2004): 20-year daily Africa precipitation climatology using satellite and gauge data (pp. 5.4–5.7). American Meteorological Society.
136. Lu, D., Batistella, M., Mausel, P., Moran, E. (2007): Mapping and monitoring land degradation risks in the Western Brazilian Amazon using multitemporal Landsat TM/ETM+ images. Land Degradation and Development 18: 41– 54.
137. Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E., Moran, E. (2004): Change detection techniques. International Journal of Remote Sensing 24 (12): 2365–2407.
138. Ma, Z. (1995): Using a Rule-Based Merging Algorithm to Eliminate "Salt-Pepper" and Small Regions of Classified Image. Proceedings of the Ninth Annual Symposium on Geographic & formation Systems, 27-30 March, Vancouver, B.C., Canada, 834-837.
139. Ma, Z., C.E. Olson (1989b): A Measurement of Spectral Overlap among Coveres. Photogrammetric Engineering 6. Remote Sensing, 55(10): 1441-1444.
140. Ma, Z., C.E. Olson (1990): Accuracy Evaluation of Computed Classified Thematic Map with a Systematic Cluster Sampling Scheme. IGARSS '90, 20-24 May, Washington, D.C., 32379-2382
141. Ma, Z., R.L. Redmond (1996): Building Attribute Tables for Raster GIS Files with ARC INFO. Raster Imagery in Geographic Information Systems (S. Morain and S.V. Lopez Baros, editors), OnWord Press, Santa Fe, New Mexico, pp. 198-201.
142. Ma, Z., Hart, M. M., Redmond, R.L. (2001): Mapping Vegetation across Large Geographic Areas: Integration of Remote Sensing and GIS to Classify Multisource Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 6.7/3: 295-307.
143. Mahoney, R., Tucker, C. J., Anyamba, A., Brown, M., Slayback, D., Los, S. O. et al. (2001): Global remote sensing of vegetation from space by the NASA/GSFC GIMMS group international workshop on global change (pp. 17–29). Sendai Kyodo Printing Co. Ltd., Tohoku University.
144. Maktav, D., Erbek, F.S. (2005): Analysis of urban growth using multitemporal satellite data in Istanbul, Turkey. International Journal of Remote Sensing 26 (4): 797–810.
145. Malila, W. A. (1980): Change vector analysis: an approach for detecting forest changes with Landsat. Proceedings of the 6th Annual Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data held at Purdue University in 1980 (Indiana: Purdue University), pp. 326-335.
146. Marcal A. R. S., Borges, J. S., Gomes, J. A., Pinto Da Costa, J. F. (2005): Land Cover update by Supervised classification of segmented ASTER images. International Journal of Remote Sensing, 26(7): 1347–1362.
147. Mas, J. F. (1999): Monitoring land cover changes: a comparison of change detection techniques. International Journal of Remote Sensing, 20(1): 139-152.
148. Masek, J.G., Lindsay, F.E., Goward, S.N. (2000): Dynamics of urban growth in the Washington DC Metropolitan area, 1973–1996, from Landsat observations. International Journal of Remote Sensing, 21: 3473–3486.
149. Mather, P.M. (2004): Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. 3rd ed. Chichester: Wiley.
150. Maxwell, S. K., Nuckols, J. R., Ward, M. H., Hoffer, R. M. (2003): An automated approach to mapping corn from Landsat imagery. Comp. Electron. Agric., 43: 43-54.

151. McBratney, A.B., Moran, C.J., Stewart, J.B., Cattle, S.R., Koppi, A.J. (1992): Modifications to a method of rapid assessment of soil macropore structure by image analysis. Mermut, A.R., Norton, L.D., Eds.: Digitization, Processing and Quantitative Interpretation of Image Analyses in Soil Science and Related Areas. *Geoderma* 53: 255–274.
152. Mermut, A.R., Grevers, M.C.J., Jong, E. de (1992): Evaluation of pores under different management systems by image analysis of clay soils in Saskatchewan, Canada. In: Mermut, A.R., Norton, L.D. (Eds.): Digitization, Processing and Quantitative Interpretation of Image Analyses in Soil Science and Related Areas. *Geoderma* 53: 357–372.
153. Michael, L.T., Singh, P., Corak, S., Straszheim, W.E. (1992): Cautionary notes for the automated analysis of soil pore-space images. *Geoderma* 53: 399–415.
154. Milne, A. K. (1988): Change detection analysis using Landsat imagery a review of methodology. In: Proceedings of IGARSS, 88 symposium (pp. 541–544), Edinburgh, Scotland, 13–16 September.
155. Muchoney, D. M., Haack, B. (1994): Change detection for monitoring forest defoliation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60: 1243–1251.
156. Nelson, R. F. (1983): Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. *Photogram. Eng. Remote Sensing*, 49: 1303-1314.
157. Nemani, R., L. Pierce, S. Running, S. Band (1993): Forest Ecosystem Processes at the Watershed Scale: Sensitivity to Remotely-Sensed Leaf Area Index Estimates. *International Journal Remote Sensing*, 14(13): 2519-2534.
158. Neubert, M., G. Meinel (2003): Evaluation of segmentation programs for high resolution remote sensing applications. In: Proceedings of the Joint ISPRS/EARSel Workshop “High Resolution Mapping from Space 2003”, Hanover, Germany, 06–08 October, unpaginated CD-ROM.
159. Nicholson, S. E., Davenport, M. L., Malo, A. R. (1990): A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA-AVHRR. *Climate Change*, 17: 209–241.
160. Nicolin, B., Gabler, R. (1987): A knowledge-based system for the analysis of aerial images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 25(3): 317–329.
161. Nobi, E.P., Umamaheswar, R., Stella, C., Thangaradjou, T. (2009): Land Use and Land Cover Assessment along Pondicherry and its Surroundings Using Indian Remote Sensing Satellite and GIS. *American Eurasian Journal of Scientific Research* 4: 54-58.
162. Oetter, D.R., Cohen, B.C., Berterretche, M., Maierperger, T.K., Kennedy, R.E. (2000): Land cover mapping in an agriculture setting using multi-seasonal thematic mapper data. *Remote Sensing Environ.*, 76(2): 139-155.
163. Ortiz, M.J., Formaggio, R., Epiphonio, J.C.N. (1997): Classification of Croplands through Integration of Remote Sensing, GIS and Historical Database. *International Journal of Remote Sensing*, 18(1): 95-105.
164. Pal, N.R., Bhandari, D. (1993): Image thresholding: some new techniques. *Signal Processing*, 33: 139–158.
165. Palacio-Prieto, J.L., Luna-Gonzalez, L. (1996): Improving Spectral Results in a GIS Context. *International Journal of Remote Sensing*, 17(11): 2201-2209.
166. Peddle, D.R., S.E. Franklin (1991): Image Texture Processing and Data Integration for Surface Pattern Discrimination. *Photogrammetric Engineering* 6. *Remote Sensing*, 57(4): 413-420.
167. Philippon, N., Jarlan, L., Martiny, N., Camberlin, P., Mouglin, E. (2007): Characterization of the interannual and intraseasonal variability of West African vegetation between 1982 and 2002 by means of NOAA AVHRR NDVI data. *J. Climate*, 20(7): 1202–1218.
168. Pinzon, J. (2002): Using HHT to successfully uncouple seasonal and interannual components in remotely sensed data. *SCI, 2002 Conference Proceedings* Jul. 14–18. Orlando, FL: SCI International.
169. Pinzon, J. (2002): Using HHT to successfully uncouple seasonal and interannual components in remotely sensed data. Paper presented at *SCI, 2002, Conference Proceedings* 14–18 July, Orlando, Florida.
170. Potter, C. S., Brooks, V. (1998): Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 2921–2948.
171. Price, J. C. (1994): How unique are spectral signatures? *Remote Sensing of Environment*, 49: 181–186.
172. Price, J. R. (2003): Comparing MODIS and ETM+ for regional and global land classification. *Remote Sensing of Environment*, 86: 491-499.
173. Prince, S. D., Justice, C. O. (1991): Coarse resolution remote sensing of the Sahelian environment: Editorial. *International Journal of Remote Sensing*, 12: 1137–1146.

174. Protz, R., Sweeney, S.J., Fox, C.A. (1992): An application of spectral image analysis to soil micromorphology: 1. Methods of analysis. In: Mermut, A.R., Norton, L.D. (Eds.), *Digitization, Processing and Quantitative Interpretation of Image Analyses in Soil Science and Related Areas*. Geoderma 53.
175. Quattrochi, D.A., Goodchild, M.F., Eds. (1997): *Scale in Remote Sensing and GIS*. Boca Raton: CRC Lewis Publishers.
176. Ram, B., Kolarkar, A. S. (1993): Remote sensing application in monitoring land-use changes in arid Rajasthan. *International Journal of Remote Sensing*, 14(17): 3191–3220.
177. Rees, W. G.(2001): *Physical principles of remote sensing* (2nd ed.) CUP, Cambridge. pp. 343.
178. Rembold, F., Carnicelli, S., Nori, M., & Ferrari, A. (2000): Use of aerial photographs, landsat TM imagery and multidisciplinary field survey for land-cover change analysis in the lakes region (Ethiopia). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2(3–4): 181–189.
179. Richard, Y., Pocard, I. (1998): A statistical study of NDVI sensitivity to seasonal and interannual rainfall variations in Southern Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 2907–2920.
180. Richards, J.A. (1986): *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. New York: Springer.
181. Ricota, C. Avena, G.C, Volpe, F. (1999): The influence of principal component analysis on the spatial structure of multispectral dataset. *International Journal for Remote Sensing*, 20, 17: 3367–3376.
182. Rigina, O., Rasmusen, M.S. (2003): Using trend line and principal component analysis to study vegetation changes in Senegal 1986 -1999 from AVHRR 8 km data. *Danish Journal Of Geography*, 103(1): 31-42.
183. Rosenfield, G. H., Fitzpatrick-Lins, K. (1986): A Coefficient of Agreement as a Measure of Thematic Classification Accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52/2: 223-227.
184. Roy, D. P., Lewis, P. E., Justice, C. O. (2002): Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data—a bi-directional reflectance model-based expectation approach. *Remote Sensing of Environment*, 83: 263–286.
185. Russ, J.C. (1992): *The Image Processing. Handbook*. Boca Raton: CRC Press.
186. Rutchey, K., Velcheck L. (1994): Development of an everglades vegetation map using a SPOT image and the Global Positioning System. *Photogram. Eng. Remote Sensing*, 60: 767-775.
187. Sabins, F. F. (1997): *Remote Sensing. Principles and Interpretation*, 3rd Ed. New York: W.H. Freeman and Company.
188. Schowengerdt, A. (1983): *Techniques of Image Processing and Classification in Remote Sensing* New York: Academic Press.
189. Schowengerdt, A. R. (2012): *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. San Diego: Academic Press.
190. Schowengerdt, R.A. (1983): *Techniques for Image Processing and Classification in Image Processing*. New York: Academic Press.
191. Sellers, P. J., Berry, J. A., Collatz, G. J., Field, C. B., Hall, F. G. (1992): Canopy Reflectance, Photosynthesis, and Transpiration. 3. A Reanalysis Using Improved Leaf Models and a New Canopy Integration Scheme, *Remote Sens. Environ.*, 42(3): 187–216.
192. Sellers, P. J., Los, S. O., Tucker, C. J., Justice, C. O., Dazlich, D. A., Collatz, G. J., Randall, D. A. (1996): A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric. GCMS. 2. The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data, *J. Climate*, 9(4): 706–737.
193. Sellers, P. J., Randall, D. A., Collatz, G. J., Berry, J. A., Field, C. B., Dazlich, D. A., Zhang, C., Collelo, G. D., and Bounoua, L. (1996): A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMS. 1. Model formulation, *J. Climate*, 9(4): 676–705.
194. Sellers, P. J., Tucker, C. J., Collatz, G. J., Los, S. O., Justice, C. O., Dazlich, D. A., and Randall, D. A. (1994): A global 1-degree by 1-degree NDVI data set for climate studies. 2. The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from NDVI, *Int. J. Remote Sens.*, 15(17): 3519–3545.
195. Shalaby, A., Tateishi, R. (2007): Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, 27: 28–41.
196. Shalaby, A., Aboel Ghar, M., Tateishi, R. (2004): Desertification impact assessment in Egypt using low resolution satellite data and GIS. *The International Journal of Environmental Studies*, 61(4): 375–384.
197. Singh, A. (1989): Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10: 989–1003.
198. Skidmore, A. (2003): *Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing*, 2nd ed. Taylor and Francis.

199. Skidmore, A.K., and B.J. her, 1988. Forest Mapping Accuracies Area Improved Using a Supervised Nonparametric Classifier with SPOT Data. *Photogrammetric Engineering 6. Remote Sensing*, 54(10): 1415-1421.
200. Stow, D. A. (1999): Reducing mis-registration effects for pixel-level analysis of land-cover change. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 2477–2483.
201. Stow, D. A., Chen, D. M., Parrott, R. (1996): Enhancement, identification and quantification of land cover change. In: Morain, S. A., Lopez Barose, S.V. (Eds.): *Raster imagery in geographical information systems* (pp. 307–312). Santa Fe: One Word.
202. Teillet, P.M., B. Guindon, J.F. Meunier, D.G. Goodenough (1985): Slope Aspect Effects in Synthetic Aperture Radar Imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 11(1):39-49.
203. Thomas, N., C. Hendrix, R.G. Congalton (2003): A comparison of urban mapping methods using high-resolution digital imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(9): 963–972.
204. Todd, W. J. (1977): Urban and regional land use change detected by using Landsat data. *Journal Res. US Geol. Surv.*, 5: 527-534.
205. Toll, D. L., Royali, A., Davis, J. B. (1980): Urban area up-date procedures using Landsat data. *Proceedings of the Fall Technical Meeting of the American Society of Photogrammetry held in Niagra Falls, Canada, in 1980* (Falls Church, Virginia: American Society of Photogrammetry), p. RS-EI-17.
206. Tom, C.H., L.D. Miller (1984): An Automated Land-Use Mapping Comparison of the Bayesian Maximum Likelihood and Linear Discriminant Analysis Algorithms. *Photogmmmetric Engineering 6. Remote Sensing*, 50(2): 193-207.
207. Tso, B., Mather, P. M. (2001): *Classification methods for remotely sensed dana*. New York: Taylor and Francis.
208. Tucker, C. J., Sellers, P. J. (1986): Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1395–1416.
209. Tucker, C. J. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8: 127–150.
210. Tucker, C. J., Newcomb, W. W. (1994): AVHRR data sets for determination of desert spatial extent. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 3547–3565.
211. Tucker, C. J., Pinzon, J. E., Brown, M. E., Slayback, D., Pak, E. W., Mahoney, R. et al. (2005): An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. *International Journal of Remote Sensing*, 26: 4485–4498.
212. Tucker, C. J., Vanpraet, C., Sharman, L., Ittersum, M. J. Van (1985): Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980–1984. *Remote Sensing of Environment*, 17: 233–249.
213. Valor, E., Caselles, Y. (1996): Mapping land surface emissivity from NDVI: application to European, African and South American areas. *Remote Sensing of Environment*, 57: 167-184.
214. Sande, C.J. Van der de Jong, S. M., Roo, A.P.J. (2003): Asegmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4: 217–229.
215. Vanderee, D., Ehrlich, D. (1995): Sensitivity of ISODATA to changes in sampling procedures and processing parameters when applied to AVHRR time-series NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*, 16: 673-686.
216. Verdin, J., Funk, C., Klaver, R., Roberts, D. (1999): Exploring the correlation between Southern Africa NDVI and Pacific sea surface temperatures: Results for the 1998 maize growing season. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 2117–2124.
217. Vermote, E., Kaufman, Y. J. (1995): Absolute calibration of AVHRR visible and near-infrared channels using ocean and cloud views. *International Journal of Remote Sensing*, 16: 2317–2340.
218. Vermote, E., El Saleous, N., Kaufman, R. K., & Dutton, E. (1997). Data preprocessing: Stratospheric aerosol perturbing effect on the remote sensing of vegetation: Correction method for the composite NDVI after the Pinatubo eruption. *Remote Sensing Reviews*, 15, 7–21.
219. Vincent, L. (1997): *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*. New Jersey: Prentice Hall.
220. Welch, R. (1982): Spatial resolution requirements for urban studies. *International Journal of Remote Sensing*, 3(2): 139–146.
221. Wilkie D. S., Finn, J. T. (1996): *Remote sensing imagery for natural resources monitoring: A guide for first-time users*. New York: Columbia University Press.

222. Woodcock, C. E., Strahler, A. H. (1987): The factor of scale in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 21: 311–332.
223. Xie, P., Arkin, P. A. (1996): Analysis of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates, and numerical model prediction. *Journal of Climate*, 9: 840–858.
224. Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B., Bauer, M. E. (2005): Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing Environ.*, 98(2): 317–328.
225. Yuan, D., Elvidge, C. D., Lunetta, R. S. (1999): Survey of multi-spectral methods for land cover change analysis. In: R. S. Lunetta, C. D. Elvidge (Eds.), *Remote sensing change detection: Environmental monitoring methods and applications* (pp. 21–39). London: Taylor & Francis.
226. Zhang, Y. J. (2001): Texture-Integrated classification of urban treed areas in high-resolution color-infrared imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67(12): 1359–1365.
227. Zhou, L., Kaufmann, R. K., Tian, Y., Myneni, R. B., Tucker, C. J. (2003): Relation between interannual variations in satellite measures of northern forest greenness and climate between 1982 and 1999. *Journal of Geophysical Research*, [Atmospheres], 108.

Literatura:

Bakker, Wim & Bakx, J.P.G. & Bijker, Wietske & Grabmaier, K.A. & Janssen, L. & Horn, John & Huurneman, G.C. & Meer, F.D. & Pohl, K. & Tolpekin, Valentyn & Woldai, Tsehaie. (2012). Sensors. In: The core of GIScience and earth observation : a process - based approach. https://www.researchgate.net/publication/233792689_Sensors_In_The_core_of_GIScience_and_earth_observation_a_process_-_based_approach

Verhoeven, Geert. (2017). The reflection of two fields – Electromagnetic radiation and its role in (aerial) imaging. 55. 13-18. https://www.researchgate.net/publication/320616988_The_reflection_of_two_fields_-_Electromagnetic_radiation_and_its_role_in_aerial_imaging 10.5281/zenodo.3534245.

Đug S, Drešković N, Odžak S. 2015. Daljinska istraživanja principi i primjena u prirodnim naukama, Univerzitet u Sarajevu; Prirodno-matematički fakultet, Sarajevo.

Colin, Fenn. 2016. George & Cecil Shadbolt - Pioneer Photographers. Friends of West Norwood. Newsletter (86): 6–8. <https://www.fownc.org/pdf/newsletter86.pdf>

Benton, Cris. 2010. The First Kite Photographs. <http://www.arch.ced.berkeley.edu/kap/background/history1.html>

Bird's Eye Viewfinder: 160 Years of Aerial Photography <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/birds-eye-viewfinder-160-years-aerial-photography>

Aber J, Marzloff I, Ries J. 2010. Chapter 1 - Introduction to Small-Format Aerial Photography in: *Small-Format Aerial Photography*, Elsevier, Pages 1-13, ISBN 9780444532602, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53260-2.10001-8>. <https://booksite.elsevier.com/samplechapters/9780444532602/sample.pdf>

Hannavy J. 2008. Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography. VOLUME 1 <http://home.fa.utl.pt/~cfg/Anima%E7%E3o%20e%20Cinema/Fotografia/Enciclopedia%20of%20the%2019th%20Century%20Photography.pdf>

ASPRS. 2021. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. <https://www.asprs.org/organization/what-is-asprs.html> [Jul, 2021]

Granshaw S. 2019. Laussedat bicentenary: origins of photogrammetry. *The Photogrammetric Record* 34(166): 128-147
<https://doi.org/10.1111/phor.12277>

Biswas A, Biswas M. "Laussedat, Aimé ." *Complete Dictionary of Scientific Biography*. Encyclopedia.com. (June 18, 2021). <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/laussedat-aimé>

Deville https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89douard-Gaston_Deville

Polidori L. 2020. On Laussedat's contribution to the emergence of photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B2-2020, XXIV ISPRS Congress (2020 edition) <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIII-B2-2020/893/2020/isprs-archives-XLIII-B2-2020-893-2020.pdf>

XX <http://northstargallery.com/aerialphotography/history%20aerial%20photography/history.htm>

XY Hearst Magazines (April 1936). "Nine Lens Aerial Camera Films 600 Square Miles". *Popular Science*. Hearst Magazines. p. 571.

Editorial 2017. First World War aerial photography: 1917. *Photogrammetric Records*, 32: 196-202. <https://doi.org/10.1111/phor.12211>

AA. <https://consortiq.com/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs/>

Maxwell, Susan & Meliker, Jaymie & Goovaerts, Pierre. (2009). Use of land surface remotely sensed satellite and airborne data for environmental exposure assessment in cancer research. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*. 20. 176-85. 10.1038/jes.2009.7.
https://www.researchgate.net/publication/24038212_Use_of_land_surface_remotely_sensed_satellite_and_airborne_data_for_environmental_exposure_assessment_in_cancer_research

Reichhardt T. 2006. The First Photo From Space. *Air & Space Magazine* <https://www.airspacemag.com/space/the-first-photo-from-space-13721411/>

Fowler, Martin. (2010). The first space photographs and the origins of satellite archaeology. *Aerial Archaeology Research Group News (AARGnews)*. 41. 25-38.
https://www.researchgate.net/publication/236617748_The_first_space_photographs_and_the_origins_of_satellite_archaeology

LL. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-9/landsat-9-overview>

Wulder, Michael & Loveland, Thomas & Roy, David & Crawford, Christopher & Masek, Jeffrey & Woodcock, Curtis & Allen, Richard & Anderson, Martha & Belward, Alan & Cohen, Warren & Dwyer, John & Erb, Angela & Gao, Feng & Griffiths, Patrick & Helder, Dennis & Hermosilla, Txomin & Hipple, James & Hostert, Patrick & Hughes, M. & Zhu, Zhe. (2019). Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*. 225. 127-147. 10.1016/j.rse.2019.02.015.
https://www.researchgate.net/publication/332130701_Current_status_of_Landsat_program_science_and_applications

SS <https://www.geospatialworld.net/blogs/how-many-satellites-are-orbiting-the-earth-in-2021/>

Meydenbauer A. 1867. Photogrammetry . In: *Wochenblatt des Architektenverein zu Berlin*, Vol. 1, 1867, No. 49, pp. 471–472 (digitized version).

Blom John David. 2010. Unmanned Aerial Systems: A Historical Perspective. Occasional Paper 37. Combat Studies Institute Press US Army Combined Arms Center Fort Leavenworth, Kansas <https://www.armypress.army.mil/Portals/7/combats-studies-institute/csi-books/OP37.pdf>

BB https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_aerial_vehicles

CA https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle#History

Vyas Kashyap. 2020. A Brief History of Drones: The Remote Controlled Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Interesting Engineering <https://interestingengineering.com/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs>

Carothers Luke. 2020. Beyond the Battlefield: A History of Drones. Civil+Structural Engineer Media. <https://csengineermag.com/beyond-the-battlefield-a-history-of-drones/>

Franke U. 2017. A European approach to military drones and artificial intelligence. The European Council on Foreign Relations.

https://ecfr.eu/article/essay_a_european_approach_to_military_drones_and_artificial_intelligence/

Boucher, P. Domesticating the Drone: The Demilitarisation of Unmanned Aircraft for Civil Markets. *Sci Eng Ethics* **21**, 1393–1412 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11948-014-9603-3>

European Parliament. 2019. Civil and military drones: Navigating a disruptive and dynamic technological ecosystem. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/642230/EPRS_BRI\(2019\)642230_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/642230/EPRS_BRI(2019)642230_EN.pdf)

RT. The Evolution Of Commercial Drone Technology <https://nias-uas.com/evolution-commercial-drone-technology/>

Howeth Linwood, 1963. Chapter XL. In History of communications electronics in the United States Navy. United States. Navy Department. Bureau of Ships.; United States. Office of Naval History <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uiug.30112064674325&view=1up&seq=512>

ÐÐ. https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_aerial_vehicles#World_War_II

Acker J, R. Williams, L. Chiu, P. Ardanuy, S. Miller, C. Schueler, P.W. Vachon, M. Manore, Remote Sensing from Satellites☆, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier, 2014, ISBN 9780124095489, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09440-9>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489094409>)

Markham, B.L. & Arvidson, T. & Barsi, J.A. & Choate, M. & Kaita, E. & Levy, R. & Lubke, M. & Masek, J.G.. (2017). Landsat Program. 10.1016/B978-0-12-409548-9.10313-6.

Pecora, W. T. (1970). Science and the quality of our environment. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 26(8), 20–23

Phiri D, Morgenroth J. Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review. *Remote Sensing*. 2017; 9(9):967. <https://doi.org/10.3390/rs9090967>

Mehta, N., Shaik, S., Devireddy, R., & Gartia, M. (2018). Single-Cell Analysis Using Hyperspectral Imaging Modalities. *Journal of biomechanical engineering*, 140 2.

Brandon 2019. https://e2eml.school/convert_rgb_to_grayscale.html

Shaw, G., & Burke, H.K. (2003). Spectral Imaging for Remote Sensing. <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse591n/07sp/papers/Shaw2003.pdf>

Perić N. 2014. Neke primene teorije fazi skupova i fazi logike u procesiranju slika. Master rad. Matematički fakultet, Beograd http://www.racunarstvo.matf.bg.ac.rs/MasterRadovi/2014_01_29_Nebojsa_Peric/rad.pdf

GG. https://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensing_methods:spectral_mixture_analysis

DF. <https://www.pyimagesearch.com/2021/04/17/image-classification-basics/>

KL. <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/routines-136.html>

(RF) https://pages.cms.hu-berlin.de/EOL/geo_rs/S09_Image_classification2.html

IDKL.

<http://www.wu.ece.ufl.edu/books/EE/communications/UnsupervisedClassification.html#:~:text=The%20ISODATA%20algorithm%20is%20similar,minimize%20the%20within%20cluster%20variability.>

Chamola V, Kotes P, Agarwal A, Naren, Gupta N, Guizani M. A Comprehensive Review of Unmanned Aerial Vehicle Attacks and Neutralization Techniques. *Ad Hoc Netw.* 2021 Feb 1;111:102324. doi: 10.1016/j.adhoc.2020.102324. Epub 2020 Oct 10. PMID: 33071687; PMCID: PMC7547616.

EASA. 2021. <https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas>

Darack E. 2014. Build Your Own Drone. <https://www.airspacemag.com/flight-today/build-your-own-drone-180951417/>

Elijah, Thato & Jamisola, Rodrigo & Tjiparuro, Zeundjua & Namoshe, Molaletsa. (2021). A review on control and maneuvering of cooperative fixed-wing drones. *International Journal of Dynamics and Control.* 9. 1-18. 10.1007/s40435-020-00710-2.

https://www.researchgate.net/publication/345268053_A_review_on_control_and_maneuvering_of_cooperative_fixed-wing_drones#fullTextFileContent

Chapman A. 2016. Drone Types: Multi-Rotor Vs Fixed-Wing Vs Single Rotor Vs Hybrid VtOL. *DRONE magazine* <https://www.auav.com.au/articles/drone-types/>

Službeni glasnik BiH, broj 51/20. 2020. Pravilnik o uvjetima za izvođenje letačkih operacija dronovima

Ilie, George-Alexandru & Vasile, Gabriel. (2011). Spaceborne SAR Tomography: Application in Urban Environment. 10.13140/RG.2.2.22514.71365.

Kumar. <https://nptel.ac.in/courses/105/108/105108077/>

Tmušić G, Manfreda S, Aasen H, James MR, Gonçalves G, Ben-Dor E, Brook A, Polinova M, Arranz JJ, Mészáros J, Zhuang R, Johansen K, Malbeteau Y, de Lima IP, Davids C, Herban S, McCabe MF. Current Practices in UAS-based Environmental Monitoring. *Remote Sensing.* 2020; 12(6):1001. <https://doi.org/10.3390/rs12061001> <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/6/1001>

Delavarpour N, Koparan C, Nowatzki J, Bajwa S, Sun X. A Technical Study on UAV Characteristics for Precision Agriculture Applications and Associated Practical Challenges. *Remote Sensing.* 2021; 13(6):1204. <https://doi.org/10.3390/rs13061204> <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/6/1204>

Manfreda S, McCabe MF, Miller PE, Lucas R, Pajuelo Madrigal V, Mallinis G, Ben Dor E, Helman D, Estes L, Ciraolo G, Müllerová J, Tauro F, De Lima MI, De Lima JLMP, Maltese A, Frances F, Caylor K, Kohv M, Perks M, Ruiz-Pérez G, Su Z, Vico G, Toth B. On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. **Remote Sensing**. 2018; 10(4):641. <https://doi.org/10.3390/rs10040641> <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/4/641>

Johansen, Kasper & Raharjo, Tri & McCabe, Matthew. (2018). Using Multi-Spectral UAV Imagery to Extract Tree Crop Structural Properties and Assess Pruning Effects. *Remote Sensing*. 10. 854. 10.3390/rs10060854. https://www.researchgate.net/publication/325511437_Using_Multi-Spectral_UAV_Imagery_to_Extract_Tree_Crop_Structural_Properties_and_Assess_Pruning_Effects

101 <https://grass.osgeo.org/grass76/manuals/i.segment.html>

(AGP) <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.7/help/main/welcome-to-the-arcgis-pro-app-help.htm>

Demirović D. 2019. An Implementation of the Mean Shift Algorithm, *Image Processing On Line*, 9 (2019), pp. 251–268. <https://doi.org/10.5201/ipol.2019.255>

eCognition

https://docs.ecognition.com/v9.5.0/eCognition_documentation/User%20Guide%20Developer/4%20Basic%20Rule%20Set%20Editing.htm

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. <https://www.mdpi.com/2072-4292/7/3/2971>

Ledtke J, Hu H. https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc18/tech-workshops/tw_1666-182.pdf

Literatura:

Bakker, Wim & Bakx, J.P.G. & Bijker, Wietske & Grabmaier, K.A. & Janssen, L. & Horn, John & Huurneman, G.C. & Meer, F.D. & Pohl, K. & Tolpekin, Valentyn & Woldai, Tsehaie. (2012). Sensors. In: The core of GIScience and earth observation : a process - based approach. https://www.researchgate.net/publication/233792689_Sensors_In_The_core_of_GIScience_and_earth_observation_a_process_-_based_approach

Verhoeven, Geert. (2017). The reflection of two fields – Electromagnetic radiation and its role in (aerial) imaging. 55. 13-18. https://www.researchgate.net/publication/320616988_The_reflection_of_two_fields_-_Electromagnetic_radiation_and_its_role_in_aerial_imaging 10.5281/zenodo.3534245.

Đug S, Drešković N, Odžak S. 2015. Daljinska istraživanja principi i primjena u prirodnim naukama, Univerzitet u Sarajevu; Prirodno-matematički fakultet, Sarajevo.

Colin, Fenn. 2016. George & Cecil Shadbolt - Pioneer Photographers. Friends of West Norwood. Newsletter (86): 6–8. <https://www.fownc.org/pdf/newsletter86.pdf>

Benton, Cris. 2010. The First Kite Photographs. <http://www.arch.ced.berkeley.edu/kap/background/history1.html>

Bird's Eye Viewfinder: 160 Years of Aerial Photography <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/birds-eye-viewfinder-160-years-aerial-photography>

Aber J, Marzloff I, Ries J. 2010. Chapter 1 - Introduction to Small-Format Aerial Photography in: Small-Format Aerial Photography, Elsevier, Pages 1-13, ISBN 9780444532602, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53260-2.10001-8>. <https://booksite.elsevier.com/samplechapters/9780444532602/sample.pdf>

Hannavy J. 2008. Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography. VOLUME 1 <http://home.fa.utl.pt/~cfg/Anima%E7%E3o%20e%20Cinema/Fotografia/Enciclopedia%20of%20the%2019th%20Century%20Photography.pdf>

ASPRS. 2021. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. <https://www.asprs.org/organization/what-is-asprs.html> [Jul, 2021]

Granshaw S. 2019. Laussedat bicentenary: origins of photogrammetry. The Photogrammetric Record 34(166): 128-147 <https://doi.org/10.1111/phor.12277>

Biswas A, Biswas M. "Laussedat, Aimé ." Complete Dictionary of Scientific Biography. Encyclopedia.com. (June 18, 2021). <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/laussedat-aim>

Deville https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89douard-Gaston_Deville

Polidori L. 2020. On Laussedat's contribution to the emergence of photogrammetry. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIII-B2-2020, XXIV ISPRS Congress (2020 edition) <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIII-B2-2020/893/2020/isprs-archives-XLIII-B2-2020-893-2020.pdf>

XX <http://northstargallery.com/aerialphotography/history%20aerial%20photography/history.htm>

XY Hearst Magazines (April 1936). "Nine Lens Aerial Camera Films 600 Square Miles". Popular Science. Hearst Magazines. p. 571.

Editorial 2017. First World War aerial photography: 1917. Photogrammetric Records, 32: 196-202. <https://doi.org/10.1111/phor.12211>

AA. <https://consortiq.com/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs/>

Maxwell, Susan & Meliker, Jaymie & Goovaerts, Pierre. (2009). Use of land surface remotely sensed satellite and airborne data for environmental exposure assessment in cancer research. Journal of exposure science & environmental epidemiology. 20. 176-85. 10.1038/jes.2009.7. https://www.researchgate.net/publication/24038212_Use_of_land_surface_remotely_sensed_satellite_and_airborne_data_for_environmental_exposure_assessment_in_cancer_research

Reichhardt T. 2006. The First Photo From Space. Air & Space Magazine <https://www.airspacemag.com/space/the-first-photo-from-space-13721411/>

Fowler, Martin. (2010). The first space photographs and the origins of satellite archaeology. Aerial Archaeology Research Group News (AARGnews). 41. 25-38. https://www.researchgate.net/publication/236617748_The_first_space_photographs_and_the_origins_of_satellite_archaeology

LL. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-9/landsat-9-overview>

Wulder, Michael & Loveland, Thomas & Roy, David & Crawford, Christopher & Masek, Jeffrey & Woodcock, Curtis & Allen, Richard & Anderson, Martha & Belward, Alan & Cohen, Warren & Dwyer, John & Erb, Angela & Gao, Feng & Griffiths, Patrick & Helder, Dennis & Hermosilla, Txomin & Hipple, James & Hostert, Patrick & Hughes, M. & Zhu, Zhe. (2019). Current status of Landsat program, science, and applications. Remote Sensing of Environment. 225. 127-147. 10.1016/j.rse.2019.02.015. https://www.researchgate.net/publication/332130701_Current_status_of_Landsat_program_science_and_applications

SS <https://www.geospatialworld.net/blogs/how-many-satellites-are-orbiting-the-earth-in-2021/>

Meydenbauer A. 1867. Photogrammetry . In: Wochenblatt des Architektenverein zu Berlin, Vol. 1, 1867, No. 49, pp. 471–472 (digitized version).

Blom John David. 2010. Unmanned Aerial Systems: A Historical Perspective. Occasional Paper 37. Combat Studies Institute Press US Army Combined Arms Center Fort Leavenworth, Kansas <https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/combat-studies-institute/csi-books/OP37.pdf>

BB https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_aerial_vehicles

CA https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle#History

Vyas Kashyap. 2020. A Brief History of Drones: The Remote Controlled Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Interesting Engineering <https://interestingengineering.com/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs>

Carothers Luke. 2020. Beyond the Battlefield: A History of Drones. Civil+Structural Engineer Media. <https://cseengineermag.com/beyond-the-battlefield-a-history-of-drones/>

- Franke U. 2017. A European approach to military drones and artificial intelligence. The European Council on Foreign Relations.
https://ecfr.eu/article/essay_a_european_approach_to_military_drones_and_artificial_intelligence/
- Boucher, P. Domesticating the Drone: The Demilitarisation of Unmanned Aircraft for Civil Markets. *Sci Eng Ethics* **21**, 1393–1412 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11948-014-9603-3>
- European Parliament. 2019. Civil and military drones: Navigating a disruptive and dynamic technological ecosystem. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/642230/EPRS_BRI\(2019\)642230_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/642230/EPRS_BRI(2019)642230_EN.pdf)
- RT. The Evolution Of Commercial Drone Technology <https://nias-uas.com/evolution-commercial-drone-technology/>
- Howeth Linwood, 1963. Chapter XL. In History of communications electronics in the United States Navy. United States. Navy Department. Bureau of Ships.; United States. Office of Naval History <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uiug.30112064674325&view=1up&seq=512>
- ÐÐ. https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_aerial_vehicles#World_War_II
- Acker J, R. Williams, L. Chiu, P. Ardanuy, S. Miller, C. Schueler, P.W. Vachon, M. Manore, Remote Sensing from Satellites☆, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier, 2014, ISBN 9780124095489, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09440-9>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489094409>)
- Markham, B.L. & Arvidson, T. & Barsi, J.A. & Choate, M. & Kaita, E. & Levy, R. & Lubke, M. & Masek, J.G.. (2017). Landsat Program. 10.1016/B978-0-12-409548-9.10313-6.
- Pecora, W. T. (1970). Science and the quality of our environment. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 26(8), 20–23
- Phiri D, Morgenroth J. Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review. *Remote Sensing*. 2017; 9(9):967. <https://doi.org/10.3390/rs9090967>
- Mehta, N., Shaik, S., Devireddy, R., & Gartia, M. (2018). Single-Cell Analysis Using Hyperspectral Imaging Modalities. *Journal of biomechanical engineering*, 140 2.
- Brandon 2019. https://e2eml.school/convert_rgb_to_grayscale.html
- Shaw, G., & Burke, H.K. (2003). Spectral Imaging for Remote Sensing. <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse591n/07sp/papers/Shaw2003.pdf>
- Perić N. 2014. Neke primene teorije fazi skupova i fazi logike u procesiranju slika. Master rad. Matematički fakultet, Beograd http://www.racunarstvo.matf.bg.ac.rs/MasterRadovi/2014_01_29_Nebojsa_Peric/rad.pdf
- GG. https://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensing_methods:spectral_mixture_analysis
- DF. <https://www.pyimagesearch.com/2021/04/17/image-classification-basics/>
- KL. <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/routines-136.html>
- (RF) https://pages.cms.hu-berlin.de/EOL/geo_rs/S09_Image_classification2.html

IDKL.

<http://www.wu.ece.ufl.edu/books/EE/communications/UnsupervisedClassification.html#:~:text=The%20ISODATA%20algorithm%20is%20similar,minimize%20the%20within%20cluster%20variability.>

Chamola V, Kotes P, Agarwal A, Naren, Gupta N, Guizani M. A Comprehensive Review of Unmanned Aerial Vehicle Attacks and Neutralization Techniques. *Ad Hoc Netw.* 2021 Feb 1;111:102324. doi: 10.1016/j.adhoc.2020.102324. Epub 2020 Oct 10. PMID: 33071687; PMCID: PMC7547616.

EASA. 2021. <https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas>

Darack E. 2014. Build Your Own Drone. <https://www.airspacemag.com/flight-today/build-your-own-drone-180951417/>

Elijah, Thato & Jamisola, Rodrigo & Tjiparuro, Zeundjua & Namoshe, Molaletsa. (2021). A review on control and maneuvering of cooperative fixed-wing drones. *International Journal of Dynamics and Control.* 9. 1-18. 10.1007/s40435-020-00710-2.

https://www.researchgate.net/publication/345268053_A_review_on_control_and_maneuvering_of_cooperative_fixed-wing_drones#fullTextFileContent

Chapman A. 2016. Drone Types: Multi-Rotor Vs Fixed-Wing Vs Single Rotor Vs Hybrid VtOL. *DRONE magazine* <https://www.auav.com.au/articles/drone-types/>

Službeni glasnik BiH, broj 51/20. 2020. Pravilnik o uvjetima za izvođenje letačkih operacija dronovima

Ilie, George-Alexandru & Vasile, Gabriel. (2011). Spaceborne SAR Tomography: Application in Urban Environment. 10.13140/RG.2.2.22514.71365.

Kumar. <https://nptel.ac.in/courses/105/108/105108077/>

Tmušić G, Manfreda S, Aasen H, James MR, Gonçalves G, Ben-Dor E, Brook A, Polinova M, Arranz JJ, Mészáros J, Zhuang R, Johansen K, Malbeteau Y, de Lima IP, Davids C, Herban S, McCabe MF. Current Practices in UAS-based Environmental Monitoring. *Remote Sensing.* 2020; 12(6):1001. <https://doi.org/10.3390/rs12061001> <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/6/1001>

Delavarpour N, Koparan C, Nowatzki J, Bajwa S, Sun X. A Technical Study on UAV Characteristics for Precision Agriculture Applications and Associated Practical Challenges. *Remote Sensing.* 2021; 13(6):1204. <https://doi.org/10.3390/rs13061204> <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/6/1204>

Manfreda S, McCabe MF, Miller PE, Lucas R, Pajuelo Madrigal V, Mallinis G, Ben Dor E, Helman D, Estes L, Ciruolo G, Müllerová J, Tauro F, De Lima MI, De Lima JLMP, Maltese A, Frances F, Caylor K, Kohv M, Perks M, Ruiz-Pérez G, Su Z, Vico G, Toth B. On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. *Remote Sensing.* 2018; 10(4):641. <https://doi.org/10.3390/rs10040641> <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/4/641>

Johansen, Kasper & Raharjo, Tri & McCabe, Matthew. (2018). Using Multi-Spectral UAV Imagery to Extract Tree Crop Structural Properties and Assess Pruning Effects. *Remote Sensing.* 10. 854. 10.3390/rs10060854. https://www.researchgate.net/publication/325511437_Using_Multi-Spectral_UAV_Imagery_to_Extract_Tree_Crop_Structural_Properties_and_Assess_Pruning_Effects

101 <https://grass.osgeo.org/grass76/manuals/i.segment.html>

(AGP) <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.7/help/main/welcome-to-the-arcgis-pro-app-help.htm>

Demirović D. 2019. An Implementation of the Mean Shift Algorithm, *Image Processing On Line*, 9 (2019), pp. 251–268. <https://doi.org/10.5201/ipol.2019.255>

eCognition

https://docs.ecognition.com/v9.5.0/eCognition_documentation/User%20Guide%20Developer/4%20Basic%20Rule%20Set%20Editing.htm

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. <https://www.mdpi.com/2072-4292/7/3/2971>

Ledtke J, Hu H. https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc18/tech-workshops/tw_1666-182.pdf

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.