

# Vrste i načini klasifikacija satelitskih snimaka

---

**Rimac, Nikolina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:335284>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-23**



*Repository / Repozitorij:*

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE**  
**ŠUMARSKI ODSJEK**

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ**  
**PREDDIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVO**

**NIKOLINA RIMAC**

**VRSTE I NAČINI KLASIFIKACIJE SATELITSKIH SNIMAKA**


**ZAVRŠNI RAD**

**ZAGREB, (RUJAN, 2022.)**

## PODACI O ZAVRŠNOM RADU

<b>Zavod:</b>	Zavod za izmjeru i uređivanje šuma
<b>Predmet:</b>	Daljinska istraživanja I GIS u šumarstvu
<b>Mentor:</b>	Izv.prof.dr.sc. Ante Seletković
<b>Komentor</b>	Doc. dr. sc. Jelena Kolić
<b>Asistent – znanstveni novak:</b>	
<b>Studentica:</b>	Nikolina Rimac
<b>JMBAG:</b>	0068231733
<b>Akad. godina:</b>	2021/2022
<b>Mjesto, datum obrane:</b>	Zagreb, 28.rujna 2022.
<b>Sadržaj rada:</b>	Slika: 1 Navoda literature: 25
<b>Sažetak:</b>	Digitalna se obrada satelitskih snimaka može podijeliti u pet glavnih postupaka: rektifikacija I korekcija, poboljšanje slike, klasifikacija, povezivanje podataka I uklapanje u GIS, biofizičko modeliranje. Budući da je svrha interpretacije satelitske snimke definirati željeni tematski sadržaj (način korištenja zemljišta, vrste drveća, starosni razredi i dr.), okosnicu digitalne obrade čini sama klasifikacija snimke. Cilj svake klasifikacije je prepoznati i prikazati, tj. kategorizirati ili razvrstati sve piksele unutar jedne ili više grupa (klasa) koje predstavljaju određeni sadržaj na terenu. U ovom završnom radu prikazane su i opisane različite vrste i metode klasifikacija satelitskih snimaka (klasifikacija zasnovana na pikselima, objektna klasifikacija, nadgledana, nenadgledana klasifikacija,hibridna) kao i mogućnosti primjene u šumarstvu.



	<b>IZJAVA O IZVORNOSTI RADA</b>	<b>OB FŠDT 09 03</b>
		Revizija: 1
		Datum: 29.4.2021.

*„Izjavljujem da je moj završni specijalistički rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.*

---

*vlastoručni potpis*

*Nikolina Rimac*

U Zagrebu, 28.rujna 2022.

*Ovaj rad posvećujem svojim roditeljima.*

*Hvala vam za svaki savjet, potporu, vjeru i što ste mi omogućili fakultetsko obrazovanje.*

## SADRŽAJ

1.UVOD .....	1
2.SATELITSKE SNIMKE .....	2
3.SATELITSKE SNIMKE U ŠUMARSTVU .....	3
3.1.1. OPTIČKI SATELITSKI SNIMCI .....	3
3.1.2.RADARSKI SATELITSKI SNIMCI .....	4
4.PODJELA SUSTAVA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA ZA ŠUMSKI POKROV .....	5
5. METODE I OBRADU SATELITSKIH SNIMAKA .....	6
5.1. PREDOBRAĐA SATELITSKIH SNIMAKA .....	7
6.KLASIFIKACIJA SATELITSKIH SNIMAKA .....	9
6.1.KLASIFIKACIJA ZASNOVANA NA PİKSELIMA .....	9
6.1.2.OBJEKTNA KLASIFIKACIJA .....	10
6.2. NADZIRANA(NADGLEDANA) KLASIFIKACIJA.....	91
6.3. NENADZIRANA (NENADGLEDANA) KLASIFIKACIJA.....	92
6.4..HIBRIDNA KLASIFIKACIJA .....	92
6.5. TOČNOST KLASIFIKACIJE.....	93
7. PRIMJENA U ŠUMARSTVU .....	94
ZAKLJUČAK.....	155
LITERATURA .....	15

## 1.UVOD

Šume pokrivaju približno 1/3 ukupne površine kopna, a oko 10% zauzimaju površine pod različitim biljnim kulturama, što je sveukupno ekvivalentno 1.500 milijuna piksela jednokanalnog snimka sa 30-metarskom rezolucijom ili 6 000 Landsatovih sustava. Satelitska daljinska istraživanja su vrlo efikasna metoda, a satelitski snimci korisno sredstvo za nadgledavanje i proučavanje šumske i druge vegetacije. Pomoću satelitskih snimaka mogu se proučavati različiti parametri vegetacije, kao što su: biomasa, vlažnost u krošnjama drveća, morfologija, granice među različitim vrstama vegetacije, zdravstveno stanje šuma i dr.

Dugotrajno gospodarenje šumama zahtijeva vremenski i prostorno određene informacije koje se još uvijek u mnogim zemljama, uključujući i Hrvatsku, prikupljaju tradicionalnim (terenskim) metodama. Prikupljanje podataka o šumama na tradicionalni način, terenskom izmjerom, pruža točne informacije, ali zato zahtijeva dugotrajan i intenzivan rad, no u pojedinim je slučajevima pristup određenim šumskim područjima otežan ili čak nemoguć. Radi toga je u šumarskoj znanosti prepoznat potencijal primjene metoda daljinskih istraživanja kroz klasifikaciju satelitskih snimaka kao dodatnog izvora korisnih informacija koji može znatno olakšati i unaprijediti postojeće terenske metode. Cilj svake klasifikacije je prepoznati i prikazati, tj. kategorizirati ili razvrstati sve piksele unutar jedne ili više grupa (klasa) koje predstavljaju određeni sadržaj na terenu.

U ovom završnom radu prikazane su i opisane različite vrste i metode klasifikacija satelitskih snimaka, kao i mogućnosti primjene.



## 2. SATELITSKE SNIMKE

Satelitske snimke predstavljaju danas nezaobilazno sredstvo za proučavanje i praćenje promjena čovjekova okoliša. Veliki broj podataka koji se pomoću njih mogu dobiti moguće je obraditi, analizirati i pohraniti jedino pomoću geografskih informacijskih sustava (GIS). Satelitske snimke i GIS tehnologija postali su u šumarstvu mnogih zemalja, pa tako i u Hrvatskoj sredstvo za ustanovljavanje i praćenje stanja šuma, te za planiranje na regionalnoj i državnoj razini. (Kušan, Benko, 1993).

Karakteristike satelitskih snimki bitne su prilikom odabira satelitskog sustava kojim će se koristiti daljinska istraživanja. Karakteristike su: prostorna rezolucija, spektralna rezolucija, vremenska rezolucija, radiometrijska rezolucija, povijest programa, dostupna pokrivenost područja i višekutna sposobnost (Horning N, 2004).

Prostorna rezolucija je mogućnost senzora da prepozna i odvoji dva različita objekta, veća rezolucija znači prepoznavanje manjih objekata (Joseph G, 2005).

Spektralna rezolucija predstavlja spektar zračenja unutar kojeg je moguće prikupiti podatke (Joseph G, 2005). Bitan parametar ove rezolucije je 22 širina kanala. Ona definira koji raspon valnih duljina detektira određeni kanal. Položaj kanala određen je najmanjom, najvećom i srednjom vrijednosti raspona. Ako senzor detektira nekoliko kanala, snimke se nazivaju multispektralne ili hiperspektralne snimke (više od 100 kanala) (Horning N, 2004).

Radiometrijska rezolucija je mogućnost senzora razdvojiti dva objekta na temelju reflektiranog ili emitiranog zračenja. Veća rezolucija znači da manja razlika u zračenju može biti prepoznata (Joseph G, 2005). Karakteristika senzora koja utječe na radiometrijsku rezoluciju je dinamički raspon. On definira gornju i donju granicu intenziteta signala kojeg senzor može detektirati, tj. raspon vrijednosti koje mogu predstavljati vrijednost piksela (Horning N, 2004). Bolja prostorna i spektralna rezolucija smanjuju količinu energije na senzoru (Lillesand TM., 2008).

Vremenska rezolucija je mogućnost prikazivanja istog objekta u jednakim ili sličnim uvjetima te u pravilnim intervalima (Joseph G, 2005). Kratki interval ponavljanja povećava šanse za dobivanje "čiste" slike (Lillesand TM., 2008).

Povijest programa korisniku govori kada je prikupljanje snimki započelo i dokad traje te postoji li arhiva snimki.

Dostupna pokrivenost područja korisniku govori koliko će mu snimki biti potrebno. Veći broj snimki povećava potencijalni problem s obradom slika. (Horning N,2004)

Višekutna sposobnost omogućava ciljanje određenih područja umjesto sustavnog prikupljanja snimki. Problem stvara gledanje snimki pod kutom koje izobličava sliku, no to se kompenzira tijekom obrade. Ova mogućnost učinkovito skraćuje interval ponavljanja snimanja. (Horning N,2004)

### **3. SATELITSKE SNIMKE U ŠUMARSTVU**

Satelitski snimci u šumarstvu koriste se radi daljinskog istraživanja, te omogućavanja analize Zemljinog pokrivača.

Satelitski snimci mogu se podijeliti na dvije glavne skupine i to na optičke i radarske (mikrovalne). (Olujčić 2001)

#### **3.1.1. OPTIČKI SATELITSKI SNIMCI**

U šumarstvu se koriste različite vrste optičkih snimaka s različitim karakteristikama koje se dobivaju primjenom različitih svemirskih letjelica. Upotreba satelitskih snimaka ovisi o brojnim čimbenicima poput rezolucije, cijene snimke, području u kojem se snima. Za opširnija područja (globalna) koriste se snimci niske rezolucije. Sateliti i senzori koji se najčešće koriste biraju se po određenim značajkama poput NOAA/AVHRR, RESURS/MSU-SK i SPOT/NGT. Kao najiskorišteniji senzor za snimanje satelitskih snimaka koristio se AVHRR jer daje prikaz zdravstvenog stanja šuma, usjeva tj. vegetacije općenito, te pomaže u procjeni fiziološke zrelosti. (Olujčić 2001)

### **3.1.2. RADARSKI SATELITSKI SNIMCI**

Radarski (mikrovalni) snimci se baziraju na snimanju morfologije krošnji drveća pa se posebnim odabirom polarizacije, frekvencije i kuta snimanja dobivaju korisni podaci o tim značajkama. Radarski snimci zbog svojih karakteristika (multipolarizacija i multifrekvencija) preporučuje se u korištenju šumarskih potreba.

Sateliti koji se najčešće primjenjuju su ERS, JERS i RADARAST oni su se najbolje pokazali prilikom snimanja područja koja su često pokrivena oblacima.

Šume četinjače pokazuju visok raspon radarskog zračenja, a vegetacija poput pašnjaka pokazala je iznimno nizak prosjek raspršivanja. (Olujčić 2001)

#### 4. PODJELA SUSTAVA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA ZA ŠUMSKI POKROV

Većina optičkih senzora korištena je za otkrivanje promjena vegetacije (Chen i dr. 2019). Obično je potrebno postići kompromis između prostorne i vremenske rezolucije.

Prema prostornoj rezoluciji, kao važnom čimbeniku koji treba uzeti u obzir, satelitske se misije opažanja Zemlje dijele (Gašparović 2019):

1. na srednje rezolucije (100–1000 m): MERIS, MODIS, AVHRR/2 NOAA
2. na visoke rezolucije (10–100 m): Hyperion, ASTER, Sentinel-2, Landsat 1–8
3. na vrlo visoke rezolucije (<10 m): WorldView 2–4, GeoEye 1, QuickBird, IKONOS, PlanetScope, RapidEye 1–5.

Satelitski senzori visoke i vrlo visoke rezolucije imaju široku primjenu pri praćenju šumskog pokrova. Senzori veće prostorne rezolucije u pravilu mogu s većom točnošću otkriti promjene vegetacije, ali njihova je vremenska rezolucija obično niža, što ometa intenzivno vremensko praćenje.

Satelitske snimke vrlo visoke prostorne rezolucije kao nedostatak imaju problem s obradom zbog potrebe za snažnijim hardverskim sustavom i duljim razdobljem obrade podataka. Isto tako nedostatak im je problem sa sjenama kao i problem dostupnosti zbog cijene, a često arhivske satelitske snimke vrlo visoke rezolucije nisu ni dostupne za određeno područje (Gašparović i dr. 2018a). Zbog tehničkih i financijskih ograničenja, ne postoje idealne satelitske snimke te je ključno odabrati satelitske snimke s odgovarajućom prostornom, vremenskom, spektralnom i radiometrijskom rezolucijom u skladu sa svojstvima objekta klasifikacije. Odabir satelitske misije, odnosno satelitskih snimaka odgovarajuće prostorne rezolucije u skladu je s minimalnom veličinom objekta koji se želi detektirati. Prostorna rezolucija ima povećani utjecaj na rezultate klasifikacije. Satelitska snimka veće prostorne rezolucije smanjuje problem s miješanim pikselima, te ujedno predstavlja veliki potencijal za dobivanje velikog broja detaljnijih informacija (Suwanprasit i Srichai 2012, Fisher i dr. 2018).

## 5. METODE I OBRADU SATELITSKIH SNIMAKA

Obrada i analiza podataka može se svrstati u tri skupine: vizualna, kvantitativna i kvalitativna (Radočaj i dr. 2020). Predobrada satelitske snimke preduvjet je za obradu i analizu bilo kojom metodom (Phiri i dr. 2018).

Vizualna je analiza najjednostavnija i ima relativno ograničene mogućnosti pri interpretaciji podataka daljinskih istraživanja. Najčešće se primjenjuje prilikom identifikacije i kod praćenja generaliziranih klasa zemljišnog pokrova (Ban i dr. 2017). Ona je primjenjiva na multispektralnim snimkama pri čemu se upotrebljavaju RGB kompozicije različitih spektralnih kombinacija koje ponajbolje prikazuju specifičnosti klasificiranog područja.

Kvantitativni pristup pretežno se temelji na primjeni multispektralnih snimaka, pri čemu se kombiniraju vrijednosti piksela nekoliko različitih spektralnih kanala. Određeno svojstvo promatranog područja kvantificira se primjenom spektralnih indeksa, na način da je vrijednost određenog svojstva proporcionalna vrijednosti izračunatog spektralnog indeksa (Tran i dr. 2018).

Kvalitativna evaluacija određenog područja zasniva se na klasifikaciji spektralnih vrijednosti piksela ili objekata u skladu s prethodno definiranim brojem klasa (Radočaj i dr. 2020). Takav pristup fleksibilan je u smislu odabira spektralnih vrijednosti kao ulazne komponente klasifikacije. Pri klasifikaciji šumskog pokrova, različite vrste drveća daju različite spektralne zapise multispektralnih snimaka. U krošnjama drveća količina zračenja koja se odbija u pojasevima različitih valnih duljina povezana je s biljnim kemijskim svojstvima tkiva, morfologijom listova kao i strukturom (Clark i dr. 2005, Leckie i dr. 2005).

## 5.1. PREDOBRAĐA SATELITSKIH SNIMAKA

Predobrada je podijeljena na četiri dijela (Gašparović 2020): uklanjanje šuma, radiometrijska i geometrijska korekcija, te izoštravanje (fuzija). Satelitske snimke, posebno one vrlo visoke rezolucije, imaju uobičajenu pojavu šuma. Šumovi na satelitskim snimkama može se pojaviti u vrijeme promatranja, digitalizacije signala ili u procesu prijenosa podataka.

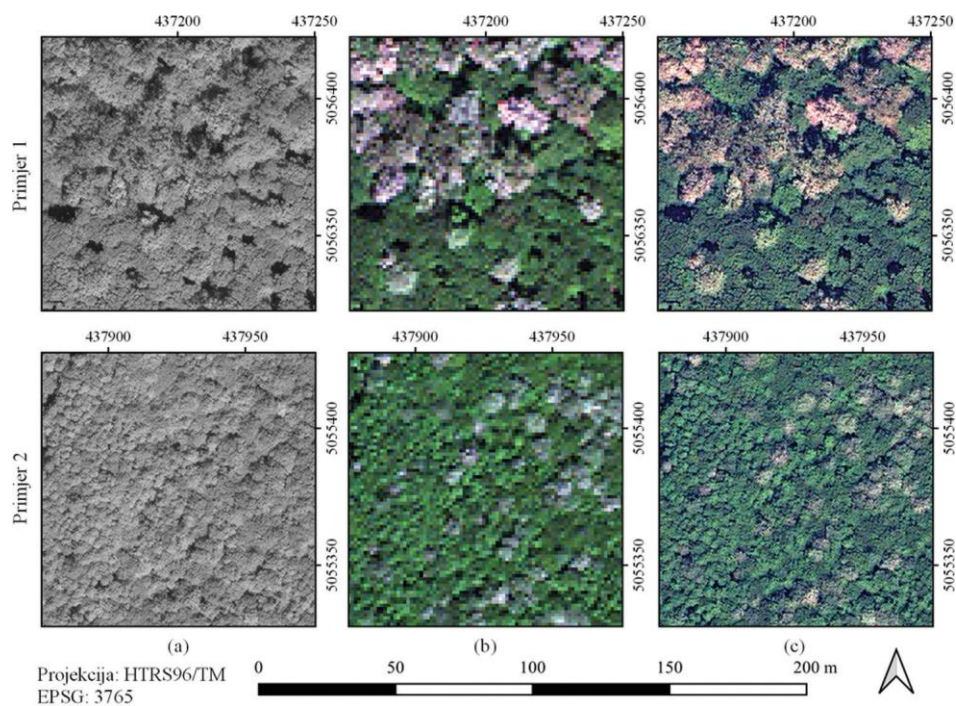
Klasifikacija se obavlja na temelju radiometrijskih vrijednosti. Radiometrijska korekcija uključuje: atmosfersku korekciju, korekciju visine sunca i korekciju udaljenosti Zemlja–Sunce, kao i radiometrijsku normalizaciju i izjednačenje histograma. Osnovni proces radiometrijske korekcije je transformacija satelitskih snimaka u vrijednosti refleksije na vrhu atmosfere odnosno atmosferske korekcije.

Prilikom klasifikacije vrsta drveća metodama daljinskih istraživanja važnu ulogu ima atmosferska korekcija posebice ako su snimke prikupljane kroz duže vremensko razdoblje i za veće geografsko područje. Brojne studije koje se bave istraživanjem klasifikacije vrsta drveća primjenjuju atmosferske korekcije, međutim samo rijetke (Pu i dr. 2015, Korpela i dr. 2014) istražuju utjecaj korekcije na dobivene rezultate.

Satelitske snimke zahtijevaju određene geometrijske korekcije prije nego što se pristupi postupku mapiranja terena. Osnovni postupak geometrijske predobrade podataka bilo kojih satelitskih platformi je rezanje snimaka prema području interesa. S obzirom da se satelitske snimke isporučuju uglavnom u WGS84 ili WGS84/UTM (engl. World Geodetic System/Universal Transverse Mercator) projekcijskom koordinatnom sustavu, također je nužna i transformacija u odabrani koordinatni sustav, tj. HTRS (Hrvatski Terestrički Referentni Sustav). Zbog eliminacije utjecaja terena na satelitsku snimku važno je provesti proces ortorektifikacije snimaka, kojim se izvorna snimka iz centralne projekcije transformira u ortogonalnu projekciju (Gašparović i dr. 2019).

Radi poboljšanja prostorne rezolucije satelitskih snimaka danas se često primjenjuje postupak izoštravanja ili fuzije. Izoštavanjem se prostorna rezolucija snimke povećava matematičkim metodama uz pomoć snimaka veće prostorne rezolucije. Razvile su se različite metode izoštravanja posljednjih nekoliko godina koje se mogu podijeliti na dvije skupine: metode supstitucije komponentata i metode analize s više rezolucija (Li i dr. 2017).

Razvija se i nova generacija metoda koja je zasnovana na strojnom učenju.



Slika 1. Izoštavanje (fuzija) satelitskih snimaka vrlo visoke rezolucije u svrhu klasifikacije šumskog pokrova. (Deur, 2021)

## **6. KLASIFIKACIJA SATELITSKIH SNIMAKA**

Glavni je cilj klasifikacije grupiranje svih piksela satelitske snimke u određenu klasu. Može se izvoditi na temelju podataka iz samo jednoga spektralnog kanala ili uporabom više kanala (Olujić 2001). Obzirom na minimalnu veličinu objekta klasifikacije postoje dva pristupa:

- klasifikacija zasnovana na pikselima
- objektna klasifikacija

### **6.1. KLASIFIKACIJA ZASNOVANA NA PIKSELIMA**

Ona se temelji na principu da, u skladu sa spektralnim svojstvima, svaki piksel predstavlja jednu od klasa. U klasifikaciji šumskog pokrova, spektralne klase odgovaraju klasama vrste vegetacije kojem su izravno povezane sa spektralnim kanalima te se upotrebljavaju u klasifikaciji. Nedostatak klasifikacije koje su zasnovane na pikselima je činjenica da se svakom pojedinom pikselu dodjeljuje jedna klasa, dok zapravo takva jedna ćelija piksela može predstavljati nekoliko različitih klasa. Jedna klasa može biti predstavljena s više različitih uzoraka za vježbu zbog čega se javlja varijabilnost spektralnih odziva unutar same spektralne klase. U tom slučaju će se vrijednost piksela računati na osnovi različitih spektralnih vrijednosti klasa što je uzrok nastanka “miješanih” piksela. Miješani pikseli najčešće se pojavljuju na rubovima pojedinih objekata ili uzduž linearnih objekata (prometnice i sl.) i kao takvi izvor su pogrešaka u procesu klasifikacije (Bakker i dr. 2004).

Primjenom objektno orijentiranog pristupa, analiza snimke provodi se u domeni objekata, a ne više u domeni piksela. Proces objektno orijentirane klasifikacije započinje razlaganjem digitalne snimke na manje homogenizirane dijelove (objekte) sličnih karakteristika, tj. postupkom segmentacije. Novonastali kreirani objekti potom se klasificiraju u određen broj klasa primjenom neke od metoda klasifikacije. Segmentacijom se satelitska snimka razlaže na spektralno homogene segmente koji odgovaraju stvarnim objektima u prirodi. Takvi objekti tvore entitete koji mogu imati različite statističke pokazatelje, kao što su standardna devijacija, maksimum, minimum i dr., što kod analize pojedinačnih piksela nije moguće (Campbell i Wynne 2011).



Segmentacija osim radiometrijskih svojstava se fokusira i na semantička svojstva svakog segmenta, na strukturu slike i na druge pozadinske informacije čije vrijednosti opisuju povezanost susjednih piksela (boja, intenzitet, tekstura, oblik, kontekst, dimenzionalni odnosi i položaj) (De Luca i dr. 2019). Odabirom odgovarajućih parametara, dobro definirana segmentacija ključ je dobre klasifikacije.

### **6.1.2. OBJEKTNA KLASIFIKACIJA**

Objektno orijentirani pristup prikladniji je za snimke visoke i vrlo visoke prostorne rezolucije u odnosu na klasifikaciju koja je zasnovana na pikselima (Blaschke 2010, Benz i dr. 2004).

Razni su autori radili su direktne usporedbe za navedene pristupe pri čemu je, za područja kompleksnih šumskih struktura, objektno orijentirani pristup rezultirao većom klasifikacijskom točnošću (Immitzer i dr. 2016, Clark i Roberts 2012, Feret i Asner 2013).

Navedena oba pristupa imaju svoje prednosti i nedostatke (Ibarrola-Ulzurrun i dr. 2017). U postupku klasifikacije koja je zasnovana na pikselima, kvaliteta podataka je bolja kod onih koji ulaze u klasifikaciju, te se kao rezultat dobije raster čiji svaki piksel predstavlja jednu od klasa, pri kojem su klase ograničene samo na spektralna svojstva.

Nedostatak su miješani pikseli koji se javljaju na rubovima klasa. Također, točnost objektno orijentirane klasifikacije uvelike ovisi o točnosti segmentacije.

Klasifikacija koja je zasnovana na pikselima i klasifikacija zasnovana na objektima, mogu se grupirati na (Abburu i Golla 2015, Lillesand i dr. 2015):

- nadzirane (nadgledane) klasifikacijske metode
- nenadzirane(nenadgledane) klasifikacijske metode
- hibridne klasifikacijske metode

## **6.2. NADZIRANA (NADGLEDANA) KLASIFIKACIJA**

Nadzirana (nadgledana) klasifikacija zahtijeva ulogu izlagača koja je aktivna, te upotrebu njegovih znanja i iskustava prilikom definiranja uzoraka. Postupak nadzirane klasifikacije dijeli se na (Oštir i Mulašević, 2014) stvaranje i uređivanje uzoraka, te razvrstavanje u klase (klasifikacija). Najvažnije je kvalitetno odabrati uzorke za trening koji će predstavljati pojedine klase.

Uzorci i testiranje moraju zadovoljiti određene uvjete (Belgiu i Drăguț 2016) kao što su: statistička neovisnost, ravnomjerna raspoređenost uzoraka unutar klase, svaki uzorak mora predstavljati klasu kojoj pripada, te dovoljnu veličinu uzorka u skladu s povećanim brojem različitih dimenzija podataka.

Nadzirana metoda klasifikacije u odnosu na nenadziranu klasifikaciju daje točnije rezultate. Postoje danas algoritmi nadzirane klasifikacije. Neke od tradicionalnih metoda (Gašparović 2020) su poput klasifikacije s maksimalnom sličnošću i metoda minimalne udaljenosti. U novije vrijeme se upotrebljavaju napredniji modeli koji su zasnovani na metodi strojnog učenja kao što je metoda temeljena na neuronskim mrežama, metoda potpornih vektora i metoda slučajnih šuma.

### **6.3. NENADZIRANA (NENADGLEDANA) KLASIFIKACIJA**

Nenadzirana (nenadgledana) klasifikacija zasnovana je na definiranom broju klasa. Nije potrebno prethodno poznavati klasificirano područje ni definiranje uzoraka. Algoritam klasificira automatski cijelu satelitsku snimku grupirajući piksele na temelju radiometrijskih svojstava. Oblik klasifikacije na taj način odvija se potpuno automatski i isključuje manualni rad u potpunosti. Postupak nenadzirane klasifikacije dijeli se na (Oštir i Mulašević 2014) grupiranje (udruživanje u klase) i prepoznavanje klasa.

Pojedine prednosti nenadzirane klasifikacije u odnosu na nadziranu (Campbell i Wynne 2011) su poput toga da ne zahtijeva prethodno poznavanje terena, mogućnost izlagačeve pogreške je minimalna, te se neke jedinstvene klase prepoznaju kao zasebne jedinice (klase manjih površina neće ostati neprepoznate). Nedostaci nenadzirane klasifikacije su npr. ograničena kontrola izlagača, spektralna svojstva pojedinih klasa se mijenja tijekom vremena i razvrstavanje snimke u previše ili premalo klasa.

### **6.4. HIBRIDNA KLASIFIKACIJA**

Hibridne metode (Gašparović 2020) dobiju se kombinacijom nadziranih i nenadziranih metoda. Kada se provede nadzirana klasifikacija, pojedine klase je moguće dodatno produbiti, tj. klasificirati algoritmima nenadzirane klasifikacije. Takva se metoda primjenjuje kada operater nije u mogućnosti jasno definirati razlike između vrsta podrazreda. Postoji jedna od hibridnih metoda klasifikacije koja je zasnovana na pravilima. Nadzirana klasifikacija koja se temelji na pravilima u većini slučajeva se upotrebljava pri objektno orijentiranoj analizi snimke. Proučavanjem odnosa između svojstva objekata i potencijalnih klasa, konstruira se model stabla koji se temelji na pravilima (Cohen i Shoshany 2002).

## 6.5. TOČNOST KLASIFIKACIJE

Točnost klasifikacije Zemljinog pokrivača, s obzirom na terensko opažanje, opisana je vrijednošću kapa koeficijenta  $kE$  (-1, +1) (Congalton, 1991; Richards, 1993). Kapa koeficijent je  $k=0$  za čisto podudaranje između dvije ukupne slučajne klasifikacije i dostiže  $k=1$  za kompletnu suglasnost između klasifikacije i podataka, mjerenih na terenu. U ovom slučaju razmatran je rezultat klasifikacije na snimcima rezolucije 1m, pri čemu su multispektralni snimci rezolucije 1m uzeti kao istinski terenski podaci i izračunat je kapa koeficijent za multispektralne snimke rezolucije 4 m kao I za “udruženi” izoštren snimak. Općenito, kapa koeficijent se smanjuje s povećanjem broja klasa, tj. što se izabiru finije klase veća je mogućnost pogreške u klasifikaciji. U nekim slučajevima dokazano je da digitalna klasifikacija za složena tematska kartiranja je prekomplicirana u odnosu prema klasičnom postupku klasifikacije (Roseholm, 1993). Poželjno je da se obavi terenska prospekcija prije digitalne analize snimaka, kako bi se dobio opći dojam o vegetacijskom pokrovu i zemljištu, te odredile klase za preliminarnu klasifikaciju. Zadaci mogu biti različiti, kao npr. održivi razvoj, utvrđivanje promjena u šumi te učinkovito gospodarenje šumama. (Oluić, 2001) Potrebno je terenskom prospekcijom razjasniti nejasne dijelove vegetacije na kartiranom terenu. Konačna interpretacija zasniva se na preliminarnoj interpretaciji i terenskim razjašnjenjem nejasnoća. Pri tom radu poželjno je koristiti i pomoćne izvore podataka, kao što su postojeće karte, aerosnimci, topografske karte, pedološke karte itd.

Digitalna klasifikacija, kombinirana sa GIS tehnikom s vektorskim i rasterskim prikazima, vrlo je učinkovita za ažuriranje i osuvremenjivanje postojećih baza podataka. S postojećim vektorskim podacima na satelitskom rasterskom snimku kao osnovi, promjene se mogu jednostavno detektirati i sistematizirati. Može se primijeniti postupak skeniranja i ručna digitalizacija za vektorizaciju podataka, pri čemu je postupak skeniranja znatno brži i jeftiniji. Ručna digitalizacija ima svoje prednosti, jer se u procesu rada mogu provjeravati moguće greške, dok se u procesu skeniranja to radi naknadno. (Oluić, 2001)

## 7. PRIMJENA U ŠUMARSTVU

Postoji više područja primjene satelitskih snimaka u šumarstvu. Satelitski snimci mogu se koristiti za različita istraživanja, mjerenja i nadgledanja u šumarstvu kao što su: (Oluić, 2001)

- Kvantifikacija interakcija između vegetacije, tla, topografije i hidrogeološkog ciklusa (posebno su prikladni radarski snimci)
- Utvrđivanje globalne raspodjele biomase za grubu procjenu primarne produkcije i financijsku dobit
- Utvrđivanje bioloških rezervata za glavni biokemijski ciklus (uključeni su dušik, fosfor, sumpor) i determinaciju tokova među njima
- Determinaciju utjecaja na povećanje ili smanjenje korisnosti resursa u terestričkom ekosustavu
- Kvantificiranje međuaktivnosti između krošnji šumske vegetacije te lokalne i regionalne klime

Osim navedenog, satelitski snimci se mogu registrirati i planirati prosjeke te poljoprivredna zemljišta unutar šumskog kompleksa, kao i unaprijediti bonitiranje staništa (rasadnici, oranice i dr.). Sve operacije u šumarstvu od planiranja do konačnog iskorištavanja drveta planiraju se s pomoću šumarskih karata i to je važno za sve tipove šuma. Za izradu terestričkih šumarskih karata potrebno je puno vremena i velika financijska sredstva, a to se sve znatno smanjuje korištenjem satelitskih snimaka i njihovom interpretacijom. Snimci omogućuju determinaciju recentnih promjena u šumskom pokrivaču, kao i biološkim promjenama. (Oluić, 2001)

## ZAKLJUČAK

- Satelitske snimke kao izvor informacija svakako imaju sve veće značenje i primjenu u šumarstvu.
- Budući da je svrha interpretacije satelitske snimke definirati željeni tematski sadržaj (način korištenja zemljišta, vrste drveća, starosni razredi i dr.), okosnicu digitalne obrade čini sama klasifikacija snimke.
- Cilj svake klasifikacije je prepoznati i prikazati, tj. kategorizirati ili razvrstati sve piksele unutar jedne ili više grupa (klasa) koje predstavljaju određeni sadržaj na terenu.
- U ovom završnom radu prikazane su i opisane različite vrste i metode klasifikacija satelitskih snimaka, kao i mogućnosti primjene u šumarstvu.

## LITERATURA

- Abburu, S., Golla, S. B. (2015): Satellite image classification methods and techniques: a review, *International Journal of Computer Application*
- Bakker, W. H., Grabmaier, K. A., Hunneman, G. C., Van Der Meer, F. D., Prakash, A., Tempfli, K., Reeves, C. V. (2004): Principles of remote sensing, an introductory textbook, The international institute for geo-informational science and earth observation, Enschede, the Netherlands
- Ban, H.-J., Kwon, Y.-J., Shin, H., Ryu, H.-S., Hong, S. (2017): Flood Monitoring Using Satellite-Based RGB Composite Imagery and Refractive Index Retrieval in Visible and Near-Infrared Bands, *Remote Sensing*
- Belgiu, M., Drăguț, L. (2016): Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*
- Blaschke, T. (2010): Object based image analysis for remote sensing, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*
- Campbell, J. B., Wynne, R. H. (2011): Introduction to remote sensing, The Guilford Press, New York, London
- Chen, Y., Guerschman, J. P., Cheng, Z., Guo, L. (2019): Remote sensing for vegetation monitoring in carbon capture storage regions: A review, *Applied energy*
- Clark, M. L., Roberts, D. A., Clark, D. B. (2005): Hyperspectral discrimination of tropical rain forest tree species at leaf to crown scales, *Remote Sensing of Environment*
- Cohen, J. A. (1960): Coefficient of Agreement for Nominal Scales, *Educational and Psychological Measurement*
- Gašparović, M., Balenović, I. (2020): Tree Species Classification in Mixed Deciduous Forests Using Very High Spatial Resolution Satellite Imagery and Machine Learning Methods, *Remote Sensing*

Horning N. What you need to know when searching for satellite imager, American Museum of Natural History, Center for Biodiversity and Conservation, 2004

Ibarrola-Ulzurrun, E., Gonzalo-Martín, C., Marcello, J. (2017): Influence of Pansharpening in Obtaining Accurate Vegetation Maps, Canadian Journal of Remote Sensing, 43

Joseph G. Fundamentals of Remote sensing, Universities Press (India) Private Limited, Hyderabad: 2005

Kušan, Benko (1993) : Satelitske snimke kao sastavni dio GIS-a šumarstva

Leckie, D. G., Tinis, S., Nelson, T., Burnett, C., Gougeon, F. A., Cloney, E., Paradine, D. (2005): Issues in species classification of trees in old growth conifer stands, Canadian Journal of Remote Sensing

Li, H., Jing, L., Tang, Y. (2017): Assessment of Pansharpening Methods Applied to WorldView-2 Imagery Fusion, Sensors

Lillesand TM, Kiefer RW, Chipman JW. Remote sensing and image interpretation, sixth edition, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey: 2008

Olujić, M. (2001): Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb

Oštir, K., Mulahusić, A. (2014): Daljinska istraživanja, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo

Phiri, D., Morgenroth, J., Xu, C., Hermosilla, T. (2018): Effects of pre-processing methods on Landsat OLI-8 land cover classification using OBIA and random forests classifier, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation

Pu, R., Landry, S., Zhang, J. (2015): Evaluation of atmospheric correction methods in identifying urban tree species with WorldView-2 imagery, IEEE Journal of selected topics in applied earth observation and remote sensing, 8, 5, 1886–1897

Reichards J.A. (1993): Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer, Heidelberg, New York



Roseholm, D. (1993): Land use and vegetation mapping by satellite : SSC Satellitbild  
Experiences 1987-1993)

Suwanpravit, C., Srichai, N. (2012): Impacts of spatial resolution on land cover classification,  
Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network

Tran, B. N., Tanase, M. A., Bennett, L. T., Aponte, C. (2018): Evaluation of Spectral Indices for  
Assessing Fire Severity in Australian Temperate Forests, Remote Sensing