

Primjena metoda daljinske detekcije u geološkom kartiranju i istraživanju mineralnih sirovina na području Drniša

Bakula, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:214106>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-07**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Lucija Bakula

**PRIMJENA METODA DALJINSKE
DETEKCIJE U GEOLOŠKOM KARTIRANJU I
ISTRAŽIVANJU MINERALNIH SIROVINA NA
PODRUČJU DRNIŠA**

Seminar III
Preddiplomski studij geologije

Mentor:
doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

Zagreb, 2022

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Seminar III

PRIMJENA METODA DALJINSKE DETEKCIJE U GEOLOŠKOM KARTIRANJU I ISTRAŽIVANJU MINERALNIH SIROVINA NA PODRUČJU DRNIŠA

Lucija Bakula

Rad je izrađen: Geološki zavod, PMF, Zagreb, Horvatovac 102a

Sažetak:

Primijenjena je metoda daljinskih istraživanja na područje okolice Drniša metodom nenadzirne K-means klasifikacije. Analogne geološke karte su digitalizirane i podaci pripremljeni za rad koristeći softverske alate PhotoFilter7 i ArcGIS Pro. Satelitske snimke preuzete su iz besplatnih izvora i obrađene u SNAP programu ESA-e. Nakon zasebne obrade karata i satelitskih snimaka svi podaci su uspoređeni. Klasifikacijom su uspješno odvojene vodene površine, kvartarni nanosi i karbonatne naslage, te se dobivene granice dovoljno dobro podudaraju sa granicama na postojećim geološkim kartama. Nadalje, opažaju se moguća nalazišta starijih, evapornitnih nalaga unutar Petrovog i Kosovog polja. Razmatra se točnost nenadzirne K-means klasifikacije, kao i prednosti i mane takve metode u njoj primjeni za geološko kartiranje i mogućnost detekcije mineralnih sirovina.

Ključne riječi: daljinska detekcija, geološko kartiranje, Drniš, mineralne sirovine

Rad sadrži: 35+VI stranica, 32 slika, 1 tablica, 12 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

Mentor: doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, doc. dr. sc. Katarina Gobo, v. pred. mr. sc. Dražen Kurtanjek

Datum završnog ispita: 22. rujna, 2022.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

APPLICATION OF REMOTE SENSING METHODS FOR GEOLOGICAL MAPPING AND MINERAL EXPLORATION IN THE AREA OF DRNIŠ

Lucija Bakula

Thesis completed in: Geološki zavod, PMF, Zagreb, Horvatovac 102a

Abstract:

The remote sensing method was applied to the area around Drniš using the method of unsupervised K-means classification. Analog maps were digitized and processed for work using PhotoFilter7 and ArcGIS Pro. Satellite images were downloaded from free sources and refined in the SNAP program of ESA. After separately processing older maps and satellite images, the resulting images were qualitatively compared. The classification successfully separated water surfaces, Quaternary sediments and carbonate deposits, and the obtained boundaries match well enough with the boundaries on existing geological maps. The precision of the unsupervised K-means classification is discussed, as well as the advantages and disadvantages of such a method in use for geological mapping and possible mineral exploration.

Keywords: remote sensing, geological mapping, Drniš, mineral exploration

Seminar contains: 35+IV pages, 32 figures, 1 tables, 12 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central Geological Library, Department of Geology, Faculty of Science

Supervisor: doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

Reviewers: doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, doc. dr. sc. Katarina Gobo, v. pred. mr. sc. Dražen Kurtanjek

Date of the final exam: September 22, 2022

Sadržaj

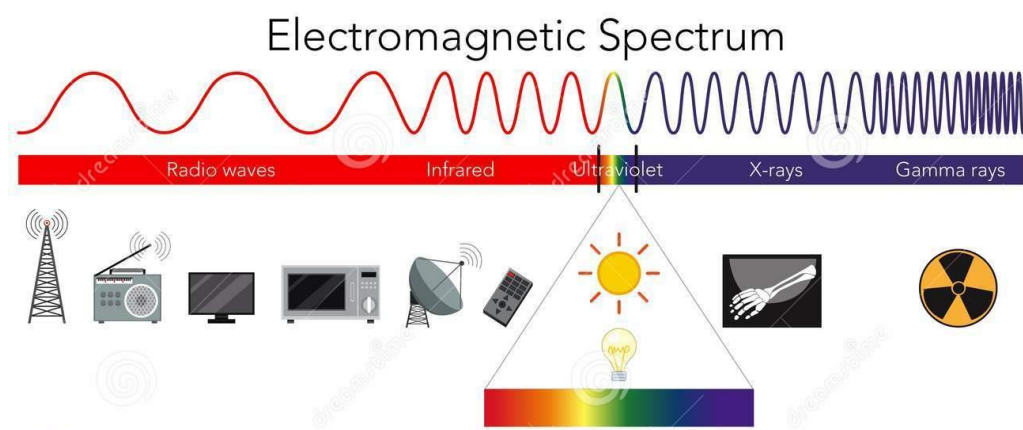
1.	Uvod.....	1
2.	Daljinska istraživanja.....	2
3.	Geološki smještaj okolice Drniša	4
3.1.	Litostratigrafske osobine	6
3.2.	Tektonika	8
3.3.	Mineralne sirovine	12
4.	Materijali i metode istraživanja	14
5.	Rezultati	24
6.	Rasprava.....	29
7.	Zaključak	33
8.	Literatura.....	34

1. Uvod

Primjena metoda daljinskih istraživanja novi je pristup geološkim istraživanjima, a popularnost je stekla zbog svoje efikasnosti i lakoće primjene. Razmatrano područje lista Drniš smješteno je na jugoistoku Hrvatske na području nekadašnje Jadranske karbonatne platforme (dalje u tekstu: JKP), što odlikuje područje pretežito karbonatne sedimentacije. Iako pretežito karbonatno, na području Drniša nalaze se i ležišta boksita zbog faza erozija koje su zahvatile područje, kao i ležišta evaporita i Promina naslaga. Kroz rad je dan primjer obrade satelitske snimke za primjenu u geologiji. Satelitska snimka obrađena je u programu Europske svemirske agencije (dalje u tekstu: ESA) SNAP kao i u ArcGIS Pro programu čija je licenca za potrebe ovog rada dobivena od GDi-a. Spomenuti programi su korišteni zbog pristupačnosti i široke primjene. U ovom radu glavna primjena SNAP programa bila je u pregledavanju i obrađivanju satelitskih snimki, a ArcGIS Pro je služio za obradu analognih karata i kasniju usporedbu dobivenih karata klasifikacijom i postojećih. Korištena je nenadzirna K-means klasifikacija koja sama svakom pikselu dodjeljuje neku vrijednost i grupira ih na temelju dodijeljenih vrijednosti i time je prikazana mogućost programa da „sam“ kartira određeno područje i prepozna potencijalne mineralne sirovine, odnosno moguća mineralna ležišta. Ovakav pristup i novi način geološkog kartiranja kao i istraživanja mineralnih ležišta pomoću metoda daljinskih detekcija znatno ubrzava vrijeme istraživanja (što smanjuje troškove), te uz to zahvaća znatno veće područje.

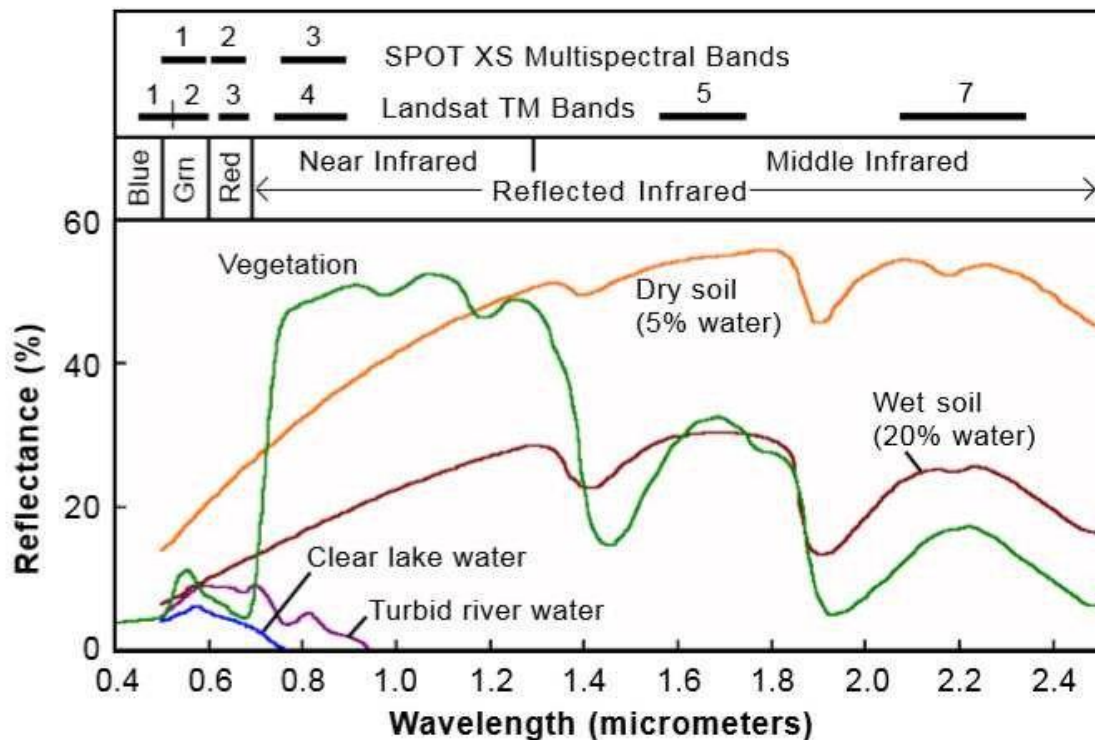
2. Daljinska istraživanja

Daljinske detekcije (eng. *remote sensing*) podrazumijevaju tehnologije koje informacije prikupljaju sa daljine, bez fizičkog kontakta sa snimanim objektom odnosno područjem. U ovom radu preuzete snimke snimljene su pomoću satelita, ali općenito postoji više mogućih platformi kao što su avioni, baloni ili rakete. Metoda daljinske detekcije je zadnjih godina počela nalaziti svoju primjenu i u sferi geoznanosti, pa tako i geologiji. Izrazito je korisna za geološko kartiranje, o čemu će biti riječi i u ovom radu. Prednost nalazi u tome što omogućava pristup inače teško dostupnim područjima kao i brzinu, efikasnost i ekonomsku isplativost prilikom izrade geoloških karata. Uz geološko kartiranje koristi se i za istraživanje mineralnih sirovina i time mogućih mineralnih ležišta, jer se radi o neinvazivnom i relativnom brzom istraživanju. Glavni alat metode daljinskih istraživanja je elektromagnetsko zračenje, tj. elektromagnetska energija. Elektromagnetska energija je mješavina valova različitih frekvencija i intenziteta, vrsta energije čije čestice putuju kroz prostor u obliku valova različitih frekvencija, ali pri istoj brzini. Ako se amplituda elektromagnetskog zračenja stavi u grafički odnos s njegovom valnom duljinom dobiveni graf predstavlja tzv. elektromagnetski spektar (slika 2.1). Sunce predstavlja glavni izvor elektromagnetskog zračenja, pri čemu se dio spektra gubi prolaskom kroz atmosferu. Ostatak Sunčeve radijacije koji dođe do Zemlje se dijelom reflektira i stupanj refleksije ovisi o vrsti materijala (slika 2.2)



Slika 2.1 Prikaz elektromagnetskog spektra

(izvor: <https://www.dreamstime.com/science-electromagnetic-spectrum-diagram-science-electromagnetic-spectrum-diagram-illustration-image121064527>)



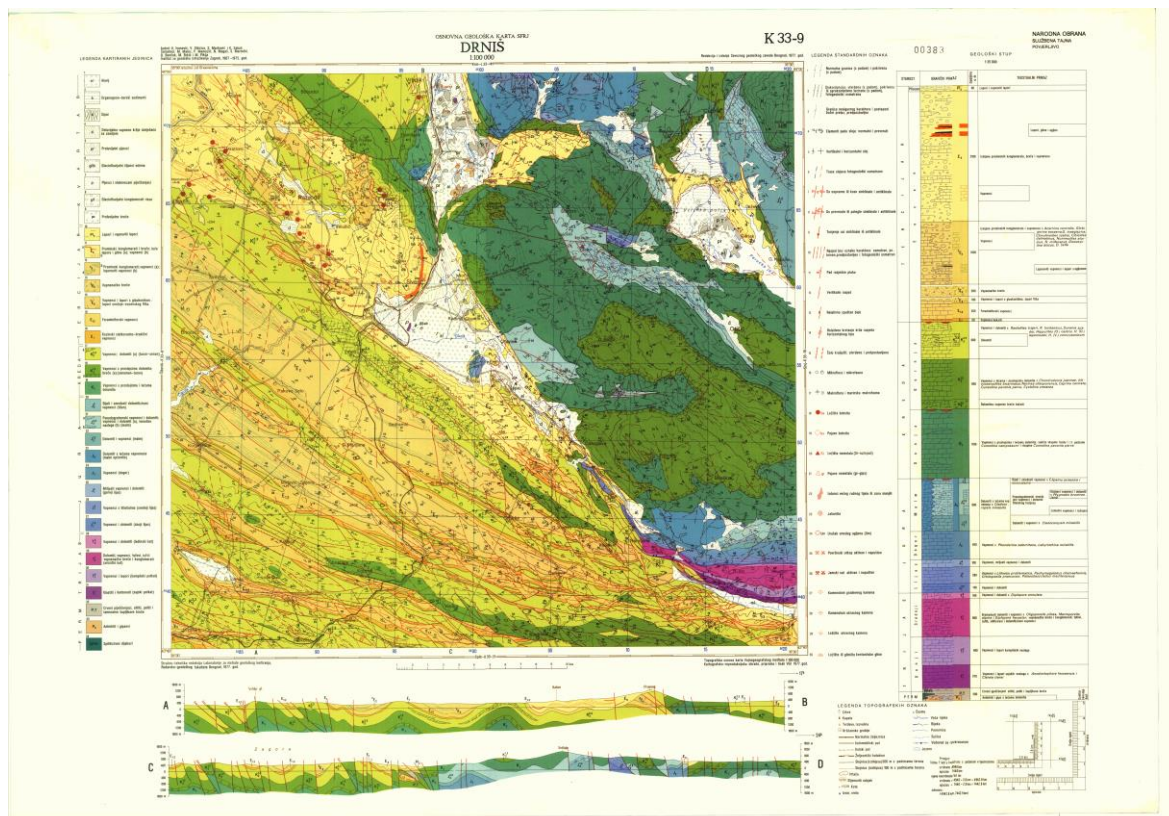
Slika 2.2 Refleksija Sunčeve radijacije ovisno o vrsti materijala na Zemljinoj površini (izvor:

https://www.researchgate.net/figure/Spectral-reflectance-curve-of-soil-dry-and-wet-water-and-vegetation_fig1_327884743)

Neizostavnu ulogu u interpretaciji digitalnih snimki nastalih daljinskom detekcijom ima GIS. GIS ili Geografski informacijski sustav obrađuje i prerađuje snimke kako bi se mogle koristiti za daljnja istraživanja područja. Također, pomoću GIS-a moguće je integrirati i nadograditi starije, analogne podatke sa novijim digitalnim što otvara velik broj mogućnosti. Novi radovi potvrđuju kako korištenje bespilotnih letjelica (dronova) pruža mogućnost istraživanja nepristupačnih i osjetljivih područja. BOOYSEN et al. (2020) u svom radu prvi su prikazali izravno kartiranje elemenata rijetkih zemalja pomoću laganih bespilotnih letjelica s hiperspektralnim senzorima.

3. Geološki smještaj okolice Drniša

Područje osnovne geološke karte (u nastavku teksta: OGK) lista Drniš (slika 3.1) kartirano je 1970-ih godina u sklopu izrade OGK SFRJ 1:100 000 i zahvaća područje današnje jugoistočne Hrvatske (slika 3.2, slika 3.3). Površinski se prostire na 1476 km², između koordinata 16° 00' do 16° 30' istočne geografske dužine i između 43° 40' i 44° 00' sjeverne geografske širine. Glavne morfološke jedinice pružaju se od SZ prema JI, a idući od SI prema JZ slijede redom Dinara, dolina Cetine, planine Svilaja, Petrovo i Kosovo polje, planina Moseć i Promina, te na kraju Zagora i Prominska zaravan (IVANOVIĆ et al., 1978).



Slika 3.1 Osnovna geološka karta 1:100000, list Drniš (Ivanović et al., 1977)



Slika 3.2 Smještaj OGK Drniš na karti RH označen crvenim kružićem
(izvor: <https://www.hgi-cgs.hr/osnovna-geoloska-karta-republike-hrvatske-1100-000/>)



Slika 3.3 Smještaj lista Drniš u prostoru (izvor: modificiran prikaz iz ArcGIS Pro)

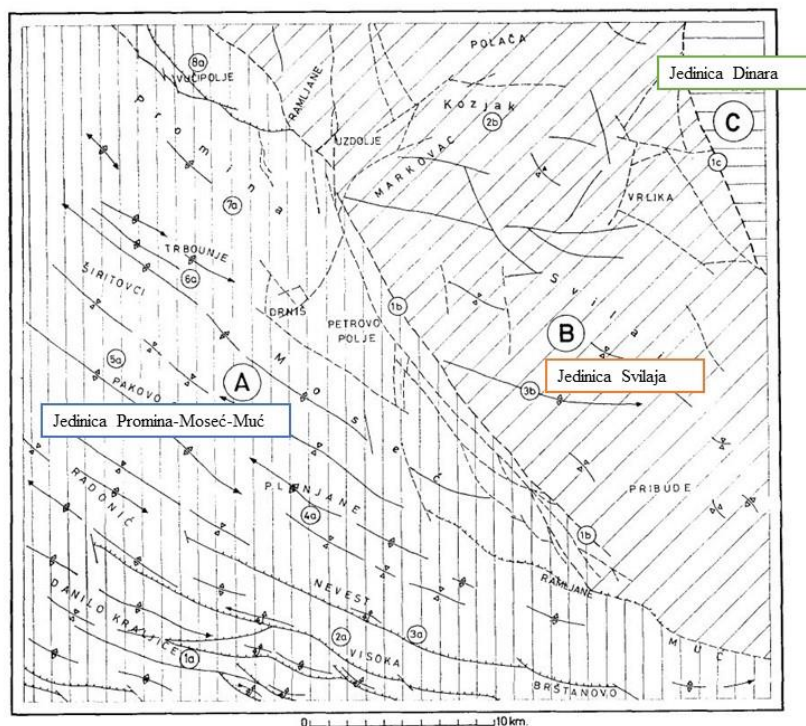
3.1. Litostratigrafske osobine

Najstarije naslage okolice Drniša su evaporiti, karbonati i klastiti gornjeg perma do donjeg trijasa koje se nalaze na području Petrovog i Kosovog polja kao i u dolini Cetine, a prostiru se i sjevernije uz granično područje sa Bosnom i Hercegovinom (ŠUŠNJARA et. al., 1992; TIŠLJAR, 1992). Njihovo taloženje prati vulkanska aktivnost zbog čega su na nekim lokalitetima otkriveni i opisani spilitizirani dijabazi. Donji trijas dalje je obilježen taloženjem sajskih pa kampilskih naslaga. Sajske naslage se od kampilskih razlikuju prema udjelu terigene komponente, tako su sajske većinom građene od crvenih pješčenjaka, dok se kod kampilskih opaža manji donos terigenog sedimenta i čine ih razni tipovi vapnenca sa pokojim proslojkom lapora. Taloženje kampilskih naslaga ukazuje na postupno slabiji utjecaj kopna kao i na stvaranje plitkomorskog taložnog prostora. U srednjem trijasu uz taloženje vapnenaca i dolomita dolazi i do taloženja tufova i tufita koji ukazuju na vulkansku aktivnost koja je zahvatila područje. Juru karakterizira konstanta karbonatna sedimentacija sa naslagama vapnenaca i dolomita, od kojih se ističu *Lithiotis* vapnenci nazvani po čestoj pojavi školjke *Lithiotis problematica* i mrljasti vapnenci i dolomiti. Također, na području Svilaje su otkrivene i tzv. „lemeš“ naslage gornje jure čiji se *locus typicus* nalazi u centralnom dijelu planine Svilaje (IVANOVIĆ et al., 1978). Lemeš naslage su uglavnom vapnenci i za njihovu kronostratigrafsku podjelu često se koriste fosili amonita. Prijelaz iz jure u kredu obilježen je emerzijom koju potvrđuju nalazišta boksita na zaravni sjeverno od Kijeva kao i na sjevernim padinama Kozjaka i na Dinari. U kredi se nastavlja karbonatna sedimentacija. Zbog obilja mikrofosila u donjokrednim vapnencima na padinama Svilaje, Kozjaka i Promine kao i u dolini Cetine i na Dinari naslage je moguće podijeliti u tri skupine: skupina *Cuneolina camposaurii* I podzona, *Cuneolina camposaurii* II podzona (barem-apt) i albska cenozone *Cuneolina pavonia parva* (IVANOVIĆ et al., 1978). Gornjokredne naslage su otkrivene na svim dijelovima lista i prema IVANOVIĆ et al. (1978) dijele se na dvije stratigrafske jedinice: Cenoman – donji turon (vapnenci s proslojcima dolomita, dolomitne i vapnenačke breče) i Gornji turon – senon (vapnenci i dolomiti). Paleogen počinje taloženjem „kozina“ naslaga. Nalazimo ih na jugozapadnom dijelu lista, to su slatkovodno-brakični vapnenci koji postepeno prelaze u potpuno marinske sedimente. Na njih se nastavljaju foraminiferski vapnenci koji se mogu podijeliti na osnovu nađenih foraminifera na miliolidne, alveolonske i numulitne vapnence. Mlađi paleogen karakteriziraju tzv. „Promina naslage“ o čijem će značaju više biti rečeno dalje u radu. *Locus typicus* „Promina naslaga“ nalazi se na planini Promini, a osim toga, na

području lista Drniš one izdanjuju u dolini Cetine, na Kozjaku, uz rubove Kosova i Petrova polja kao i na Moseću. Prema IVANOVIĆ et al. (1978) „Promina naslage“ podijeljene su na dvije stratigrafske jedinice: Srednji eocen (prominski konglomerati, vapnenci i laporoviti vapnenci) i Gornji eocen (prominski konglomerati i breče, vapnenci, lapori i gline). Litološki su izrazito heterogene naslage i nalaze se elementi breča, konglomerata, kalkarenita, kalklutita itd. Neogenske naslage ispunjavaju recentne depresije i nalazimo ih u dolinama Cetine i Vrbe kao i u Petrovom i Kosovom polju pretežito u vidu lapora. Naslage kvartara bilježe fluvioglacialnu aktivnost, poput glaciofluvijalnih šljunaka na južnim padinama i u podnožju Dinare, nastalih za vrijeme „Würm“ glacijala kao morenski materijal prenesen s Dinare. Osim toga, kvartarni deluvij i aluvij rasprostranjen je ponajviše u Kosovu i Petrovom polju.

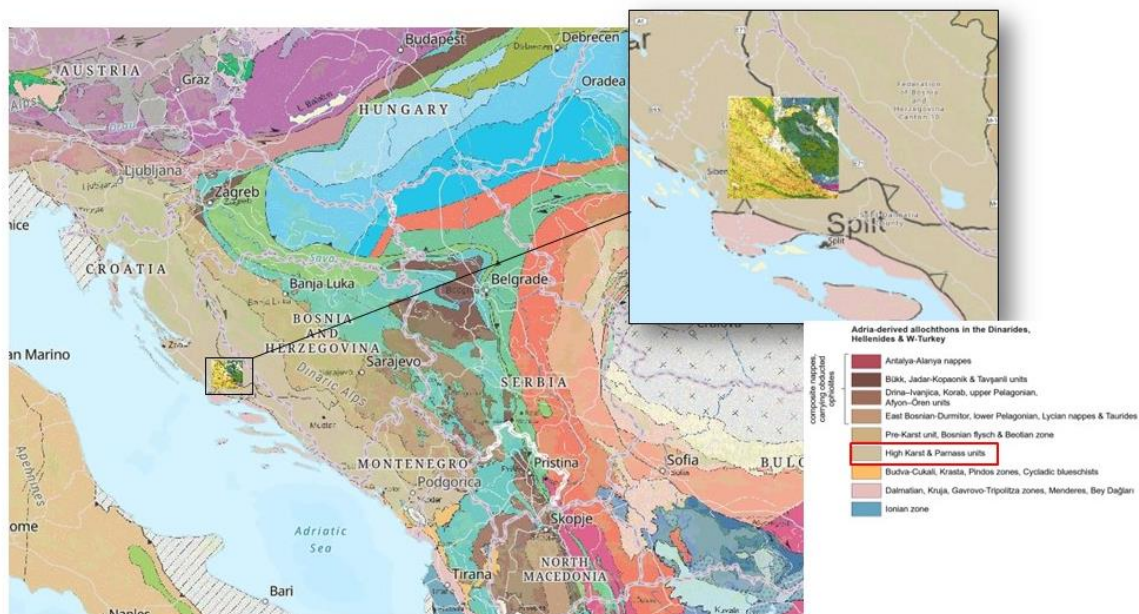
3.2. Tektonika

Površinu koju obuhvaća list Drniš moguće je podijeliti u tri tektonske jedinice (slika 3.2.1). Prva tektonska jedinica Promina-Moseč-Muč, najveće je površinske rasprostranjenosti, te opisuje jugozapadni dio lista koji se dalje veže na list Šibenik. Bore koje nalazimo unutar ove jedinice imaju standardno pružanje Dinarida smjera sjeverozapad-jugoistok. Sljedeća jedinica idući u smjeru sjeveroistoka je tektonska jedinica Svilaja koja zauzima centralni dio lista i sa prvom jedinicom ima jasnu granicu koja je opisana kao tektonski šav. Zadnja jedinica je jedinica naziva Dinara i ona zauzima najmanju površinu lista u njegovom sjeveroistočnom kutu. Planine Svilaja i Dinara, kao i istoimene tektonske jedinice odvaja izražena tektonska linija tj. Cetinski rasjed.



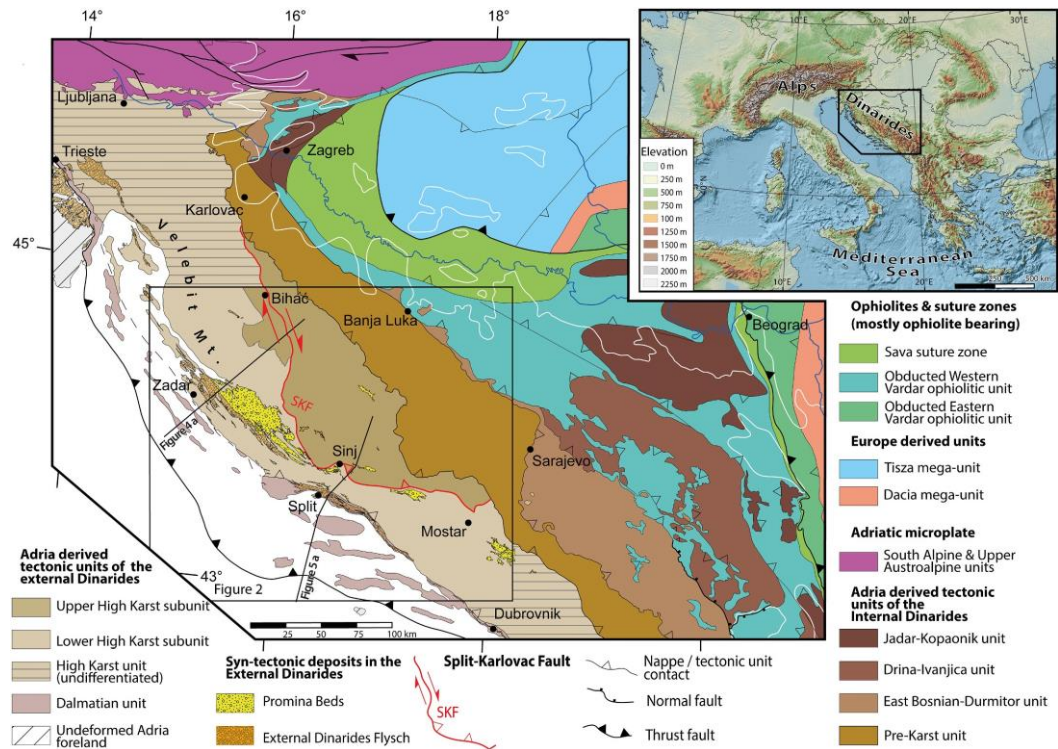
Slika 3.2.1 Tektonske jedinice OGK Drniš (modificirano iz (Ivanović et al., 1978))

Iako podijeljen na tri tektonske jedinice, područje lista Drniš zahvaća dio velike geotektonske jedinice naziva „Zona visokog krša“ (eng. *High Karst Unit*, SCHMID et al., 2008), odnosno područje Vanjskih Dinarida (slika 3.2.2). Jedinica se velikim dijelom sastoji od naslaga taloženih na karbonatnoj platformi što objašnjava izražene krške karakteristike terena.

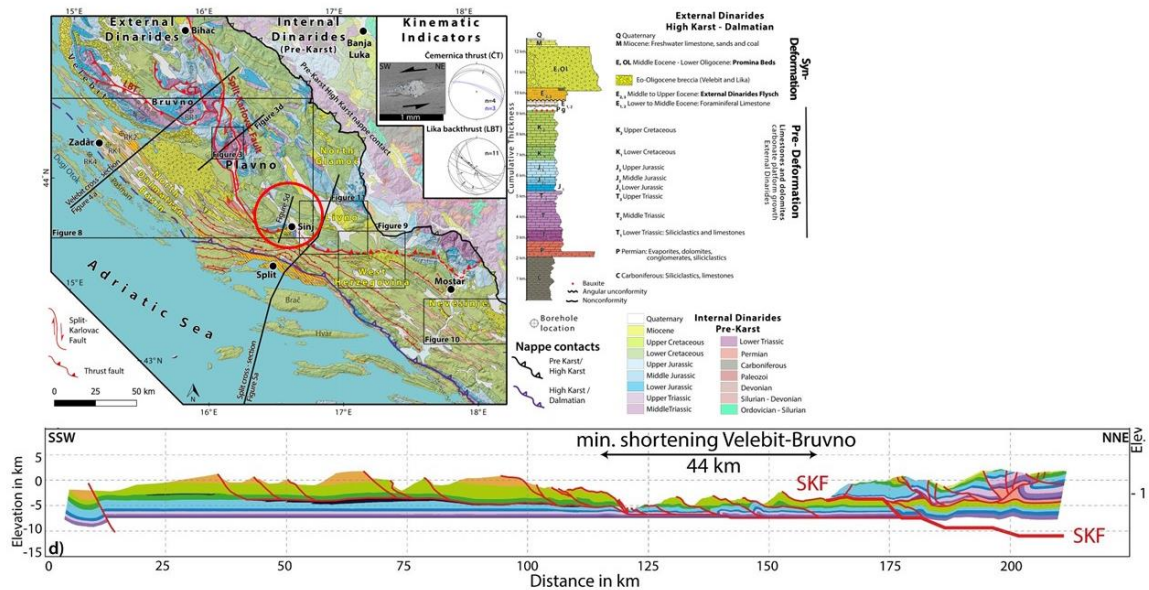


Slika 3.2.2 Položaj lista Drniš u odnosu na kartu iz Schmid et al. (2020)

Dodatno BALLING et al. (2021) dijele zonu Viskog krša na Gornji visoki krš (eng. *Upper Hight Karst*) i Donji visoki krš (*Lower Hight Karst*) na temelju razlike u promjeni permotrijskih i jurskih facijesa. Tako isključivo zona Gornjeg visokog krša u svojoj bazi sadrži permotrijske evaportite i do 1500 metara debele jurske naslage, dok na području koje zahvaća zona Donjeg visokog krša nalazimo tek 200 metara debele jurske naslage. Takva stratigrafska razlika između zona implicira kako JKP nije bila uniformni taložni okoliš. Bitno je napomenuti kako se ova podjela odnosi na centralni dio Vanjskih Dinarida u kojem se nalazi područje lista Drniš, te otkriva kako su Vanjski Dinaridi dodatno interno navučeni (eng. *internally thrust*) u svom centralnom dijelu (slika 3.2.3, slika 3.2.4).



Slika 3.2.3 Tektonska karta preuzeta iz Balling et al. (2021) gdje je moguće uočiti kako su „Promina naslage“ otkrivene isključivo u promatranom području centralnog dijela Vanjskih Dinarida

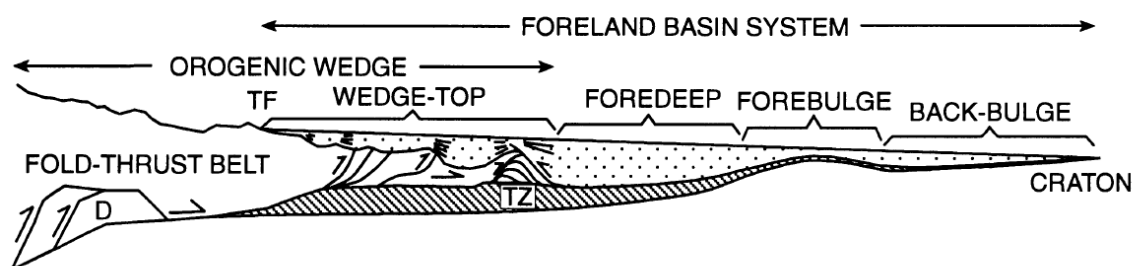


Slika 1.2.4 Detaljni profil SKF preuzet iz Balling et al. (2021) zajedno sa kartom (iznad) na kojoj je moguće vidjet kojim dijelom prolazi profil (označeno crvenim krugom)

Moguće je opaziti skraćanje (eng. *shortening*) od 44 km koje se događa zbog dodatnog navlačenja na području Velebita

Ključan strukturni element ove podjele je Split-Karlovac rasjed (eng. *Split-Karlovac Fault*, dalje u tekstu: SKF). SKF je sjeverno-sjeverozapadni rasjed dug 350 km koji prolazi zonom Visokog krša i dolazi u asocijaciji sa prije spomenutim permotrijskim

evaporitima koji se nalaze sjeverno i sjeveroistočno od rasjeda odnosno u zoni Gornjeg Viskog krša. Upravo mehanički slabi evaporiti u podnožju zone Viskog krša su bili ključni za odvajanje zone na Gornju i Donju podjedinicu. Rasjed kao i granica između podjedinica zone Viskog krša prolazi i kroz područje lista Drniš, točnije uz Petrovo i Kosovo polje, gdje su otkriveni evaporiti. Uz evaporite i SKF u centralnom dijelu se isključivo nalaze „Promina naslage“. Taložene su u „wedge-top“ ili „piggyback“ dijelu Dinarskog predgorskog bazena, na vrhu već navučenih navlaka u području Donjeg visokog krša (slika 3.2.5), to su vapnenački klastiti srednjeeocenske do oligocenske starosti.

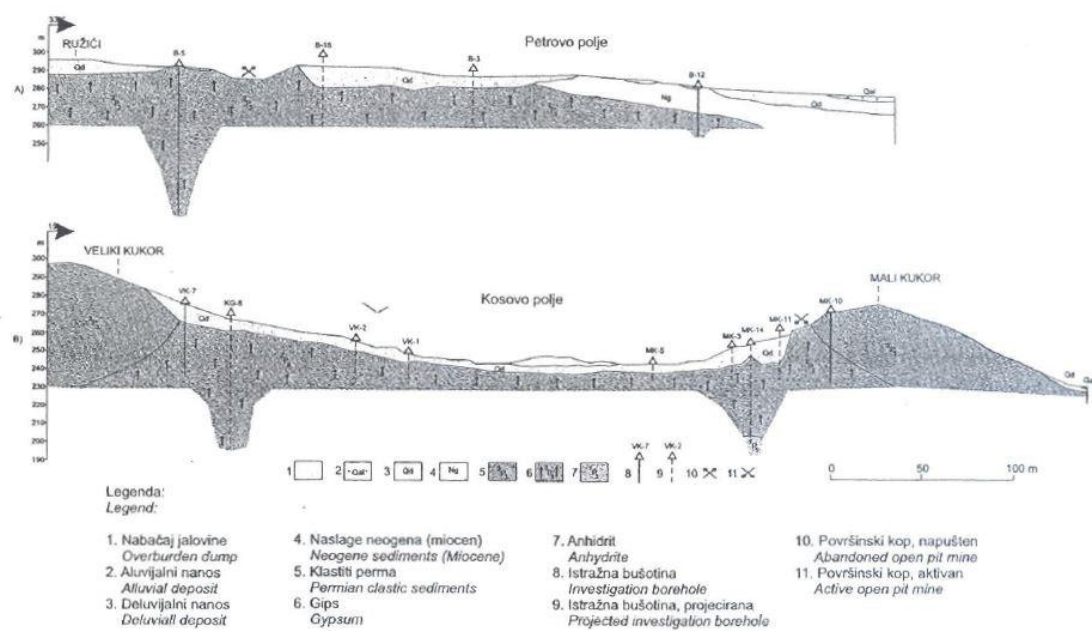


Slika 3.2.5 Shematski prikaz građe predgorskog bazena

(preuzeto iz DeCelles & Giles, 1996.)

3.3. Mineralne sirovine

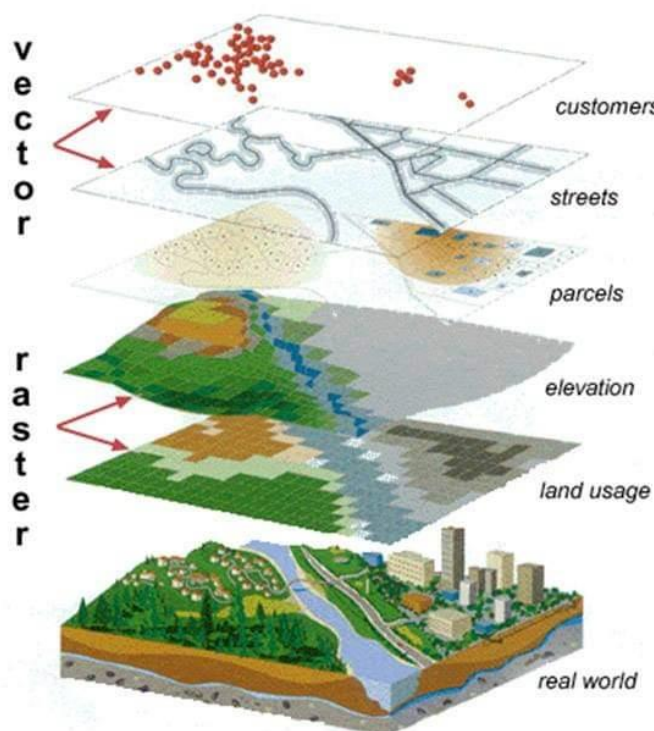
Na području okolice Drniša otkrivene su i opisane mineralne sirovine pogodne za eksploataciju. Najrasprostranjenija i najznačajnija su ležišta boksita, od kojih su glavna smještena u području između Drniša, Oklaja i Širitovaca i na planinama Promina i Moseć. Prema stratigrafskom položaju razlikuju se četiri vrste boksita: malmski boksiti, kredni boksiti, paleocenski boksiti i eocenski boksiti. Osim boksita značajna su i ležišta bentonitskih glina koje se pojavljuju kao leće u dolomitima i lemeš naslagama, gipsa koji je dio permских sedimenata, smeđeg ugljena kojeg nalazimo kao slojeve unutar promiskih naslaga i ukrasnog i tehničkog kamena koji je po svom sastavu karbonatna stijena. Već spomenuta nalazišta evaporita su značajna nemetalna sirovina pogodna za eksploataciju. Izdvajaju se ležišta u Petrovom i Kosovom polju kao ekonomski isplativa ležišta (PENCINGER i LUKŠIĆ, 2004). Prema GABRIĆ et al. (2002) opisani su evaporiti taloženi u rubnim dijelovima epikontinentalnog morskog bazena kada su kontinuiranom progradacijom obale bili stvoreni povoljni uvjeti sabkha i plaja sedimentacije. Petrovo polje nalazi se istočno od Drniša i prostire se na 57 km², gips se nalazi ispod razine podzemne vode, a od prije je značajno i opisano ležište Ružić (slika 3.3.1). Kosovo polje veličine je 34 km² i značajno je po nalazištima bijelog „alabaster“ gipsa. Bazu takvih gornjopermskih kompleksa čine anhidriti koji prelaze u gips (20-40m dubine), a krovinu tzv. „Rauchwake“ (postsedimentacijske dijagenetske breče) ili kvartarne naslage.



Slika 3.3.1 Geološki profili ležišta Ružiči (Petrovo polje) i Kukor (Kosovo polje) preuzeto iz Gabrić et al. (2002)

4. Materijali i metode istraživanja

Dva glavna programa korištena pri izradi ovog rada su ArcGIS Pro i SNAP (*Sentinel Application Platform*). GIS ili Geografski informacijski sustav (eng. *Geographic information system*) je računalni sustav koji omogućuje prikupljanje, spremanje, upravljanje, analizu, prikazivanje i distribuciju prostornih podataka (LUŽAR-OBERITER, 2020). Ima široku primjenu i izvan geotehničkih znanosti zbog mogućnosti kombinacija raznih vrsta podataka i njihovog preklapanja na kartama odnosno na nekom području. GIS pohranjuje podatke u dvije glavne skupine: vektorske i rasterske podatke (slika 4.1). Vektorski podatci predstavljaju točke, linije i poligone dok su rasteri digitalne slike sastavljene od mreže piksela u kojima svaki piksel predstavlja jednu vrijednost. Vektorski podatci spremljeni su i korišteni u obliku shapefile-ova. Rasteri su preuzeti u TIFF obliku, a spremljeni u GeoTIFF obliku. GeoTIFF oblik rastera ja zapravo georeferencirana TIFF datoteka. U geologiji se koristi za geološko kartiranje i u zadnje vrijeme je postao čest program korišten za istraživanje i kartiranje mineralnih sirovina u svrhu njihovog istraživanja i mogućnosti eksploatacije.

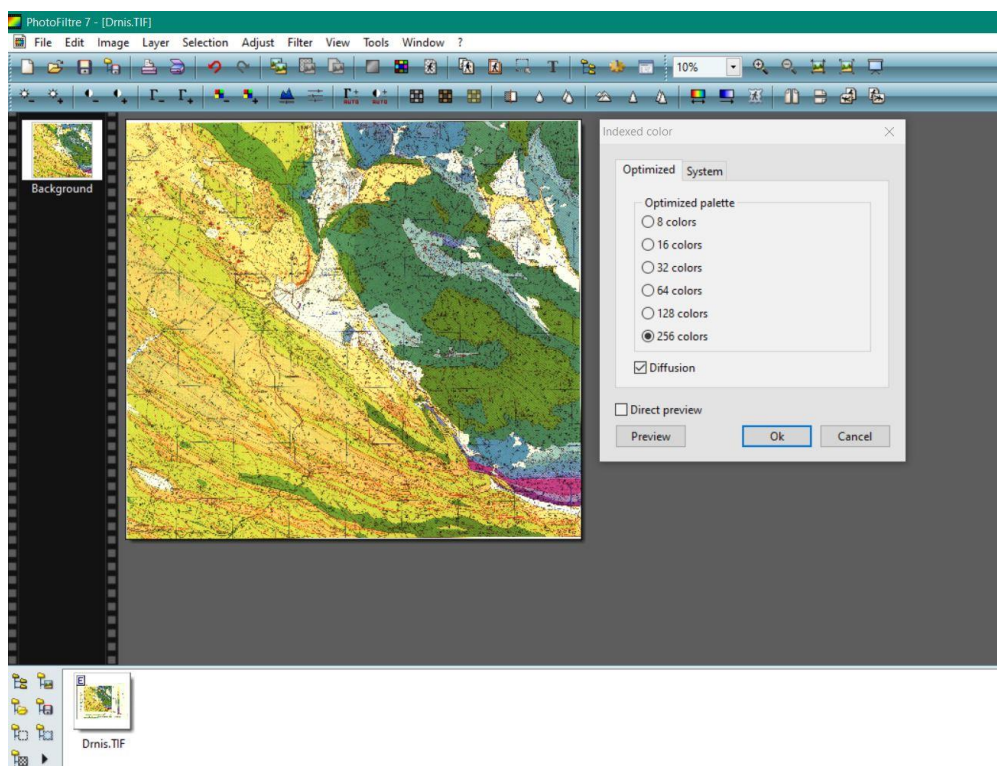


Slika 4.1 GIS vrste podataka

(izvor: https://mobile.facebook.com/166231683471061/posts/gis-raster-data-and-vector-data-raster-and-vector-are-the-two-basic-data-structur/837267486367474/?_rdc=1&_rdr)

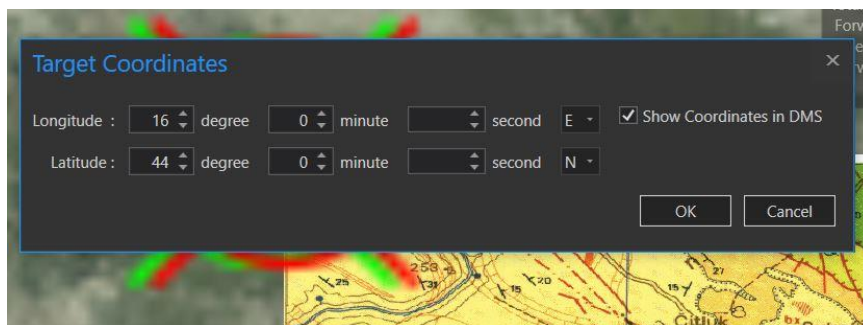
SNAP je besplatni program preuzet sa stranica Europske svemirske agencije (ESA) korišten za obradu preuzetih Sentinel snimaka i njihovu klasifikaciju.

Prvi korak bio je skenirane topografske karte 1:25 000 i OGK Drniš 1:100 000 obraditi u aplikaciji PhotoFilter7. Bilo je potrebno izrezati njihove bijele rubove, a zbog jasnijeg prikaza boje su indeksirane na 256 (slika 4.2), te na kraju dobivena obrađena slika spremljena je u rasterskom TIFF obliku.

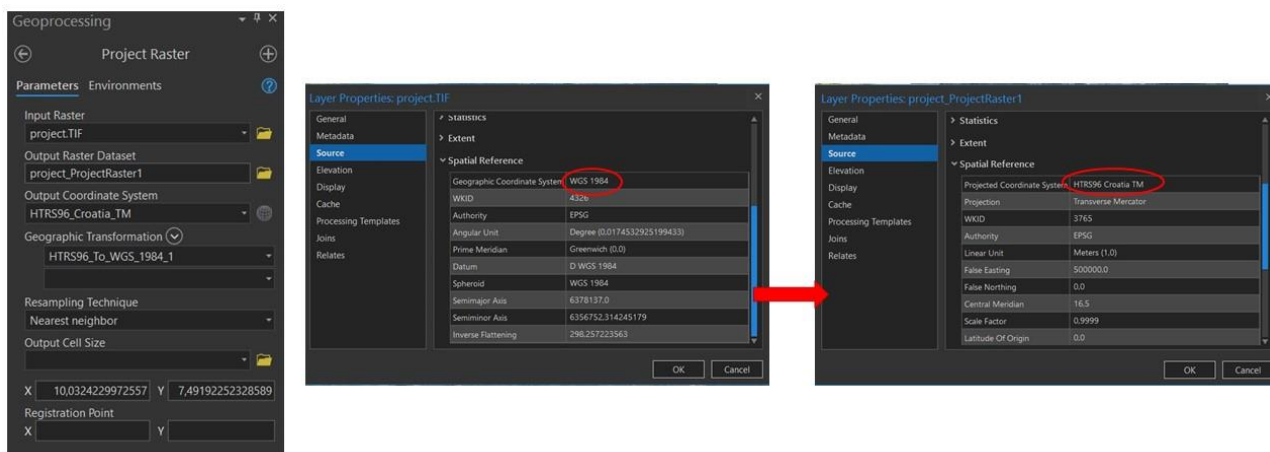


Slika 4.2 Izrezan list OGK Drniš sa naredbom indeksiranja boja na 256 (izvor: prikaz iz PhotoFilter7)

Zatim se obrađena TIFF datoteka dodaje u ArcGIS Pro. Potrebno ju je točno smjestiti u prostor odnosno georeferencirati (eng. *Georeference*), to je moguće preko koordinata u slučaju OGK Drniš jer su u kutevima lista naznačene koordinate (slika 4.3). Drugi način je georeferenciranje prema Digitalnim ortofoto snimkama iz 2011 (dalje u tekstu: DOF) preuzetim sa web stranica Državne geodetske uprave, što je potrebno učiniti za radne listove budući da na njima nisu naznačene nikakve koordinate. Potrebno je rasterske podatke svesti sve na isti koordinatni sustav HTRS96/TM pomoću naredbe „*Project raster*“ prikazane na slici 4.4.

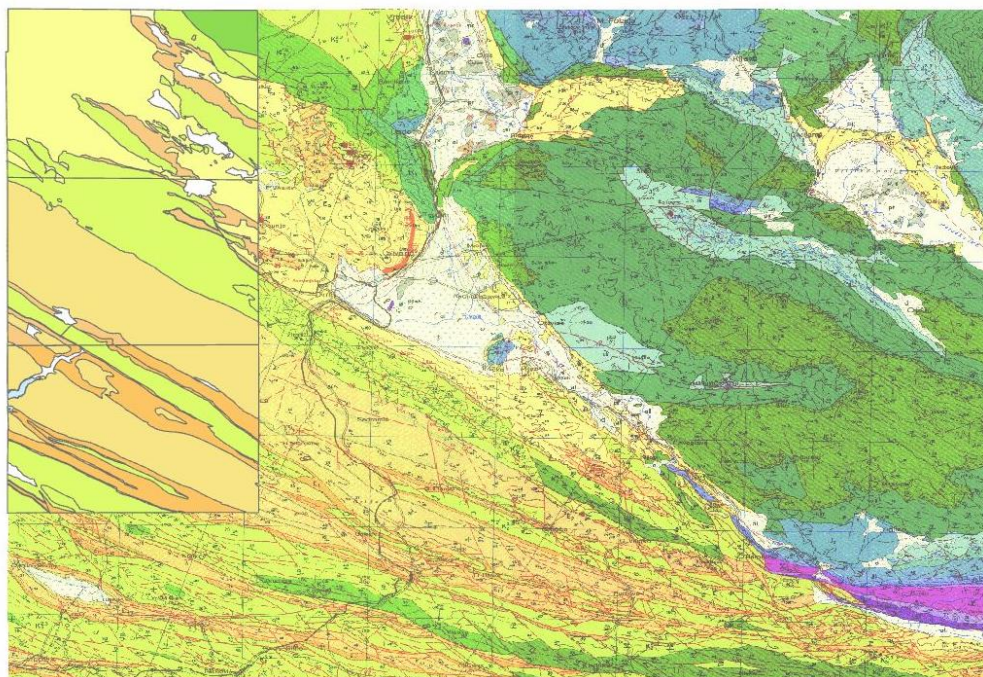


Slika 4.3 prikaz preuzet iz ArcGIS Pro, naredba "Georeference -> Add Control Points" pomoću koje se upisuju zadane koordinate sa
OGK Drniš



Slika 4.4 prikaz modificiran i preuzet iz ArcGIS Pro programa koji prikazuje naredbu „Geoprocessing“ po određenom koordinatnom sustavu i promjenu između novo dobivenog rastera koji je u zadanom HTRS96 koordinatnom sustavu i prvotnom koji je u automatski dodijeljenom WGS 1984

Sljedeći korak je stvaranje novog shapefile-a koji će sadržavati iscrtane poligone po kronostratigrafskim jedinicama radnih listova (slika 4.5). Iscrtanim poligonima dodaju se vrijednosti u atributnoj tablici kako bi odgovarali kronostratigrafskim jedinicama lista (tablica 1).



Slika 4.5 Položaj obojanih poligona u odnosu na OGK (izvor: prikaz iz ArcGIS Pro)

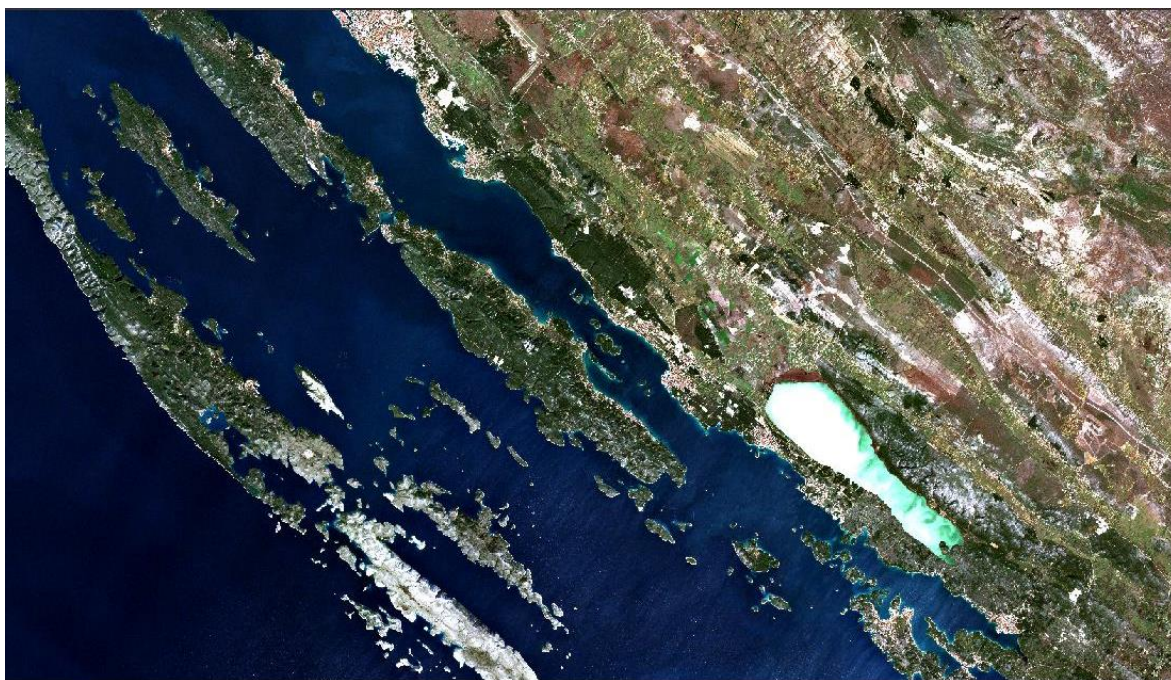
Tablica 1 Primjer atributne tablice preuzete iz ArcGIS Pro-a za kartu Oklaj

Code	Oznaka	Naziv
4	d	Deluvijalno vapneno krsje izmjesano sa zemljom
4	d	Deluvijalno vapneno krsje izmjesano sa zemljom
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
4	d	Deluvijalno vapneno krsje izmjesano sa zemljom
4	d	Deluvijalno vapneno krsje izmjesano sa zemljom
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
4	d	Deluvijalno vapneno krsje izmjesano sa zemljom
4	d	Deluvijalno vapneno krsje izmjesano sa zemljom
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
4	d	Deluvijalno vapneno krsje izmjesano sa zemljom
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
4	d	Deluvijalno vapneno krsje izmjesano sa zemljom
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)

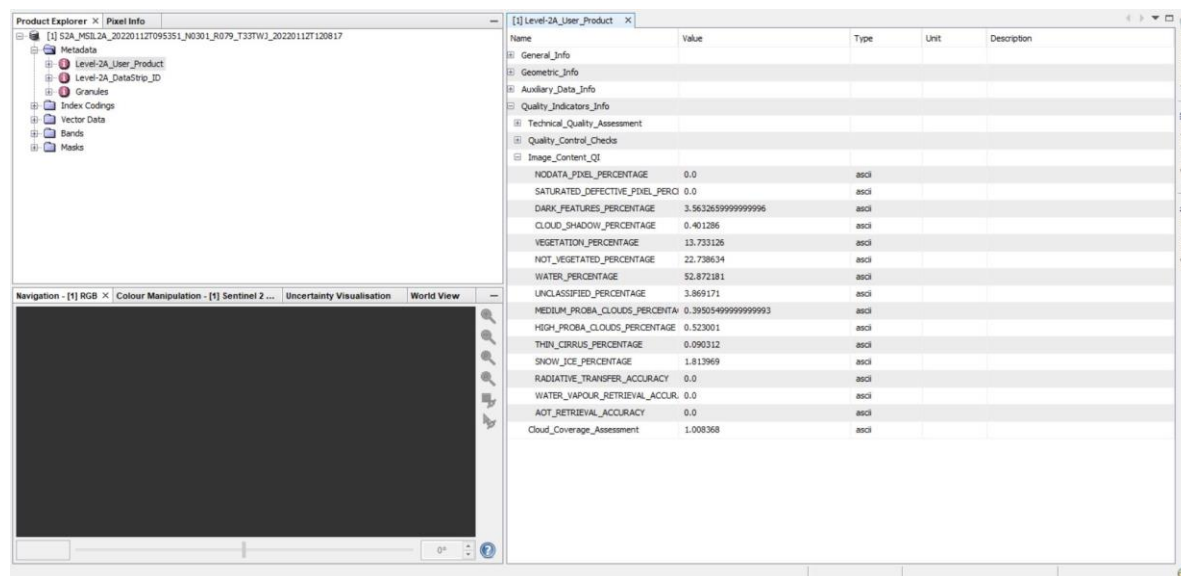
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
11	E3	Prominski konglomerati i brece; lece lapora i glina (a); vapnenci (b)
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
4	d	Deluvijalno vapneno krsje izmjesano sa zemljom
13	2E2	Vapnenacke brece
15	E1,2	Foraminiferski vapnenci
17	K2_2,3	Vapnenci; dolomiti (a) (turon-senon)
18	K2_1,2	Vapnenci s proslojcima dolomita; brece (a) (cenoman-turon)

Potom je bilo potrebno obraditi satelitske snimke. S mrežnih stranica Copernicus Open Access Hub preuzeto je šest zip datoteka koje sadrže satelitske snimke šireg područja istraživanja snimljene Sentinel-2A senzorom. Sentinel-2 misija sastoji se od dva satelita (Sentinel-2A i Sentinel-2B) aktivna od lipnja 2015. godine koji rade istovremeno postavljeni pod kutom od 180° u odnosu jedan prema drugom. Opremljeni su optičkim multispektralnim instrumentom koji pokriva 13 spektralnih kanala u rasponu valnih duljina od 443 do 2190 nm. Senzori su smješteni u polarnoj orbiti na 786 km nadmorske visine, a vrijeme obilaska im iznosi 5 dana. Radiometrijska rezolucija, tj. mogućnost razlikovanja intenziteta svijetla i refleksije, je u slučaju Sentinel-2A 12-bitna (12 kanala) i obuhvaća raspon od 0 do 4095 vrijednosti intenziteta (eng. *brightness levels*). Pomoću aplikacije SNAP pregledane su datoteke i uspoređeni su njihovi metapodatci. Metapodatci sadrže korisne informacije poput postotka oblačnosti, vegetacijskog pokrova, sjene oblaka i dr. Odabrana je

S2A_MSIL2A_20220112T095351_N0301_R079_T33TWJ_20220112T120817.zip
datoteka (Slika 4.6) i njeni metapodatci su vidljivi na slici 4.7.

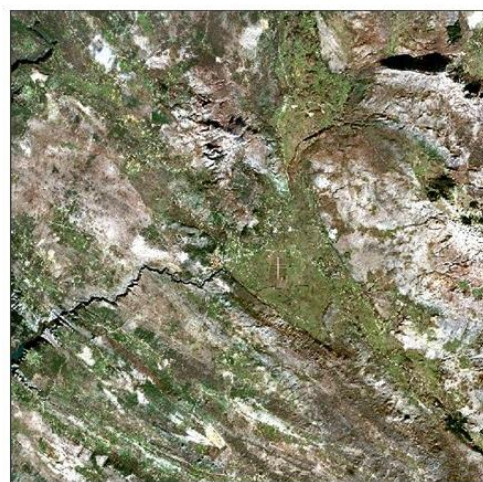
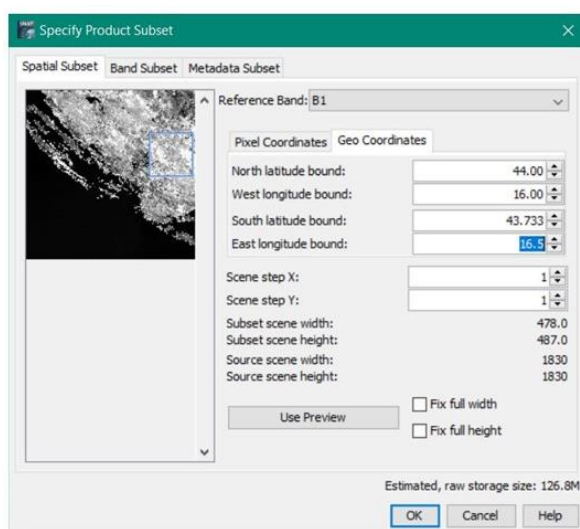


Slika 4.6 Sentinel-2A satelitska snimka šireg područja

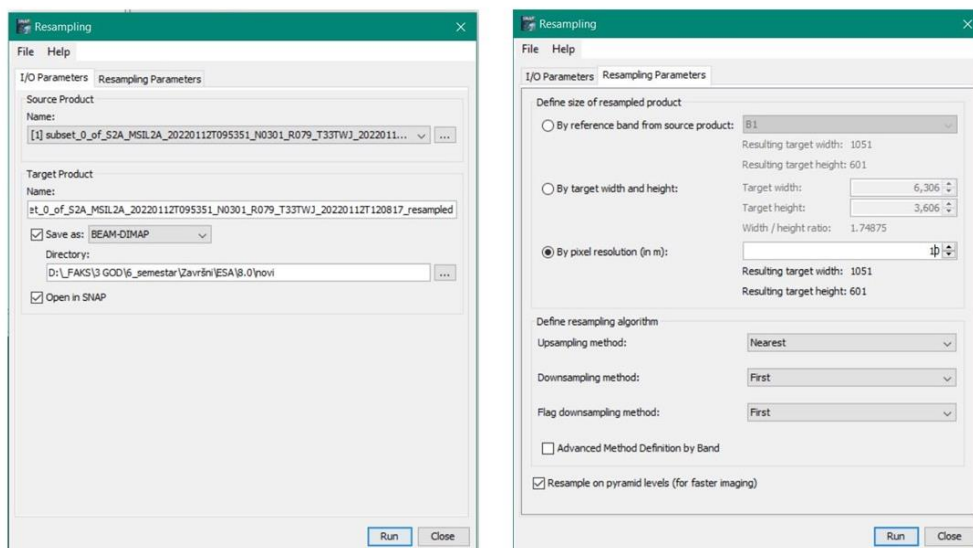
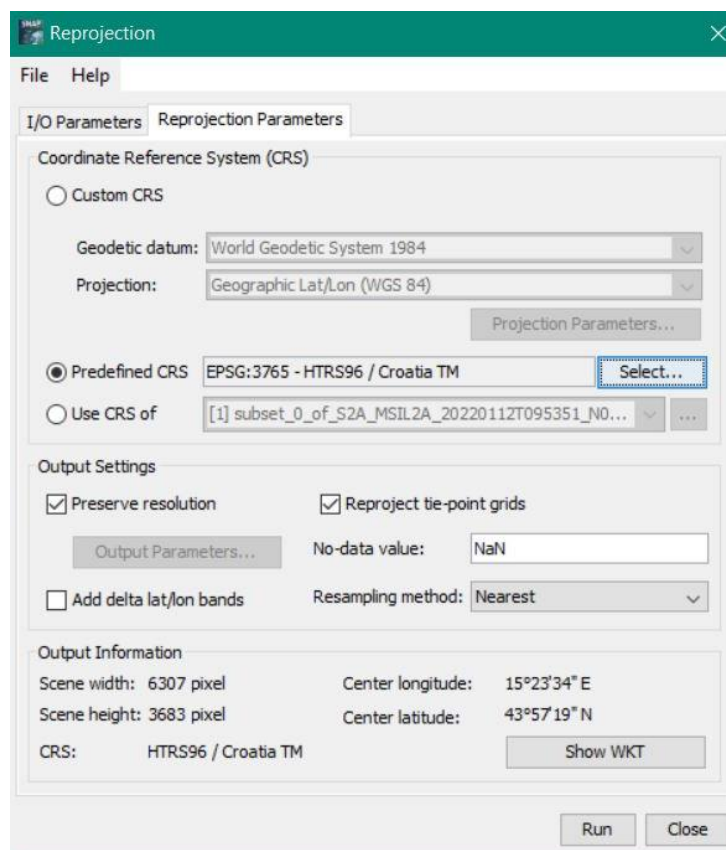


Slika 4.7 Metapodatci odabrane satelitske snimke (prikaz iz programa SNAP)

Odabrana satelitska snimka zahvaća vrlo veliko područje i prvo je potrebno izdvojiti područje koje pokriva list Drniš. Naredba *subset* to omogućava pomoću geografskih koordinata ili piksela, u ovom radu korištene su koordinate kutova OGK lista Drniš (slika 4.8). Kako bi se sada novonastala snimka svela na jedinstvenu prostornu rezoluciju koristi se naredba *resample*, u ovom radu odabrana je naredba *resampling by pixel resolution* (slika 4.9) sa najnižom mogućom rezolucijom od 10. Time je sada cijeli produkt stavljen u jednu rezoluciju. Kako bi snimku točno postavili u prostoru koristi se naredba *reproject* koja je transformirala snimku iz WGS84 geografskog sustava u HTRS96/TM geografski sustav (slika 4.10).

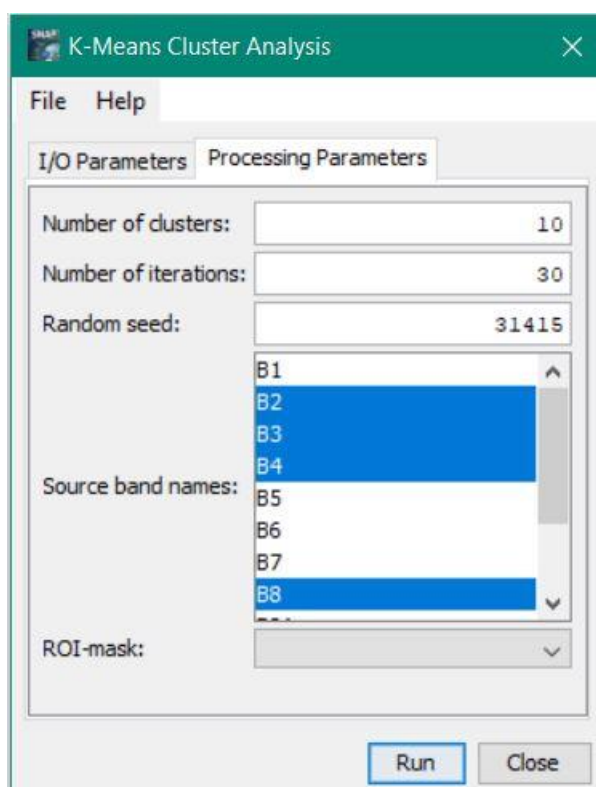


Slika 4.8 Desno - naredba *Subset* određena na koordinate OGK Drniš
Lijevo – novonastala *subset* verzija satelitske snimke
(prikaz iz programa SNAP)

Slika 4.9 Prikaz preuzet iz SNAP programa sa korištenim parametrima pri izvedbi naredbe *resample*Slika 4.10 Naredba *reproject* sa odabranim koordinatnim sustavom HTRS96/TM (prikaz iz programa SNAP)

Zadnji korak u SNAP programu je nenadzirna klasifikacija K-means algoritmom (eng. *K-means unsupervised classification*). Općenito, klasifikacija se odnosi na podjelu slike na određene grupe po sličnim karakteristikama ili specifikacijama. Metoda

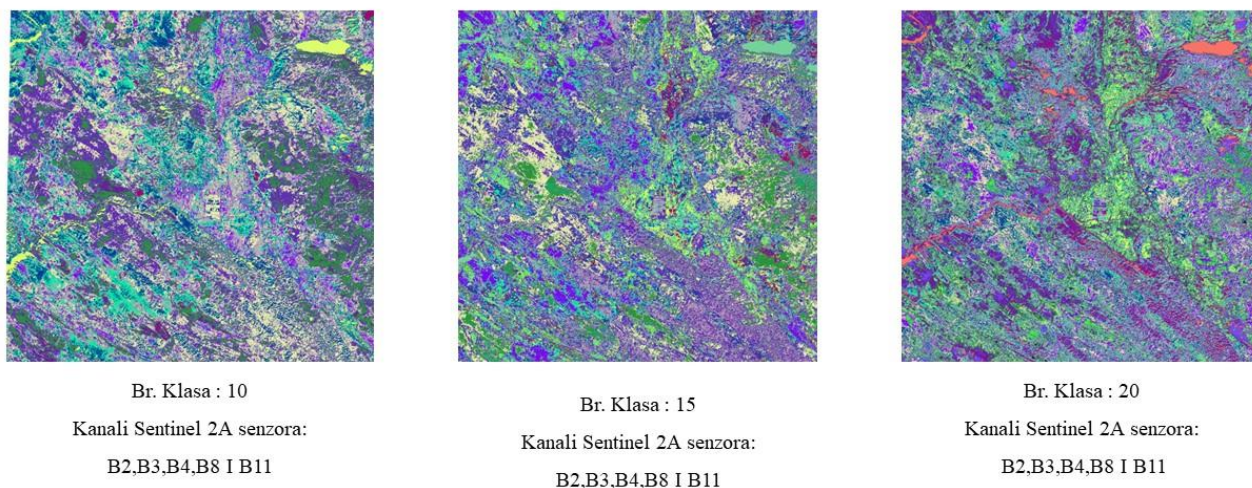
nenadzirne klasifikacije temelji se na klasifikaciji piksela u broj klasa koji korisnik zadaje, ali računalno ih samo kreira ovisno o brojčanom zapisu u podacima. Digitalna satelitska snimka klasificirana je pomoću K-means algoritma na 10, 15, 20 i 25 klasa za kanale 2, 3, 4, 8 i 11 Sentinel-2A senzora i za sve kanale (B1-12) Sentinel-2A senzora čime je dobiveno ukupno osam produkata (slika 4.11). Kako bi se dobivene klasificirane snimke mogle uspoređivati sa postojećim geološkim kartama potrebno ih je spremati (eng *export*) u GeoTIFF obliku datoteke (*other - view as image*). Sada se rasterski oblik klasificirane satelitske snimke dodaje u ArcGIS Pro-ov projekt u kojem se nalaze obrađeni radni listovi i OGK Drniš kao i napravljeni poligoni radi dalje usporedbe.



Slika 4.11 Prozor "K-means" nenadzirne klasifikacije određena na 10 klasa i kanale 2, 3, 4, 8 i 11 (prikaz iz programa SNAP)

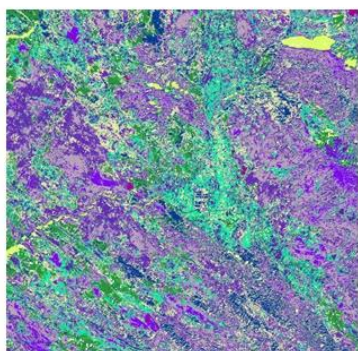
5. Rezultati

Na satelitskim snimkama zadanog područja okolice Drniša izvedeno je nekoliko nenadziranih klasifikacija kako bi se utvrdila najpovoljnija. Provedene su klasifikacije na temelju različitog broja klasa i prema različitim kanalima Sentinel 2A senzora.



Slika 5.1 Dobivene slike K-means klasifikacijom određene na B2,B3, B4,B8 i B11 kanale Sentinel 2A senzora
(prikaz iz programa SNAP)

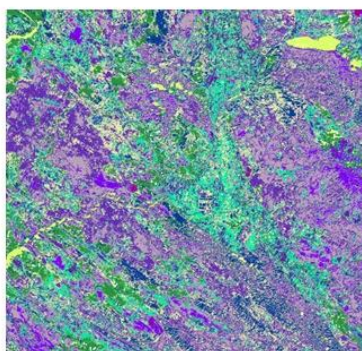
Na slici 5.1 (lijevo) prikazana je klasifikacija satelitske snimke na 10 klasa prema B2, B3, B4, B8 i B11 kanalima Sentinel 2A senzora, vidljive su granice, međutim pri ovoj klasifikaciji zbog manjeg broja klasa područje se čini jednolično i najviše se ističu vodene površine rijeka i jezera naznačeni svijetlo zelenožutom bojom. Na sredini je prikazana klasifikacija satelitske snimke na 15 klasa, zbog većeg broja klasa područje poprima relativno heterogeniji izgled iako su sve dalje neke litološke granice teže vidljive. Desna slika na slici 5.1 prikazuje klasifikaciju satelitske snimke na 20 klasa, područje je sada poprimilo upečatljivo raznolik oblik – vodene površine rijeka i jezera naznačene su crvenom bojom i jasno se vidi kuda prolaze i koje granice označuju, također je jasnije vidljiva granica između litoloških članova, naročito na područjima krških polja (Petrovo i Kosovo polje).



Br. Klasa : 10

Kanali Sentinel 2A senzora:

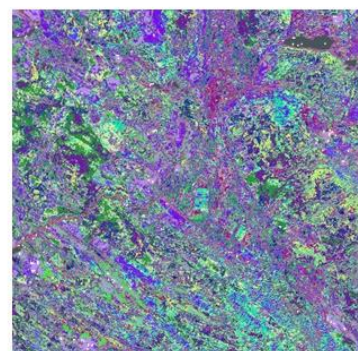
B1-12



Br. Klasa : 15

Kanali Sentinel 2A senzora:

B1-12



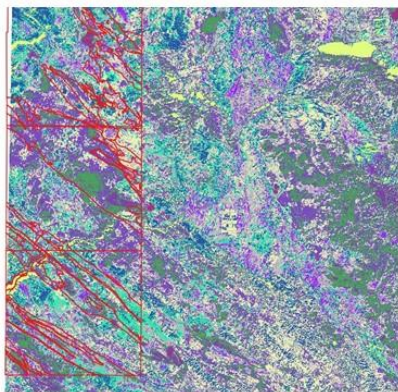
Br. Klasa : 20

Kanali Sentinel 2A senzora:

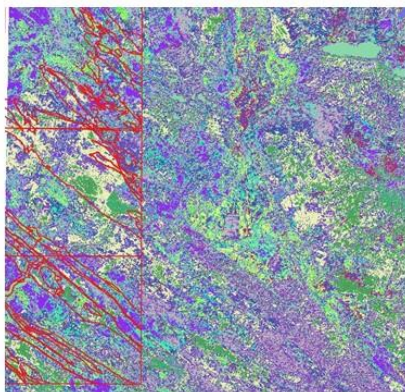
B1-12

Slika 5.2 Dobivene slike K-means klasifikacijom određene na B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11 i B12 kanale Sentinel 2A senzora
(prikaz iz programa SNAP)

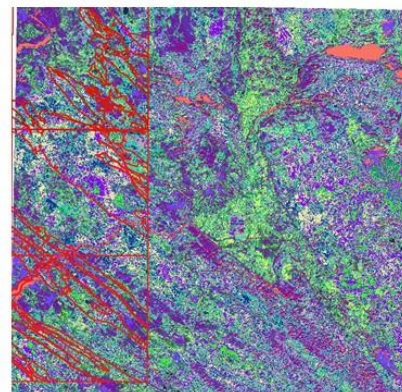
Na slici 5.2 (lijevo) prikazana je klasifikacija satelitske snimke na 10 klasa prema B1-B12 kanalima Sentinel 2A senzora, uočljive su razlike na području od krških polja prikazanih svijetloplavom bojom do vodenih površina svijetložuto obojanih, kao i moguće klastične naslage zelene boje. Na sredini je prikazana klasifikacija satelitske snimke na 15 klasa, između prijašnje klasifikacije na 10 klasa nije vidljiva zamjetna razlika. Desna slika prikazuje klasifikaciju satelitske snimke na 20 klasa, dobivena slika je nepregledna i teško su uočljive granice te ju nije moguće koristiti za određivanje geoloških granica.



Br. Klasa : 10
Kanali Sentinel 2A senzora:
B2,B3,B4,B8 i B11



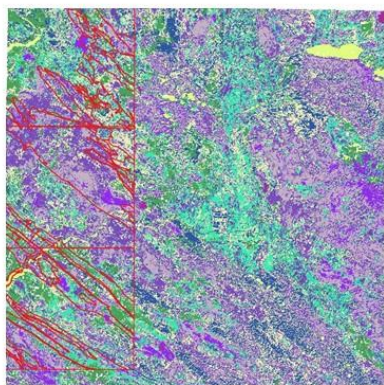
Br. Klasa : 15
Kanali Sentinel 2A senzora:
B2,B3,B4,B8 i B11



Br. Klasa : 20
Kanali Sentinel 2A senzora:
B2,B3,B4,B8 i B11

Slika 5.3 Dobivene slike K-means klasifikacijom određene na B2,B3, B4,B8 i B11 kanale Sentinel 2A senzora sa ucrtanim granicama poligona za radne listove Oklaj, Širitovci i Konjevrate
(slike preuzete iz ArcGIS Pro)

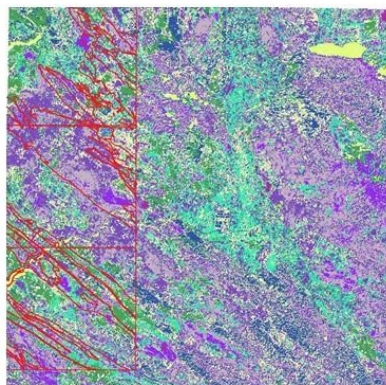
Na slici 5.3 (lijevo) prikazana je klasifikacija satelitske snimke na 10 klasa prema B2, B3, B4, B8 i B11 kanalima Sentinel 2A senzora sa ucrtanim granicama poligona (crveno) za radne listove Oklaj (gore), Širitovci (sredina) i Konjevrate (dolje). Slika na sredini prikazuje klasificiranu satelitsku snimku na 15 klasa sa ucrtanim granicama poligona. Desna slika prikazuje klasificiranu satelitsku snimku na 20 klasa sa ucrtanim granicama poligona.



Br. Klasa : 10

Kanali Sentinel 2A senzora:

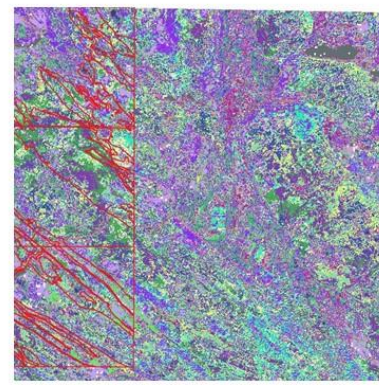
B1-12



Br. Klasa : 15

Kanali Sentinel 2A senzora:

B1-12



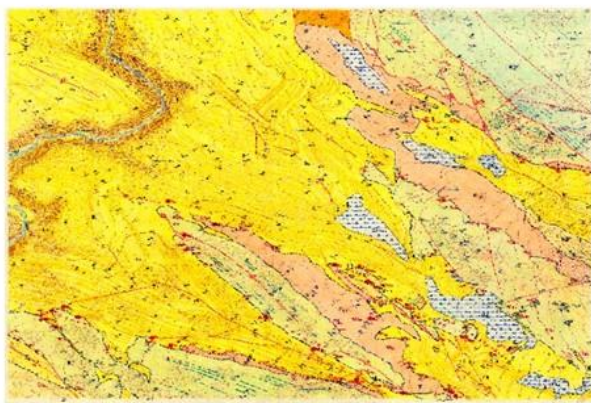
Br. Klasa : 20

Kanali Sentinel 2A senzora:

B1-12

Slika 5.4 Dobivene slike K-means klasifikacijom određene na B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11 i B12 kanale Sentinel 2A senzora sa ucrtanim granicama poligona za radne listove Oklaj, Širitovci i Konjevrate
(slike preuzete iz ArcGIS Pro)

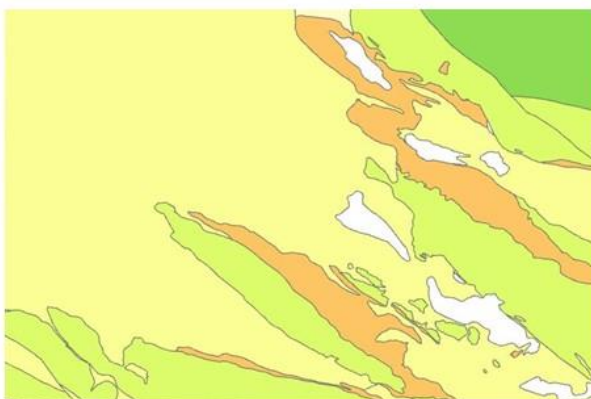
Na slici 5.4 (lijevo) prikazana je klasifikacija satelitske snimke na 10 klasa prema B1-B12 kanalima Sentinel 2A senzora sa ucrtanim granicama poligona (crveno) za radne listove Oklaj (gore), Širitovci (sredina) i Konjevrate (dolje). Slika na sredini prikazuje klasificiranu satelitsku snimku na 15 klasa sa ucrtanim granicama poligona. Slika u desnom kutu prikazuje klasificiranu satelitsku snimku na 20 klasa sa ucrtanim granicama poligona.



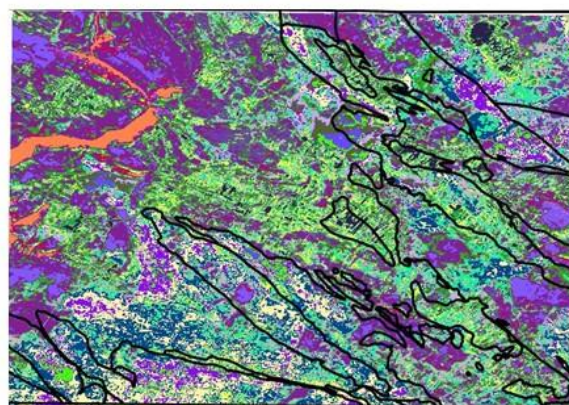
Radni list Oklaj 1:25 000



Područje lista Oklaj na OGK Drniš 1:100 000



Digitalizirani radni list Oklaj u mjerlinu 1:25 000



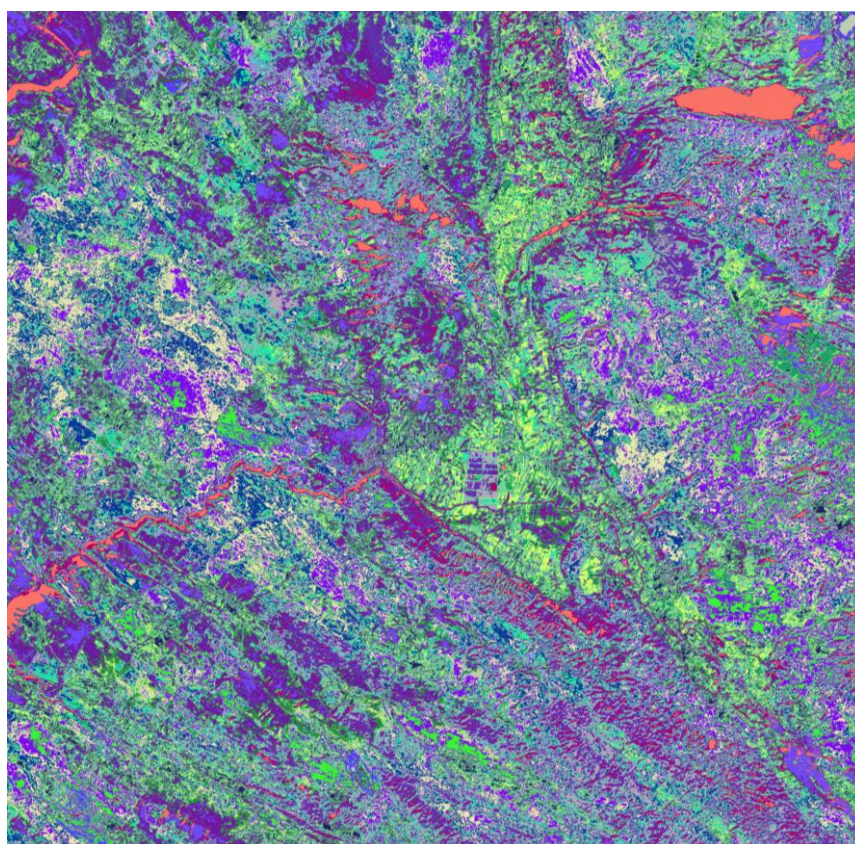
K means klasifikacija na 20 klasa prema kanalima 2,3,4,8 i 11

Slika 5.5 Primjer primijenjenih koraka i metoda na području radnog lista Oklaj
(prikaz modificiran i slike preuzete iz ArcGis Pro i SNAP programa)

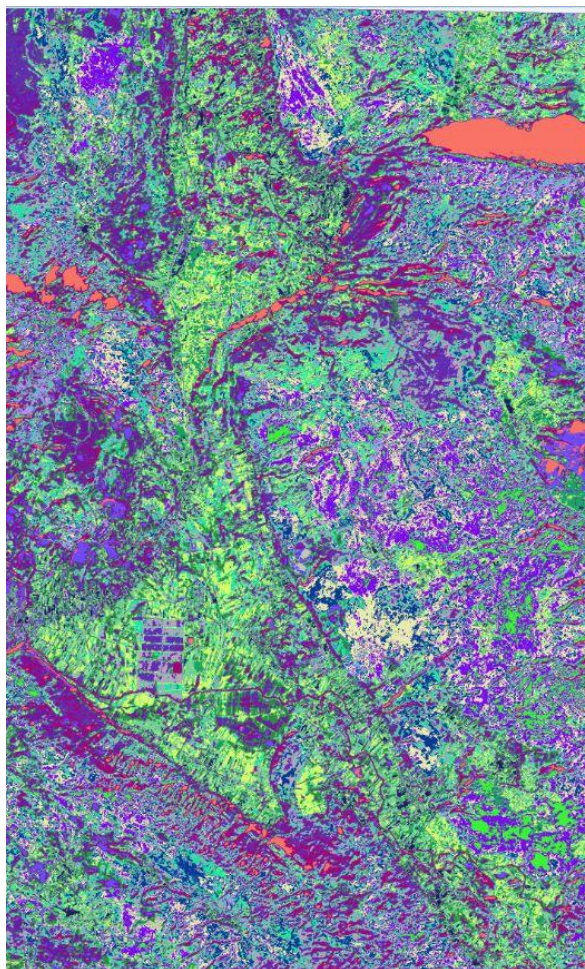
Slika 5.5 prikazuje ukratko korake u izradi ovog rada. Gornje dvije slike su radni list Oklaj (lijevo) i isječak područja radnog lista Oklaj s obzirom na OGK Drniš (desno). Tu je moguće opaziti detaljni prikaz granica i naslaga na radnom listu u usporedbi sa istim područjem na OGK. Slika u donjem lijevom kutu prikazuje digitalizirano područje radnog lista, nakon iscrtavanja poligona i bojanja istih poligona u boje prema OGK Drniš. U donjem desnom kutu vidljivo je isto područje sada preklopljene klasificirane snimke nenadzirnom K-means klasifikacijom na 20 klasa prema B2, B3, B4, B8 i B11 kanalima Sentinel 2A senzora i iscrtanih granica poligona, odnosno kronostratigrafskih jedinica.

6. Rasprava

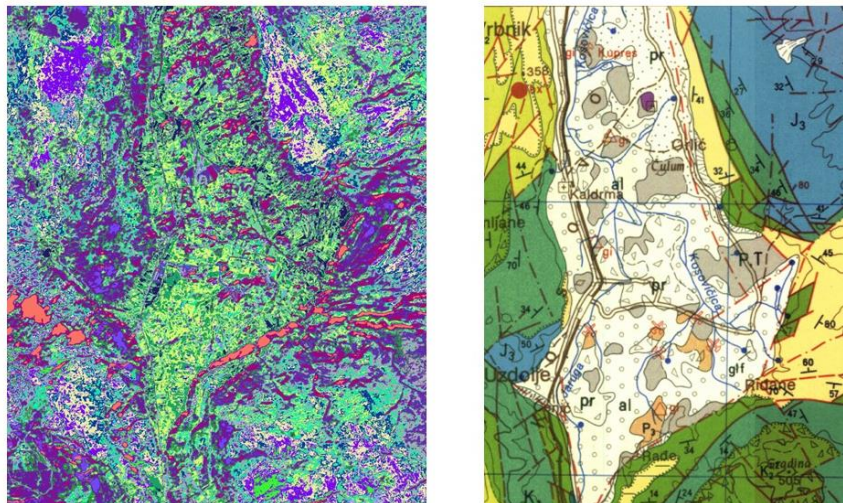
Promatrajući dobivene rezultate prvo je uočljivo da nenadzirna klasifikacija lako određuje vodene površine pa se tako na slici 6.1 crvenom bojom se mogu uočiti naznačene rijeke Krka i Čikola kao i Peručko jezero. Kao što je prije spomenuto područje okolice Drniša je većinom karbonatnog sastava i na slici 6.1 ističu se ljubičasto-plavom bojom. Sljedeća upečatljiva jedinica su kvartarni nanosi na području Petrovog i Kosovog polja naznačeni zelenom bojom (slika 6.2). Prema literaturi ispod tih kvartarnih nanosa nalaze se prije spomenuti evaporiti. Analizom područja Kosovog polja vidljivo je kako je K-means algoritam izdvojio i manje, nekvartarne segmente unutar polja klasificirajući ih u drugu grupu (slika 6.3) što uspoređujući ih sa OGK Drniš potvrđuje preciznost metode. Manji, izdvojeni segmenti su permotrijski klastiti i šupljikave breče. Također, dodatnu preciznost i točnost klasifikacije pokazuje i manji segment jurskih vapnenaca koji izdanjuje na rubu Petrovog polja i vidljivo je naznačen drukčijom bojom na klasificiranim snimkama (slika 6.4).



Slika 6.1 K-means klasifikacija na 20 klasa prema kanalima B2, B3, B4, B8 i B11 Sentinel-2A senzora
(prikaz iz programa SNAP)

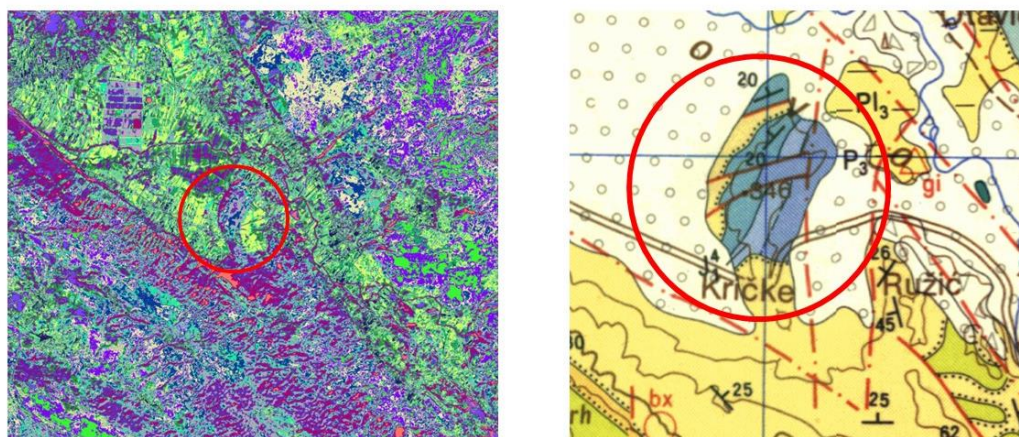


Slika 6.2 Isječak prethodne slike 6.1 na kojem su vidljiva Petrovo i Kosovo polje naznačena zelenom bojom
(izrezano prikaz iz programa SNAP)



Slika 6.3 Usporedba isječaka dobivene klasificirane satelitske snimke (lijevo) i OGK Drniš (desno) na kojoj su vidljivi manji segmenti drukčije litologije unutar Kosovog polja

(lijeva slika prikaz iz programa SNAP, desna isječak OGK Drniš – Ivanović et. al 1977)

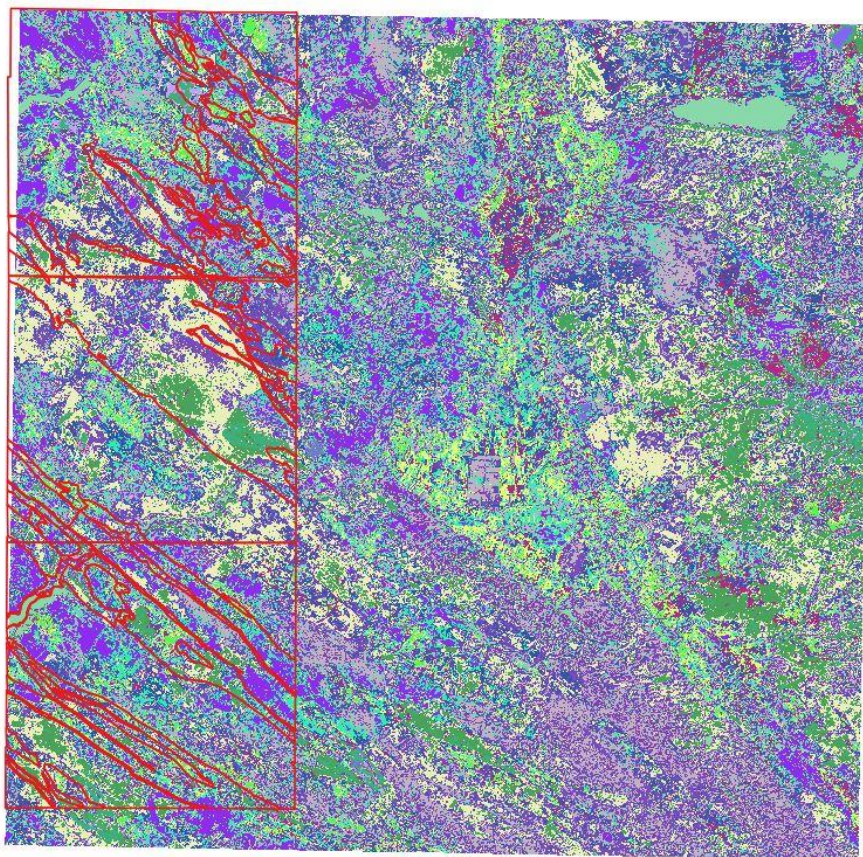


Slika 6.4 Usporedba izdanka jurskih vapnenaca unutar Petrovog polja na klasificiranoj snimci (desno) i isto područje kartirano na OGK Drniš (lijevo)

(lijeva slika prikaz iz programa SNAP, desna isječak OGK Drniš – Ivanović et. al 1977)

U svrhu promatranja preciznosti dobivenih geoloških granica nenadzirnom klasifikacijom K-means pomnije su promatrani radni listovi Okalj, Širitovci i Konjevrate (slika 6.5). Promatrajući dobivene rezultate vidljivo je kako u nekim slučajevima granice nisu toliko različite, međutim bila bi sigurno potrebna terenska provjera koja u svrhu izrade ovog završnog rada nije izvedena. Područje OGK Drniš kartirano je prema kronostatigrafskim jedinicama dok se klasifikacija bazira na različitoj litologiji i to je potrebno uzet u obzir. Dok se na nekim mjestima granice ne poklapaju izrazito precizno treba uzeti u obzir kako je moguće da se radi o istoj litologiji. Primjer toga mogu biti

kredni i eocenski vapnenci, iako drukčije starosti klasificirani su u istu grupu zbog istog litološkog sastava.



Slika 6.5 Klasificirana satelitska snimka (K-means nenadzirna klasifikacija na 20 klasa prema kanalima B2, B3, B4, B8 i B11 Sentinel-2A senzora) sa naznačenim iscrtanim granicama listova Oklaj, Širitovci i Konjevrate
(prikaz preuzet iz ArcGIS Pro)

Dok je u ovom radu korištena samo jedna vrsta algoritma nenadzirne klasifikacije, postoje i mnoge druge. Bilo bi potrebno na istom području ponoviti nekoliko vrsta klasifikacije kako bi se ustanovile prednosti i mane pojedine, te kako bi se pronašao najpovoljniji način za promatrano područje. Budući da se radi o karbonatnim naslagama određena istraživanja pozivaju na dodatne predkorake pri samom daljinskom snimanju kako bi se preciznije mogle odvojiti vrste vapnenaca, međutim u ovom radu bile su korištene samo već dostupne, besplatne satelitske snimke.

7. Zaključak

Kroz ovaj rad dan je primjer novog pristupa geološkom kartiranju i istraživanju mineralnih sirovina na području Drniša. Skenirane karte OGK Drniš 1:100 000 i radni listovi za područje Drniša 1:25 000 izrezane su u programu PhotoFilter7 i indeksirane na 256 boja, te spremljene u TIFF obliku. Za njihovu daljnju obradu unutar spomenutih programa, ArcGIS Pro i SNAP, bilo ih je potrebno digitalizirati. Nakon digitalizacije i georeferenciranja iscertani su poligoni prema kronostratigrafskim jedinicama i kreirane su atributne tablice. U SNAP-u su satelitske snimke pribavljene od ESA-e predobrađene i metodom nenadzirne K-menase klasifikacije klasifikacijane na nekoliko načina, kako bi se mogla izabrati najpovoljnija verzija. Dobivenih šest snimaka razlikuje se prema broju klasa i prema kanalima Sentinel-2A senzora koja su im određena. Snimke su analizirane i uspoređene sa granicama na OGK Drniš i radnim listovima. Uzeto je u obzir kako su granice lista OGK Drniš iscertane prema kronostratigrafskim jedinicama, dok je cilj ovakve klasifikacije litološka podjela. Korelacijom je utvrđeno da je klasifikacija uspješno odvojila vodene površine, kvartarne nanose i karbonatne naslage, te se dobivene granice dovoljno dobro podudaraju sa granicama prošlih karata. Nadalje, opažaju se moguća nalazišta starijih, evaporitnih nalaga unutar Petrovog i Kosovog polja. Zaključuje se kako je primjenom metoda daljinske detekcije moguće do određene točnosti provoditi geološka istraživanja u svrhu kartiranja kao i pronalaska mineralnih ležišta. U trenutnoj fazi sve dalje je potrebna terenska provjera kako bi se ustanovila točnosti i preciznost algoritma. Svedeno, zbog prije spomenutih prednosti primjena metoda daljinske detekcije, poput brzine i velike površine koju je moguće pokriti, postaje ključan alat u budućnosti geoloških istraživanja.

8. Literatura

- BALLING, P., TOMLJENović, B., SCHMID, S.M., USTASZEWSKI, K. (2021): Contrasting along-strike deformation styles in the central external Dinarides assessed by balanced cross-sections: Implications for the tectonic evolution of its Paleogene flexural foreland basin system.– *Global and Planetary Change*, 205, 103587.
- BOOYSEN, R., JACKISCH, R., LORENZ, S., ZIMMERMANN, R., KIRSCH, M., NEX, P.A.M., GLOAGUEN, R. (2020): Detection of REEs with lightweight UAV-based hyperspectral imaging.– *Scientific Reports*, 10, 17450.
- DECELLES, P.G., GILES, K.A. (1996): Foreland basin systems.– *Basin Research*, 8, 105–123.
- GABRIĆ, A., ŠINKOVEC, B., SAKAČ, K., KULJAK, G. (2002): Ležišta gipsa u republici Hrvatskoj.– *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 14, 21-36.
- IVANOVIĆ, A., SIKIRICA, V., MARKOVIĆ, S., SAKAČ, K. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Drniš.– Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- IVANOVIĆ, A., SIKIRICA, V., MARKOVIĆ, S., SAKAČ, K. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Drniš.– Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- LUŽAR-OBERITER, B. (2020): Računalni programi u geologiji, Izvori Podataka: Daljinska detekcija.– Powerpoint prezentacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- PENCINGER, V., LUKŠIĆ, B. (2004): Geološka prospekција gipsnih naslaga okolice Srba, Petrova polja i područja Vrlike.– Neobjavljeni izvještaj, Institut za geološka istraživanja - Zagreb, Zavod za mineralne sirovine, 16 str.
- SCHMID, S.M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M., USTASZEWSKI, K. (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units.– *Swiss Journal of Geosciences*, 101, 139–183.

SCHMID, S.M., FÜGENSCHUH, B., KOUNOV, A., MATENCO, L., NIEVERGELT, P., OBERHÄNSLI, R., PLEUGER, J., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TOMLJENović, B., USTASZEWSKI, K., VAN HINSBERGEN, D.J.J. (2020): Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey.– *Gondwana Research*, 78, 308–374.

ŠUŠNJARA, A., Sakač, K., Jelen, B., Gabrić, A. (1992): Upper Permian Evaporites and Associated Rocks of Dalmatia and Borderline Area of Lika and Bosnia.– *Geologia Croatica*, 45, 95-114.

TIŠLJAR, J. (1992): Origin and Depositional Environments of the Evaporite and Carbonate Complex (Upper Permian) from the Central Part of the Dinarides (Southern Croatia and Western Bosnia).– *Geologia Croatica*, 45, 115-126.