

# Analiza požara u Grebašćici primjenom daljinskih istraživanja

---

Trninić, Veronika

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:815959>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

**Završni rad br. 007/GIG/2024**

## **Analiza požara u Grebaštici primjenom daljinskih istraživanja**

**Veronika Trninić, 0336054623**

Varaždin, lipanj 2024. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Geodeziju i geomatiku

Završni rad br. 007/GIG/2024

## Analiza požara u Grebašćici primjenom daljinskih istraživanja

**Student**

Veronika Trninić, 0336054623

**Mentor**

doc. dr. sc. Olga Bjelotomić Oršulić, dipl. ing. geod.

Varaždin, lipanj 2024. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za geodeziju i geomatiku		
STUDIJ	Sveučilišni prijediplomski studij geodezije i geomatike		
PRISTUPNIK	Veronika Trninić	MATIČNI BROJ	0336054623
DATUM	03.07.2024.	KOLEGIJ	Daljinska istraživanja
NASLOV RADA	Analiza požara u Grebaštici primjenom daljinskih istraživanja		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Analysis of Grebaštica fire using remote sensing		

MENTOR	Olga Bjelotomić Oršulić	ZVANJE	Docent, znanstveni suradnik
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Doc.dr.sc. Sanja Šamanović - Predsjednica povjerenstva		
	2. Doc.dr.sc. Olga Bjelotomić Oršulić - mentorica		
	3. Doc.dr.sc. Nikola Kranjčić - član		
	4. izv.prof.dr.sc. Danko Markovinović - zamjenski član		
	5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ	007/GIG/2024
OPIS	Cilj završnog rada je detaljno analiziranje požara u Grebaštici korištenjem Sentinel-2 satelitskih snimki prije i poslije požara. Obrada snimki napravljena je u QGIS-u. Analiza požara obuhvatila je izračun tri vegetacijska indeksa (NDVI, EVI i NBR). Na kraju je provedena analiza rezultata te vizualiziran obuhvat područja zahvaćenog požarom.

ZADATAK URUČEN 13.4.2024.



POTPIS MENTORA

*Besna Lc Oršulić*



## IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Veronika Trninić pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog rada pod naslovom

Analiza požara u Grebaštici primjenom daljinskih istraživanja te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(Veronika Trninić)

(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

# Zahvala

Želim se iskreno zahvaliti svima koji su doprinijeli izradi ovog rada, ali i svima koji su mi bili podrška na obrazovnom putu.

Posebnu zahvalnost dugujem svojoj obitelji koja mi je omogućila obrazovanje i u svakom trenutku vjerovala u mene pružajući mi motivaciju i ohrabrenje kada mi je bilo najteže.

Veliku zahvalnost želim izraziti prijateljicama koje su mi pružale veliku podršku i vjerovale u mene. Zahvaljujem se i kolegicama na vrijednoj razmjeni znanja, smijehu i podršci u teškim i stresnim trenucima.

Također, zahvaljujem se i dečku Mateju na strpljenju, motivaciji i podršci koja mi je pomogla da svladam sve probleme.

S dubokim poštovanjem, iskrenu zahvalu želim izraziti mentorici Olgi Bjelotomić Oršulić na stručnosti, motivaciji i savjetima koji su bili ključni za uspjeh ovog rada.

Hvala svima od srca što ste bili uz mene i što ste mi pružali podršku tijekom mog obrazovnog putovanja.

## Sažetak

Naselje u Šibensko-kninskoj županiji, Grebaštica je zahvatio veliki požar 13. srpnja 2023. godine i time ostavio materijalnu štetu na obližnjim kućama i automobilima, kao i veliku štetu na okoliš. U ovom radu analizirano je područje Grebaštice prije i poslije požara kako bi se izračunao obuhvat opožarenog područja, ali i intenzitet samog požara koristeći Sentinel-2 satelitske snimke i QGIS softver.

Za analizu požara korištena su tri vegetacijska indeksa: vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI), poboljšani vegetacijski indeks (EVI) te normalizirani indeks sagorijevanja (NBR). Niske vrijednosti ovih indeksa ukazuju na značajno oštećenje vegetacije i tla. Analiza je pokazala da je NBR indeks najučinkovitiji u detekciji požara zbog refleksivnosti vegetacije u bliskom infracrvenom i kratkovalnom infracrvenom području spektra elektromagnetskog zračenja, dok se NDVI indeks pokazao najmanje učinkovitim u prikazu opožarenog područja.

Za izračun površine opožarenog područja izračunat je dodatni vegetacijski indeks, delta normalizirani indeks sagorijevanja (dNBR ili  $\Delta$ NBR). Također, pomoću  $\Delta$ NBR indeksa je ukazano na različite razine oštećenja i opasnosti od požara. Korištenjem ovog indeksa u kombinaciji s administrativnom granicom Grebaštice, izračunata je površina opožarenog područja koja iznosi 642 hektara.

Ovaj rad prikazuje postupak preuzimanja satelitskih podataka te njihovu obradu i primjenu u analizi požara. Rezultati ovog rada pokazuju opseg područja zahvaćenog požarom te važnost primjene daljinskih istraživanja u upravljanju kriznim situacijama.

Ključne riječi: EVI, Grebaštica, NBR,  $\Delta$ NBR, NDVI, Sentinel-2, požar, QGIS



## Abstract

On July 13, 2023, a major fire struck the settlement of Grebaštica in the Šibenik-Knin County, causing material damage to nearby houses and cars and significant environmental harm. This study analyzes the Grebaštica area before and after the fire to calculate the extent of the burned area and the intensity of the fire using Sentinel-2 satellite images and QGIS software. Three vegetation indices were used for the fire analysis: the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Enhanced Vegetation Index (EVI), and the Normalized Burn Ratio (NBR). Low values of these indices indicate significant damage to vegetation and soil. The analysis revealed that the NBR index is the most effective in detecting fires due to vegetation reflectance in the electromagnetic spectrum's near-infrared and shortwave infrared regions.

In contrast, the NDVI index was the least effective in displaying the burned area. A supplementary vegetation indicator called the Delta Normalized Burn Ratio (dNBR or  $\Delta$ NBR) was calculated to determine the extent of the burned area. The  $\Delta$ NBR index also denoted varying degrees of damage and fire risk. The burned area of 642 hectares was determined by integrating this index with the administrative boundaries of Grebaštica. This study demonstrates the simplicity of acquiring and utilizing satellite data and its potential impact on future fire management strategies. Moreover, this study demonstrates the extent and hazards that fire imposes on plants, soil, and the well-being of individuals and animals in fire-impacted regions, offering the potential for enhanced and targeted fire management.

Keywords: EVI, Grebaštica, NBR,  $\Delta$ NBR, NDVI, Sentinel-2, fire, QGIS.

## Popis korištenih kratica

<b>EMR</b>	Elektromagnetsko zračenje
<b>RADAR</b>	Radio Detection and Ranging Uređaj za određivanje udaljenosti radiovalovima
<b>LiDAR</b>	Light Detection and Ranging Uređaj za lasersko skeniranje
<b>Sonar</b>	Sound navigation and ranging Uređaj za određivanje udaljenosti pomoću zvuka
<b>ESA</b>	Europska Svemirska Agencija
<b>LEO</b>	Niska Zemljina orbita
<b>MEO</b>	Srednja Zemljina orbita
<b>GEO</b>	Geostacionarna orbita
<b>SSO</b>	Sunčevo-sinkrona orbita
<b>GTO</b>	Geostacionarna prijenosna orbita
<b>MSI</b>	Multispektralni instrument
<b>NIR</b>	Blisko infracrveno zračenje
<b>SWIR</b>	Kratkovalno infracrveno zračenje
<b>NDVI</b>	Vegetacijski indeks normalizirane razlike
<b>EVI</b>	Poboljšani vegetacijski indeks
<b>NBR</b>	Normalizirani indeks sagorijevanja
<b>dNBR</b>	Delta normalizirani indeks sagorijevanja
<b>NIPP</b>	Nacionalna infrastruktura prostornih podataka
<b>USGS</b>	United States Geological Survey Američki geološki zavod
<b>HTRS96</b>	Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1995.55 Službeni koordinatni sustav Republike Hrvatske

# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Primjena daljinskih istraživanja u kriznim situacijama požara.....	3
2.1.	Sentinel-2 .....	5
3.	Analiza požara 13.7.2023. ....	8
3.1.	Područje analize .....	8
3.2.	Metodologija .....	9
3.2.1.	<i>Preuzimanje satelitskih Sentinel-2 podataka.....</i>	<i>9</i>
3.2.2.	<i>Predprocesuiranje snimki.....</i>	<i>11</i>
3.2.3.	<i>Izračun vegetacijskih indeksa.....</i>	<i>13</i>
3.2.4.	<i>Analiza opožarenog područja .....</i>	<i>14</i>
4.	Rezultati .....	17
5.	Zaključak.....	25
6.	Literatura.....	26

# 1. Uvod

Posljednjih godina svjedoci smo sve intenzivnijih klimatskih promjena koja se u mediteranskom dijelu Republike Hrvatske očituju kroz povećanu učestalost požara na otvorenim prostorima. Požari na otvorenim prostorima su najčešće požari raslinja. Prema Stipaničevu [1], požar raslinja je svako nekontrolirano gorenje vegetacije na otvorenom prostoru. Požari na otvorenim prostorima imaju vrlo negativne posljedice na kvalitetu vode, tla, ali i krajolika. Kisić i dr. [4] navode da uz posljedice izravno vezane za požare, kao što su promjene vegetacije te fizikalna, kemijska i mikrobiološka svojstva tla, događaju se i neizravne posljedice koje su vezane uz pojave erozije uzrokovane pojavom vjetra i vode, te pojava klizišta. Hrvatska se ubraja među države s visokim rizikom od požara na otvorenom, a posebno u mediteranskom dijelu zemlje [1]. Visoki rizik od požara rezultat je sušnih i vrlo toplih ljeta, kao i snažnih vjetrova. Također, prirodna obilježja pridonose brzom zapaljivosti i širenju požara. Nedostatak slatkovodnih resursa za gašenje požara pridonose ubrzanom smanjenju kvalitete tla.

U razdoblju od 1996. do 2021. godine na Mediteranu je zabilježeno 115 000 požara na otvorenim prostorima. Godišnji prosjek požara u Republici Hrvatskoj je, između 1980. i 1989. godine, iznosio 667 požara otvorenog prostora [4]. U razdoblju od 2006. do 2021. godine, prosjek požara godišnje iznosi 2 541. U 2021. godini požara na otvorenom prostoru bilo je 8 146, dok je taj broj u 2022. godini narastao na 10 110, odnosno broj požara je narastao za 24.11% [12].

Uzrok požara na otvorenom je najčešće nemar ljudi te nekontrolirano korištenje otvorenog plamena, kao što su korištenje roštilja, spaljivanje suhe trave, bacanje opušaka cigareta i dr. Da bi se smanjila učestalost požara izazvana ljudskim faktorom, u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 1. lipnja do 31. listopada postoji zabrana paljenja vatre na otvorenom.

U svom radu Balen i dr. [5] naglašavaju kako požari svake godine uzrokuju brojne smrtne slučajeve, kao i velike materijalne gubitke. Također, govore o tome da su prevencija i rano otkrivanje požara od velike važnosti kako bi se štetni utjecaji požara sveli na minimum.

Grebašticu, naselje smješteno u Šibensko-kninskoj županiji, 13. srpnja 2023. godine pogodio je veliki požar. Vatra se vrlo brzo proširila, a zahvatila je nisko raslinje, borovu šumu, makiju, travu te naposljetku i obližnje kuće i automobile. U gašenju požara sudjelovali su vatrogasci iz nekoliko vatrogasnih postrojbi, kao i protupožarni zrakoplovi. Nakon pet dana, 18. srpnja 2023. godine požar je ugašen velikim naporima vatrogasaca.

Ovaj rad obuhvaća analizu požara u Grebašticu 13. srpnja 2023. godine primjenom daljinskih istraživanja. Za analizu požara korištene su snimke Sentinel-2 satelita Copernicus programa Europske svemirske agencije. Satelitske snimke potrebne za analizu požara preuzete su besplatno s Copernicus Data Space Ecosystem stranice. Visoka rezolucija satelitskih snimki iz Sentinel-2

misije omogućuju detaljno praćenje promjena na tlu pa su preuzete snimke prije i poslije požara. Vegetacijski indeksi koriste se za procjenu štete i uvid u opožareno područje te je u ovom radu napravljena usporedba tri vegetacijska indeksa. Primjenom vegetacijskih indeksa omogućena je procjena zdravlja vegetacije. Za obradu satelitskih snimki i izračun vegetacijskih indeksa korišten je najpopularniji besplatni softver, QGIS. Njime je omogućena napredna obrada i analiza požara.

Cilj ovog rada je detaljno analiziranje požara u Grebaštici korištenjem Sentinel-2 satelitskih snimki prije i poslije požara. Obrada u QGIS-u omogućila je izračun vegetacijskih indeksa (NDVI, EVI i NBR). Primjenom vegetacijskih indeksa istražen je intenzitet požara, kao i površina opožarenog područja. Usporedbom triju različitih vegetacijskih indeksa, omogućen je pregled najučinkovitijeg indeksa za detekciju i analizu požara. Također, jedan od ciljeva rada je i podizanje svijesti o opasnostima i posljedicama koje požari donose.

## 2. Primjena daljinskih istraživanja u kriznim situacijama požara

Fotografiranje iz balona je bio početak daljinskih istraživanja. Kamere su bile postavljene na balone kako bi snimile slike Zemljine površine s visine te je to bila prva metoda koja je omogućila pogled iz zraka. Napretkom zrakoplovstva, kamere su postavljane na zrakoplove što je bilo od velike važnosti vojsci. Razvojem tehnologije i istraživanja svemira, kao i unaprjeđenje vojske, senzori su se počeli postavljati na satelite čime je omogućeno prikupljanje informacija o površini Zemlje i atmosferi u vidljivom i nevidljivom dijelu spektra elektromagnetskog zračenja.

Daljinsko istraživanje (engl. *Remote Sensing*) je proces detekcije i praćenja fizičkih karakteristika nekog područja mjerenjem njegove reflektirane i emitirane radijacije s udaljenosti [13].

Prema Lapaineu,[6] daljinsko istraživanje je metoda prikupljanja i interpretacije informacija o udaljenim objektima bez fizičkog dodira s objektom. Daljinska istraživanja obuhvaćaju sve aktivnosti od snimanja, procesiranja, analiziranja i interpretiranja te dobivanja korisnih informacija iz podataka prikupljenih tim istraživanjima. Budući da se senzori postavljaju na satelite, zrakoplove i bespilotne letjelice te ne postoji direktan fizički kontakt s objektima. Tehnika prikupljanja informacija primjenom senzora koji se nalaze na satelitima zove se teledetekcija [6]. Senzori na satelitima snimaju površinu Zemlje u različitim valnim duljinama elektromagnetskog spektra što rezultira snimkama u vidljivim, infracrvenim i dugim područjima spektra elektromagnetskog zračenja (EMR). Snimke u različitim dijelovima elektromagnetskog spektra omogućuju prikupljanje mnoštvo informacija o Zemljinoj površini i atmosferi koje se mogu primijeniti kod kartiranja Zemljine površine, detekcije požara, detekcije vode i poplava, analize tla, mjerenje temperature i drugo.

Senzor na satelitu je instrument koji služi za prikupljanje podataka o atmosferi i površini Zemlje. Ovisno o načinu prikupljanja podataka, senzori se mogu klasificirati kao aktivni senzori i pasivni senzori. Aktivni senzori rade na principu snimanja objekata koristeći vlastiti izvor energije. Emitirani signal se reflektira od objekta od interesa te se signal pretvara u elektronički zapis. Reflektirani signal se zatim analizira, odnosno mjeri se intenzitet reflektiranog signala. Primjeri aktivnih senzora su: RADAR (Radio Detection and Ranging), LiDAR (Light Detection and Ranging) i Sonar (Sound Navigation and Ranging). Za razliku od aktivnih senzora, pasivni senzori nemaju vlastiti izvor energije već se oslanjaju na Sunčevu energiju ili termalno zračenje. Pasivni senzore bilježe reflektiranu Sunčevu svjetlost od objekata u različitim dijelovima elektromagnetskog spektra (vidljiva svjetlost, infracrveno zračenje, ultraljubičasto zračenje). Primjeri pasivnih senzora su optički senzori, odnosno fotografske kamere, termalni senzori, multispektralni i hiperspektralni senzori.

Sateliti su tijela koja se kreću oko drugog većeg objekta u svemiru, oko Zemlje ili drugog planeta. Na satelite djeluje gravitacija koja ih održava u orbiti. Postoje prirodni i umjetni sateliti [27]. Prirodni sateliti su nebeska tijela koja kruže oko planeta ili drugih objekata, kao što je Mjesec. Umjetni sateliti su objekti koje su napravili ljudi i lansirali ih u orbitu oko Zemlje ili nekog drugog nebeskog tijela. Orbite satelita su najčešće u obliku kružnice ili elipse, ali mogu biti i otvorene krivulje kao što su hiperbola ili parabola. Oblik orbite ovisi o brzini kojom će se satelit kretati. S porastom brzine kretanja satelita, orbita postaje izduženija te poprima oblik elipse. Postoje slučajevi gdje brzina satelita prelazi graničnu vrijednost te se tada orbita formira kao otvorena krivulja. Kada se dogodi takva situacija, objekt se više ne smatra satelitom, već svemirskom sondom jer se više ne nalazi u orbiti oko Zemlje. Orbita satelita određuje na kojoj će se visini iznad Zemlje nalaziti satelit. Prilikom odabira orbite potrebno je promisliti koja je namjena satelita, veličina područja pokrivanja, podatke koje prikuplja i slično. Postoji 5 vrsta satelita [15] klasificiranih po njihovim orbitama:

- **Sateliti niske Zemljine orbite (LEO)** –nalaze se na visini od 160 km do 1 500 km od površine Zemlje. Vrijeme jedne orbite iznosi između 90 i 120 minuta. Ova orbita se koristi kod satelita koji zahtijevaju visoku rezoluciju i brzu komunikaciju, kao što su sateliti za promatranje Zemlje.
- **Sateliti srednje Zemljine orbite (MEO)** –nalaze se na visini od 5 000 km do 20 000 km iznad Zemljine površine. Vrijeme jedne orbite je 12 sati. Najčešće se koriste kao navigacijski sateliti zbog stabilne orbite i velike pokrivenosti.
- **Sateliti geostacionarne orbite (GEO)** –nalaze se na visini od 36 000 km iznad površine Zemlje, odnosno iznad ekvatora. Sateliti se kreću sinkronizirano sa Zemljom pa je vrijeme jedne orbite je 24 sata. Zbog velike udaljenosti satelita od Zemlje, signal kasni te podatke nije moguće dobiti u realnom vremenu. Zbog toga se najčešće koriste kao meteorološki sateliti ili komunikacijski sateliti.
- **Sateliti sunčevo-sinkrone orbite (SSO)** – nalaze se na visini između 600 km i 800 km iznad Zemljine površine, a satelit se kreće od sjevera prema jugu. Prolaze svaki dan u isto vrijeme iznad istog dijela Zemlje, što je idealno za promatranje Zemlje i praćenje okoliša. Ovi se sateliti vrlo često koriste i kod nadzora i sprječavanja požara, poplava, problema krčenja šuma i slično.
- **Sateliti geostacionarne prijenosne orbite (GTO)** – nalaze se na visini do 35 786 km iznad Zemljine površine. Ova orbita služi kao prijelazna orbita za GEO satelite.

Osnovne vrste satelita su LEO, MEO i GEO te su prikazani na Slici 2.1., dok su SSO i GTO dodatne kategorije satelita.



Slika 2.1. Prikaz osnovnih orbita satelita [<https://eos.com/blog/satellite-constellation/>]

## 2.1. Sentinel-2

Sentinel-2 je misija Copernicus programa Europske svemirske agencije (ESA) u suradnji s Europskom komisijom. „ESA je Europska vrata u svemir i međunarodna organizacija s 22 države članice“ [17]. Sentinel-2 misija je osmišljena i dizajnirana za snimanje širokog pojasa s visokom rezolucijom te multispektralnim snimkama Zemlje. Sentinel-2 satelitski sustav razvio je industrijski konzorcij pod vodstvom tvrtke Astrium GmbH iz Njemačke, dok je tvrtka Astrium SAS iz Francuske razvila Multispektralni Instrument (MSI). Podaci prikupljeni Sentinel-2 satelitima su besplatno dostupni te omogućuju široku primjenu istraživanja i analiziranja Zemljine površine.

Sentinel-2 misija se sastoji od 2 satelita, Sentinel-2A i Sentinel-2B. Sateliti lete u istoj orbiti s faznom razlikom od  $180^\circ$ . Lansiranje satelita je izvršeno 2015. godine (Sentinel-2A) i 2017. godine (Sentinel-2B) u Kourou (Francuska Gvajana) pomoću European VEGA lansirne stanice. Svaki od satelita ima masu od otprilike 1.2 tone. Vijek trajanja satelita je oko 7 godina, dok su baterije i pogonska goriva osigurani za 12 godina rada. Sateliti se nalaze u sunčevo-sinkronoj orbiti na prosječnoj visini od 786 km, a orbitu održava pogonski sustav. Orbita ima nagib koji iznosi  $98.62^\circ$  te upravo to omogućuje dobru pokrivenost Zemljine površine. Sentinel-2 misija pokriva sve kopnene površine između  $56^\circ$  južne geodetske širine i  $82.8^\circ$  sjeverne geodetske širine te sve obalne vode do 20 km od obale. Sateliti se svakih 5 dana nalaze iznad istog područja na Zemlji. Na Slici 2.2. vidljiv je shematski prikaz jednog Sentinel-2 satelita.





Slika 2.2. Shematski prikaz Sentinel-2 satelita [18]

Ova misija koristi multispektralno snimanje visoke rezolucije. Sateliti su opremljeni Multispektralnim Instrumentom (MSI). MSI je optički teleskop koji koristi koncept metlice koja je zapravo senzor koji prikuplja slikovne podatke. MSI je pasivni senzor koji koristi sunčevu svjetlost reflektiranu od Zemlje. Reflektirana svjetlost se prikuplja, odnosno preusmjerava putem tri zrcala (M1, M2 i M3) na senzor. Vidno polje MSI teleskopa je široko 290 km. Senzor prikuplja podatke u 13 multispektralnih kanala rezolucije 60, 20 i 10 metara. Tablica 1 prikazuje detaljan opis svakog kanala Sentinel-2 misije.

Tablica 2.1 Prikaz multispektralnih kanala [19]

Kanali	Rezolucija [m]	Valna duljina [nm]	Širina pojasa [nm]	Opis
B1	60	443	20	Ultra plavi kanal, detekcija aerosoli
B2	10	490	65	Plavi kanal, razlikuje tlo i vegetaciju
B3	10	560	35	Zeleni kanal, razlikuje bistru i mutnu vodu, pomaže u isticanju ulja na vodenim površinama
B4	10	665	30	Crveni kanal, detektira suhu vegetaciju, koristan u prepoznavanju vegetacije
B5	20	705	15	Crveni rub, klasifikacija vegetacije
B6	20	740	15	Blisko infracrveni kanal (NIR), klasifikacija vegetacije
B7	20	783	20	Blisko infracrveni kanal (NIR), klasifikacija vegetacije

B8	10	842	115	Blisko infracrveni kanal (NIR), dobar za kartiranje obala i analizu vegetacije
B8A	20	845	20	Blisko infracrveni kanal (NIR), klasifikacija vegetacije
B9	60	940	20	Kratkovalno infracrveni kanal (SWIR), dobar za otkrivanje vodene pare
B10	60	1375	30	Kratkovalno infracrveni kanal (SWIR), detekcija cirusnog oblaka
B11	20	1610	90	Kratkovalno infracrveni kanal (SWIR), mjerenje sadržaja vlage u tlu i vegetaciji, razlikovanje snijega od oblaka
B12	20	2190	180	Kratkovalno infracrveni kanal (SWIR), mjerenje sadržaja vlage u tlu i vegetaciji, razlikovanje snijega od oblaka

Sentinel-2 misija, svojim širokim područjem prekrivanja i širokim vidnim poljem oba satelita pruža mogućnost sprječavanja, ali i praćenja požara. Visoka rezolucija Sentinel-2 MSI senzora omogućuje preciznu detekciju čak i malih požara što je izuzetno bitno kako bi se reagiralo na vrijeme. Prema Qi Zhang i dr., [11] u procesu detekcije požara posebno su važni B4, B11 i B12 kanali Sentinel-2 satelita jer se pokazalo da veliki aktivni požari imaju višu refleksiju gornjeg dijela atmosfere u SWIR kanalima. Također, apsorpcija vode utječe na refleksiju u SWIR kanalima, što ih čini vrlo osjetljivim na prisutnost vode u biljkama. Iz tog razloga refleksija mrtvih biljaka je puno viša u SWIR kanalima, dok u NIR kanalima imaju vrlo nisku refleksiju. Kako bi se spriječila mogućnost požara, važna je izrada karti opasnosti od požara, odnosno karta područja povećane mogućnosti od požara. Takve karte omogućuju prikaz važnih informacija za donošenje odluka u preventivnim mjerama ekoloških rizika. Karte bi također trebale sadržavati i vegetaciju. Karta rezultira prikazom različitih stupnjeva opasnosti od požara. Primjenom daljinskih istraživanja i Sentinel-2 MSI senzora moguće je koristiti multispektralne snimke za kartiranje vegetacije te procjenu opasnosti od požara, ali i analize i praćenja požara. Prema Georgius Zagalikis, [2] rezolucija Sentinel-2 satelitskih snimki od 20 m omogućuje otkrivanje požara do 30 ha. Nakon što je požar ugašen, Sentinel-2 ima ulogu u procjeni štete te planiranju oporavka područja koje je pogodio požar. Korištenjem multispektralnih podataka, moguće je izraditi kartu izgorenog područja primjenom vegetacijskih indeksa koji omogućuju bolje uočavanje područja koja je zahvatila vatra.

### 3. Analiza požara 13.7.2023.

#### 3.1. Područje analize

Grebaštica je naselje smješteno u Šibensko-kninskoj županiji. Podijeljeno na Gornju Grebašticu i Donju Grebašticu, a nalazi se u sklopu grada Šibenika. Nalazi se oko 14 kilometara južno od grada Šibenika, odnosno na  $43^{\circ}38'$  geografske širine i  $15^{\circ}59'$  geografske dužine. Okružena je poluotokom Vela Oštrica na sjeveru te otočićem Tmara na jugu. Rasprostire se na  $18 \text{ km}^2$ . Grebaštica je bogata mediteranskim raslinjem, borovom šumom te plažama šljunčanog tipa. Posjetitelje privlači čistoćom te brojim uvalama i plažama. Geografski položaj Grebaštice prikazan je na Slici 3.1.

Geografski položaj Grebaštice



Slika 3.1. Geografski položaj Grebaštice

Prema posljednjem popisu stanovništva, [28] u Grebaštici živi oko 900 stanovnika. Glavna grana gospodarstva je proizvodnja maslinovog ulja koje je poznato kao najkvalitetnije maslinovo ulje. Uz proizvodnju maslinovog ulja, važna grana gospodarstva je i ribarstvo. Ribari ulove oko 5 tona ribe godišnje, a ponajviše tunja i palamida. Grebaštica je i popularna destinacija za turiste koji vole mir i opuštanje.

O požaru u Grebaštici obaviješten je Županijski vatrogasni operativni centar Šibenik 13. srpnja 2023. godine oko 11 sati prijepodne. Na teren su izašla 33 vatrogasca s 12 vatrogasnih vozila.

Usljedi brzog širenja vatre, ubrzo su zatražena 3 kanadera. Požar se ubrzo približio i kućama zbog čega su 2 obitelji evakuirane, a ozlijeđena su bila 3 vatrogasca. Oko 150 vatrogasaca su, 13. srpnja, ostali na dežurstvu s 55 vatrogasnih vozila. Procijenjena površina opožarenog područja, prema službenom izvještaju Hrvatske vatrogasne zajednice [23], iznosi oko 600 hektara, a vatra je zahvatila nisko raslinje, travu, borovu šumu, makiju, kuće i automobile. Protupožarni zrakoplovi Canadair CL – 415, Air Tractor te AT 802 FireBoss bili su angažirani za gašenje požara te natapanjem terena kako bi se zaustavilo širenje požara. U gašenju požara sudjelovali su IVP Šibenik, JVP Šibenik, IVP Split, IVP Zadar, JVP Knin, JVP Vodice, DVD Grebaštica, DVD Primošten, DVD Šibenik, DVD Zablaće, DVD Bilice, DVD Drniš, DVD Brodarica-Krapanj, DVD Rogoznica te DVD Zaton. Požar je, 18. srpnja 2023. godine oko 21 sat, proglašen ugašenim.

## 3.2. Metodologija

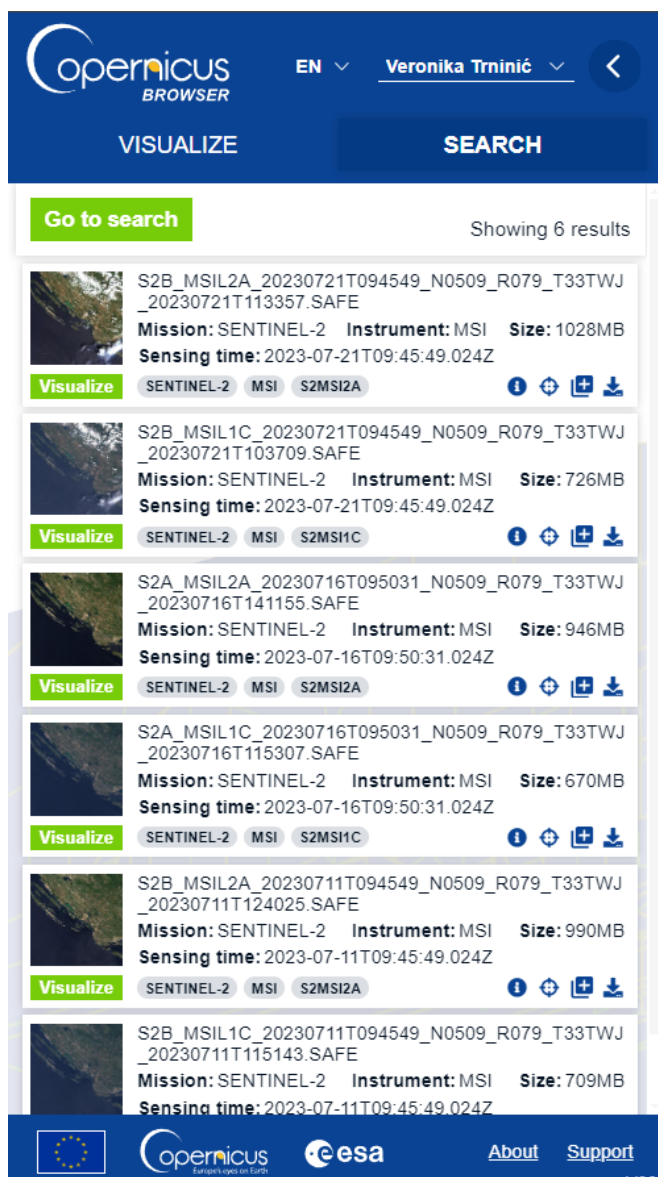
### 3.2.1. Preuzimanje satelitskih Sentinel-2 podataka

Potrebni podaci za analizu požara su multispektralne satelitske snimke Sentinel-2 satelita. Satelitske snimke su besplatno dostupne na stranici Copernicus Data Space Ecosystem [26]. Stranica sadrži podatke o budućim događanjima, kolekciji podataka, servisima i slično. Za pretragu potrebnih podataka potrebno je odabrati gumb „Explore Copernicus Browser“. Nakon toga se otvara korisničko sučelje Copernicus preglednika za pretragu satelitskih podataka koje je intuitivno za korištenje, kao što je prikazano na Slici 3.1. Preglednik sadrži preglednu kartu svijeta na kojoj se može pronaći željena lokacija. S lijeve strane nalazi se izbornik na kojemu se podešavaju parametri za pretragu snimki.



Slika 3.2. Korisničko sučelje Copernicus preglednika

Kako bi se pristupilo podacima, prvo je potrebna registracija korisnika. Moguće je pretražiti točno područje od interesa, ili proizvoljno uvećati prikaz. Uz pretragu i preuzimanje podataka, moguće je samo pregledavati površinu Zemlje na određeni datum. Podaci se preuzimaju na način da se prvo odabere misija, u ovom slučaju je to Sentinel-2. Postoji mogućnost i podešavanja pokrivenosti snimki oblacima, a najvažniji je odabir vremenskog razmaka. Vremenski razmak je podešen između 10. i 31.7.2023. te su snimke pretražene za područje Grebašnice. Pokrivenost oblacima podešena je na 30%. Važna je minimalna prekrivenost oblacima zbog vidljivosti opožarenog područja na snimci te kako bi se olakšala analiza podataka.



Slika 3.3. Prikaz dostupnih snimki

Na Slici 3.2. je prikazano koje su snimke dostupne na osnovu odabranih parametara. Moguće je vidjeti pojedinosti o svakoj snimci, ali i preuzeti samo pojedini podatak. Za potrebe ovog rada, preuzete su datoteke sa svim podacima. Preuzete snimke su snimljene 11. srpnja 2023. (prije požara) i 16. srpnja 2023. (poslije požara).

### 3.2.2. Predprocesuiranje snimki

Analiza i obrada podataka odrađena je korištenjem QGIS softvera (verzija 3.36.2-Maidenhead). To je besplatni softver koji se koristi za prikazivanje, uređivanje, analiziranje, upravljanje i vizualizaciju geoprostornih podataka. Podržava velik broj vektorskih (Shapefile, GeoPackage i dr.) i rasterskih formata (JPEG, GeoTIFF i dr.). Također, postoji i velik broj dodataka (engl. *plugins*) koji se mogu instalirati kako bi omogućili dodatne opcije uređivanja i analiziranja podataka. Instalacija dodataka je vrlo jednostavna i brza. Potrebno je na alatnoj traci odabrati gumb „Plugins“ te nakon što se otvori padajući izbornik potrebno je odabrati opciju „Manage and Install Plugins“. Nakon toga se otvara novi prozor u kojem su vidljivi već instalirani dodaci. Moguće je pregledati sve dostupne dodatke ili u polje za pretraživanje upisati željeni dodatak. Nakon što je pronađen željeni dodatak, on se jednostavno instalira pritiskom na gumb „Install Plugin“. Obrada podataka satelitskih snimki napravljena je korištenjem dodatka poluautomatske klasifikacije (engl. *Semi-Automatic Classification Plugin*).

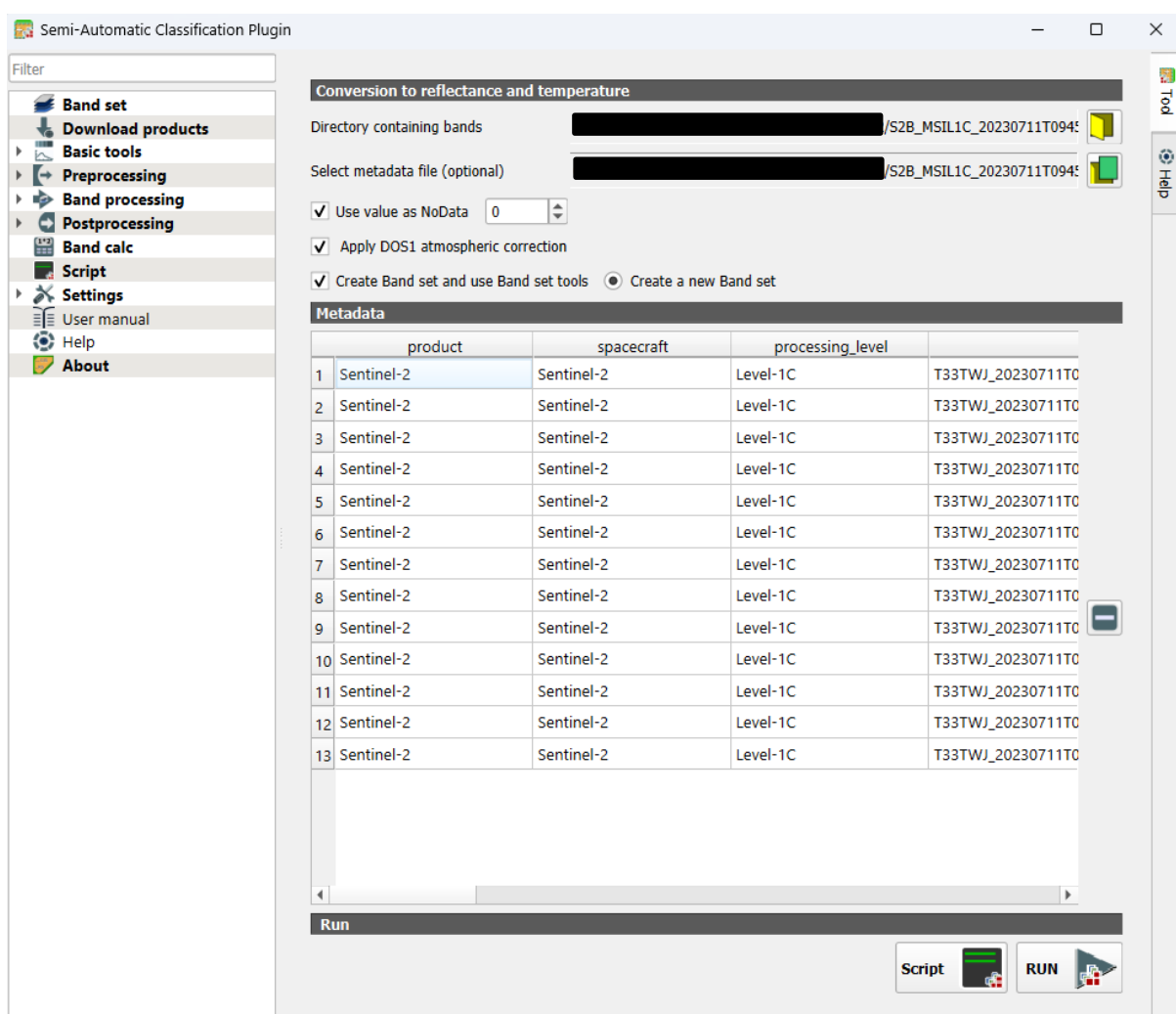
Budući da preuzete snimke dolaze u ZIP datoteci, prvo ih je potrebno raspakirati. Snimke se nalaze u mapi „Granule“. Učitavanje snimki je moguće napraviti tako da se snimke jednostavno označe u mapi u kojoj se nalaze i prevuku u QGIS. Zbog jednostavnije organizacije, prvo su zasebno obrađene snimke prije požara. Slika 3.3. prikazuje izgled kanala B12 satelitske snimke tek učitane u QGIS. Snimka je uvećana te prikazuje šire područje Grebašnice prije požara.



Slika 3.4. Prikaz učitane snimke u QGIS (11.7.2023.), kanal B12

Nakon što su snimke prije požara učitane u novi QGIS projekt, potrebno je ukloniti atmosferske utjecaje. Potrebno je na alatnoj traci odabrati gumb „SCP“, kada se otvori padajući izbornik

potrebno je pokazivačem miša doći do opcije „Preprocessing“ te zatim odabrati „Image Conversion“. Nakon toga se otvara novi prozor te je potrebno odabrati mapu u kojoj se nalaze satelitske snimke, a nakon toga i metapodatke. Metapodaci su u xml formatu, a naziv datoteke je MTD\_MSILC1. Potrebno je i odabrati opciju „Apply DOS1 atmospheric correction“, kao što je prikazano na Slici 3.4. Ova opcija omogućuje uklanjanje atmosferske refleksije koja se događa prilikom raspršivanja svjetlosti od različitih molekula zraka u atmosferi. Primjenom opcije atmosferske korekcije poboljšava se kvaliteta snimke. Kada se popis snimki pojavi u središnjem dijelu prozora, moguće je maknuti one koje nisu od interesa. U ovom slučaju obrađene su sve snimke. Na kraju je potrebno odabrati gumb „Run“ i odabrati mjesto gdje želimo spremiti obrađene snimke. Zbog količine podataka, obrada će potrajati jednu do dvije minute. Isti postupak je napravljen i za snimke nakon požara.



Slika 3.5. Prikaz prozora za korekciju atmosferskih utjecaja

### 3.2.3. Izračun vegetacijskih indeksa

Kako bi se prikazalo područje koje je pogodio požar i kako bi se uvidjela nastala šteta, koriste se vegetacijski indeksi. Vegetacijski indeksi su bezdimenzionalne veličine dobivene na osnovu apsorbirane, odnosno reflektirane svjetlosti [10]. Vegetacijski indeksi imaju primjenu u poljoprivredi pri praćenju usjeva, praćenju voda i detekciji poplava, u šumarstvu pri praćenju bujnosti vegetacije i slično. U ovom radu vegetacijski indeksi imaju primjenu u promatranju opožarenog područja. Za analizu opožarenog područja potrebno je vidjeti zdravlje biljaka. Primjerice, kod zdravih biljaka velika je refleksija u NIR području elektromagnetskog spektra, dok je refleksija crvene svjetlosti mala zbog apsorpcije klorofila. Kod suhih biljaka se taj omjer mijenja pa je tako crvena svjetlost veće refleksije zbog manjka klorofila, a NIR ima mnogo manju refleksiju. Vegetacijski indeksi se računaju iz najmanje dva multispektralna kanala. Postoji velik broj vegetacijskih indeksa koji se ne daju iste rezultate, već su prilagođeni drugačijim parametrima. Budući da je tema ovog rada požar, odabrana su tri vegetacijska indeksa prilagođena detekciji požara. Vegetacijski indeksi su napravljeni za snimke prije i za snimke poslije požara. Bitno je naglasiti da su vegetacijski indeksi računati samo sa snimkama na kojima je izvršena korekcija atmosfere.

**NDVI**, odnosno vegetacijski indeks normalizirane razlike (engl. *Normalized Differce Vegetation Indeks*) prilagođen je praćenju zdravlja biljaka te najveću primjenu ima u šumarstvu. NDVI se računa kao omjer refleksije u crvenom i blisko infracrvenom dijelu spektra, što je prikazano sljedećim izrazom:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Prikazuje se u rasponu između -1 i 1, gdje negativne vrijednosti upućuju na vodu, oblake, snijeg i led. Vrijednosti jednake nuli ukazuju na tlo bez vegetacije, a vrijednosti bliže broju jedan ukazuju na bujnu, zdravu vegetaciju.

**EVI**, odnosno poboljšani vegetacijski indeks (engl. *Enhanced Vegetation Indeks*) je vegetacijski indeks sličan NDVI vegetacijskom indeksu. Za razliku od NDVI-a, EVI indeks koristi i plavi kanal zbog poboljšanja osjetljivosti vegetacijske refleksije. Također, EVI ispravlja pozadinski signal tla te smanjuje atmosferske utjecaje. EVI indeks se računa prema sljedećoj formuli:

$$EVI = G \times \frac{NIR-RED}{NIR+C1 \times RED - C2 \times BLUE + L} \quad (2)$$

NIR, RED i BLUE označavaju multispektralne kanale, odnosno njihove refleksije u blisko infracrvenom, crvenom i plavom dijelu spektra elektromagnetskog zračenja. C1 i C2 su



koeficijenti koji se odnose na korekcije aerosoli te najčešće iznose  $C1 = 6$ , a  $C2 = 7.5$ . G je faktor poboljšanja i iznosi 2.5, dok je L korekcijski faktor tla i iznosi 1.

**NBR**, odnosno normalizirani indeks sagorijevanja (engl. Normalized Burn Ratio) je vegetacijski indeks posebno prilagođen detekciji i analizi oštećenja vegetacije izazvanih požarima. Formula za izračun NBR indeksa je slična formuli za izračun NDVI indeksa. Razlika je što formula za NBR indeks koristi blisko infracrveni i kratkovalni infracrveni multispektralne kanale. Formula za izračun NBR indeksa prikazana je sljedećim izrazom:

$$NBR = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} \quad (3)$$

Zdrava vegetacija ima vrlo visoku refleksiju u NIR području, dok u SWIR području ima vrlo nisku refleksiju. Visoka vrijednost NBR indeksa ukazuje na zdravu vegetaciju, dok niska vrijednost ukazuje na tlo pogođeno požarom. Stoga je NBR vegetacijski indeks izuzetno koristan za detekciju požara.

### 3.2.4. Analiza opožarenog područja

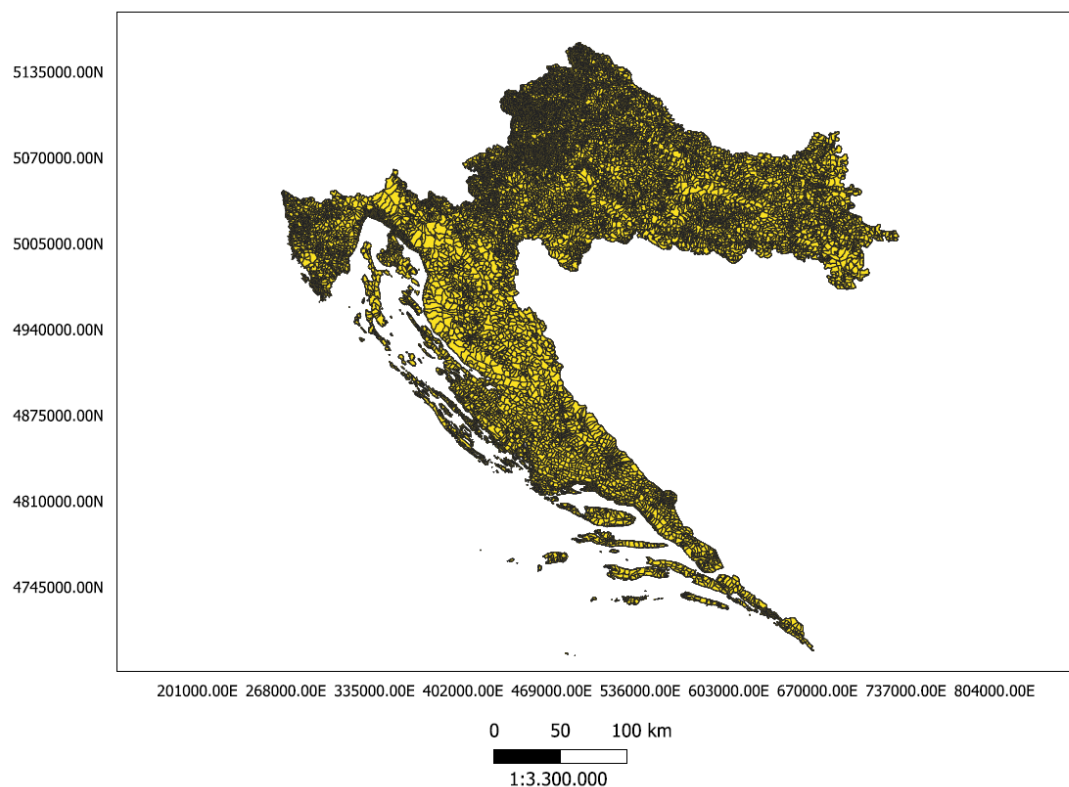
Naknadna obrada u radu obuhvatila je nekoliko koraka. Nakon izračunatih vegetacijskih indeksa za satelitske snimke prije i poslije požara, napravljen je i dNBR, odnosno delta normalizirani indeks sagorijevanja (engl. *Delta Normalized Burn Ratio*), a može se označavati i kao  $\Delta NBR$ . To je indeks koji se koristi za procjenu oštećenja vegetacije uslijed požara, intenziteta sagorijevanja ali i za izračun površine pogođene požarom.  $\Delta NBR$  indeks se računa po sljedećoj formuli:

$$\Delta NBR = NBR_{prije} - NBR_{poslije} \quad (4)$$

Područja koja su više oštećena u požaru imaju pozitivne vrijednosti  $\Delta NBR$  indeksa, dok područja koja nisu pretrpjela nikakvu štetu imaju negativne vrijednosti ili vrijednosti blizu nule  $\Delta NBR$  indeksa. U ovom radu,  $\Delta NBR$  indeks ima primjenu u izračunu površine područja pogođenog požarom, ali i boljom vizualizacijom samog požara što će biti objašnjeno kasnije.

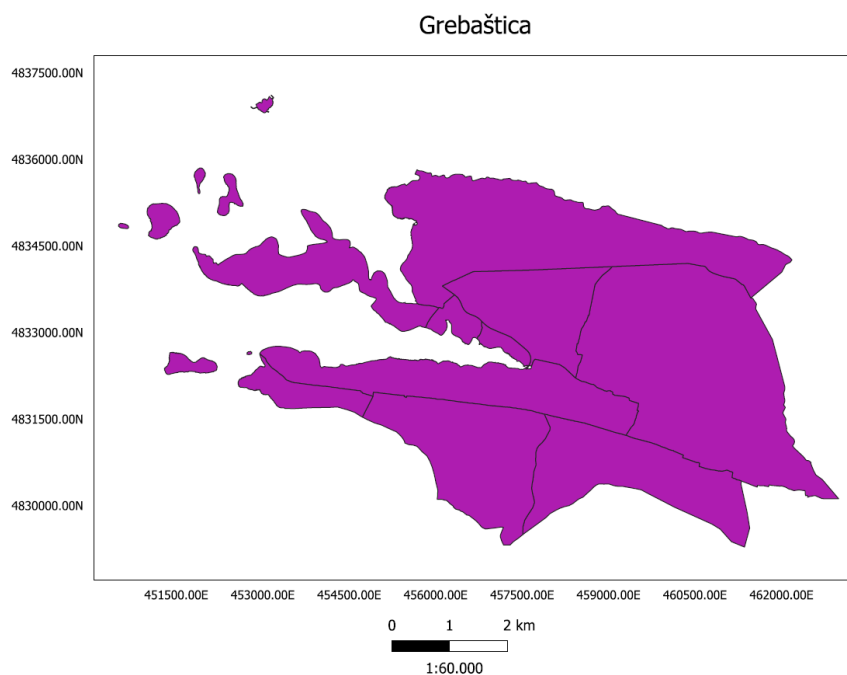
Kod analize požara, bitna informacija je koliko iznosi površina područja koje je pogodio požar. Kako bi se izračunala površina potrebno je izrezati područje požara, odnosno šire područje požara. Na Geoportalu Nacionalne infrastrukture prostornih podataka (NIPP) preuzeti su podaci o administrativnim granicama u Republici Hrvatskoj. Preuzeti podaci su u gml formatu te su učitani u QGIS kao vektorski sloj podataka, što je vidljivo na Slici 3.5.

### Administrativne granice RH



*Slika 3.6. Prikaz administrativnih granica u RH*

Budući da su preuzeti podaci cijele Hrvatske, a nije potrebna tolika količina podataka, izrezano je samo šire područje Grebaštica. Slika 3.6. prikazuje šire područje Grebaštica. Nakon izdvajanja područja od interesa, isto je pohranjeno u Shapefile formatu.

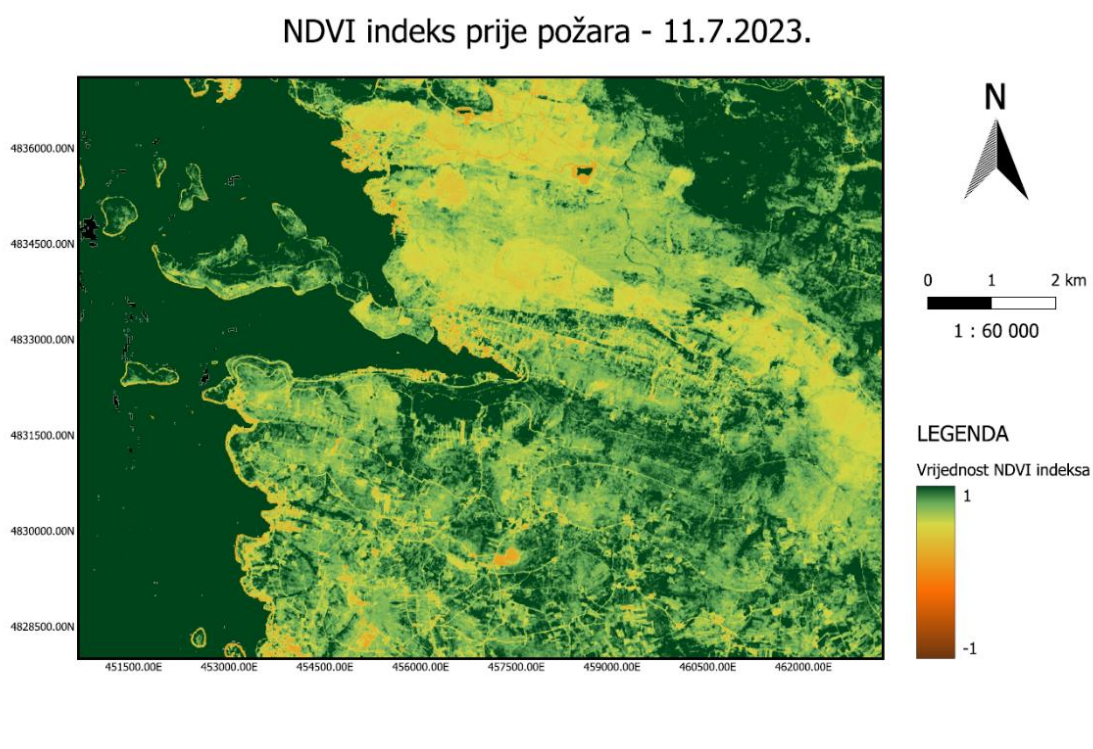


*Slika 3.7. Izrezano područje Grebaštica*

Izdvojeno područje Grebaštice je potrebno za izrezivanje snimke izračunatog  $\Delta$ NBR indeksa. To je napravljeno na način da se na alatnoj traci odabere gumb „Raster“ te u padajućem izborniku opcija „Extraction“ te „Clip Raster by Mask Layer“. Odabirom na te opcije, otvara se novi prozor gdje je potrebno odabrati koji sloj će biti izrezan (u ovom slučaju dNBR) te maska (u ovom slučaju izrezano područje Grebaštice). Klikom na gumb „Run“ započeto je izrezivanje rastera prema maski. Izrezani raster je pomoću Raster kalkulatora pomnožen s 1 000 zbog lakšeg izračuna površine područja pogođenog požarom. Prije izračuna površine potrebno je napraviti reklasifikaciju izračunatog  $\Delta$ NBR indeksa. Reklasifikacija je napravljena prema USGS standardu na način da je na alatnoj traci odabran gumb „Processing“ te na padajućem izborniku opcija „Toolbox“. Zatim se s desne strane prozora otvara izbornik u kojemu je potrebno pronaći opciju „Reclass“. Prilikom otvaranja novog prozora, podesi se željeni sloj, kao i pravila reklasifikacije. Pritiskom na gumb „Run“ započet je proces reklasifikacije. Za izračun površine pogođene požarom koristi se isti izbornik s desne strane te se pronađe opcija „Report“. Potrebno je odabrati  $\Delta$ NBR sloj koji je reklasificiran te podesiti u kojoj mjernoj jedinici će površina biti izračunata. Klikom na gumb „Run“ započet je proces izrade izvještaja.

## 4. Rezultati

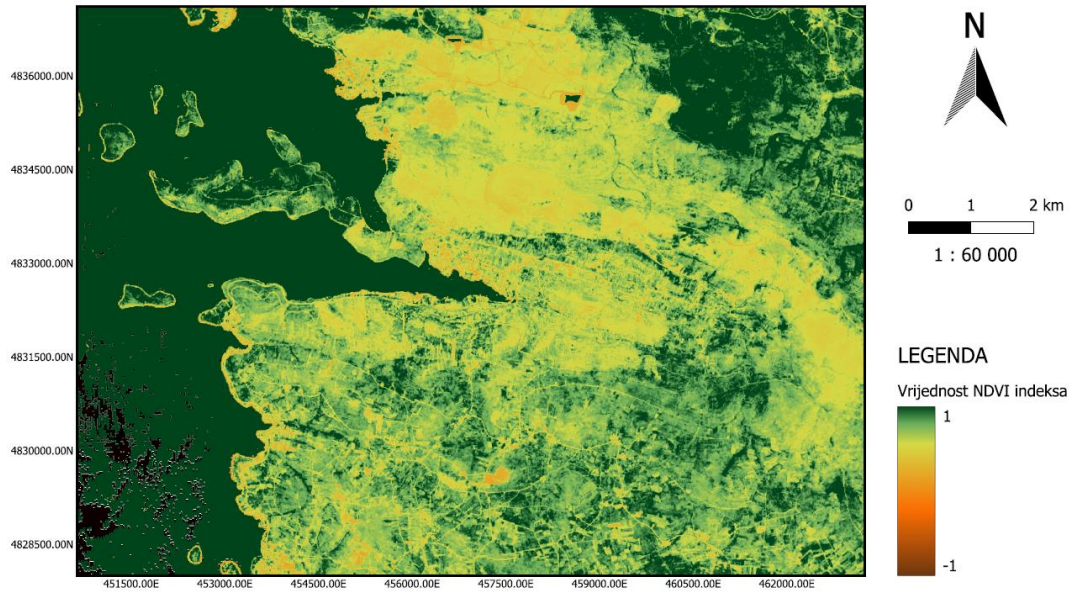
Za detekciju i praćenje požara ključna je primjena vegetacijskih indeksa jer je pomoću njih jasnije vidjeti i razumjeti utjecaj požara na vegetaciju. Nakon napravljena tri vegetacijska indeksa (NDVI, EVI i NBR), uključujući i  $\Delta$ NBR indeks, za područje Grebašnice prije i poslije požara, slijedi i analiza. Svaki od indeksa prikazan je u obliku karte s mjerilom 1:60 000. Rezultati su prikazani u službenom koordinatnom sustavu Republike Hrvatske HTRS96 (Hrvatski terestrički referentni sustav za epohu 1995.55)



*Slika 4.1. Prikaz NDVI indeksa prije požara*

Slika 4.1. prikazuje NDVI vegetacijski indeks prije požara. Vrijednost NDVI indeksa prikazuje se u rasponu od -1 do 1. NDVI je prikazan skalom boja od smeđe, što odgovara vrijednosti -1, preko narančaste i žute, do zelene, što odgovara vrijednosti 1. Vrijednost -1 govori o području bez vegetacije, dok vrijednost 1 govori o području s izuzetno zdravom vegetacijom. Na Slici 4.1. vidljivo je kako prevladava žuta i zelena boja što znači da je vegetacija zdrava, odnosno da postoje područja sa suhom vegetacijom ili područja bez vegetacije. Vidljivo je i kako je more prikazano zelenom bojom.

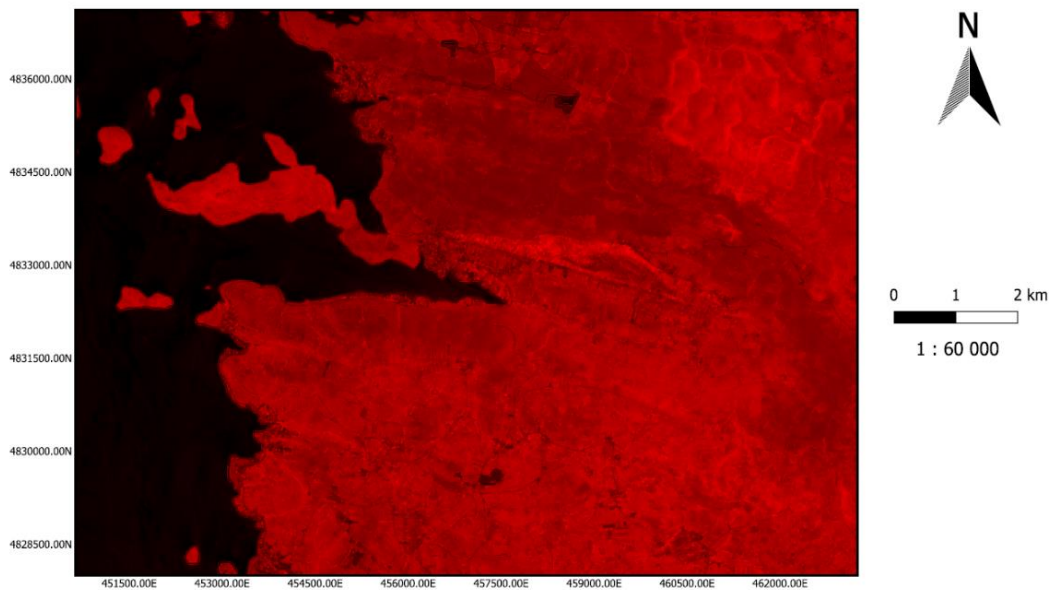
### NDVI indeks poslije požara - 16.7.2023.



*Slika 4.2. Prikaz NDVI indeksa poslije požara*

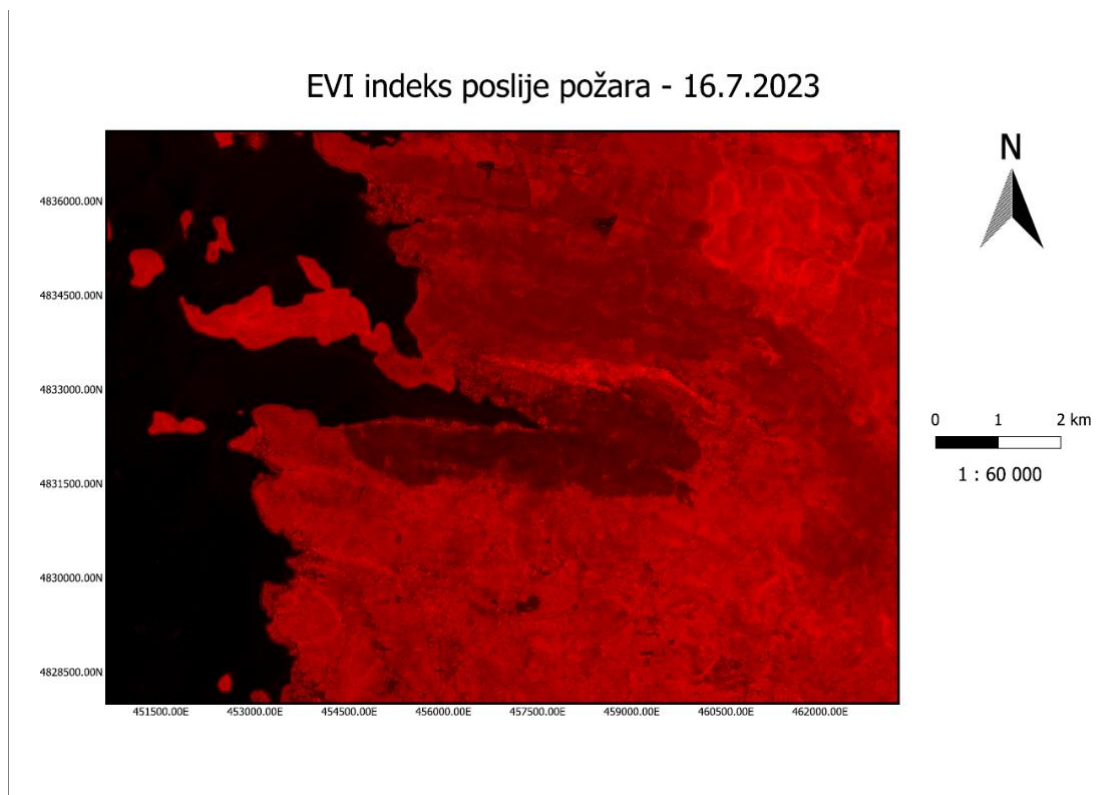
Na Slici 4.2. vidljiv je prikaz NDVI indeksa nakon požara. Vrijednost NDVI-a je, kao i na prethodnom prikazu, od -1 do 1. Na slici je vidljivo veće područje obojano žutom bojom što ukazuje na oštećenje vegetacije, u ovom slučaju požarom.

### EVI indeks prije požara - 11.7.2023



*Slika 4.3. Prikaz EVI indeksa prije požara*

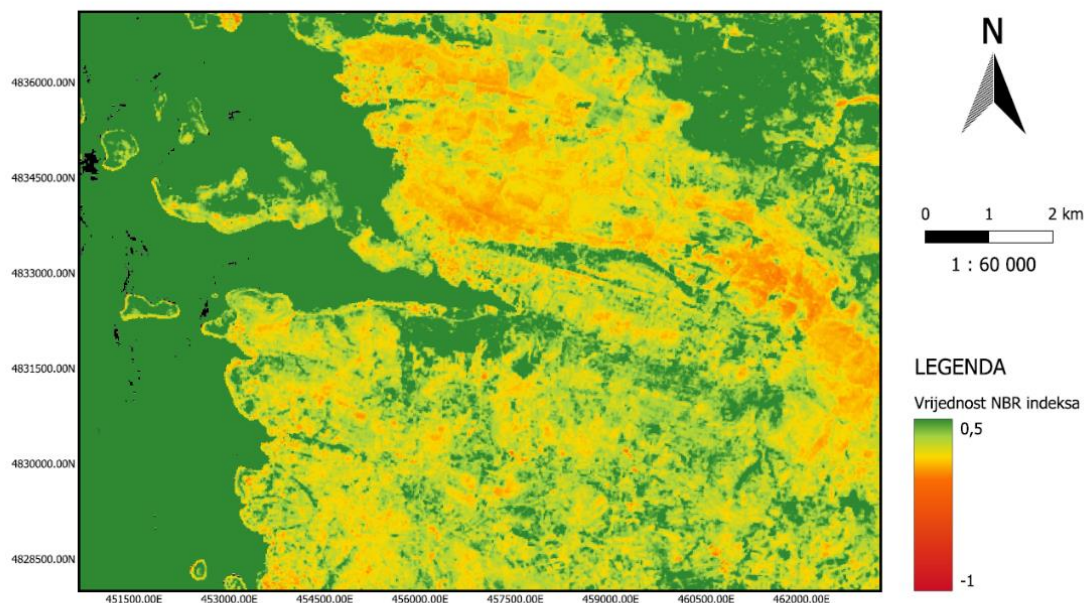
EVI vegetacijski indeks je prikazan nijansama crvene i crne boje. Crna boja predstavlja vodene površine, odnosno more, dok različite nijanse crvene prikazuju tlo. Na Slici 4.3. prikazan je EVI vegetacijski indeks prije požara i vidljivo je pretežito crveno područje što ukazuje na tlo bez oštećenja.



*Slika 4.4. Prikaz EVI indeksa nakon požara*

Na Slici 4.4. jasno je vidljivo zatamnjeno područje gdje se dogodio požar. Također, područje pogođeno požarom jasnije je vidljivo na EVI vegetacijskom indeksu, nego na NDVI vegetacijskom indeksu.

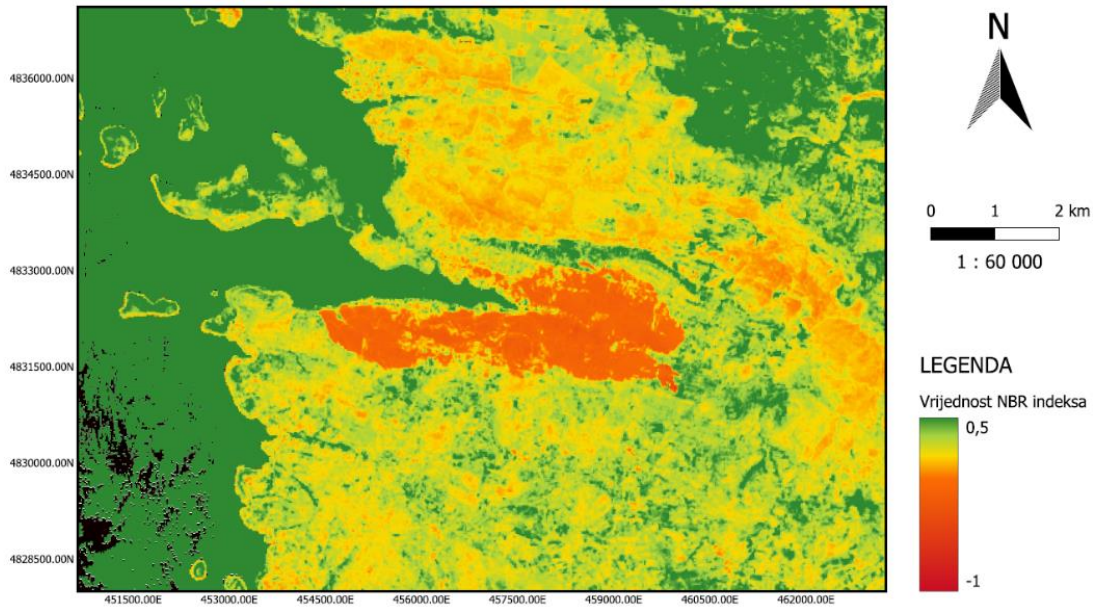
### NBR indeks prije požara - 11.7.2023.



*Slika 4.5. Prikaz NBR indeksa prije požara*

Slika 4.5. prikazuje NBR indeks prije požara koji je prikazan skalom vrijednosti od -1 do 0.5. Također, indeks je prikazan i skalom boja od crvene boje do zelene boje, s narančastom i žutom bojom kao prijelaznim vrijednostima. Crvena boja odgovara vrijednosti -1 te govori o oštećenom području, dok zelena boja odgovara vrijednosti 0.5 te govori o zdravoj vegetaciji, ali prikazuje i vodene površine (more). Na slici je vidljiva pretežito zdrava do oštećena vegetacija.

### NBR indeks poslije požara - 16.7.2023.

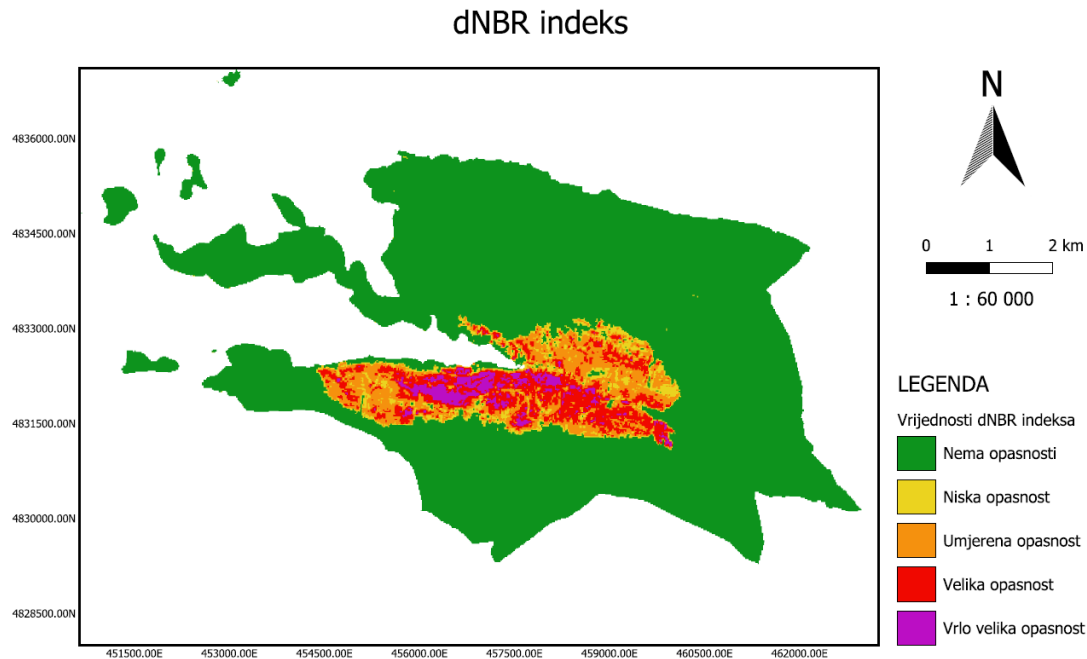


*Slika 4.6. Prikaz NBR indeksa nakon požara*

NBR vegetacijski indeks za područje Grebaštice nakon požara prikazan je na Slici 4.6. Skala boja te vrijednosti uz skalu su identični kao kod NBR indeksa prije požara. Na slici je izuzetno dobro vidljivo područje pogođeno požarom. Preglednost požara je slična EVI indeksu, dok se NDVI indeks najgore prikazao područje požara.

Intenzitet sagorijevanja i opasnosti te malo drugačija vizualizacija požara prikazana je na Slici 4.7.



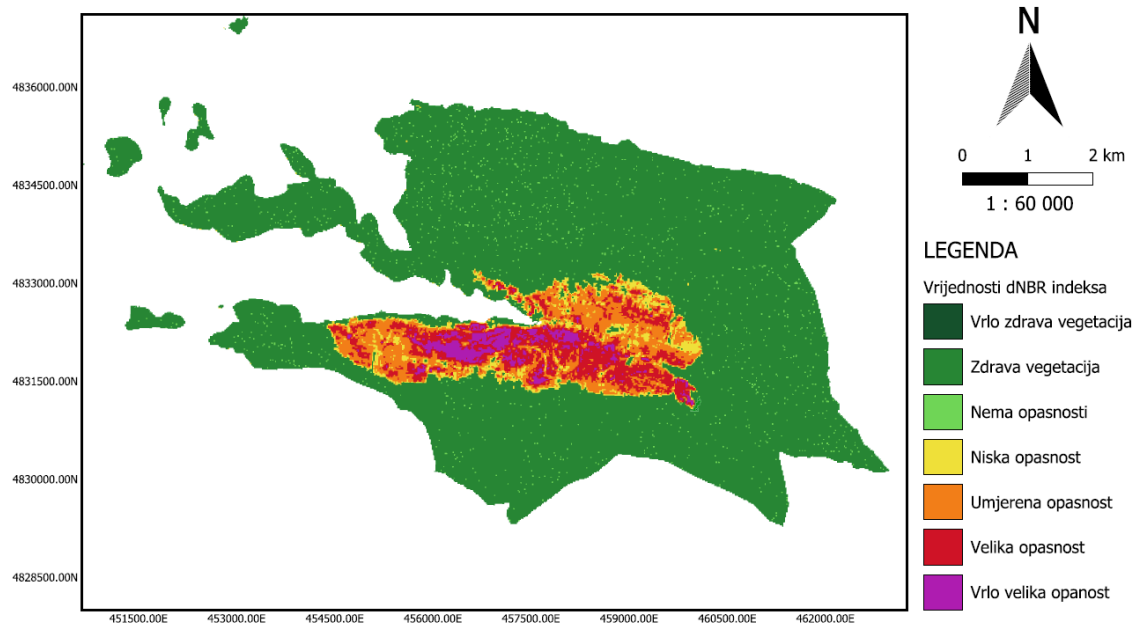


*Slika 4.7. Prikaz dNBR indeksa*

$\Delta$ NBR je vegetacijski indeks dobiven razlikom NBR indeksa za snimke prije i poslije požara. Zelena boja prikazuje područje na kojemu je vegetacija zdrava i nije zahvaćena požarom. To je područje na kojemu nema opasnosti od požara. Žutom bojom označena su područja na kojima je došlo do blage oštećenosti vegetacije vatrom te označava područje niske opasnosti od požara. Područja koja su doživjela malo veću oštećenost prikazana su narančastom bojom te ta područja upućuju na umjerenu opasnost od požara. Crvenom bojom označena su područja velike oštećenosti vegetacije i tla vatrom te ta područja predstavljaju veliku opasnost. Vrlo veliku opasnost od požara označavaju područja prikazana ljubičastom bojom. Ta područja su pretrpjela vrlo velika oštećenja vegetacije i tla.

Za potrebe izračuna površine područja koje je pogodio požar, napravljena je reklasifikacija  $\Delta$ NBR indeksa koji je vizualiziran prema USGS standardu. Na Slici 5.8. vidljiv je reklasificirani prikaz  $\Delta$ NBR indeksa.

## Reklasificirani dNBR indeks



Slika 4.8. Prikaz reklasificiranog dNBR indeksa

Reklasificirani  $\Delta$ NBR indeks je zapravo vizualiziran na isti način kao i  $\Delta$ NBR indeks, ali u prikazu vrijednosti postoje još dvije kategorije. To su vrlo zdrava vegetacija koja označava vrlo gustu vegetaciju te zdrava vegetacija. Obje kategorije pripadaju u područja u kojima nema opasnosti od požara.  $\Delta$ NBR, odnosno reklasificirani  $\Delta$ NBR indeks najbolje prikazuje područje koje je pogodio požar.

Za generiranje izvještaja o izračunu površine potrebno je na alatnoj traci odabrati opciju „Processing“, a zatim na padajućem izborniku opciju „Toolbox“. S desne strane se otvara novi izbornik gdje je potrebno pronaći opciju „Report“ i time se otvara novi prozor. Neophodno je odabrati reklasificirani  $\Delta$ NBR sloj te podesiti mjernu jedinicu u kojoj će izračunata površina biti iskazana. Mjerna jedinica u kojoj će površina biti iskazana je hektar. Pritiskom na gumb „Run“ započet je proces generiranja izvješća. Izvještaj o izračunu površine spremljen je u tekstualnom formatu i prikazan je na Slici 4.9.

RASTER MAP CATEGORY REPORT		
LOCATION: <u>temp_location</u>	Tue Jun 25 00:35:04 2024	
REGION	north: 4900020 east: 609780 south: 4790220 west: 499980 res: 10 res: 10	
MASK: none		
MAP: (untitled) (rast_6679f49542ad96 in PERMANENT)		
Category Information		hectares
#	description	
-2	# Enhanced Regrowth, high (post-fire)	0
0	# Unburned	64
4	# High Severity	65
1	# Low Severity	116
3	# Moderate-high Severity	213
2	# Moderate-low Severity	248
-1	# Enhanced Regrowth, low (post-fire)	3170
*	# no data	1,201,728
TOTAL		1,205,604

Slika 4.9. Prikaz izvještaja o izračunu površine opožarenog područja

U izvještaju je vidljiv izračun cijele površine izrezanog dijela rastera, ali i pojedinih područja opasnosti od požara. Također je vidljivo da su površine izražene u hektarima. Ukupna površina opožarenog područja iznosi 642 ha.

## 5. Zaključak

U ovom radu detaljno je analiziran požar koji je, 13. srpnja 2023. godine, pogodio područje Grebaštica. Za analizu požara korišteni su podaci Sentinel-2 misije Europske svemirske agencije, kao i softver QGIS. Preuzimanje satelitskih snimki je vrlo jednostavan i besplatan proces koji je omogućen Copernicus programom.

Detaljna analiza satelitskih snimki izračunom vegetacijskih indeksa (NDVI, EVI i NBR) u QGIS-u pokazala je kako je požarom pogođena velika površina te da je došlo do velikog oštećenja tla i vegetacije. Vidljiva je velika razlika vrijednosti vegetacijskih indeksa prije i poslije požara. Značajan pad vrijednosti vegetacijskih indeksa ukazuju na značajno oštećenje vegetacije. Zdrava vegetacija prikazana vegetacijskim indeksima ima pozitivne vrijednosti. Vegetacija prije požara ima vrijednosti NDVI indeksa 1, a NBR indeksa 0.5. Oštećena vegetacija ima vrijednosti jednake nuli ili negativne vrijednosti vegetacijskih indeksa. Vegetacija poslije požara ima vrijednosti NDVI indeksa oko nule, dok vrijednosti NBR indeksa iznose -1. Kroz analizu izračunatih vegetacijskih indeksa dolazim do zaključka kako je najpovoljniji indeks za analizu požara NBR indeks jer koristi blisko infracrveni kanal i kratkovalni infracrveni kanal. Zdrava vegetacija ima vrlo visoku refleksiju u NIR području, dok u SWIR području ima vrlo nisku refleksiju. Budući da EVI indeks u svom izračunu koristi i plavi kanal, koji poboljšava osjetljivost vegetacijske refleksije, te koeficijente poboljšanja, njime je opožareno područje vrlo dobro vizualizirano. NDVI vegetacijski indeks je najlošije prikazao opožareno područje.

Izračunom dodatnog indeksa, dNBR, kao rezultata razlike NBR indeksa prije i poslije požara, omogućen je detaljan prikaz opasnosti i oštećenja izazvanih požarom. Također, primjenom dNBR indeksa u kombinaciji s administrativnim granicama izračunata je površina opožarenog područja. Ukupna površina opožarenog područja iznosi 642 ha, što je veći iznos od procijenjene površine (oko 600 ha) iz službenog izvještaja Hrvatske vatrogasne zajednice.

Ovim radom prikazan je postupak preuzimanja, obrade i upotrebe satelitskih snimki u analizi požara korištenjem QGIS softvera. Korištenjem satelitskih snimki i vegetacijskih indeksa moguće je brzo i precizno odrediti obuhvat i intenzitet požara. Također, ovi rezultati ukazuju na mogućnost primjene daljinskih istraživanja u upravljanju kriznim situacijama poput požara na način kontinuiranog praćenja stanje na područjima povećanog rizika od požara. Kontinuirano praćenje područja povećanog rizika od požara doprinosi brzom reakciji u slučaju izbijanja požara.

## 6. Literatura

- [1] D. Stipaničev, Centar za istraživanje požara otvorenog prostora Split, Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske, 2021., str. 322-325
- [2] G. Zagalikis, Remote Sensing and GIS Applications in Wildfires, 2023., str. 5-15
- [3] H. Farhadi, H. Ebadi, A. Kiani, BADI: A novel burned area detection indeks for Sentinel-2 imagery using Google Earth Engine platform, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences GeoSpatial Conference, Teheran, Iran, 2022., str. 179-183
- [4] I. Kisić, I. Bogunović, D. Delač, D. Barčić, Požari otvorena prostora u Republici Hrvatskoj – pojava, učestalost i suzbijanje, Hrvatske vode, Pregledni članak, 2023., str. 117-123
- [5] J. Balen, D. Damjanović, P. Marić, K. Vdovjak, M. Arlović, G. Martinović: FireBot – An Autonomous Surveillance Robot for Fire Prevention, Early Detection and Extinguishing, International Conference on Computer and Automation Engineering 2023., str. 1
- [6] M. Lapaine, N. Frančula, Kartografija i daljinska istraživanja, Bilten Znanstvenog vijeća za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju, 2021., str. 1-2
- [7] M. R. Mahmood, H. J. Jumaah, NBR Indeks-Based Fire Detection Using Sentinel-2 Images and GIS: A Case Study in Mosul Park, Iraq, International Journal of Geoinformatics, 2023.
- [8] M. V. K Sivakumar, P. S. Roy, K. Harmsen, S. K. Saha, Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology, Proceedings of the Training Workshop, Dehra Dun, India, 2003., str. 28-37
- [9] N. Kulo, Višesenzorsko povezivanje podataka daljinskih istraživanja, Geodetski glasnik, 2019., str. 71-74
- [10] N. Bugarin, Daljinska istraživanja i računalni vid u analizi slika voćnjaka prikupljenih bespilotnom letjelicom, Kvalifikacijski ispit, FESB, Split, 2022.
- [11] Q. Zhang, L. Ge, R. Zhang, G. I. Metternicht, C. Liu, Z. Du, Towards a Deep-Learning-Based Framework of Sentinel-2 Imagery for Automated Active Fire Detection, MDPI, 2021., str. 1-5
- [12] <https://hvz.gov.hr/vijesti/13-vise-pozara-u-2022/3421>, dostupno 1.7.2024.
- [13] <https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used>, dostupno 22.6.2024.
- [14] <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors>, dostupno 22.6.2024.
- [15] <https://eos.com/blog/types-of-satellites/>, dostupno 22.6.2024.
- [16] <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/sentinel-data/sentinel-2>, dostupno 22.6.2024.
- [17] [https://www.esa.int/About\\_Us/Corporate\\_news/ESA\\_facts](https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_facts), dostupno 22.6.2024.
- [18] <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission>, dostupno 22.6.2024.
- [19] <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/>, dostupno 22.6.2024.
- [20] [https://climate.esa.int/es/proyectos/fire/#\\_about-tab](https://climate.esa.int/es/proyectos/fire/#_about-tab), dostupno 22.6.2024.
- [21] <https://www.rezerviraj.hr/social/zapis-40708-o-mjestima-grebastica-i-sparadici.html>, dostupno 15.6.2024.
- [22] <https://pomorska.lzmk.hr/Natuknica?id=2584>, 15.6.2024.

- [23] <https://hvz.gov.hr/vijesti/pozar-otvorenog-prostora-kod-grebastice/3884>, dostupno 15.6.2024.
- [24] <https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/sto-su-vegetacijski-indeksi-koji-su-i-cemu-sluze/76027/>, dostupno 20.6.2024.
- [25] <https://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-burn-severity/in-detail/normalized-burn-ratio>, dostupno 22.6.2024.
- [26] <https://dataspace.copernicus.eu/>, dostupno 8.7.2024.
- [27] <https://www.meteorologiaenred.com/hr/%C5%A1to-je-satelit.html>, dostupno 5.7.2024.
- [28] <https://dzs.gov.hr/vijesti/objavljeni-konacni-rezultati-popisa-2021/1270>, dostupno 5.7.2024.

## Popis slika

Slika 2.1. Prikaz osnovnih orbita satelita [ <a href="https://eos.com/blog/satellite-constellation/">https://eos.com/blog/satellite-constellation/</a> ].....	5
Slika 2.2. Shematski prikaz Sentinel-2 satelita [18 ].....	6
Slika 3.1. Geografski položaj Grebaštice .....	8
Slika 3.2. Korisnično sučelje Copernicus preglednika .....	9
Slika 3.3. Prikaz dostupnih snimki .....	10
Slika 3.4. Prikaz učitane snimke u QGIS (11.7.2023.), kanal B12 .....	11
Slika 3.5. Prikaz prozora za korekciju atmosferskih utjecaja .....	12
Slika 3.6. Prikaz administrativnih granica u RH .....	15
Slika 3.7. Izrezano područje Grebaštice .....	15
Slika 4.1. Prikaz NDVI indeksa prije požara.....	17
Slika 4.2. Prikaz NDVI indeksa poslije požara .....	18
Slika 4.3. Prikaz EVI indeksa prije požara .....	18
Slika 4.4. Prikaz EVI indeksa nakon požara .....	19
Slika 4.5. Prikaz NBR indeksa prije požara .....	20
Slika 4.6. Prikaz NBR indeksa nakon požara .....	21
Slika 4.7. Prikaz dNBR indeksa .....	22
Slika 4.8. Prikaz reklasificiranog dNBR indeksa .....	23
Slika 4.9. Prikaz izvještaja o izračunu površine opožarenog područja.....	24