

Određivanje poplavljenog područja korištenjem multispektralnih satelitskih snimaka u R programskom sustavu

Šarić, Gabrijela

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:601471>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-16**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij Hidrogeologije i inženjerske geologije

**ODREĐIVANJE POPLAVLJENOG PODRUČJA KORIŠTENJEM
MULTISPEKTRALNIH SATELITSKIH SNIMAKA U R PROGRAMSKOM
SUSTAVU**

Diplomski rad

Gabrijela Šarić

GI 445

Zagreb, 2022. godina



KLASA: 602-01/22-01/58
URBROJ: 251-70-15-22-2
U Zagrebu, 15. 6. 2022.

Gabrijela Šarić, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/58, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 26. 4. 2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

ODREĐIVANJE POPLAVLJENOG PODRUČJA KORIŠTENJEM MULTISPEKTRALNIH SATELITSKIH SNIMAKA U R PROGRAMSKOM SUSTAVU

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Doc. dr. sc. Ivan Medved nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

(potpis)

Doc. dr. sc. Ivan Medved

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

Određivanje poplavljenog područja korištenjem multispektralnih satelitskih snimaka u R programskom sustavu

Gabrijela Šarić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geofizička istraživanja i rudarska mjerenja
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Analiza poplavljenog područja općine Gunje pomoću Landsat 8 satelitskih snimaka u R programskom sustavu. Korištena je formula za NDWI odnosno indeks normalizirane razlike vode da bi se izračunalo poplavljeno područje. Ulazni podaci na kojim se vršio izračun su satelitske snimke sa Landsat misije preuzete sa Earth Explorera koji se nalazi na USGS službenoj stranici.

Ključne riječi: NDWI, Landsat 8 , R programski sustav, poplavljeno područje
Završni rad sadrži: 34 stranice, 2 tablica, 28 slika, 0 priloga, i 26 reference.
Jezik izvornika: Hrvatski
Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb
Mentori: Dr. sc. Ivan Medved, docent RGNF
Ocjenjivači: Dr. sc. Ivan Medved, docent RGNF
Dr. sc. Jasna Orešković, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Tomislav Korman, izvanredni profesor RGNF

Determination of flooded area using multispectral satellite images in R software system

Gabrijela Šarić

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geophysical Research and Mining Measurements
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Analysis of the flooded area of the municipality of Gunje using Landsat 8 satellite images in the R software system. The NDWI or normalized water difference index was used to calculate the flooded area. The input data on which the measurements were performed are satellite images of Landsat mission taken from Earth Explorer located on the USGS official website.

Keywords: Landsat 8, flooded area, NDWI, R software system

Thesis contains: 34 pages, 2 tables, 28 figures, 0 appendixes, 1 26 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: PhD Ivan Medved, assistant profesor RGNF

Reviewers: PhD Ivan Medved, assistant professor RGNF
PhD Jasna Orešković, associate professor RGNF
PhD Tomislav Korman, associate professor RGNF

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. POPLAVLJENO PODRUČJE OPĆINE GUNJE	2
2.1. Geologija područja Gunje i okolnih mjesta	3
2.2. Klimatski uvjeti	5
3. TEORIJSKE OSNOVE RADA	7
3.1. Daljinska istraživanja.....	7
3.2. Elektromagnetski spektar i Elektromagnetsko zračenje	10
3.2.1. Refleksija, Transmisija i Spektralna refleksija.....	12
3.3.4. Refleksijske karakteristike vode.....	13
3.3. UTM 33 koordinatni sustav	13
3.4. Američki geološki zavod USGS.....	14
3.5. Earth Explorer	14
3.6. Landsat satelitske snimke.....	16
4. PROGRAMSKI JEZIK R.....	18
5. GEOINFORMACIJSKI SUSTAV (GIS).....	19
6. INDEKS NORMALIZIRANE RAZLIKE VODE (NDWI)	21
7. PRIPREMA PODATAKA	22
8. OBRADA PODATAKA	25
9. REZULTATI	29
10. ZAKLJUČAK.....	31
11. LITERATURA	32

POPIS SLIKA

SLIKA 2 - 1: POLOŽAJ ŽUPANIJE (ISJEČAK IZ TK M 1:50000., STUDIJA GUNJE, 2022)	3
SLIKA 2 - 2: PRIKAZ POSLJEDICA POPLAVE (JUTARNJI LIST, 2014)	3
SLIKA 2 - 3: OGK BRČKO (BUZALJKO ET AL. 1985)	4
SLIKA 2 - 4: OGK VINKOVCI (BRKIĆ ET AL. 1989)	5
SLIKA 2 - 5: SATELITSKA SNIMKA CIKLONE U INFRACRVENOM DIJELU SPEKTRA (DHMZ, 2014)	6
SLIKA 3 - 1: VIZUALNI PRIKAZ DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA (HZDR, 2022)	9
SLIKA 3 - 2: DALJINSKO SNIMANJE IZ AVIONA (HZDR, 2022)	9
SLIKA 3 - 3: SNIMAKA DOBIVENA SATELITSKIM SNIMANJEM (OCEANSERVICE, 2022)	10
SLIKA 3 - 4: PRIKAZ ELEKTROMAGNETSKOG SPEKTRA (GSFC.NASA, 2013)	11
SLIKA 3 - 5: ELEKTROMAGNETSKO ZRAČENJE U LJUDSKOJ OKOLINI (GSFC.NASA, 2013)	11
SLIKA 3 - 6: KRIVULJA SPEKTRALNE REFLEKSIJE ZA VEGETACIJU, VODU I TLO (AGGARWAL, 2003)	12
SLIKA 3 - 7: UTM ZONE NA KARTI SVIJETA (WIKIPEDIA, 2022)	13
SLIKA 3 - 8: WEB STRANICA USGS-A (USGS, 2022)	14
SLIKA 3 - 9: ODABIR LOKACIJE NA EARTH EXPLORERU (EARTHEXPLORER, 2022)	15
SLIKA 3 - 10: ODABIR SATELITSKE SNIMKE (EARTHEXPLORER, 2022)	15
SLIKA 3 - 11: WEB STRANICA LANDSAT-A (NASA, 2022)	16
SLIKA 4 - 1: SUČELJE R STUDIA	18
SLIKA 5 - 1: VIZUALNA REPREZENTACIJA GIS-A (ESRI, 2022)	19
SLIKA 7 - 1: UNOS LOKACIJE I VREMENA PRETRAŽIVANJA	22
SLIKA 7 - 2: ODABIR SATELITSKE MISIJE	23
SLIKA 7 - 3: RASPAKIRANI PODACI	23
SLIKA 7 - 4: SNIMKE KANALA B3 PRIJE I NAKON POPLAVE	24
SLIKA 7 - 5: SNIMKE KANALA B5 PRIJE I NAKON POPLAVE	24
SLIKA 8 - 1: NDWI PRIJE POPLAVE I NAKON POPLAVE	26
SLIKA 8 - 2: REKLASIFIKACIJE PRIJE I NAKON POPLAVE	27
SLIKA 8 - 3: ODREZANO PODRUČJE PRIJE I NAKON POPLAVE	28
SLIKA 9 - 1: LAYOUT U QGIS-U	30
SLIKA 9 - 2: FINALNA KARTA POPLAVLJENOG PODRUČJA GUNJE	30

POPIS TABLICA

TABLICA 2 - 1: VODOSTAJI I PROTOCI OČITANI S HIDROLOŠKIH POSTAJA
(DHMZ, 2014) 6

TABLICA 3 - 1: VALNE DULJINE I REZOLUCIJA LANDSAT SNIMAKA (USGS, 2022)
..... 17

1. UVOD

Praćenje i otkrivanje fizičkih karakteristika područja mjerenjem njegovog reflektiranog i emitiranog zračenja na udaljenosti naziva se daljinsko istraživanje (USGS, 2022). Obično se radi iz aviona ili pomoću satelitskih snimki. Za potrebe izrade ovog diplomskog rada korištene su satelitske snimke Landsat 8 satelitske misije, preuzete s Earth Explorera koji se nalazi na službenoj USGS stranici.

Cilj ovog diplomskog rada bio je izračun poplavljene površine općine Gunje pomoću NDWI-a odnosno indeksa normalizirane razlike vode te je za taj izračun bilo potrebno preuzeti Landsat snimke za područje općine Gunje na kojem se dogodila poplava 2014. godine. Korišteni su GREEN i NIR kanali za razdoblje prije i nakon poplave. NDWI se upotrebljava jer omogućuje otkrivanje suptilnih promjena u sadržaju vode u vodnim tijelima. Vidljive zelene valne duljine maksimiziraju tipičnu refleksiju površine vode, a blisko infracrvene valne duljine minimiziraju nisku refleksiju vodenih značajki (EOS, 2022).

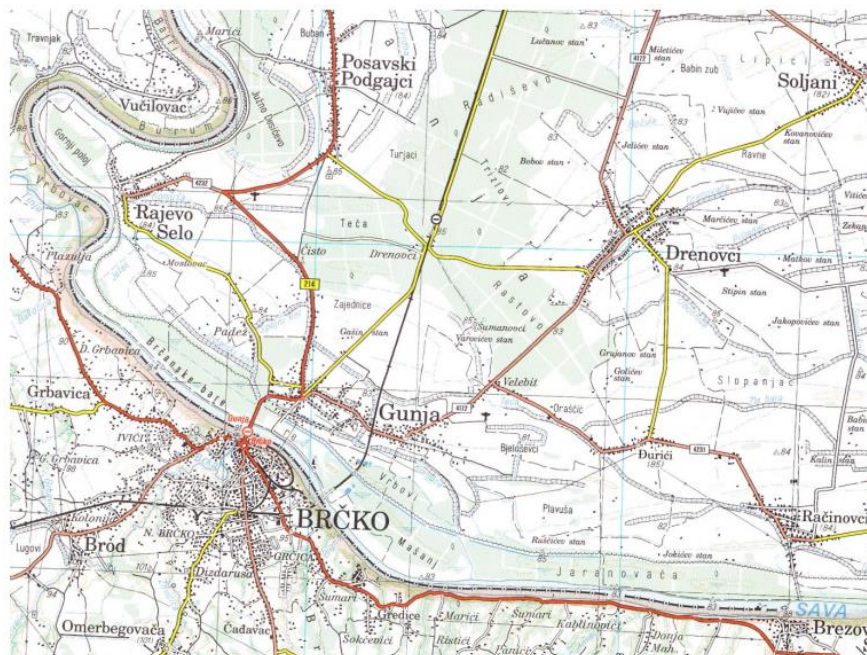
Na posljetku su izračunati pikseli poplavljenog područja te je množenjem s rezolucijom snimaka dobivena površina područja koje je poplavljeno. Cijeli postupak izračuna obavljen je u R-u , besplatnom softveru otvorenog koda, koji se koristi za statističku analizu temeljen na S jeziku (Kent State, 2022). Vanjski izgled finalne karte dodatno je uređen u softveru QGIS.

2. POPLAVLJENO PODRUČJE OPĆINE GUNJE

Poplave koje su se dogodile u svibnju 2014. godine najviše su pogodile područje Cvelferije i Brodske Posavine. Najugroženija mjesta bila su Gunja, Račinovci, Rajevo Selo, Bošnjaci, Vrbanje, Strošinci, Đurići, Posavski Podgajci i Soljana.

Općina Gunja jedinica je lokalne samouprave u sastavu Vukovarsko-srijemske županije. Nalazi se u krajnjem južnom dijelu županije, u zapadnom Srijemu, na lijevoj obali Save, u pograničnom pojasu sa Bosnom i Hercegovinom. S obzirom na prostornu lokaciju, smještena je u bosutskoj nizini, prirodno dobro omeđenom i izdvojenom dijelu istočno-hrvatske ravnice, između Đakovačkog i Vukovarskog prapornog ravnjaka na sjeveru i rijeke Save na jugu. Smještaj općine Gunja temeljno je određen mikroprostornom lokacijom tog područja u naplavnoj ravnici Save, između riječnog toka na jugu i rubnih močvara bosutske nizine na sjeveru (Pejnović D., Studija Gunje, 2022). Nadmorske visine kreću se od 82-og metra do 86-og metra nad morem. Općina Gunja prema popisu stanovništva iz 2021. godine ima 2746 stanovnika.

Rijeka Sava probila je nasipe u mjestima Rajevo Selo i Račinovci te odnijela dva života. Stanovništvo je većinom bilo evakuirano te je nekoliko tisuća ljudi našlo privremeni smještaj u okolnim sigurnijim mjestima. Kao zaštitu od poplava razvijaju se mjere kao što su lateralni kanali koji odvođe vodu iz bujičnih tokova s brdskog područja, te nasipi uz rijeku Savu i veće pritoke (Geografija.hr, 2014). Na slici 2 – 1 prikazana je prostorna struktura šireg područja općine Gunje, a na slici 2 – 2 predočene su posljedice poplave.



Slika 2 - 1: Položaj županije (Isječak iz TK M 1:50000., Studija Gunje, 2022)

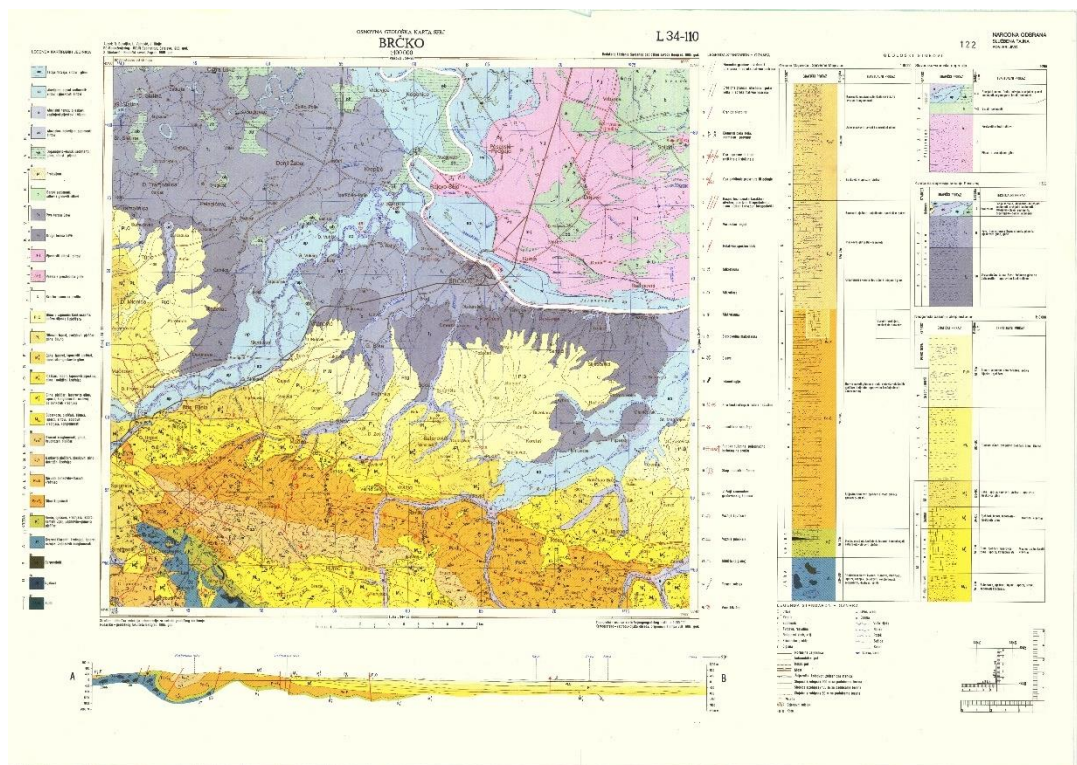


Slika 2 - 2: Prikaz posljedica poplave (Jutarnji list, 2014)

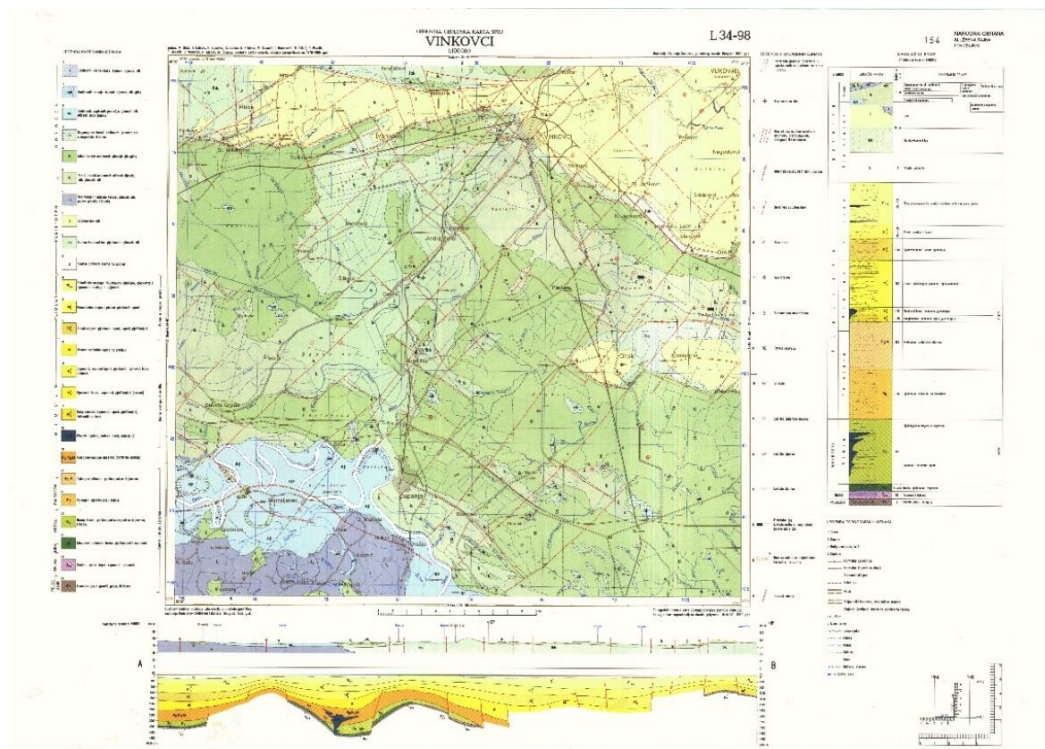
2.1. Geologija područja Gunje i okolnih mjesta

Na prostoru Brodsko-posavske županije dodiruju se tri geološko-geomorfološke cjeline: slavonsko-srijemska nizina, savska nizina i slavonski brdsko-planinski prostor. Savska nizina oblikovana je duž rasjeda na kontaktnom području Tisije, fragmenta euroazijske platforme, s

Dinaridima, fragmentom odvojenim od afričkog dijela Gondvane (Pamić i dr., 2003), te je preoblikovana tijekom neogena primarno recentnim fluviodenudacijskim procesima (Geografija.hr, 2014). Akumulativno-aluvijalna nizina bogata je maendrima Save i Tolisa. Kao što je vidljivo na priloženim OGK-ma Brčko i Vinkovci, karakteristične naslage na ovom području su sedimenti holocenske starosti koji se sastoje od pjeskovitog silta, pijesaka s proslojcima gline te siltova i glinovitih siltova (na priloženim OGK-ma naslage se nalaze na područjima obojenim plavom i ljubičastom bojom), te na dubinama od 1 metra dolaze u izmjeni šljunci i pijesci što govori o tipičnoj fluvijalnoj sedimentaciji (tumač za list Vinkovci, 1979). Geologija područja i geografski položaj uvjetovali su postojanje rizika od poplava uslijed izlivanja Save i njenih pritoka.



Slika 2 - 3: OGK Brčko (Buzaljko et al. 1985)

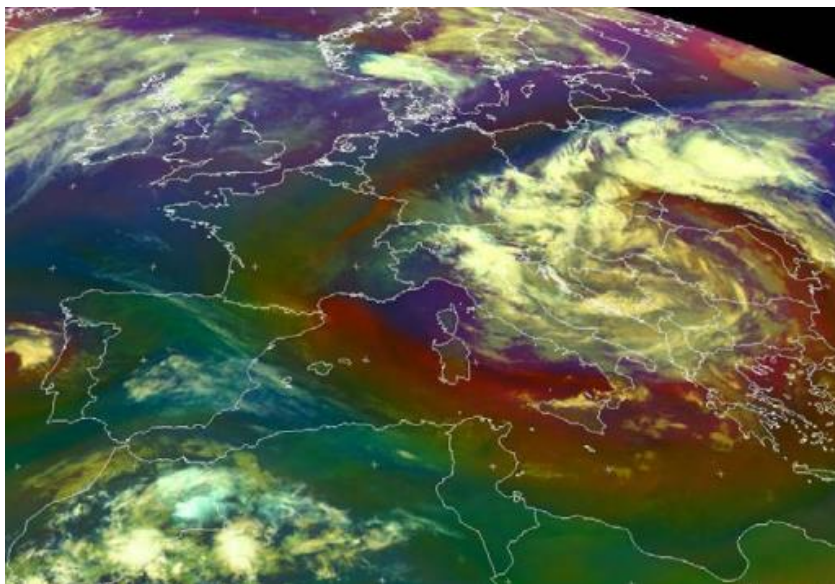


Slika 2 - 4: OGK Vinkovci (Brkić et al. 1989)

2.2. Klimatski uvjeti

Prema podacima iz DHMZ-a tijekom 14. svibnja 2014. godine u cijeloj je Hrvatskoj prevladavalo kišno i vjetrovito vrijeme kao posljedica premještanja ciklonalnog poremećaja s južnog Jadrana prema sjeveroistoku u unutrašnjost Balkanskog poluotoka. Olujna i orkanska bura u Dalmaciji tijekom noći slabi i uglavnom okreće na sjeverozapadnjak. Tijekom 15. svibnja 2014., središte jake prizemne ciklone je iznad središnjeg dijela Balkanskog poluotoka. Zbog sjeveroistočnog vjetra u višim slojevima atmosfere, ciklonalni vrtlog se lagano vraća prema zapadu, dok sa zapada istovremeno jača greben anticiklone. U takvim su uvjetima iznad Hrvatske velike razlike u prizemnom tlaku zraka zbog čega i nastaje vjetrovito vrijeme. Sredinom dana ciklonalni vrtlog je najjači i uzrokuje mjestimice obilne oborine na području sjeverne Hrvatske, ali i iznimno obilne dugotrajne oborine na većem području Bosne i Hercegovine te Srbije. Poplava koja se dogodila na donjem dijelu toka rijeke Save posljedica je povećanih količina oborina zbog prethodno navedenih uvjeta. Poplavi je također prethodilo vrlo vlažno razdoblje pa je tlo bilo zasićeno vodom na području sliva Save (DHMZ, 2014). Prikaz

ciklone predočen je na slici 2 – 5, protoci i vodostaji s bliskih hidroloških postaja nalaze se u tablici 2 – 1.



Slika 2 - 5: Satelitska snimka ciklone u infracrvenom dijelu spektra (DHMZ, 2014)

Tablica 2 - 1: Vodostaji i protoci očitani s hidroloških postaja (DHMZ, 2014)

Hidrološka postaja	Vodostaj (cm) 2014.godine	Vodostaj (cm) max	Protok (m ³ /s) 2014.godine	Protok (m ³ /s) max
Slavonski Brod	939 cm 18.05.2014.	892 cm 30.10.1974.		3476 m ³ /s
Slavonski Šamac	891 cm 17.05.2014.	762 cm 21.3.1981.	6000 m ³ /s 17.05.2014.	
Županja	1168 cm 17.05.2014.	1046 cm 19.1.1070.		4161 m ³ /s
Gunja	1173 cm 17.05.2014.	938 9.4.2013.	4625 m ³ /s 16.05.2014.	

Puknuće nasipa, uvjetovano rekordno visokim vodostajima na dva mjesta, bila je katastrofalna posljedica.

3. TEORIJSKE OSNOVE RADA

3.1. Daljinska istraživanja

Daljinsko istraživanje je praćenje i otkrivanje fizičkih karakteristika područja mjerenjem njegovog reflektiranog i emitiranog zračenja na udaljenosti. Obično se radi o snimanju iz aviona ili satelita. Takvo snimanje nam omogućuje da vidimo mnogo više nego što možemo vidjeti ako stojimo na zemlji te se vremenski i financijski više isplati od klasičnih terenskih istraživanja (USGS, 2022). Vizualni prikaz daljinskih istraživanja nalazi se na slikama 3 – 1, 3 – 2 i 3 – 3 . Slika 3 – 2 prikazuje daljinsko snimanje površine avionom, a slika 3 – 3 je prikaz LIDAR snimke.

Neke od specifičnih upotreba daljinskih istraživanja su:

- obalne primjene: Praćenje promjene obalne crte, praćenje prijenosa, nanosa i mapiranje obalnih značajki, podaci se koriste za kartiranje obale i prevencije erozije.
- primjena oceana: Praćenje cirkulacije oceana i strujnih sustava, mjerenje temperature oceana i visine valova te praćenje morskog leda, ti se podaci koriste za bolje razumijevanje oceana i kako najbolje upravljati oceanskim resursima.
- procjena opasnosti: Praćenje uragana, potresa, erozije i poplave. Ti se podaci koriste za procjenu učinka prirodne katastrofe i stvaranje strategija pripravnosti koje će se koristiti prije i nakon opasnog događaja.
- upravljanje prirodnim resursima: Praćenje korištenja zemljišta, mapiranje močvarnih područja i crtanje staništa divljih životinja. Podaci se mogu koristiti za minimiziranje štete koju urbani razvoj ima na okoliš i pomoći u odlučivanju kako najbolje zaštititi prirodne resurse (Oceanservice, 2022).

Daljinski senzori mogu biti pasivni ili aktivni. Pasivni senzori reagiraju na vanjske podražaje, oni bilježe prirodnu energiju koja se reflektira ili emitira s površine Zemlje. Reflektirana sunčeva svjetlost najčešći je izvor zračenja koji detektiraju pasivni senzori. Popularni primjeri pasivnih daljinskih senzora uključuju uređaje s nabojem, filmsku fotografiju, radiometre i infracrvene zrake. Aktivni senzori koriste unutrašnje podražaje za prikupljanje podataka o Zemlji. RADAR i LIDAR tipični su aktivni senzori koji mjere vremensko kašnjenje između emisije i povratka kako

bi se utvrdila lokacija, smjer i brzina objekta. Prikupljeni podaci daljinskog snimanja zatim se obrađuju i analiziraju pomoću hardvera i računalnog softvera za daljinsko istraživanje, koji je dostupan u raznim vlasničkim i otvorenim aplikacijama. Daljinskim sensorima na poslijetku upravljaju stručnjaci koji donose ključne odluke o tome koje senzore treba koristiti za prikupljanje podataka i kada, specifikacije rezolucije za prikupljanje podataka i kalibraciju senzora, te odabir platforme koja će nositi senzor, a sve to otkriva ovu metodu do određenog stupnja ljudske pogreške. Netočnost također može unijeti zračenje elektromagnetskog spektra emitirano iz snažnih aktivnih daljinskih senzorskih sustava, koji mogu biti nametljivi i utjecati na fenomen cilja koji se istražuje. Instrumenti za daljinsko istraživanje mogu također doprinijeti netočnim, nekalibriranim podacima ako hardverski sustav postane nekalibriran (HEAVY.AI, 2022).

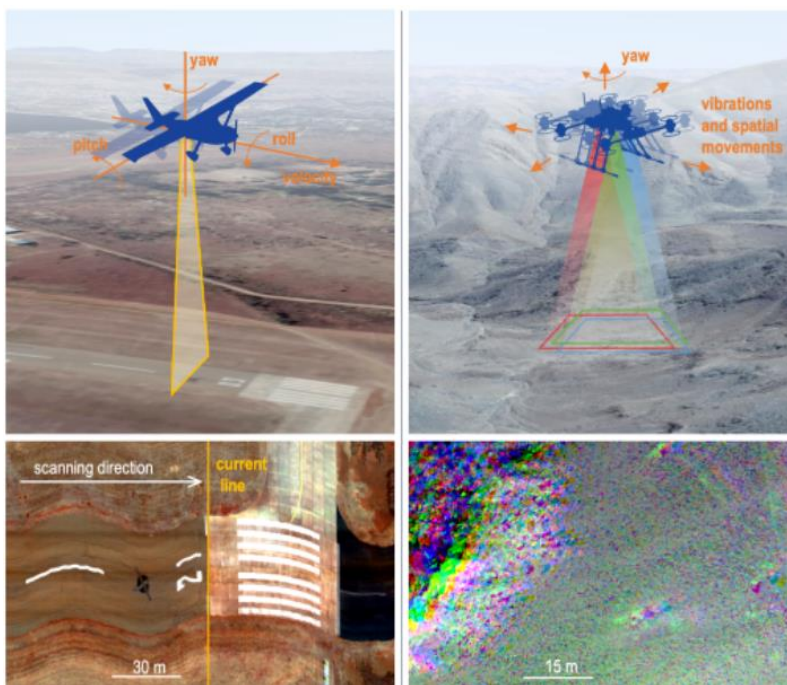
Faze u daljinskom istraživanju:

- emisija elektromagnetskog zračenja ili EMR
- prijenos energije od izvora do površine zemlje, također kao apsorpcija i raspršivanje
- interakcija EMR-a sa zemljinom površinom: refleksija i emisija
- prijenos energije s površine na daljinski senzor
- izlaz podataka senzora
- prijenos podataka, obrada i analiza (Aggarwal, 2003).

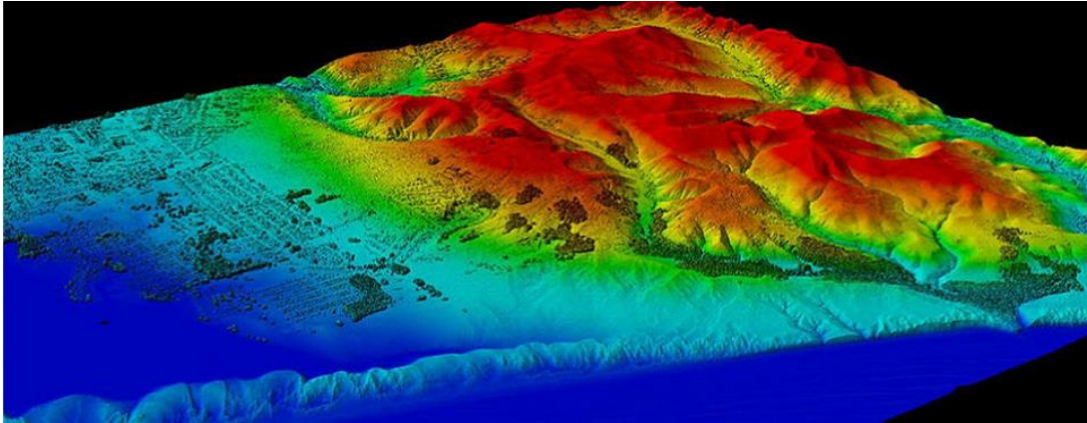
U proteklih nekoliko desetljeća postignut je znatan tehnološki napredak u poboljšanju značajki optičkih senzora koje omogućuju poboljšanu razlučivost detalja na snimci kao što su prostorna rezolucija, spektralna rezolucija i radiometrijska rezolucija. Prostorna rezolucija senzora odnosi se na najmanju veličinu objekta koji se može detektirati na snimci. Najčešće je možemo predočiti veličinom piksela. Spektralna rezolucija vezana je uz opseg intervala valnih duljina. Što je spektralna rezolucija nekog senzora bolja, uži je interval valnih duljina koji senzor može detektirati. Prema toj karakteristici razlikujemo multispektralne senzore, koji očitavaju desetak, te hiperspektralne senzore, koji očitavaju više stotina različitih valnih duljina u vidljivom i nevidljivom dijelu spektra. Radiometrijska rezolucija označava osjetljivost uređaja pri razlučivanju gradijenata elektromagnetskog zračenja iz izvora. Što je radiometrijska rezolucija senzora bolja, senzor je osjetljiviji na promjene u reflektiranoj ili emitiranoj energiji (Pilaš, 2019).



Slika 3 - 1: Vizualni prikaz daljinskih istraživanja (HZDR, 2022)



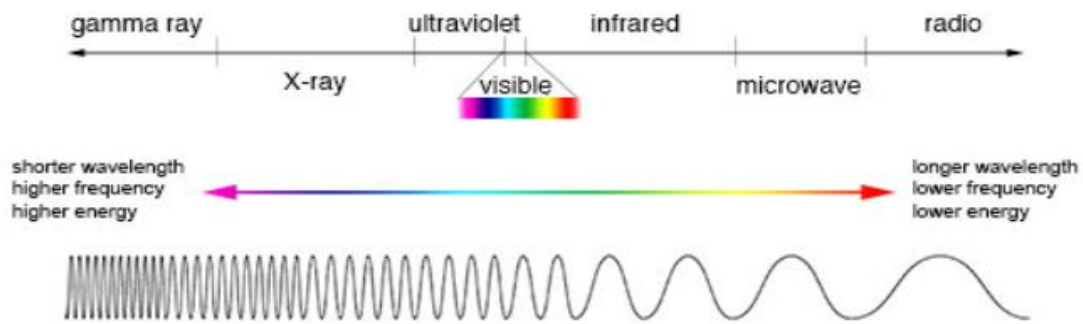
Slika 3 - 2: Daljinsko snimanje iz aviona (HZDR, 2022)



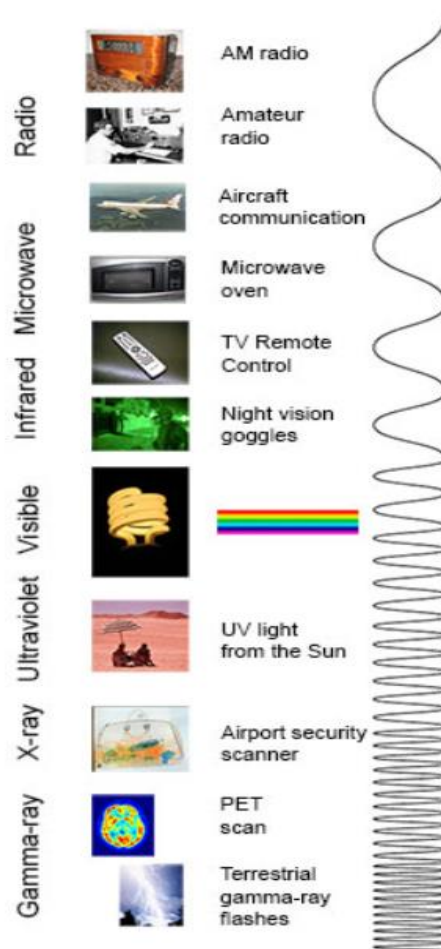
Slika 3 - 3: Snimaka dobivena satelitskim snimanjem (Oceanservice, 2022)

3.2. Elektromagnetski spektar i Elektromagnetsko zračenje

Elektromagnetski spektar je raspon svih vrsta elektromagnetskog zračenja. Spektar čine gama zračenje, rendgensko zračenje, ultraljubičasto zračenje, vidljivi dio spektra, infracrveno zračenje, mikrovalno zračenje i radiovalovi (dijelovi su poredani od najmanje valne duljine prema najvećoj). Zračenja s lijeve strane vidljivog dijela spektra nisu štetna za ljude. Većina elektromagnetskog zračenja iz svemira ne može doprijeti do površine Zemlje. Radio frekvencije, vidljiva svjetlost i nešto ultraljubičastog svjetla dopiju do razine mora. Slika 3 – 4 prikazuje usporedbu valne duljine s frekvencijom, a slika 3 – 5 primjere zračenja u ljudskoj okolini (GSFC.NASA, 2013). Elektromagnetsko zračenje je dinamički oblik energije koji se širi kao valno gibanje brzinom od $3 \cdot 10^{10}$ cm/s. Sunčevo zračenje kada upadne na površinu Zemlje, ono se reflektira, prenosi na površinu ili apsorbira i emitira po površini. Elektromagnetska radijacija doživljava niz promjena veličina, smjera, valne duljine, polarizacije i faze. Ove promjene detektira daljinski senzor i omogućuje tumaču da dobije korisne informacije o predmetu zanimanja. Daljinski otkriveni podaci sadrže i prostorne informacije (veličina, oblik i orijentacija) i spektralne informacije (ton, boja i spektralni potpis) (Aggarwal, 2003).



Slika 3 - 4: Prikaz elektromagnetskog spektra (GSFC.NASA, 2013)



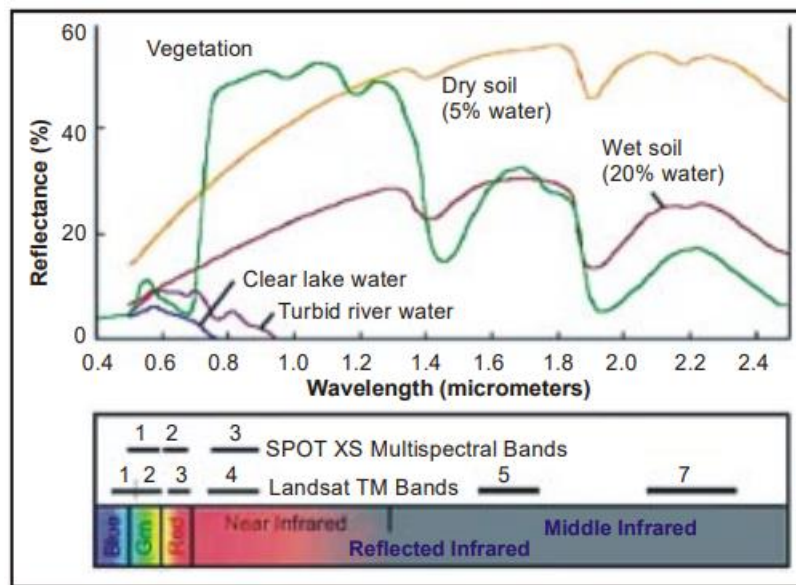
Slika 3 - 5: Elektromagnetsko zračenje u ljudskoj okolini (GSFC.NASA, 2013)

3.2.1. Refleksija, Transmisija i Spektralna refleksija

Od svih interakcija u reflektirajućoj regiji, površinske refleksije su najkorisniji u aplikacijama daljinskog istraživanja. Do refleksije dolazi kada se zraka svjetlosti preusmjeri dok udari neprozirnu površinu. Intenzitet refleksije ovisi o površinskom indeksu loma, apsorpciji, kutu upada i refleksije.

Kod transmisije prijenos zračenja nastaje kada zračenje prolazi kroz tvar bez značajnog slabljenja. Za danu debljinu ili dubinu tvari, sposobnost medija da prenosi energiju mjeri se kao propusnost.

Spektralna refleksija je omjer reflektirane energije i upadne energije kao funkcija valne duljine. Razni materijali zemljine površine imaju različite karakteristike spektralne refleksije. Krivulja spektralne refleksije prikazana je na slici 3 – 6. Spektralna refleksija je odgovorna za boju ili ton u fotografskoj slici objekta. Drveće izgleda zeleno jer reflektiraju više zelene valne duljine. Vrijednosti spektra prosječne refleksije objekata u različitim, dobro definiranim intervalima valnih duljina obuhvaćaju spektralni potpis objekata ili obilježja pomoću kojih može biti istaknut. Da bi se dobili vjerodostojni podaci za tumačenje multispektralne slike, spektralne karakteristike različitih prirodnih objekata opsežno su mjerene i zabilježene (Aggarwal, 2003).



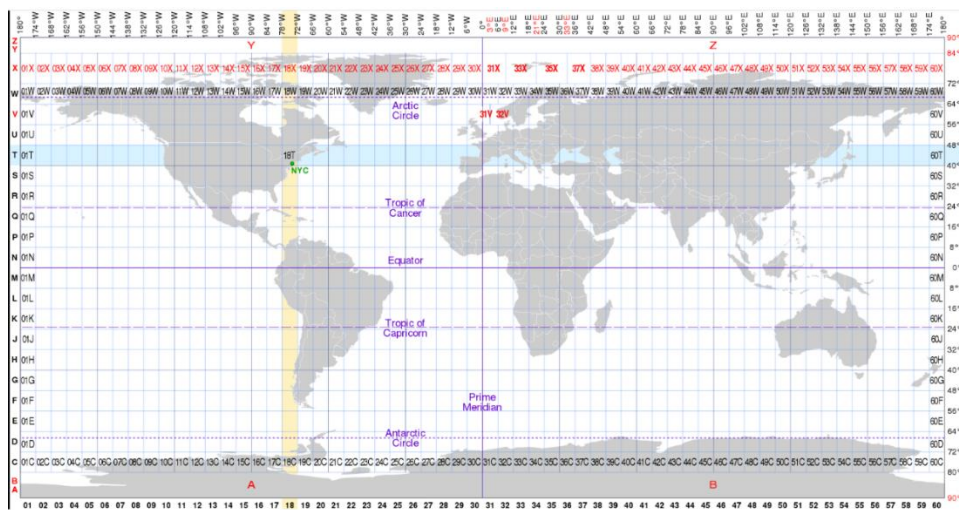
Slika 3 - 6: Krivulja spektralne refleksije za vegetaciju, vodu i tlo (Aggarwal, 2003)

3.3.4. Refleksijske karakteristike vode

Većina zračenja koje pada na vodu se ne reflektira već se apsorbira ili prenosi. Duže vidljive valne duljine i bliska infracrvena zračenja voda više apsorbira nego vidljive valne duljine. Zbog jače refleksije kod kraćih valnih duljina voda izgleda plavo ili plavo-zeleno i tamnije ako se gleda na crvenim ili blizu infracrvenim valnim duljinama. Čimbenici koji utječu na varijabilnost refleksije vodnog tijela su dubina vode, materijali unutar vode i hrapavost površine vode (Aggarwal, 2003).

3.3. UTM 33 koordinatni sustav

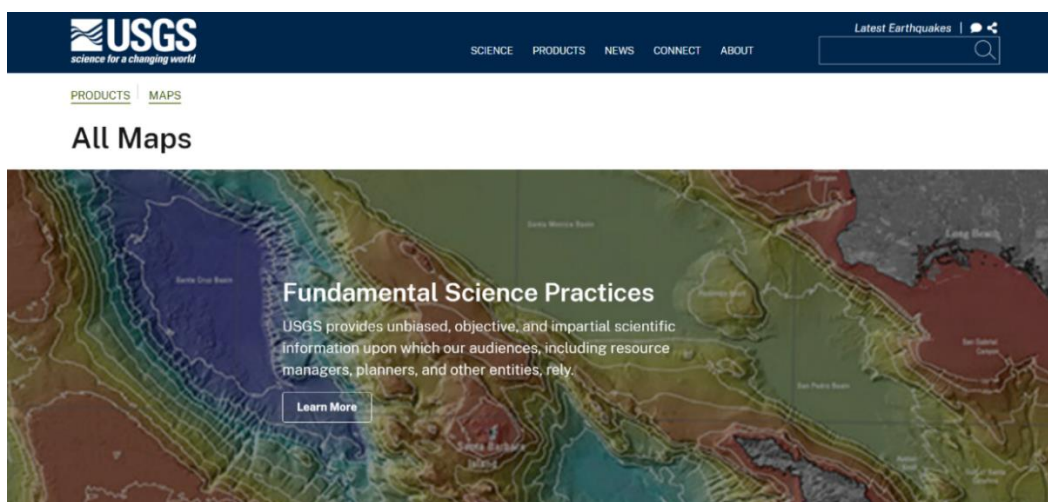
UTM (Universal Transverse Mercator) je službeni koordinatni sustav koji se koristi u svijetu. Baziran na konformnoj cilindričnoj projekciji na WGS84 elipsoidu. Dijeli zemlju u 60 zona širine 6° od zapada prema istoku. Hrvatska se većim dijelom nalazi u zoni UTM 33 N, a manji dio nalazi se u zoni UTM 34 T koja zahvaća dio istočne Hrvatske. Jedinica je metar, a ne stupanj što omogućava lakše mjerenje udaljenosti. Svaka zona definirana je pravokutnim koordinatnim sustavom s koordinatnim osima: os N (engl.North), definirana središnjim meridijanom zone i os E (engl.East), definirana pravcem ekvatora (stručni rad J. Petrović, 2020). UTM omogućava da se koordinatni sustav numeriranja izravno poveže sa sustavom za mjerenje udaljenosti (MapTools, 2022). Prikaz UTM zona vidljiv je na narednoj slici.



Slika 3 - 7: UTM zone na karti svijeta (Wikipedia, 2022)

3.4. Američki geološki zavod USGS

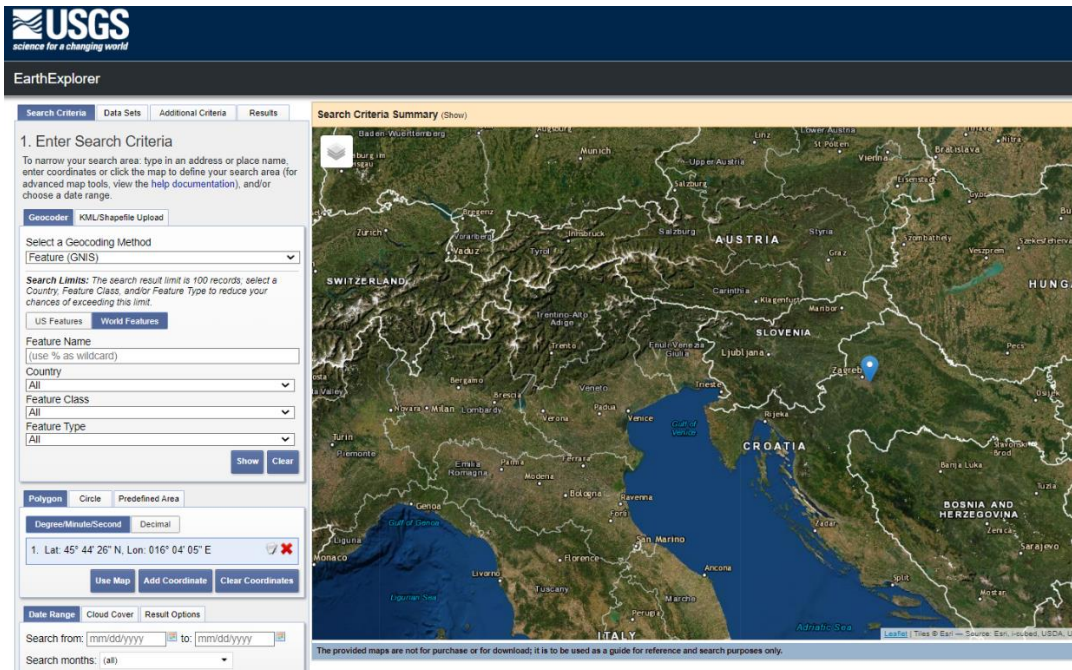
USGS je najveća Američka nacionalna agencija za vodu, zemlju, biologiju i civilnu kartografiju. Njihova misija je obuhvaća praćenje, analiziranje i predviđanje trenutne i razvijajuće dinamike složenih interakcija među ljudima i prirodnim Zemljinim sustavom te isporuka korisne informacije u mjerilima i vremenskim okvirima relevantnim za donositelja odluka (USGS, 2022). Na slici 3 - 8 vidimo prikaz USGS web stranice.



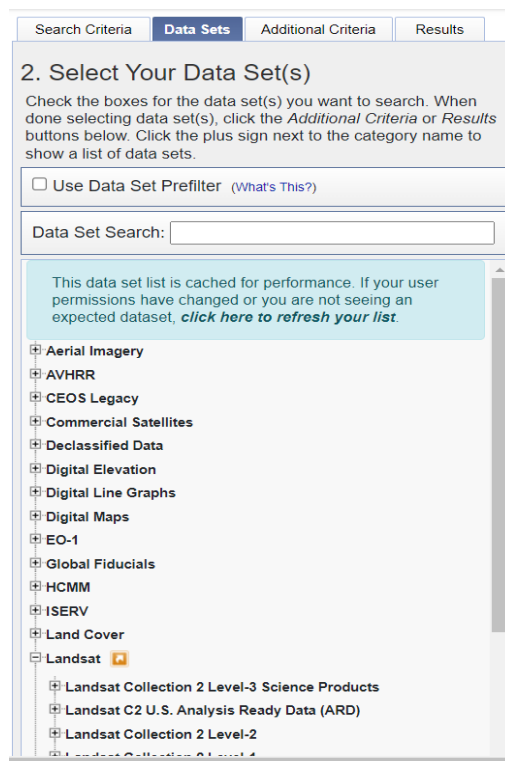
Slika 3 - 8: Web stranica USGS-a (USGS, 2022)

3.5. Earth Explorer

Earth Explorer dio je USGS-a koji služi za dobivanje skupova geo-prostornih podataka. Korisnici mogu dobiti satelitske snimke Landsat, radarske podatke, podatke UAS-a, digitalne linijske grafikone, podatke o digitalnom modelu visina, zračne fotografije, Sentinel snimke, komercijalne satelitske snimke poput IKONOS i OrbView3, podatke o kopnu, digitalne kartografske podatke iz nacionalne karte i još mnogo toga (EarthExplorer, 2022). Podaci se dobiju tako što se unesu ili točne koordinate ili se pretražuje po lokaciji, na slikama 3 – 9 i 3 – 10 prikazani su alati pomoću kojih se izabire lokacija i satelitska misija.



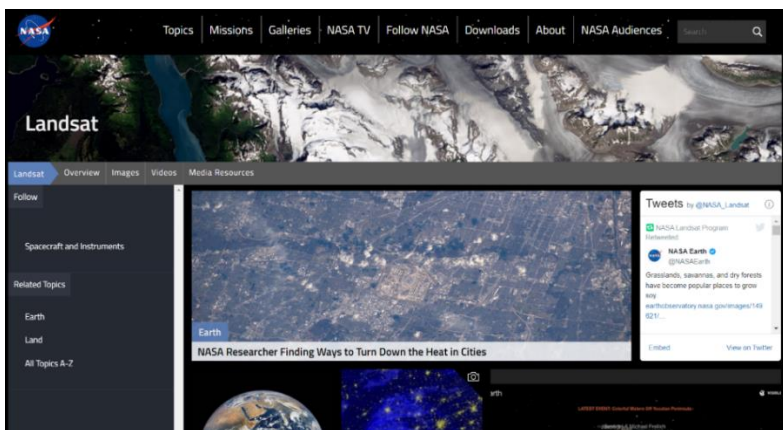
Slika 3 - 9: Odabir lokacije na Earth Exploreru (EarthExplorer, 2022)



Slika 3 - 10: Odabir satelitske snimke (EarthExplorer, 2022)

3.6. Landsat satelitske snimke

Landsat je serija satelitskih misija za promatranje Zemlje kojima upravlja NASA (prikaz web stranice na slici 3 – 11) i USGS. Trenutno su u orbiti aktivni sateliti Landsat 7, Landsat 8 i Landsat 9. Landsat sateliti imaju optimalnu razlučivost tla i spektralne pojaseve za učinkovito praćenje korištenja zemljišta i dokumentiranje promjena zemljišta zbog klimatskih promjena, urbanizacije, suše, šumskih požara, promjena biomase i niza drugih prirodnih i ljudskih promjena. Landsat posjeduje najdulje kontinuirano prikupljenu zbirku podataka daljinskog istraživanja zemlje srednje razlučivosti u svemiru. Ljudi diljem svijeta koriste Landsat podatke za istraživanja, poslovanje, obrazovanje i druge aktivnosti (USGS, 2022). Landsat kanali prikazani su u tablici 3 – 1 s pripadajućom valnom duljinom i rezolucijom. Landsat 8 sastoji se od Operation Land Imager (OLI) i Termalnog infracrvenog senzora (TIRS). Ova dva senzora osiguravaju sezonsku pokrivenost globalne kopnene mase u prostornoj razlučivosti od 30 metara (vidljivo, NIR, SWIR), 100 metara (termalni) i 15 metara (pankromatski). OLI poboljšava prethodne Landsat senzore koristeći tehnički pristup koje je demonstrirao senzor na NASA-inom eksperimentalnom satelitu EO-1. OLI prikuplja podatke za vidljive, bliske infracrvene i kratkovalne infracrvene spektralne pojaseve kao i za pankromatski pojas. Naspram ETM+ senzora Landsata 7 satelita OLI nudi dva nova spektralna pojasa, jedan posebno prilagođen za otkrivanje cirusnih oblaka, a drugi za promatranje obalnih zona (Landsat 8, 2022). Kontinuirano korištenje većeg broja satelitskih misija znatno povećava vjerojatnost dobivanja uporabljivih snimaka Zemljine površine bez zastora oblaka kao jednog od najčešćeg ograničenja kod pasivnih optičkih satelitskih senzora (Pilaš, 2019)



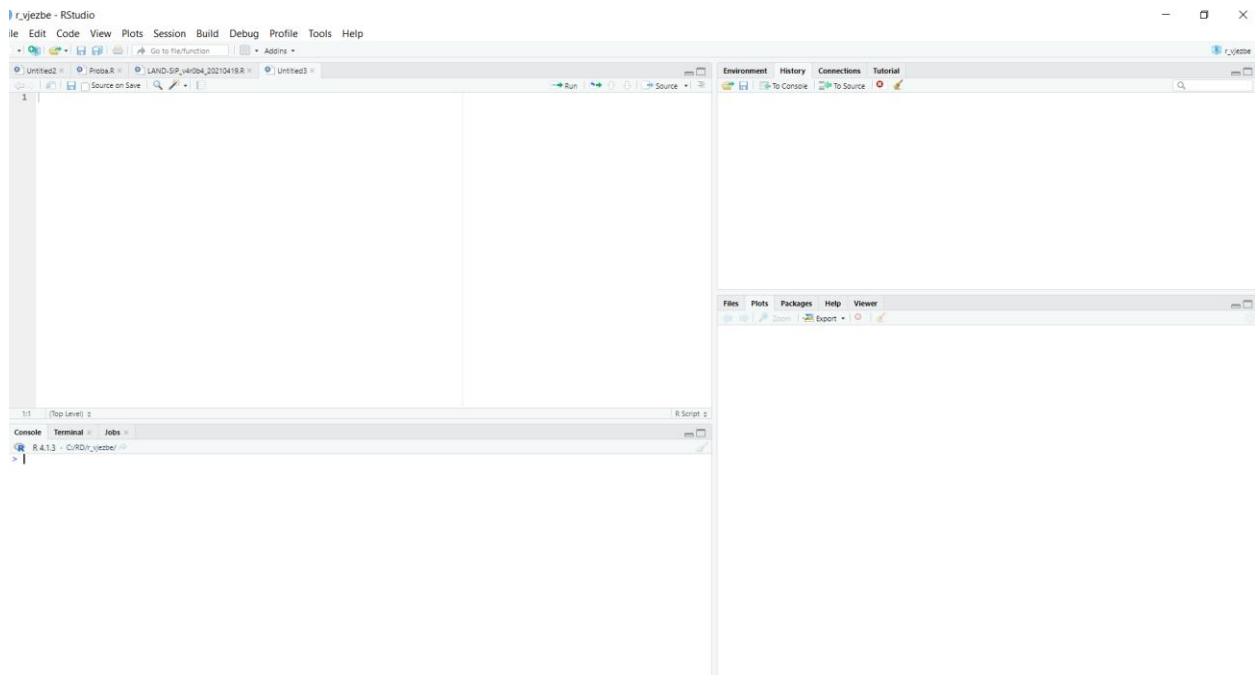
Slika 3 - 11: Web stranica Landsat-a (NASA, 2022)

Tablica 3 - 1: Valne duljine i rezolucija Landsat snimaka (USGS, 2022)

Kanali	Valna duljina (μm)	Rezolucija (m)
Kanal 1 Obalni aerosol	0.43 – 0.45	30
Kanal 2 Plavo	0.45 – 0.51	30
Kanal 3 Zeleno	0.53 – 0.59	30
Kanal 4 Crveno	0.64 – 0.67	30
Kanal 5 Blisko infracrveno (NIR)	0.85 – 0.88	30
Kanal 6 Kratkovalno infracrveno SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Kanal 7 Kratkovalno infracrveno SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Kanal 8 Pankromatsko	0.50 – 0.68	15
Kanal 9 Cirrusno (SWIR)	1.36 – 1.38	30
Kanal 10 Dugovalno infracrveno (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
Kanal 11 Dugovalno infracrveno (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

4. PROGRAMSKI JEZIK R

R je besplatni softver otvorenog koda za statističku analizu temeljen na S jeziku. R Studio je besplatno integrirano razvojno okruženje za R. Njegovo sučelje je organizirano tako da korisnik može jasno vidjeti grafikone tablice podataka, R kod i ispisati sve u isto vrijeme (slika 4 - 1). Također nudi značajku poput čarobnjaka za uvoz koja korisnicima omogućuje uvoz CSV, Excel, SAS, SPSS i Stata datoteka u R bez potrebe ta pisanjem koda. R se pokazao praktičan zbog toga što je besplatan, dostupan za Windowse, Macintosh i Linux, zbog kvalitetne grafike i zbog dostupnosti naprednih statističkih modela i algoritama (Kent State, 2022). Instalacija R studia vrlo je jednostavna s obzirom na to da je besplatan i internetski dostupan softver, on se u ovisnosti o operativnom sustavu preuzme sa službene stranice. Da bi se rezultati grafički predočili, u ovom radu, korištena je funkcija plot te se pregled karata prikaže u donjem desnom kutu R sučelja.

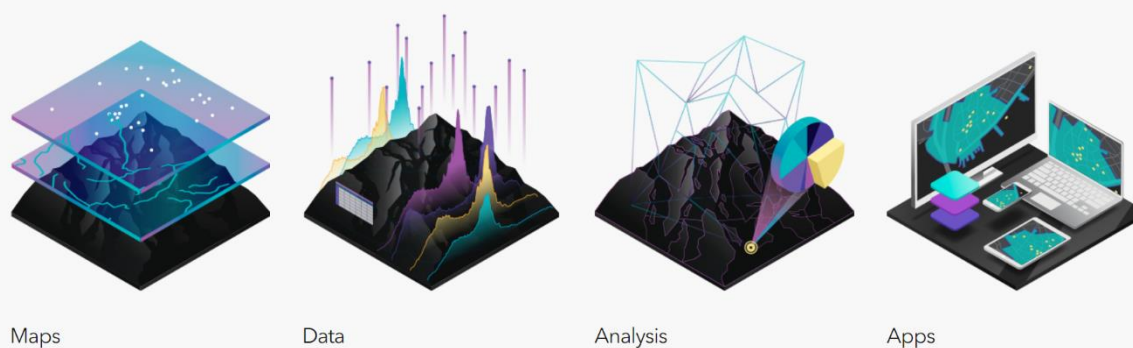


Slika 4 - 1: Sučelje R studia

Instalacija biblioteka unutar R pomoću naredbe *install.packages*. Za izradu ovog diplomskog rada potrebno je bilo instalirati pakete RGDAL, raster i sp. RGDAL je paket koji omogućuje vezivanje za geoprstornu biblioteku te pristup operacijama projekcije/transformacije, no planira se njegovo povlačenje do 2023.godine te se preporučuje prijelaz na *sf/stars/terra* funkcije. SP je alat za učitavanje i korištenje prostornih podataka uključujući *shapefile*ove. Raster služi za čitanje, pisanje, manipulaciju i modeliranje prostornih podataka. Paket implementira osnovne funkcije i funkcije visoke razine za rasterske podatke i za operacije vektorskih podataka (RStudio Support, 2022).

5. GEOINFORMACIJSKI SUSTAV (GIS)

Geografski informacijski sustav (GIS) je sustav koji stvara, upravlja, analizira i preslikava sve vrste podataka. GIS povezuje podatke s kartom, integrirajući podatke o lokaciji (gdje se stvari nalaze) sa svim vrstama opisanih informacija (kakve su stvari tamo). To pruža temelj za mapiranje i analizu koja se koristi u znanosti i gotovo svakoj industriji. GIS pomaže korisnicima razumjeti obrasce, odnose i geografski kontekst. Prednosti uključuju poboljšanu komunikaciju i učinkovitost, kao i bolje upravljanje i donošenje odluka (esri, 2022). Dvije osnovne vrste podataka u GIS-u su rasteri i vektori. Vektorski podaci za modeliranje koriste tri elementa: točku, liniju i poligon. Rasterski podaci za prikaz koriste mrežu ćelija odnosno osnovni element je piksel. Vizualni prikaz GIS- softvera nalazi se na slici 5 – 1.



Slika 5 - 1: Vizualna reprezentacija GIS-a (esri, 2022)

QGIS je GIS sustav otvorenog koda licenciran pod GNU Općom javnom licencom. On je službeni projekt Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Radi na Linux, Unix, Mac OSX, Windows i Android sustavu te podržava brojne vektorske, rasterske formate (QGIS, 2022). Softver posjeduje 6 generalnih kategorija a to su: pregled podataka, istraživanje podataka i izrada karte, stvaranje, uređivanje, upravljanje i izvoz podataka, analiziranje podataka, objavljivanje karta na internetu, proširivanje funkcionalnosti dodacima.

6. INDEKS NORMALIZIRANE RAZLIKE VODE (NDWI)

Indeks normalizirane razlike vode (NDWI) se koristi za isticanje značajki površinske vode na satelitskoj snimci. Otvorena voda se ističe u odnosu na tlo i vegetaciju. NDWI se izračunava korištenjem GREEN-NIR (vidljivo zeleno i blizu infracrvene) kombinacije, što mu omogućuje otkrivanje suptilnih promjena u sadržaju vode u vodnim tijelima. Formula pomoću koje se izračunava glasi:

$$NDWI = \frac{(Green-NIR)}{(Green+NIR)} \quad (6 - 1)$$

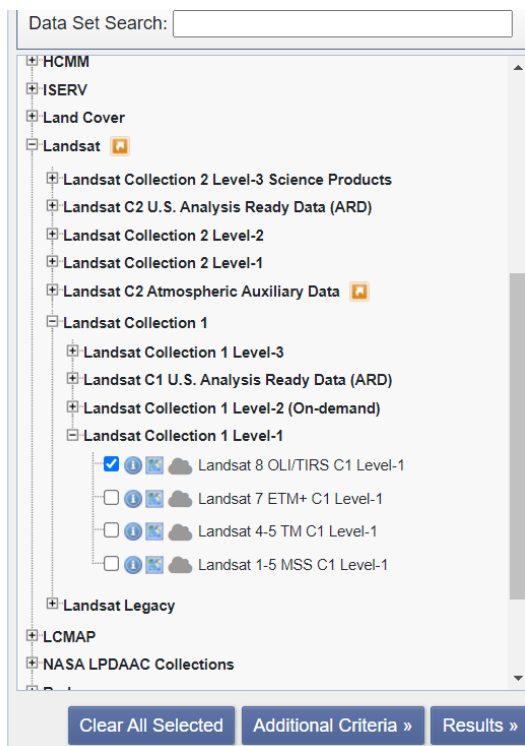
NDWI indeks predložio je McFeeters 1996., njegova primarna upotreba je otkrivanje i praćenje blagih promjena u sadržaju vode u vodnim tijelima. Koristeći prednosti NIR (bliski infracrveni) i GREEN (vidljivi zeleni) spektralni pojas NDWI je sposoban poboljšati detekciju vodenih tijela na satelitskoj slici. Nedostatak indeksa je osjetljivost na izgrađene strukture, što može dovesti do precjenjivanja vodenih tijela. Vidljive zelene valne duljine maksimiziraju tipičnu refleksiju površine vode, a bliske infracrvene valne duljine maksimiziraju visoku refleksiju kopnene vegetacije i obilježja tla, dok minimiziraju nisku refleksiju vodenih značajki. Rezultat NDWI jednadžbe su pozitivne vrijednosti za značajke vode i negativne (ili nula) za tlo i kopnenu vegetaciju. NDWI se koristi i za praćenje zamućenosti vode. Podaci izvučeni iz satelitske snimke pomoću NDWI indeksa vizualiziraju se kao karte kako bi se bolje dočarale promjene (EOS, 2022).

7. PRIPREMA PODATAKA

Kanali GREEN i NIR satelitskih snimki koji su potrebni za izračun NDWI indeksa preuzeti su s Earth Explorera. Prvi korak bio je odrediti s koje lokacije će se preuzeti snimke i u kojem vremenskom rasponu kao što je prikazano na slici 7 - 1. Pretraženo je područje općine Gunje u periodu od 4.4. do 30.4.2014. da bi se dobile snimke prije nego što je područje poplavljeno. Za period nakon poplave datum je promijenjen u razdoblje od 18.5. do 30.6.2014., te je izabrana snimka stvorena na dan kad nema oblaka odnosno jako malo oblaka da bi slika bila što čišća. Nakon toga bilo je potrebno odrediti dodatne kriterije kao što je satelitska misija s koje je potrebno preuzeti snimke, što je predočeno na slici 7 – 2 gdje je izabrana satelitska misija Landsat 8.

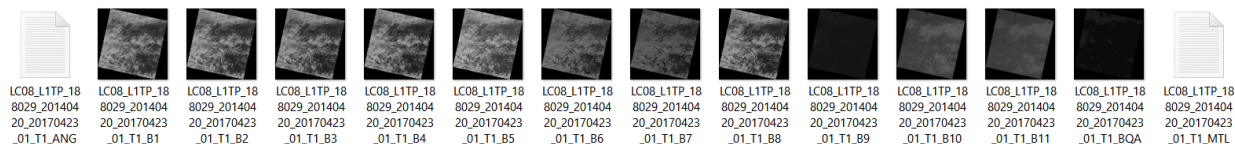
The screenshot displays the search interface of Earth Explorer. At the top, there is a dropdown menu for 'Select a Geocoding Method' set to 'Feature (GNIS)'. Below this is a 'Search Limits' section with a note: 'The search result limit is 100 records; select a Country, Feature Class, and/or Feature Type to reduce your chances of exceeding this limit.' There are two buttons: 'US Features' and 'World Features', with 'World Features' being active. The search criteria are as follows: 'Feature Name' is 'Gunja', 'Country' is 'CROATIA', 'Feature Class' is 'All', and 'Feature Type' is 'All'. There are 'Show' and 'Clear' buttons at the bottom right of this section. Below the search criteria, there are three tabs: 'Polygon', 'Circle', and 'Predefined Area', with 'Polygon' selected. Underneath, there are two tabs: 'Degree/Minute/Second' and 'Decimal', with 'Degree/Minute/Second' selected. A message box says 'No coordinates selected.' with 'Use Map', 'Add Coordinate', and 'Clear Coordinates' buttons. At the bottom, there are three tabs: 'Date Range', 'Cloud Cover', and 'Result Options', with 'Date Range' selected. The 'Date Range' section shows 'Search from: 04/04/2014' and 'to: 04/30/2014'. Below that, 'Search months: (all)' is selected. At the very bottom, there are three buttons: 'Data Sets >', 'Additional Criteria >', and 'Results >'.

Slika 7 - 1: Unos lokacije i vremena pretraživanja



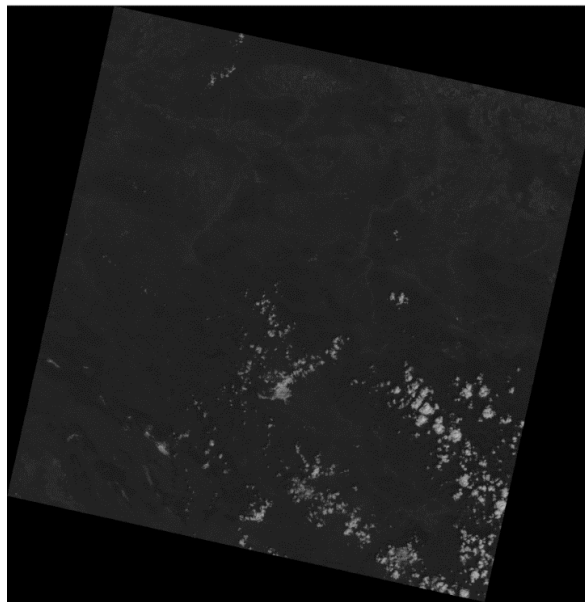
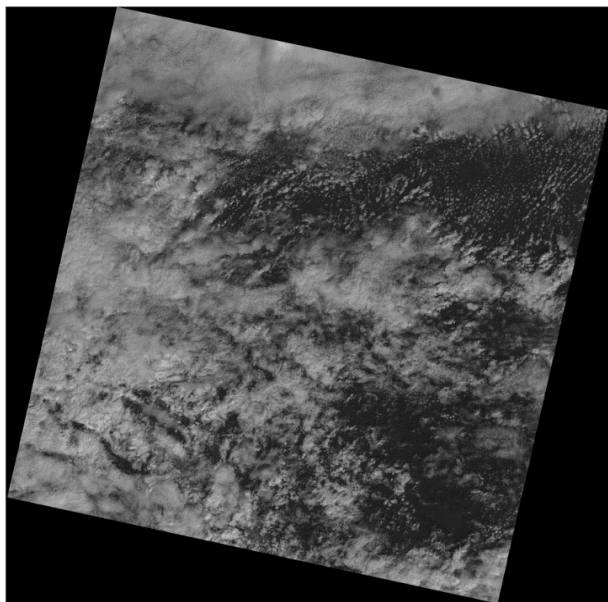
Slika 7 - 2: Odabir satelitske misije

Na posljertku se podaci preuzmu te se raspakiraju u mapi i dobiju se snimke ka što je prikazano na slici 7 - 3.

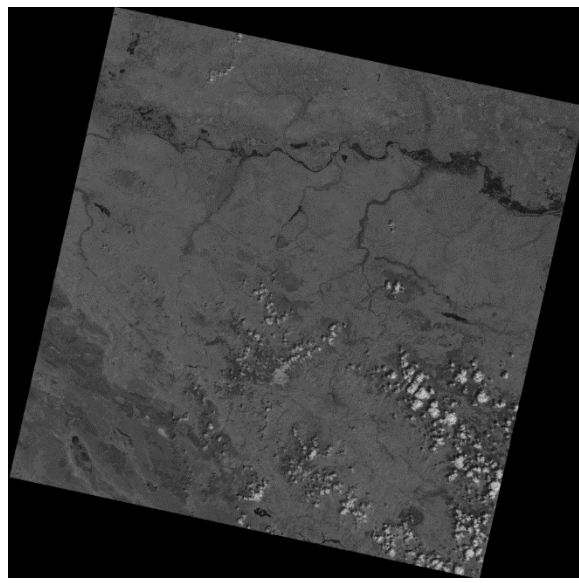
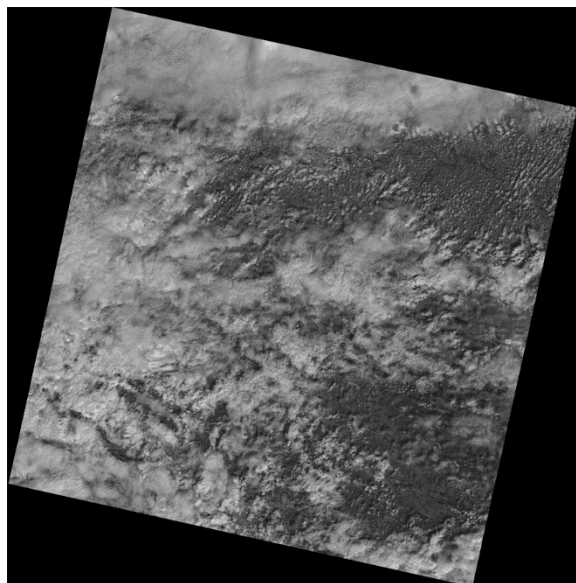


Slika 7 - 3: Raspakirani podaci

Snimke kanala B3 i B5 koje su korištene za izračun poplavljenog područja nalaze se na narednim slikama.



Slika 7 - 4: Snimke kanala B3 prije i nakon poplave



Slika 7 - 5: Snimke kanala B5 prije i nakon poplave

8. OBRADA PODATAKA

U program R Studio prvo je postavljen radni direktorij u kojem će se spremati svi podaci i iz kojeg se povlače snimke. To je učinjeno naredbama *setwd* i *getwd*, te su potom instalirani dodatni paketi *RGDAL* i *raster* nužni pri radu sa satelitskim snimkama. Instalirani su na vrlo jednostavan način s obzirom na to da se ispiše naredba *install.packages* ili ako su već instalirani pozovu se naredbom *library* kao što je i bilo u slučaju paketa *raster*.

```
setwd("C:/RD/r_vjezbe")  
  
getwd()  
  
install.packages("rgdal")  
  
library(rgdal)  
  
library(raster)
```

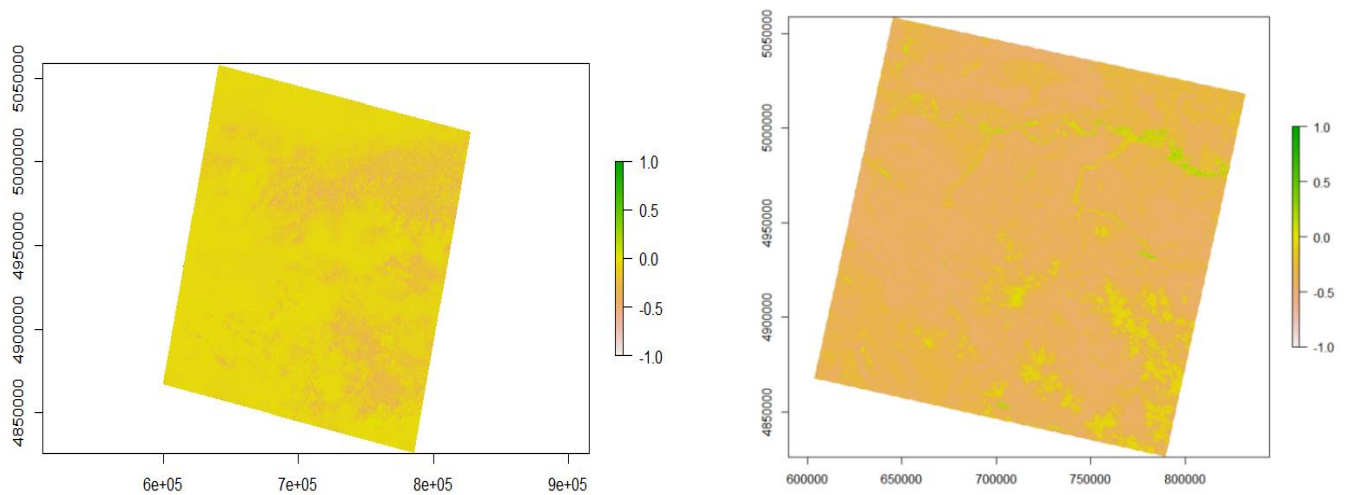
Idući korak pri izračunu NDWI je učitavanje satelitske snimke za kanale 3 (GREEN) i 5 (NIR) prije i nakon poplave. *L1G* je naziv koji je pridodan kanalu 3 prije poplave, a *L1N* kanalu 5 prije poplave. Pomoću formule $NDWI = (L1G - L1N)/(L1G + L1N)$ izračunat je NDWI indeks te je pomoću naredbe *plot* prikazan indeks kao što je vidljivo na slici 8 – 1 (lijevo). Cijeli postupak učinjen je i za snimke nakon poplave, naziv za kanal 3 bio je *L2G*, a za kanal 5 *L2N* te je naredbom *plot* prikazan indeks za područje nakon što je poplavljeno (slika 8 – 1, desno).

```

L1G <- raster("C:/RD/r_vjezbe/LC08_L1TP_188029_20140420_20170423_01_T1_B3.tif")
L1N <- raster("C:/RD/r_vjezbe/LC08_L1TP_188029_20140420_20170423_01_T1_B5.tif")
NDWI <- (L1G-L1N)/(L1G+L1N)
plot(NDWI)

L2G <- raster("C:/RD/r_vjezbe/LC08_L1TP_188029_20140522_20180527_01_T1_B3.tif")
L2N <- raster("C:/RD/r_vjezbe/LC08_L1TP_188029_20140522_20180527_01_T1_B5.tif")
NDWI2 <- (L2G-L2N)/(L2G+L2N)
plot(NDWI2)

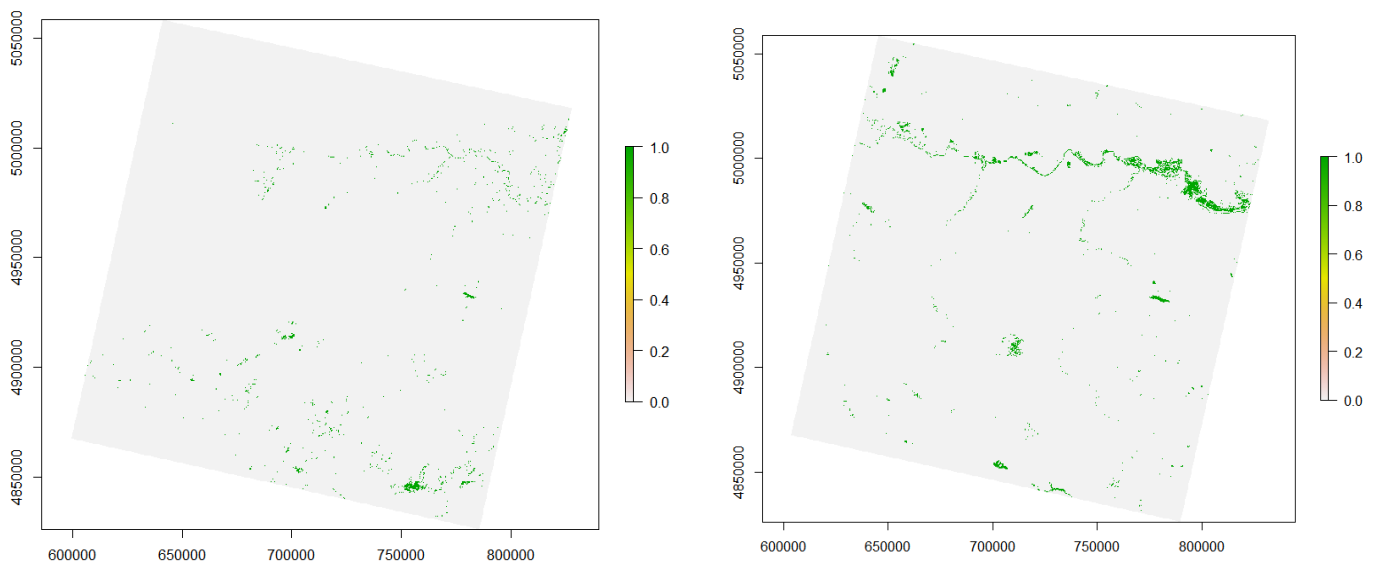
```



Slika 8 - 1: NDWI prije poplave i nakon poplave

Dobivene vrijednosti su reklasificirane tako da je svim vrijednostima od minus beskonačno do 0 pridodana je vrijednost 0, a svim većim vrijednostima pridodana je vrijednost 1. Nakon toga naredbom *plot* dobiveni su karte prikazane na slikama 8 – 2.

```
NDWI1 <- reclassify(NDWI, c(-Inf, 0, 0, 0, Inf, 1 ))  
plot(NDWI1)  
NDWI2_1 <- reclassify(NDWI2, c(-Inf, 0, 0, 0, Inf, 1 ))  
plot(NDWI2_1)
```



Slika 8 - 2: Reklasifikacije prije i nakon poplave

S obzirom na to da satelitska snimka obuhvaća puno veće područje od onog na kojem je došlo do poplavlivanja, snimke su naknadno odrezane naredbom *crop* u R Studiu. To je sve učinjeno da bi se bolje istaknulo poplavljeno područje s obzirom na to da snimka obuhvaća puno veći prostor od samog poplavljenog dijela. Odrezane snimke prikazane su na slikama 8 – 3. *Extent* je očitao tako što je umetnuta snimka u QGIS te se miš postavi na rubne točke područja kojeg je potrebno odrezati te se potom u donjem desnom kutu očitaju koordinate.

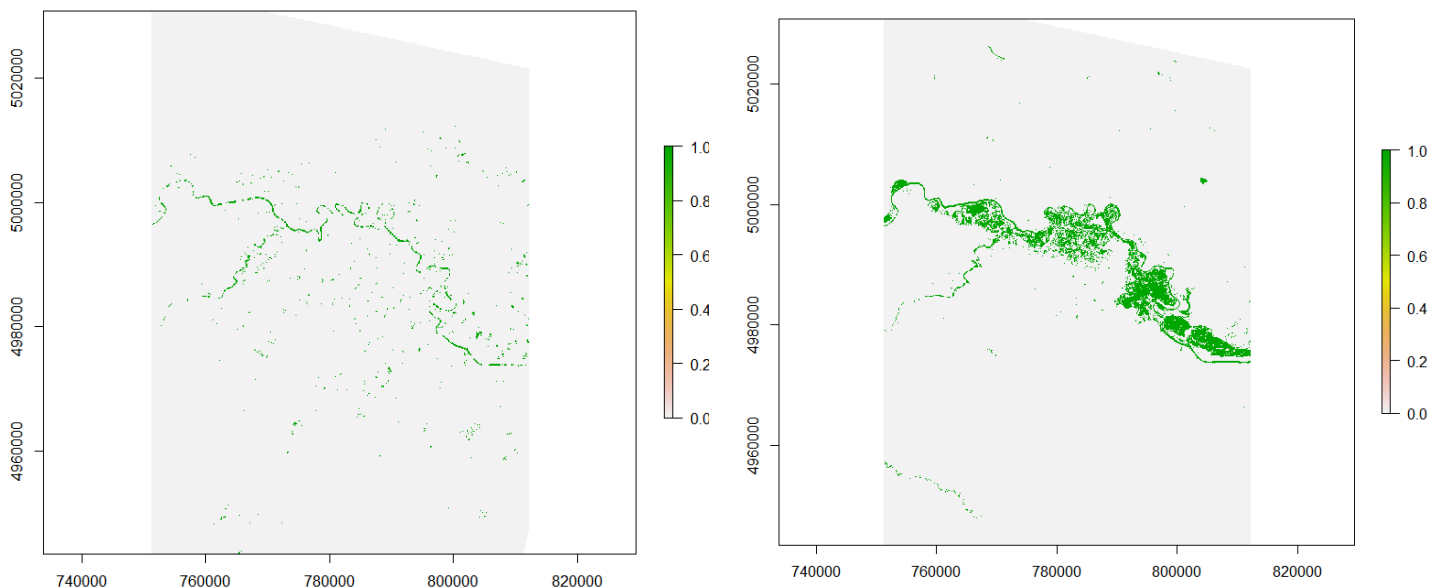
```
e2 <- extent(751197, 812159, 4943433, 5030833)

NDWI1crop1 <- crop(NDWI1, e2)

plot(NDWI1crop1)

NDWI2CROP2_2 <- crop(NDWI2_1, e2)

plot(NDWI2CROP2_2)
```



Slika 8 - 3: Odrezano područje prije i nakon poplave

9. REZULTATI

Da bi se naglasilo poplavljeno područje karta područja nakon poplave dobivena u R Studiu ubačena je u QGIS. Potrebno je bilo u R Studiu izvesti kartu u Geotiff formatu. To je urađeno pomoću naredbe *writeRaster*.

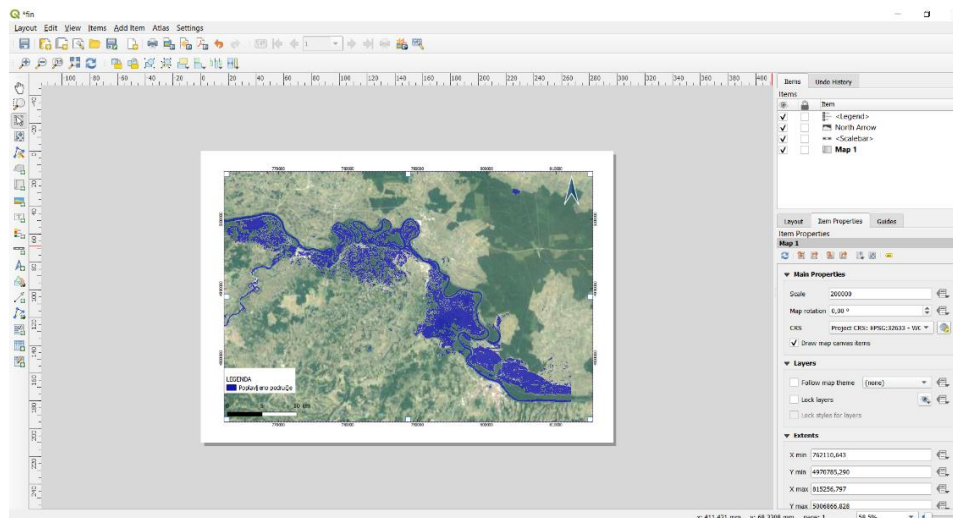
```
writeRaster(NDWI2CROP2_2, "NDWI2CROP2_2.tif", format="GTiff",  
overwrite=TRUE)
```

Geotiff format karte umetnut je u QGIS, te je potom kao pozadinska karta postavljen Google Satellite karta. Da bi se istaknulo poplavljeno područje dodatno je uređeno pomoću alata *Symbology*.

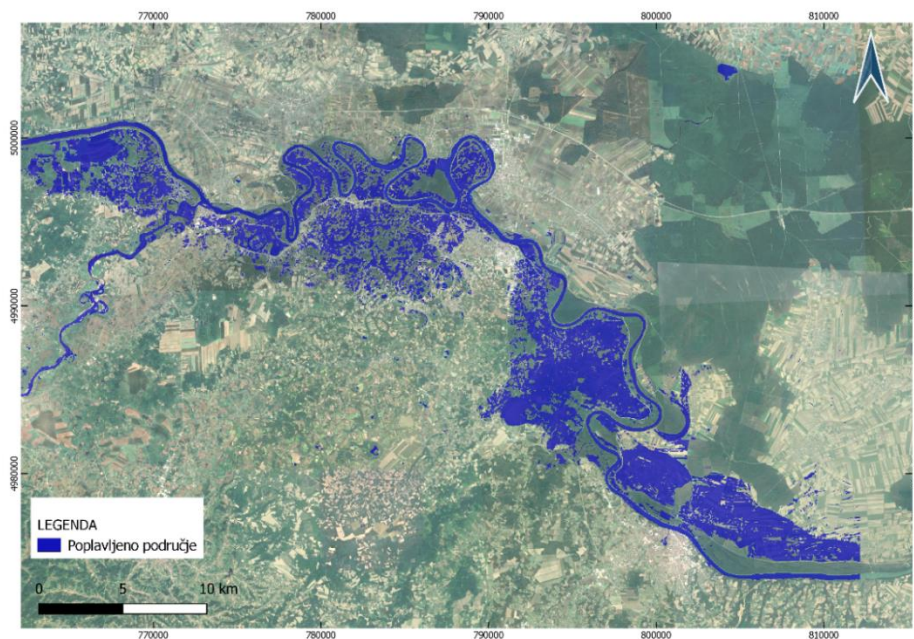
Potom je stvoren novi *Layout* kao što je prikazano na slici 9 – 1. U donjem desnom kutu promijenjeno je mjerilo karte i karti je dodan *grid*. Na finalnu kartu umetnuti su legenda, mjerilo te oznaka sjevera.

Posljednji korak u R softveru je bio izračun poplavljene površine pomoću naredbe *freq* koja izbroji piksele kojima je prethodno pridodana vrijednost 1 i one kojima je pridodana vrijednost 0. S obzirom na to da pikseli čija je vrijednost 1 označavaju poplavljeno područje njima se dodatno pridoda naziva *count* te se pomnože sa rezolucijom Landsat snimaka odnosno 30*30 metara da bi se dobila površina u m² koja iznosi 197370900 m² te pretvoreno u km² iznosi 197 km².

```
freq(NDWI2CROP2_2)  
count <-freq(NDWI2CROP2_2)  
povrsina <- (count[2,2])*900
```



Slika 9 - 1: Layout u QGIS-u



Slika 9 - 2: Finalna karta poplavljenog područja Gunje

10. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je odrediti poplavljeno područje primjenom daljinskih istraživanja. Za izračun se koristila metoda indeksa normalizirane razlike vode za što su potrebne multispektralne satelitske snimke. Cijeli postupak proveden je u R programskom softveru. Metoda daljinskih istraživanja kojom se prikupljaju, analiziraju i obrađuju podaci sa zemljine površine pokazala se vrlo korisna.

Bilo je potrebno preuzeti Landsat snimke općine Gunje na kojoj je došlo do poplavlivanja. Landsat 8 se sastoji od dva senzora koji osiguravaju globalnu pokrivenost u prostornoj razlučivosti od 30 metara. Kontinuirano korištenje većeg broja satelitskih misija omogućilo je dobivanje snimki bez zastora oblaka. Snimke su preuzete sa Earth Explorera koji se nalazi na USGS službenoj stranici. Snimke s Landsat 8 kanala su jako čiste te su dobiveni podaci mjerodavni. Po formuli koju je dao Mcfeeters za izračun NDWI koja omogućuje otkrivanje suptilnih promjena sadržaja vode. Korištene su snimke s kanala B3 i B5 prije i nakon poplave. Snimke su potom učitane u R Studiu gdje je izračunat NDWI. Području koje je poplavljeno pridodana je vrijednost 0, a okolnom području 1. Površina poplavljenog područja izračunata je vrlo jednostavno u R-u. Finalna karta dodatno je uređena u softveru QGIS da bi se istaknula poplava.

R je vrlo praktičan program s obzirom na to da je lako shvatljiv i da je bilo potrebno samo nekoliko linija koda da bi se izračunao NDWI. Naredba plot omogućava trenutčan uvid u kartu čime olakšava cijeli postupak računanja. R se pokazao kao vrlo dobar alat daljinskih istraživanja budući da je jako efikasan i prilično jednostavan te može poslužiti za računanje posljedica nekih drugih klimatskih ili prirodnih nepogoda.

11. LITERATURA

AGGARWAL, S. 2003. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology; Principles of Remote Sensing str 23-38. Indian Institute of Remote Sensing, Dehra Dun

PEJNOVIĆ, D. 2022., Studija Gunja, Geografski odsjek PMF, Zagreb

PETROVIĆ, J. 2020., Konverzija pravokutnih koordinata na granici zona 33T i 34T referentne mreže MGRS, Strategos 4(1) 81-103

PILAŠ, I., GAŠPAROVIĆ, M., ĐODAN, M., BALENOVIĆ, I., DUGAČKI, I., 2019., Mogućnost korištenja optičkih satelitskih snimaka srednje i visoke rezolucije (Landsat 8) u vizualizaciji i detekciji promjena šumskog pokrova nakon vjetroizvala, Geodetski list, 3, 261-276

BUZALJKO, R., VUJNOVIĆ, L., OLUJIĆ, J., 1985. *Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100 000. List BRČKO L 34-110* Beograd, Savezni geološki zavod Beograd

BRKIĆ, M., GALOVIĆ, I., BUZALJKO, R., 1989. *Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100 000. List Vinkovci L 34-98* Beograd, Savezni geološki zavod Beograd

DHMZ, 2014., Stoljetna poplava na donjem dijelu toka Save

URL: http://klima.hr/razno/priopcenja/poplava_sava_2014.pdf (4.4.2022.)

ESRI, 2022., What is GIS?

URL: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview> (16.4.2022)

EOS, 2022., Normalized Difference Water Indeks

URL: <https://eos.com/make-an-analysis/ndwi/> (25.4.2022.)

GSFC.NASA, 2013., The electromagnetic spectrum

URL: <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html> (6.4.2022.)

HEAVY.AI, 2022., Remote sensing

URL: <https://www.heavy.ai/technical-glossary/remote-sensing> (25.4.2022.)

HZDR, 2022., Remote sensing

URL: <https://www.hzdr.de/db/Cms?pOid=45916&pNid=3635> (5.4.2022.)

Jutarnji list, 2014., reportaža iz Županijske posavine

URL: <https://www.jutarnji.hr/vijesti/hrvatska/najveca-prirodna-katastrofa-u-modernoj-hrvatskoj-evo-kako-izgleda-gunja-cetiri-godine-nakon-velike-poplave-7350612> (30.3.2022.)

Kent State University, 2022., Statistical & qualitative data analysis software: about R and RSTUDIO

URL: <https://libguides.library.kent.edu/statconsulting/r> (12.4.2022.)

Landsat Science, Landsat 8, 2022.

URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/> (30.4.2022.)

MapTools, 2022., Why use UTM Coordinates? (13.5.2022.)

URL: https://www.maptools.com/tutorials/utm/why_use_utm

National Ocean Service, 2022., What is remote sensing?

URL: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/remotesensing.html> (5.4.2022.)

PAMIĆ, J., RADONIĆ, G., PAVIĆ G., 2003.: Geološki vodič kroz Park prirode Papuk, Javna ustanova Park prirode Papuk, Velika

URL: <https://www.pp-papuk.hr/download/geoloski-vodic-1-dio/?wpdmdl=7664&refresh=62750282b4d491651835522> (6.5.2022.)

QGIS, 2022.

URL: <https://qgis.org/en/site/about/index.html> (22.4.2022.)

RStudio Support, 2022., Quick list of useful R packages

URL: <https://support.rstudio.com/hc/en-us/articles/201057987-Quick-list-of-useful-R-packages> (14.4.2022.)

USGS, 2022., Earth Explorer

URL: <https://www.usgs.gov/educational-resources/earth-explorer> (10.4.2022.)

USGS, 2022., Landsat 8 band designations

URL: <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-band-designations> (11.4.2022)

USGS, 2022., Official website

URL: <https://www.usgs.gov/> (7.4.2022.)

USGS, 2022., What is the Landsat satellite program and why is it important?

URL: https://www.usgs.gov/faqs/what-landsat-satellite-program-and-why-it-important?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products (11.4.2022.)

UTM, 2022., The Universal Transverse Mercator, Wikipedia (13.5.2022.)

URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Transverse_Mercator_coordinate_system

USGS, 2022., What is remote sensing?

URL: <https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used> (5.4.2022.)

TADIĆ, M., P. 2014., Kratki pregled poplave u svibnju 2014., DHMZ

URL: <https://klima.hr/razno/priopcenja/DailyMeteoMPTpoplava2014.pdf> (4.4.2022.)

TANDARIĆ, N. 2014. Prirodni rizici u Brodsko-posavskoj županiji, Stručni članak, Geografija.hr

URL: <https://geografija.hr/clanci/prirodni-rizici-u-brodsko-posavskoj-zupaniji/> (30.3.2022.)