

# Analiza promjena zemljišnoga pokrova uzrokovanih Tohoku potresom i tsunamijem na istočnoj obali Japana 2011. - 2021.

---

Radoš, Marin

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:895502>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-29**



Repository / Repozitorij:

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



**Marin Radoš**

**Analiza promjena zemljišnoga pokrova uzrokovanih  
Tohoku potresom i tsunamijem na istočnoj obali Japana  
2011. – 2021.**

**Diplomski rad**

**Zagreb  
2022.**



**Marin Radoš**

**Analiza promjena zemljišnoga pokrova uzrokovanih  
Tohoku potresom i tsunamijem na istočnoj obali Japana  
2011. – 2021.**

**Diplomski rad**  
predan na ocjenu Geografskom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog zvanja  
magistra geografije

**Zagreb  
2022.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Geografija*; smjer: *Geografski informacijski sustavi* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Luka Valožić

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek

Diplomski rad

**Analiza promjena zemljišnoga pokrova uzrokovanih Tohoku potresom i tsunamijem na istočnoj obali Japana 2011. – 2021.**

Marin Radoš

**Izvadak:** Daljinska istraživanja su znanost i tehnologija uporabe senzora za registriranje određenih objekata na određenom području, odnosno metoda prikupljanja podataka. Korištenjem tih podataka, uz GIS, lakše percipiramo i bolje razumijemo pojedini problem. Kvalitetno i sustavno prikupljanje podataka pojedinih područja daljinskim metodama od iznimne je važnosti, i u normalnim i u kriznim situacijama, kako bi se razvoj ubrzao, a eventualne posljedice smanjile. Japanski tsunami, uzrokovan razornim potresom, ostavio je katastrofalni trag na iznimno velikom području, ali i ošteti nuklearnu elektranu. Cilj rada je prikazati upravo te posljedice uzrokovane pojedinim nepogodama (potres, tsunami, radijacija...) i način na koji se daljinska istraživanja primjenjuju u naknadnom razvoju pogođenih područja. Nadalje, cilj je prikazati i analizirati pogođeno područje prije, neposredno nakon katastrofe i današnje stanje korištenjem znanja stečenog na studiju. U radu će se, uz relevantnu i stručnu literaturu, koristiti osnovne statističke metode, kartografski prikazi, metode deskripcije, indukcije i dedukcije.

46 stranica, 23 grafičkih priloga, 0 tablica, 31 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: Japan, daljinska istraživanja, GIS, tsunami, prostorna analiza, zemljišni pokrov

Voditelj: doc. dr. sc. Luka Valožić

Povjerenstvo: doc. dr. sc. Luka Valožić  
prof. dr. sc. Zoran Stiperski  
doc. dr. sc. Slaven Gašparović

Tema prihvaćena: 11. 3. 2021.

Rad prihvaćen: 8. 9. 2022.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geography

Master Thesis

**Analysis of land cover change caused by the Tohoku earthquake and tsunami in eastern Japan from 2011 to 2021**

Marin Radoš

**Abstract:** Remote sensing is the science and technology of using sensors to register specific objects in a specific area, meaning, a method of data collection. By using these data, together with GIS, we can easily perceive and have better understanding of a particular problem. Systematic collection of high-quality data in individual areas using remote methods is extremely important, both in normal and crisis situations, in order to speed up a development and reduce possible crisis consequences. The Japanese tsunami, caused by a strong earthquake, left a catastrophic mark on an extremely large area and also damaged the nuclear power plant. The aim of the paper is to present those consequences caused by these disasters (earthquake, tsunami, radiation...) and the way in which remote sensing is applied in the development of the affected areas later on. Furthermore, the goal is to present and analyze the affected area before, immediately after the disaster and today's situation using the knowledge gained during the study. In addition to relevant and professional literature, the paper will use basic statistical methods, cartographic representations, methods of description, induction and deduction.

46 pages, 23 figures, 0 tables, 31 references; original in Croatian

Keywords: Japan, remote sensing, GIS, tsunami, spatial analysis, land cover

Supervisor: Luka Valožić, PhD, Assistant Professor

Reviewers: Luka Valožić, PhD, Assistant Professor  
Zoran Stiperski, PhD, Full Professor  
Slaven Gašparović, PhD, Assistant Professor

Thesis title accepted: 11/03/2021

Thesis accepted: 08/09/2022

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Cilj, zadatci, svrha rada i istraživačka pitanja.....	1
1.2. Prostorni obuhvat .....	2
1.3. Metodologija istraživanja.....	2
1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja .....	3
2. OPĆA OBILJEŽJA NASTALIH PRIRODNIH KATASTROFA .....	6
2.1. Potresi.....	6
2.2. Tsunamiji.....	7
3. JAPAN .....	8
3.1. Japanska katastrofa.....	9
3.2. Tohoku potres.....	9
3.3. Veliki tsunami .....	10
3.4. Fukushima nuklearna katastrofa.....	12
3.5. Posljedice katastrofe.....	14
4. DALJINSKA ISTRAŽIVANJA .....	16
4.1. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta .....	19
4.2. Teledetekcija i fotogrametrija .....	19
4.3. Razvoj daljinskih istraživanja .....	20
4.4. Princip rada tehnologije .....	21
4.5. Raspršenje, refrakcija i apsorpcija .....	23
4.6. Primjena tehnologije u Japanu .....	24
5. ANALIZA PROMJENE ZEMLJIŠNOG POKROVA U GIS-u .....	27
6. RASPRAVA .....	39
7. ZAKLJUČAK.....	40
8. LITERATURA I IZVORI.....	41
Popis literature: .....	41
Popis izvora:.....	45
PRILOZI .....	vi
Popis slika: .....	vi



## 1. UVOD

Moderna daljinska istraživanja omogućuju nam konstantno ažuriranje i praćenje promjena u prostoru. Ona uvelike olakšavaju percipiranje određenog prostornog problema te pružaju mogućnost beskonačne kreativnosti, kako profesionalcima, tako i amaterima. Upravo uporaba te tehnologije, omogućuje nam brzo prikupljanje željenih podataka i u normalnim, ali i u kriznim vremenima. Točnost i brzina prijenosa informacija uz stalni razvoj, uvrštava daljinska istraživanja, njihove analize i načine prikupljanja podataka, u kvalitetnije izvore podataka. Promjene u prostoru mogu se promatrati i kroz promjenu zemljišnog pokrova koji je prirodan proces pa se uz antropogeno djelovanje i promjenu načina uporabe zemljišta, prostor neprestano mijenja. Velike prirodne katastrofe, poput japanskog Sendai tsunamija uzrokovanog Tohoku potresom i posljedično oštećenje nuklearne elektrane Fukushima ostavljaju trag na znatno velikim područjima. Niz tih nesretnih događaja zahvatio je nekoliko regija, nekoliko vrsta pokrova tla, raselio ljude i ostavio pustoš. U diplomskom radu prikazuju se pojedini postupci obrade i analize podataka prikupljenih iz više izvora. Spomenuti prikupljeni podaci rezultat su rada i djelovanja raznih satelita, neizostavnih komponenti u daljinskim istraživanjima. Dinamičke prostorne promjene na velikim prostranstvima, kao što je ovdje slučaj, primjenom daljinskih istraživanja možemo precizno i rapidno zapaziti te na njih adekvatno i optimalno reagirati. Pitanje koje se postavlja pri početku pisanja ovog diplomskog rada jest: Kako su daljinska istraživanja pridonijela praćenju stanja, rješavanju problema, provođenju i realizaciji projekata sanacije od početka katastrofe, pa sve do danas?

### 1.1. Cilj, zadatci, svrha rada i istraživačka pitanja

Cilj ovog rada je ukratko ući u tematiku prirodnih katastrofa, odrediti što su daljinska istraživanja, prikazati neke od mnogih načina primjene daljinskih istraživanja u kriznim situacijama te uspostaviti vezu između njih. Svrha rada je prikazati kako su se Japan i znanstvenici suočili s danom problematikom i koliko su im daljinska istraživanja i korištenje novih GIS tehnologija pomogle u tome. U radu će se pratiti promjena zemljišnog pokrova na određenim područjima prije tsunamija, neposredno nakon tsunamija i u novije vrijeme usporedbom i klasifikacijom satelitskih snimaka. Svrha diplomskog rada jest iskoristiti znanja i izraditi određene prostorne analize kako bi se prikazalo stanje područja pogođenih

katastrofom. Nadalje, cilj ovog rada je analiziranje pogođenih područja koje je pogodio tsunami te područja napuštena nakon nuklearne katastrofe.

U radu se istražuje primjenjivost daljinskih istraživanja i mogućnosti koje nam takva vrsta tehnologije pruža. Shodno tome, pojavljuje se nekoliko istraživačkih pitanja do čijih odgovora će se pokušati doći razradom teme rada.

1. Jesu li daljinska istraživanja kao tehnologija i znanost, svojom raznolikom primjenom na pojedinim područjima zahvaćenim katastrofom, odigrala neizostavnu ulogu?
2. Jesu li daljinska istraživanja ostavila pozitivan utjecaj i primjer za daljnje korištenje u situacijama sličnog tipa?
3. Kako je tsunami utjecao na promjenu načina korištenja zemljišta i zemljišni pokrov u uskim obalnim područjima i u području oko nuklearne elektrane?

## 1.2. Prostorni obuhvat

Prostorni obuhvat diplomskog rada čini Japan, odnosno, obalno područje istočne obale otoka Honshu koji je ujedno i najveći japanski otok. Proučava se područje zahvaćeno tsunamijem na makro razini, dok se detaljnija GIS analiza odnosi na mikrolokacije, to jest, pojedine luke i gradove gdje je zamijećena veća promjena. Proizvoljno odabrana mjesta izabrana su ovisno o dostupnosti podataka. To se odnosi na to jesu li podaci bili besplatni, je li na snimkama bilo oblaka, te o dostupnosti i kvaliteti općenito.

## 1.3. Metodologija istraživanja

Prije pisanja rada istražena je dostupnost literature i podataka. U obzir su uzeti i potencijalni problemi i ograničenost pri traženju podataka i njihov manjak, odnosno ne pronalazak, s obzirom na veće različitosti jezika, grafema itd. Nakon toga su se, iz relevantnih izvora, prikupljale informacije i podaci. Dostupnost podataka imala je ključni utjecaj na vrstu analize koja se provodila softveru ArcMap. Pomoću ovog programa, kojeg koristimo kao alat u obradi podataka, analizirani su satelitski snimci istraživanog područja, digitalni modeli reljefa, satelitske karte, statistički podaci itd. Obradom satelitskih multispektralnih snimaka (prvenstveno LANDSAT) izrađeno je nekoliko kartografskih prikaza promjene zemljišnog pokrova kroz vrijeme. Smanjena dostupnost podataka uvjetovala je korištenje nekih gotovih, ali vrlo kvalitetnih i adekvatnih prikaza istraživanog područja koji se nalaze na internetskim

stranicama koje podatke crpe iz opsežnih baza podataka japanskih izvora (JAXA). Stoga, odluka je bila koristiti i spomenute priloge kako bi se zornije prikazale pojedine promjene u prostoru. Nadalje, korišteni su brojni radovi i članci domaće i strane literature.

#### 1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja

Prema studiji koja je istraživala promjene u obalnoj topografiji i učinke obalnih struktura na te promjene u prefekturi Iwate u Japanu prije i nakon tsunamija i potresa, zaključeno je da je obala erodirana uglavnom zbog povratnog ispiranja tsunamija i da su obalne strukture (lukobrani) imale snažan utjecaj na ponašanje tsunamija i transport sedimenata (slika 1). U posljednjih 150 godina nekoliko je velikih tsunamija pogodilo obalu istraživanu u ovoj studiji (obala Rikuzen-Takata), a to su: Meiji 1896., Showa 1933., čileanski 1960. i japanski 2011. Zaključeno je da je područje plavljenja tsunamija iz 2011. bilo je najveće od navedena četiri i otprilike 2 i pol puta veće od drugog najvećeg, a to je bio čileanski (Udo i dr., 2018).

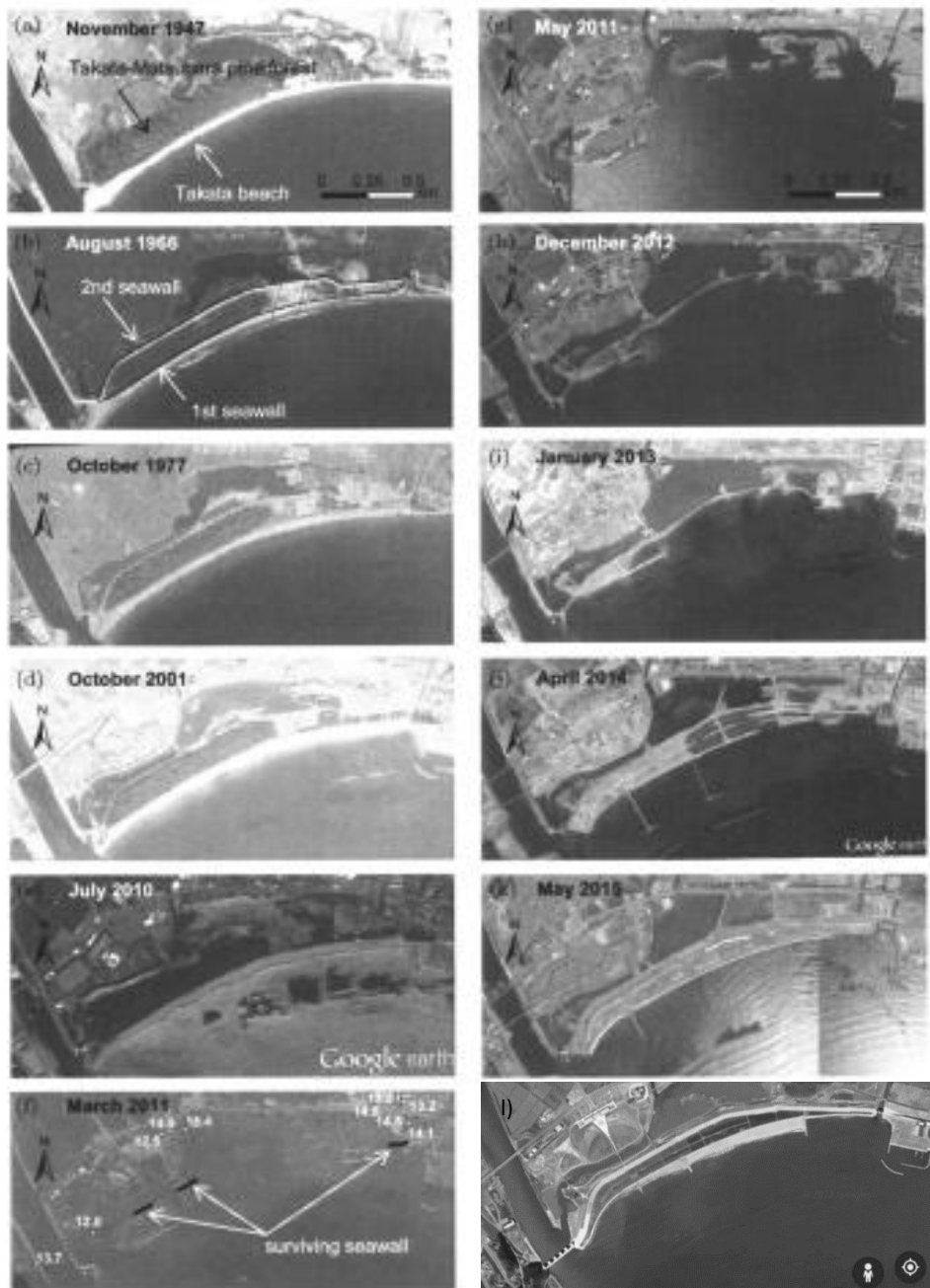


Sl.1. Zaljev Hirota, Rikuzentakata 14.3.2011.

Izvor: NASA, 2011.

Na slici 2 prikazane su zračne fotografije snimljene od 1947. pa do 2022. Prolaskom kroz fotografije možemo primijetiti promjene u prostoru, napose nakon velikog tsunamija 2011. godine. Na prvoj (a) fotografiji vidi se borova šuma, prvotno i zamišljena kao agens u smanjivanju erozije pri većim valovima i tsunamijima. Druga slika (b) prikazuje izgrađene

obrambene zidove (izgrađene nakon Čileanskog tsunamija 1960. godine) te njihove ostatke (f) nakon tsunamija iz 2011. godine. Od slike (e) do slike (l) vide se konstantne promjene i napredak u sanaciji i ponovnom izgrađivanju barijera. Dodatno, očita je razlika, napredak i razvoj satelitske fotografije koji je nastao odmakom vremena, a očituje se u kvaliteti fotografije.

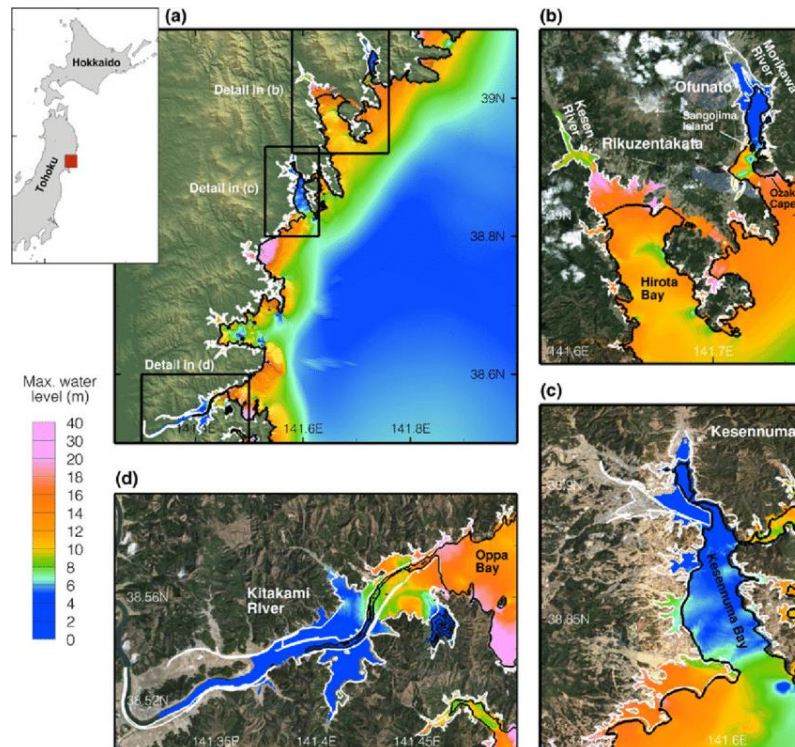


Sl. 2. Obalne promjene u gradu Rikuzentakata od 1947. do 2022.

Izvor: Udo i dr., 2018; Google Earth, 2022.

Promjene u topografiji analizirane su korištenjem batimetrijskih podataka i fotografija iz zraka prije i poslije tsunamija. Otkriveno je da se obala prirodno nije uspjela oporaviti željenom brzinom. Djelovanje tsunamija rezultiralo je ozbiljnim gubitkom obalnog zemljišta od prefektore Iwate do prefektore Fukushima, o kojima će kasnije biti rečeno nešto više. Tsunami je osim kroz naselja i luke, ušao u unutrašnjost rijekama, a povratnim ispiranjem zahvatio je šume i polja, stvarajući velika erozijska područja. Nakon čileanskog tsunamija, u ovom dijelu Japana obnovljeni su i izgrađeni novi sustavi obrane od tsunamija. Ti sustavi obrane temeljili su se na zidovima različite visine, molovima i lukobranama za zaštitu i stabilizaciju unutrašnjosti i obale. Od 1990. do 2001. godine izgrađena su i tri potopljena lukobrana s ciljem očuvanja krajobraza (Udo i dr., 2018).

Nadalje, slika 3 a) prikazuje sjeverni dio prefektore Miyagi i jug prefektore Iwate, gdje su prikupljeni i analizirani podaci o izlivanju vode prilikom prodiranja tsunamija. Bijela linija označava promatrani opseg plavljenja, crna obalu, a boja izračunati maksimalni vodostaj. Jasno se vidi kako bijela linija odstupa od crne (znatna erozijska područja, prodiranje u kopno, šteta). Slika 3 b) prikazuje gradove Rikuzentakata i Ofunato, točnije zaljev Hirota, nadovezuje se na sliku 2 koja je krupniji prikaz toga dijela zaljeva (obale Rikuzentakata).



Sl. 3. a) Sjever prefektore Miyagi i jug prefektore Iwate – inundacija. Uvećani prikaz grada b) Rikuzentakata i Ofunato, c) Kesennuma, d) Kitakami

Izvor: Wei i dr., 2011.

Planiranje i redovito praćenje korištenja zemljišta potrebno je kako bi pratili održivi razvoj područja. Širenje stambene izgradnje u područjima blizu obale povećava razinu ranjivosti i rizika u slučaju novog jakog tsunamija. Naselja u blizini obale trebala bi kao prioritet imati gradnju lukobranskih postrojenja koja mogu zaštititi zajednicu od katastrofe, naravno, sukladno s mogućnostima lokalnih vlasti i potrebama. Upravljanje obalnim područjem zahtjeva kombinaciju ekoloških, ekonomskih i društvenih interesa kako i se održao jedinstveni sustav (Utami, 2022). Unatoč tome, 2011. godine su i ti predjeli, prethodno osigurani zbog djelovanja prošlih tsunamija, bili značajno erodirani tsunamijem. Najveća visina plavljenja tsunamija iz 2011. u nadziranom području iznosila je 15.4 m. Promjena u topografiji bila je uglavnom posljedica transporta sedimenta izazvanog tsunamijem. Batimetrijski podaci za 1989.-2002. (prije tsunamija) ukazuju na promjene u području plićem od 5 m i u području izgradnje triju potopljenih lukobrana. Činjenice ove studije pokazuju snažne učinke obalnih struktura na ponašanje tsunamija i transport sedimenata. Morski zidovi djelomično su spriječili masivnu obalnu eroziju (gubitak kopna), a potopljeni lukobrani zaustavili su prijenos sedimenta s obale prema moru, smanjujući transport sedimenta u dublje morsko područje (Udo i dr., 2018).

## 2. OPĆA OBILJEŽJA NASTALIH PRIRODNIH KATASTROFA

### 2.1. Potresi

Potresi su poznati kao jedna od najopasnijih prirodnih nepogoda zbog svoje vremenske nepredvidivosti i iznimne razorne snage. Potres je kratkotrajno, ali intenzivno, podrhtavanje tla dinamičnog intenziteta, uzrokovano pomakom u Zemljinoj kori ili gornjem dijelu Zemljinog plašta, koje ovisi o više faktora. Prema uzroku nastanka potrese možemo podijeliti na tektonske, vulkanske i urušne. Potres najčešće nastaje u područjima rasjeda pomakom dva rasjedna krila uzrokovano strujanjem Zemljine unutrašnjosti koje uzrokuje gibanje litosfernih ploča. Ovo kretanje traje desetljećima ili stoljećima, polako povećavajući stres. To gibanje posljedica je temperaturne razlike Zemljine jezgre i površine. Iako okvirno znamo u kojim područjima očekivati snažnije potrese, oni se još uvijek ne mogu predvidjeti, ali manji potresi nerijetko mogu nagovijestiti onaj veći (predudari i predudarna aktivnost). Nakon najvećeg udara, te ovisno o njegovoj veličini, naknadni potresi se mogu nastaviti pojavljivati tjednima i mjesecima. Potres predstavlja oslobođenu potencijalnu energiju koja se akumulirala u stijenama. Kada potencijalna energija nadvlada energiju trenja, rasjed se pomiče i dolazi do

oslobađanja velike količine energije (Markuš, 2011; Wald 2009). Japanski Tohoku potres 2011. godine četvrti je najjači potres ikad zabilježen u povijesti. Magnituda tog potresa iznosila je 9 stupnjeva prema Richterovoj ljestvici. Snažniji potresi dogodili su se 2004. godine na Sumatri (9.1), 1964. na Aljasci i 1960. godine u Čileu (Valdivia potres, 9.5).

## 2.2. Tsunamiji

Tsunami nastaje kada se velika količina vode pomakne u vrlo kratkom vremenskom roku. Pomak vode najčešće je potaknut naglim kretanjem morskog dna uzrokovanog podvodnim potresom, obalnim klizištem ili erupcijom vulkana. Nagli pomak velike količine vode započinje val ili niz valova, koji nezaustavljivo prelaze i više stotina kilometara (Wang i dr., 2015). Riječ tsunami nastala je povezivanjem dviju japanske riječi, a to su: tsu (luka) i nami (val), odnosno u prenesenom značenju, to su valovi koji razbijaju luku (Cartwright i Nakamura 2008). Tsunami se može definirati i kao niz valova stvorenih impulzivnim poremećajem u vodi. Najčešće nastaju prilikom tektonskih potresa kada se morsko dno naglo deformira te vertikalno istisne vodu koja je iznad njega. Upravo takav potres bio je i Tohoku potres (Wang i dr., 2015). Tsunami može nastati i kada se velike površine morskog dna slegnu. U dubokoj vodi otvorenog oceana brzina valova tsunamija može dosegnuti i 800 km/h. Približavanjem obali, tsunami uspori, no visina mu se može povećati za više od 10 puta. Ova pojava javlja se najčešće u području vatrenog prstena. To je zona čestih potresa i aktivnih vulkana koja okružuje veći dio Tihog oceana. Naglo pomicanje velike mase oceanske vode iz dubina, stvara valove neprimjetne amplitude, ali duljine od više stotina kilometara te velike brzine. Iz tog razloga, morski valovi nastali seizmičkim pokretima prelaze velike udaljenosti u kratkom roku od samo nekoliko sati (Summerfield, 2013).

Nakon nastanka, tsunami se širi u svim smjerovima, pogađajući i vrlo udaljene obale i kontinente. Kao i kod potresa, tsunamiji se ne mogu predvidjeti i nema pisanog pravila kada će se dogoditi, no veći tsunamiji u zoni vatrenog prstena pojavljuju se periodično svakih 7 do 10 godina (Indijski ocean 2004., Japan 2011. te Indonezija 2018.). Međutim, provođenjem planova, procjenom i mapiranjem rizika posljedice ove katastrofe mogu se značajno umanjiti (Sambah i Miura, 2014). U novije vrijeme, tsunamiji koji su prouzročili najviše štete i ljudskih žrtava bili su u Indijskom oceanu 2004. godine., Čileu 2010. godine te tsunami uzrokovan Tohoku potresom u Japanu 2011. godine.





Sl. 4. Luka Kesenuma u prefekturi Miyagi, lijeva fotografija 12.3.2011., desna fotografija 4.3.2013.

Izvor: Los Angeles Times (LA Times), 2013.

### 3. JAPAN

Japan je otočna država oformljena od četiri velika otoka pod imenom Hokkaido, Honshu, Shikoku i Kyushu te brojnih drugih otočića koji su rasprostranjeni u luku na pacifičkoj obali sjeveroistočne Azije. Najbliži susjedi Japana su Koreja i Kina. Kao otočni narod, Japanci su od davnina svjesni svoje fizičke izolacije, a ta je izolacija imala mnogo pozitivnih strana. Veći dio japanske povijesti mora su ga štitila od invazije. Japanci su također kontrolirali međunarodne kontakte šireći, sužavajući, a ponekad i prekidajući diplomatske odnose s drugim nacijama. Luk u kojem su rasprostranjeni japanski otoci, dio je vulkanskog „Vatrenog prstena“. Od sjevera prema jugu ovaj lanac otoka mjeri više od 2400 kilometara (AAM, 2022).

Japan je jedna od najviše, ako ne i najviše proučavana zemlja što se tiče potresa. Položaj Japana na sjecištu više litosfernih ploča i u krugu pacifičkog prstena, praćen čestim podrhtavanjima i tsunamijima, neminovno je uvjetovao njegov razvoj. Konstantno praćenje tih nepogoda te potreba i želja za prilagodbom rezultirao je nastanku iznimno kvalitetne infrastrukture, pogodovao višestrukome promišljanju izrade prostornih planova i razvoju sofisticiranih sustava nadziranja i upozorenja. Otok Honshu glavni je i najveći japanski otok, a nalazi se u blizini sjecišta tri litosferne ploče: Euroazijske, Filipinske i Sjevernoameričke ploče. Pacifička obala sjeveroistočnog Japana naziva se Sanriku, po istoimenoj regiji (prefekture Aomori, Iwate i Miyagi). Japanski krajolik je krševit, a više od četiri petine kopnene površine čine planine. Postoji mnogo aktivnih i uspavanih vulkana. Poljoprivredne regije tog dijela Japana karakterizira slaba naseljenost i uređena rižina polja i voćnjaci, a gušća naseljenost je uz



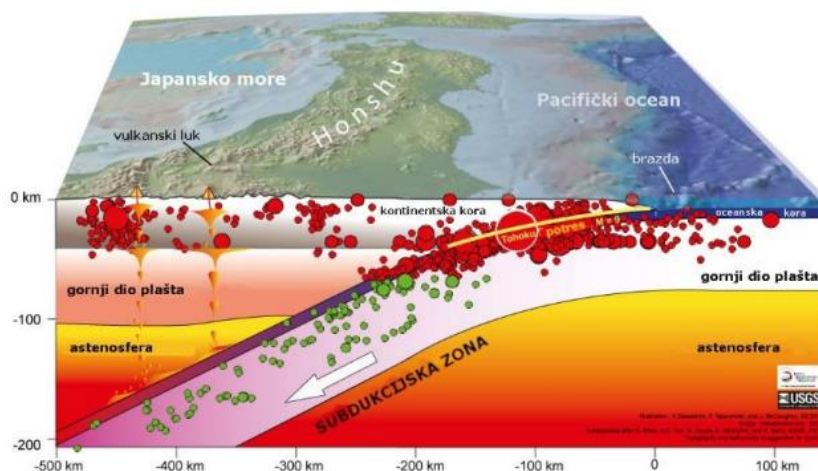
industrijski i urbanizirani pojas duž pacifičke obale Honshua. Upravo su dijelovi tog područja i zahvaćeni katastrofom opisivanom u radu. Japan je na zapadu omeđen Japanskim (Istočnim) morem, koje ga odvaja od istočnih obala Južne i Sjeverne Koreje te jugoistočnog Sibira koji je rusko područje. Na sjeveru se nalazi tjesnac La Perouse, koji ga odvaja od otoka Sahalin pod ruskom kontrolom, i Ohotskog mora. Na istoku i jugu je Pacifik, a na jugozapadu Istočnokinesko more koje ga odvaja od Kine. Pretežno planinska konfiguracija zemlje rezultat je orogenih sila, što dokazuje česta pojava jakih potresa, erupcija vulkana i promjena u moru duž obale. Japan doživi oko 1000 potresa godišnje, od kojih su većina manji, no snažni potresi uzrokuju znatne gubitke i velika razaranja (Watanabe i Jansen 2019).

### 3.1. Japanska katastrofa

Ovaj događaj zbog svoje je kaotičnosti uzrokovane potresom koji je popraćen razornim tsunamijem i nuklearnom katastrofom, zapamćen kao jedan od najtragičnijih u japanskoj povijesti. Potres jačine 9.0 stupnjeva po Richteru dogodio se u blizini istočne obale Japana te je automatski pokrenuo siloviti tsunami visokih valova koju su rezultirali nuklearnom katastrofom. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta užeg obalnog područja istočne obale Japana prošao je kroz velike promjene nakon te katastrofe. Promjene su bile iznimno velike, na velikim prostranstvima, a samim time idealne za praćenje pomoću satelitskih sustava.

### 3.2. Tohoku potres

Katastrofa je započela potresom koji se dogodio u petak 11. ožujka 2011. godine u 14:46:24 sati po lokalnom vremenu (GMT+9), u Hrvatskoj u 06:46:24 (GMT+1). Već za nekoliko minuta valovi tsunamija doprli su do obala zapadno i južno od epicentra (Li i dr., 2011). Tohoku potres u Japanu jedan je od najjačih i najvećih zabilježenih potresa na svijetu unazad 100 godina, a svojim trajanjem od 6 minuta jedan je i od najdužih.. Epicentar ovog razornog potresa nalazio se 72 kilometra istočno od obale Japana na dubini od otprilike 24 km (Stimpson, 2011). Potres je nazvan Tohoku jer se dogodio između regija Tohoku i Kanto. Prefektura Iwate, nalazi se na rijasu, odnosno takvom tipu obale. Rijas je zaljev, potopljena riječna dolina otvorena prema moru. Tsunami je tu dosegao visinu i preko 20 metara. S druge strane, južnije prefektore Miyagi i Fukushima, koje se nalaze se na pretežno ravnoj obali, potopljene su tsunamijem visine do 10 metara, koji je prodirao duboko u unutrašnjost (Amakuni i dr., 2012).



Sl. 5. Grafički prikaz subdukcije Tihooceanske ploče pod Euroazijsku te epicentra Tohoku potresa  
Izvor: USGS, 2011.

Tohoku potres uzrokovan je rasjedanjem u ili neposredno pokraj subdukcijske zone između granica Pacifičke i Sjevernoameričke litosferne ploče. Kvalitetan grafički prikaz možemo vidjeti na slici 5 gdje se prikazana subdukcija Tihooceanske (Pacifičke) litosferne ploče pod Euroazijsku litosfernu ploču i mjesto epicentra Tohoku potresa. Na ovom području Pacifička ploča se pomiče prema zapadu za oko 8.3 centimetra godišnje i podvlači pod Japan tj. Euroazijsku i Filipinsku ploču te Ohotsku mikroploču. Prema USGS-u, do pomaka od 30 do 40 metara duž rasjeda je došlo u dužini od oko 300 kilometara, a prema Japanskoj meteorološkoj agenciji, pomak se dogodio duž 450 kilometara. U moru je došlo do horizontalnog pomaka tla od približno 5 metara i vertikalnog spuštanja od 0.4 do 1 metra. Na kopnu je najveći horizontalni pomak iznosio 5.4 metra, a vertikalni 1.2 metra (Dunbar i dr., 2011). Potres je oslobodio “oko 600 milijuna puta više energije od atomske bombe bačene na Hirošimu na kraju Drugog svjetskog rata” (Keller i DeVecchio, 2016 prema ArcGis, 2021).

### 3.3. Veliki tsunami

Tri minute nakon početka potresa, Japanska meteorološka agencija izdala je upozorenja na tsunami. Nakon 20 minuta, valovi tsunamija visoki preko 20 metara pogodili su obale prefektura Iwate, sjeverno od prefektura Miyagi, a 1 sat kasnije Fukushima, Ibaraki i Chibu, prefektura koje se protežu duž pacifičke obale južno od Miyagija. Ostala mjesta koje je tsunami teško pogodio bila su Kamaishi i Miyako u Iwateu, Ishinomaki, Kesenuma i Shiogama u

Miyagiju i Kitaibaraki i Hitachinaka u Ibarakiju (Pletcher, 2021 prema ArcGis, 2021). Najpogođenije tsunamijem bile su regije Iwate (Miyako, Ofunato i Kamaishi), Miyagi i Fukushima. Mori i sur. (2011.) prvotno su utvrdili da je tsunami zahvatio pacifičku obalu Japana u dužini od 2000 km i poplavio više od 400 km<sup>2</sup> zemlje. Nadalje, državne službe izvijestile su o visini plavljenja uzrokovanog valovima tsunamija od 4.1 do 23.6 metara u obalnim lukama (Li i dr., 2011).



Sl. 6. Sendai, gornja fotografija 4.4.2010., donja fotografija 12.3.2011.

Izvor: GeoEye/EyeQ, 2011.

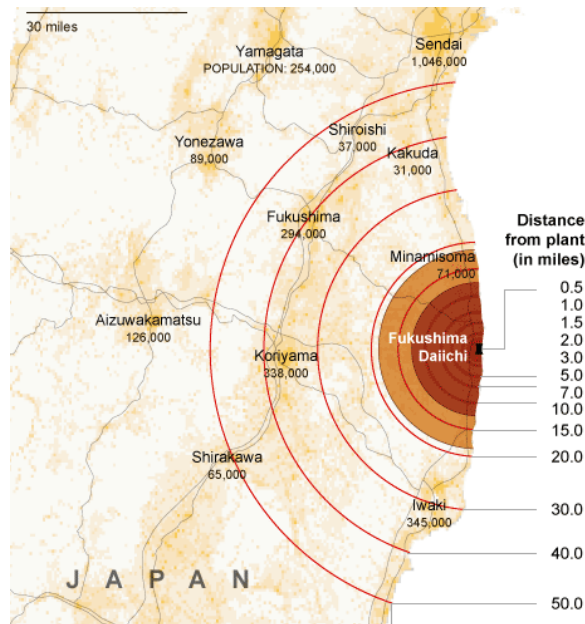
Na slici 6 prikazana je situacija odabranog područja u gradu Sendai, koji je prvi osjetio udar naleta tsunamija. Gornja satelitska snimka prikazuje naselje 2010. godine, dok donji snimak prikazuje isto to naselje dan nakon naleta tsunamija. Odmah se primjećuje velika vizualna promjena u smanjenoj količini izgrađenih nastambi i uništenim cestama. Šteta na ovakvim i sličnim obalnim naseljima bila je totalna. Daljnjim proučavanjem, zapaža se erozija obale do

koje je došlo i u naletu i u povratnom ispiranju tsunamija. Područja pod šumom i poljoprivredna područja potopljena su zaostalom vodom, nanosima i muljem.

### 3.4. Fukushima nuklearna katastrofa

Nakon potresa i tsunamija, dogodila se i velika nuklearna katastrofa, najgora nakon one u Černobilu. Nuklearna elektrana Fukushima Daiichi koja je udaljena oko 150 kilometara od epicentra, koja se nakon potresa se automatski prebacila u stanje pripravnosti, ipak nije ostala neoštećena u naletu vala tsunamija od 10 metara. Došlo je do kvara na električnoj mreži, generatori su se pokvarili, reaktori nisu imali potrebne uvjete za hlađenje i došlo je do curenja radioaktivnih tvari te eksplozije. (Sanger i Wald, 2011 prema Dunbar i dr., 2011).

Curenje vodika te radioaktivne čestice i materijal nošeni u oblaku dima nakon eksplozije, kontaminirali su cijelu regiju, a upitna je količina kontaminirane morske vode. Visoka razina zračenja primorala je vlasti na proglašenje hitne evakuacije u radijusu od otprilike 30 kilometara od nuklearne elektrane Fukushima Daiichi. Evakuacijom je bilo zahvaćeno više od 150000 ljudi uz zabranu i nemogućnost pristupa svojim domovima i posjedima na neodređen period (Holt i dr., 2012). U prefekturi Fukushima sada živi oko 1.8 milijuna ljudi, a prije katastrofe tamo je živjelo oko 2 milijuna ljudi (Statistics Bureau Japan, 2020 prema CityPopulation.de, 2021). Iako je Japan 30. rujna 2011. proglasio prekid upozorenja i mjere opreza o radijaciji u pet većih gradova oko elektrane, stroga zona isključenja (evakuacije) u radijusu od oko 20 kilometara i dalje je aktivna, a područja koja su najbliže elektrani neće biti naseljiva desetljećima, čak i nakon dekontaminacije (Dunbar i dr., 2011).



Sl. 7. Evakuacijska zona oko nuklearne elektrane

Izvor: NY times, 2011.

Na slici 7 prikazana je prvotna evakuacijska zona oko nuklearne elektrane Fukushima (u miljama). Ona je ipak nešto drukčija prema zapadu jer su veći gradovi zbog konfiguracije terena smješteni iza brdskih područja. Smeđa područja do 20 milja (oko 32 kilometra) su područja obvezne evakuacije gdje je količina radioaktivnih čestica iznimno velika. Tamno smeđe područje označeno je kao opasno za život i hitnu evakuaciju jer bi ostanak tamo rezultirao smrću nakon nekoliko mjeseci. Prijelazno svijetlo smeđe područje i ostatak nisu preporučljivi za boravak zbog mogućnosti utjecaja na pojedine vitalne procese i organe u tijelu općenito.

Kako je obrazac padanja i rasipanja kontaminiranih čestica u tom dijelu Japana sve više proučavan, određen je dodatni koridor za evakuaciju u mjesecima nakon katastrofe. Razina radijacije u zoni evakuacije i dalje je visoka te se ne preporučuje duži boravak. No, kontaminirani pojas se sužava naporima japanskih vlasti koje neprestano rade na dekontaminiranju zahvaćenog prostora (Watanabe i Jansen 2019).

Nuklearna elektrana Fukushima Daiichi za obranu je imala morski zid visine 5.7 metara dizajniran da spriječi poplave tsunamija. Prvi val koji je stigao do elektrane bio je visok 4 metra te je uspješno odbijen. Međutim, nakon njega brzo je stigao drugi val visok preko 14 metara koji je poplavio elektranu, prekinuo stalan protok hladne vode te su se tri reaktora pregrijala i eksplodirala zbog nakupljenog vodikovog plina. Značajna količina radijacije nakon toga se



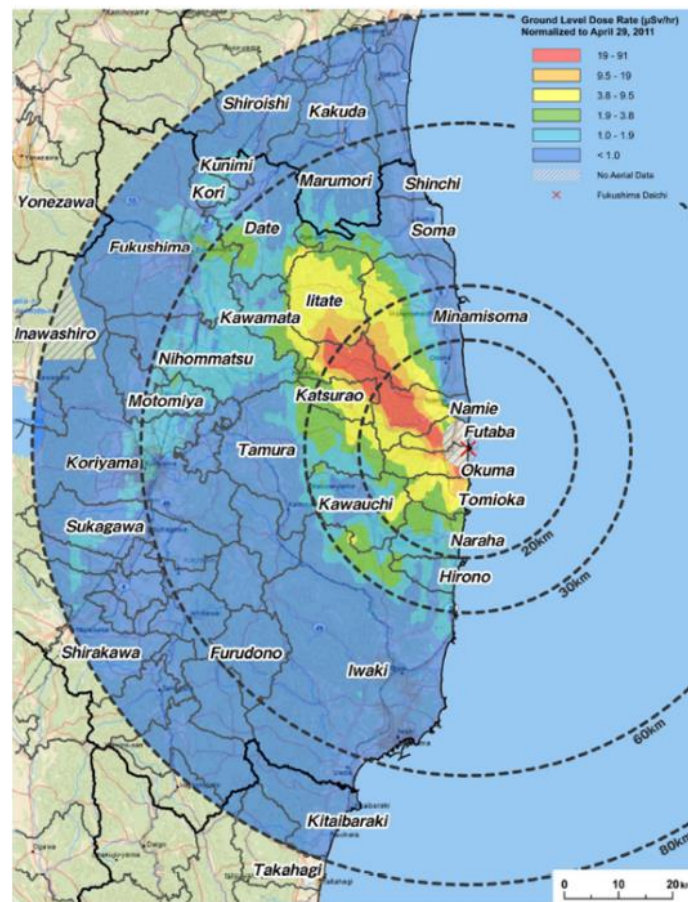
ispustila u atmosferu i u Tihi ocean. To sve je rezultiralo gore opisivanim posljedicama (Keller i DeVecchio, 2016 prema ArcGis, 2021).

### 3.5. Posljedice katastrofe

Nakon tako snažnog potresa, za očekivati je da će geomorfološke i geofizičke promjene biti enormne. One se ogledaju u pomaku otoka Honshu za oko 3.6 metara prema istoku, pomaku zemljine osi za 25 centimetara, ubrzanju rotacije planete za 1.8 mikrosekundi te spuštanju oko 400 kilometara istočne japanske obale za oko 0.6 metra. Najveći pomaci tla, od oko 5 metara, zabilježeni su na poluotoku Ojika. Poluotok Ojika nalazi se sjeverozapadno od epicentra potresa, a za vrijeme potresa pomaknuo se jugoistočno prema epicentru (Norio i dr., 2011). Najveći broj ljudskih žrtava (90%) posljedica je utapanja uzrokovanog tsunamijem. Potres i tsunami prouzročili su pogibiju 15821 osoba, 3962 ih je nestalo, a 5940 ozlijeđeno u 20 japanskih prefektura. Veliki problem predstavljalo je 350000 raseljenih koji su nakon tsunamija ostali bez svojih domova (Dunbar i dr., 2011). Materijalna šteta većinom je rezultat razlijevanja tsunamija po uskim obalnim područjima te prodiranja u unutrašnjost koji je na mjestima u otok prodirao i do 5 kilometara. U tjednima koji su slijedili, potvrđeno je oštećenje 190000 zgrada, od kojih je 45700 uništeno. Djelovanje potresa i tsunamija ostavilo je brojne posljedice na sjevernim obalama otoka Honshu. Prefekture koje je Tohoku tsunami (koji je ujedno i dobio ime po regiji Tohoku) najviše zahvatio su Iwate, Miyagi i Fukushima. U tim prefekturama se nalazila i većina uništenih objekata i posljedice su bile najveće. Kasnijim promatranjem utvrđeno je da broj potpuno uništenih građevina na istočnoj obali Japana iznosi preko 120000, a preko 280000 ih je vrlo oštećeno. Smanjenje proizvodnje riže, zbog naleta tsunamija, na razini cijelog Japana smanjila se za 3 do 4%. Kako je tsunami nakon potresa zahvatio veliki dio obale i prodrio u kopno, uništena je i cestovno-željeznička infrastruktura. Stoga, sve dok se voda nije povukla ili infrastruktura nije rekonstruirana, na neka mjesta moguće je bilo pristupiti samo zračnim putem (Japan Reconstruction Agency, 2020; Nohara, 2011 prema Stipković, 2022).

Japan je razvio strategiju oporavka nakon potresa, razradio sustavan te cjelovit plan i program provođenja obnove uz detaljan način financiranja. U lipnju 2011.g., nakon proglašenja nacionalne krize, donesen je Zakon o obnovi nakon potresa uz desetogodišnji plan obnove vrijednosti od 350 milijuna eura. Obnavljanje je započelo u veljači 2012. godine pod Agencijom za obnovu (Reconstruction Agency of Japan - RAJ), a obnova je tekla izuzetno sporo. Zona

isključenja (evakuacije i posebnih ograničenja) uzrokovana nuklearnom katastrofom danas obuhvaća radijus od 70 kilometara. Proteže se od obale preko brdskih i planinskih područja iza kojih se nalaze veći gradovi kao što su Koriyama i Fukushima. Međutim, spomenuti radijus nije pravilnog oblika (već prije spomenuto, a bolje prikazano na slici 8), već je uvjetovan čimbenicima (ponajprije vremenskim) kakvi su bili u vrijeme katastrofe. Zona se sastoji od niza naselja i gradova koji su “očišćeni” i velike zone šuma koje se tek trebaju dekontaminirati (slika 8). Japanske vlasti napominju kako će dekontaminacija potrajati 40 godina, a na njoj trenutno radi oko 70 000 ljudi (Abroad in Japan, 2019).

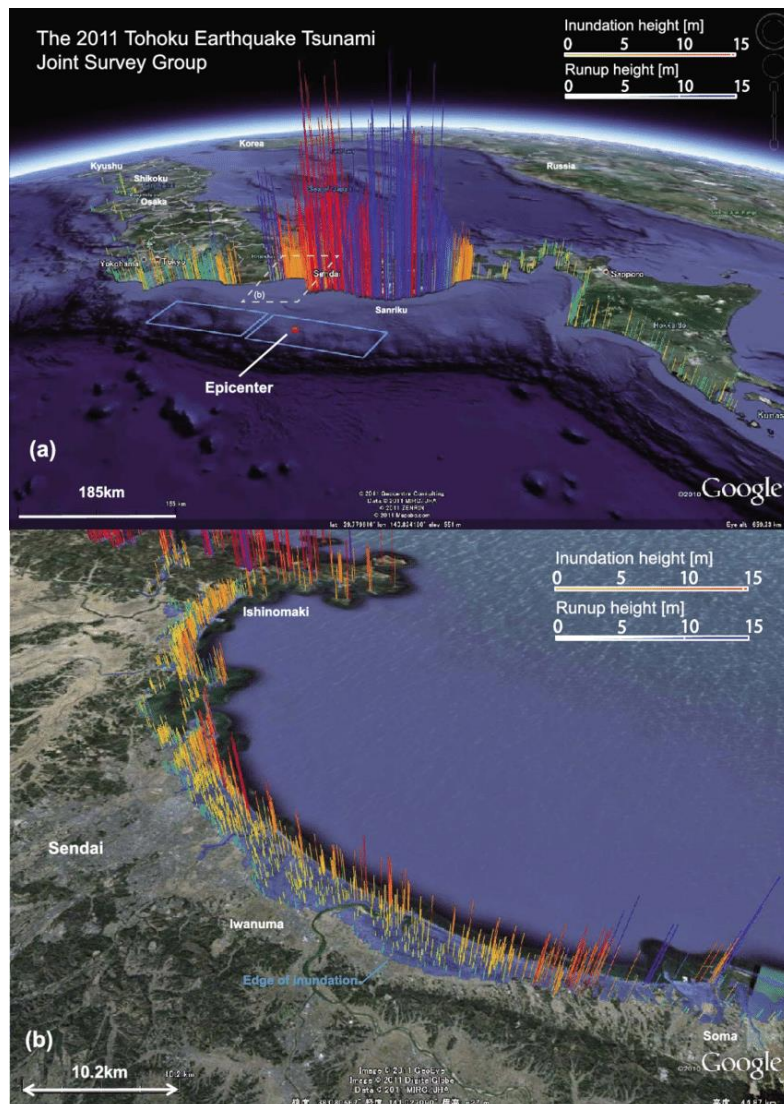


Sl. 8. Smjer pružanja kontaminiranog područja i doza radijacije u travnju 2011.

Izvor: Wikimedia, 2011.

Na slici 9 vidi se razmjer katastrofe, a prikazana je visina plavljenja i visina naleta vode na obali Japana (gore) i u Sendai ravnici (dolje). Crvene i plave linije označavaju visinu inundacije (izljev) i visinu naleta vode. Lokalnu geomorfologiju Sendai-a karakterizira obalna ravnica te se tsunami širio prema unutrašnjosti. Pojačanje tsunamija lokalnom topografijom

primijećeno je u mnogim zaljevima. Ravnica Sendai najnaseljenije je područje u Tohokuu. Najveća visina plavljenja bila je 19.5 metara (Mori i sur., 2011).



Sl. 9. Visina plavljenja i naleta vode na obali

Izvor: Mori i sur., 2011.

#### 4. DALJINSKA ISTRAŽIVANJA

„Daljinska istraživanja (prema engl. remote sensing, njem. Fernerkundung, fran. télédétection) metoda su prikupljanja i interpretacije informacija o udaljenim objektima na površini Zemlje bez fizičkog dodira s promatranim objektom“ (Frančula i Lapaine 2001, str 265). Pojam daljinskih istraživanja predstavlja metode i tehnike koje koriste elektromagnetsku energiju kao



sredstvo za otkrivanje i mjerenje značajki promatranog objekta (Gierloff-Emden, 1989 prema Frančula i Lapaine, 2001). Nadalje daljinska istraživanja su znanost i tehnologija uporabe senzora koja uključuju aktivnosti snimanja, procesiranja, analiziranja, interpretacije i dobivanja korisnih te kvalitetnih informacija iz podataka prikupljenih tim istraživanjima. Satelitska snimanja provode se detektorskim skeniranjem terena koji bilježi odbijeno i isijano zračenje. Informacije koje se prikupljaju su najčešće o kopnu, oceanima i atmosferi prikupljene korištenjem raznih senzora na zračnim platformama kao što su zrakoplovi ili svemirskim platformama kao što su sateliti. Satelitima u orbiti istovremeno i odvojeno možemo pregledavati oceansku i kopnenu površinu te atmosferu, a korištenjem daljinskih istraživanja mogu se pridobiti razne informacije kao na primjer: Sunčevo zračenje, emisija dugovalnog zračenja, temperatura zraka, temperatura kopna, brzina vjetra, vodena para, oborine, oblaci, munje, modeli visine terena, vlaga tla, topografija površine oceana itd. (Frančula i dr., 1994). Nakon obrade podataka, uz recimo GIS, lakše percipiramo i bolje razumijemo pojedini problem. Kvalitetno i sustavno prikupljanje podataka pojedinih područja daljinskim metodama od iznimne je važnosti, i u normalnim i u kriznim situacijama. Današnji razvoj geografije u velikoj je mjeri determiniran prikupljanjem podataka daljinskim putem. To je jedan od glavnih izvora informacija za brojna istraživanja mnogih disciplina geografije, na primjer, hidrogeografije, ruralne geografije, geoekologije, geomorfologije itd.

Daljinska istraživanja integrirana su s geografskim informacijskim sustavima (GIS), globalnim sustavom pozicioniranja (GPS) i mobilnim kartiranjem, koji su također moderne geoprostorne tehnologije. Senzori koji se koriste u daljinskim istraživanjima mogu biti aktivni i pasivni. Glavni izvor energije za daljinsko istraživanje je Sunce te se bilježi zračenje koje se reflektira ili emitira sa Zemljine površine. Pasivni senzori zaprimaju energiju od izvora izvan senzora (termalne IR kamere, fotografske kamere, antenski senzori). Aktivni senzori koriste energiju iz senzora. Odbijena energija se bilježi i detektira od strane senzora. Primjeri aktivnih senzora su radari, LiDAR. Za razliku od metoda koje koriste pasivne senzore, metode s aktivnim sensorima mogu se koristiti i danju i noću, jer ne ovise o energiji Sunca (Weng i Qihao, 2013). Velika prednost daljinskih istraživanja i ovakve tehnologije je što nam mogu dati mnogo različitih vrsta snimaka, a one su najčešće fotografske, termalne i radarske te samim time i mnoštvo različitih informacija. Satelitski senzori za vrijeme orbitiranja oko Zemlje bilježe informacije o oblacima, površinskoj vegetaciji, morfološkim strukturama na površini, temperaturi oceana i stalnim vjetrovima te varijacije svega spomenutog. Satelitske snimke

daljinskih istraživanja pokrivaju čitav spektar elektromagnetskih valova (niskofrekventne, mikrovalne, submilimetarske, daleke i bliske infracrvene, vidljive, ultraljubičaste, rendgenske i gama frekvencije) (Grudenić, 2019). Daljinska istraživanja mogu biti satelitska (satelitske platforme), fotografska i fotogrametrijska (hvatanje vidljive svjetlosti), toplinska (toplinski infracrveni (IR) spektar), radio detekcijska i daljinska (radarska) detekcija mikrovalnih duljina, daljinska istraživanja svjetla i dometa senzora (LiDAR). Kod LiDAR-a, laserski impulsi putuju prema površini te se udaljenost jednostavno mjeri na temelju povratnog vremena svakog impulsa između senzora i površine (Petrović, 2022). Daljinska istraživanja koriste se u pružanju informacija pri prognoziranju vremena, upravljanju vodnim resursima, reagiranju na katastrofe, upravljanju transportom i urbanističkom planiranju, upravljanju ekosustavima, kartiranju tla.

Matematički modeli stvoreni zbog, ali i za korištenje ovih tehnologija su DSM i DEM. Digitalni model površine (DSM, prema engl. Digital Surface Model) matematički je model Zemljine površine koji u svoj prikaz uključuje izgrađene objekte i vegetaciju. Pri izradi DSM-a pretežno se koriste upravo podaci prikupljeni daljinskim istraživanjima (u novije vrijeme LiDAR). Digitalni model reljefa (DEM, prema engl. Digital Elevation Model) je skup položajno određenih točaka i geometrijskih elemenata koji prikazuju “golu” površinu zemljišta. Može se dobiti vektorizacijom topografskih karata uz odgovarajuću interpolacijsku metodu. Najčešća podjela je na nepravilnu mrežu trokuta (TIN, prema engl. Triangulated Irregular Network, vektorska metoda) i pravilnu mrežu točaka/pravilnu rešetku (GRID, rasterska metoda) (Frančula i Lapaine, 2008).

U digitalnoj fotogrametriji, izrađivanje DSM-a se temelji na automatiziranom stereofotogrametrijskom procesiranju aerosnimaka (stereoskopija tj. snimanje i interpretacija dviju snimaka). Pri izradi, slike se usklađuju ili koreliraju, pa ovisi o tipu izrade to može biti: slikovna korelacija (prema engl. image correlation), digitalna korelacija, (prema engl. correlation of digital images), to jest usklađivanje snimaka. Kakva će biti kvaliteta DSM-a, ovisi o karakteristikama objekta koji se snima, metodi korelacije, kvaliteti aerosnimaka i njihovoj rezoluciji, vremenskim uvjetima, vremenu kada je snimanje obavljeno, kutu upada zraka (Balenović, 2016).

#### 4.1. Zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta

Način korištenja zemljišta i zemljišni pokrov (prema engl. land-use, land-cover) prvenstveno su rezultat antropogenog utjecaja na okoliš. Međutim, u ovom radu je na promjenu pokrova utjecao tsunami, a te promjene se izvrsno mogu pratiti daljinskim istraživanjima. Zemljišni pokrov čine i karakteriziraju fizički atributi površine, a analiziraju se daljinskim istraživanjima. Način korištenja zemljišta je nešto složeniji pojam jer obuhvaća i društveno-ekonomsku svrhu zemljišta. Ta dva pojma često se koriste kao istoznačnice, ali to nije ispravno. Kod proučavanja zemljišnog pokrova dovoljna su samo daljinska istraživanja, dok se kod istraživanja načina korištenja zemljišta trebaju uključiti i drugi faktori. Antropogeni utjecaj na okoliš je složena, sveprisutna i očekivana pojava koja vremenom mijenja izgled i način korištenja krajolika. Na način korištenja zemljišta utječe niz čimbenika na nekoliko razina. Kao primjer mogu se uzeti lokalne karakteristike (kvaliteta tla), akteri (čovjek), globalni uvjeti (makroekonomski) te donositelji odluka (vlada). Promjene u pokrovu odraz su interakcije okoliša i ljudi te indikator prostornih modifikacija i obrnuto. Zbog kompleksnosti prostornih promjena, ne postoji standardizirani način istraživanja promjena u pokrovu i načinu korištenja zemljišta (Cvitanović, 2014).

#### 4.2. Teledetekcija i fotogrametrija

Uža područja koja daljinska istraživanja obuhvaćaju su teledetekcija i fotogrametrija. Teledetekcija, odnosno daljinsko istraživanje, obuhvaća prikupljanje podataka upotrebom uređaja smještenih u satelitima i njihovu interpretaciju. Teledetekcija je provjerena i kvalitetna metoda proučavanja promjena na Zemljinoj površini i bila je od velike koristi prilikom praćenja promjena prilikom katastrofe u Japanu. Satelitski snimci pomažu i u kartografskoj generalizaciji, a pogodni su i za izrade kartografskih prikaza sitnijih mjerila na kojima se želi prikazati makrooblike (Frančula i Lapaine, 2001). Snimanjima je moguće dobiti niz informacija proučavanih objekata bilo da se traže karakteristike geomorfološke, pedološke, geološke, hidrološke, arheološke prirode ili prirode vezane za bilo koje druge struke i djelatnosti kojima bi takve informacije koristile.

S druge strane, fotogrametrija je umijeće, znanost i tehnologija pribavljanja vjerodostojnih kvantitativnih informacija o objektima i okolišu prikupljanjem, obradom, mjerenjem i interpretacijom zabilježenih fotografija i scena. Fotogrametrija je podijeljena na

aerofotogrametriju (snimanje iz zraka) i terestričku fotogrametriju (snimanje sa Zemlje). Aerofotogrametrija se najviše koristi za izradu planova i karata većih područja zbog svojih prednosti poput smanjenja terenskog rada, manjih troškova i skraćivanja vremena izrade. Na aerosnimkama prikazano je mnoštvo informacija raznih oblika i dimenzija koje se raspoznaju svojim tonkim razlikama. Korisnik ipak treba imati djelomično predznanje jer je na nekim snimkama teško raspoznati visinski aspekt pa se do njega mora doći indirektno (sjene, kulture, oblici parcela). U novije vrijeme, računalna obrada satelitskih snimki usavršila se do te mjere da u nekim primjerima nadmašuje vizualnu interpretaciju iskusnog analitičara, no oba načina su bitna. Dostupne karte prostora i aerosnimke se međusobno nadopunjuju pa tako i nastaju fotokarte (Frančula i Lapaine, 2001).

#### 4.3. Razvoj daljinskih istraživanja

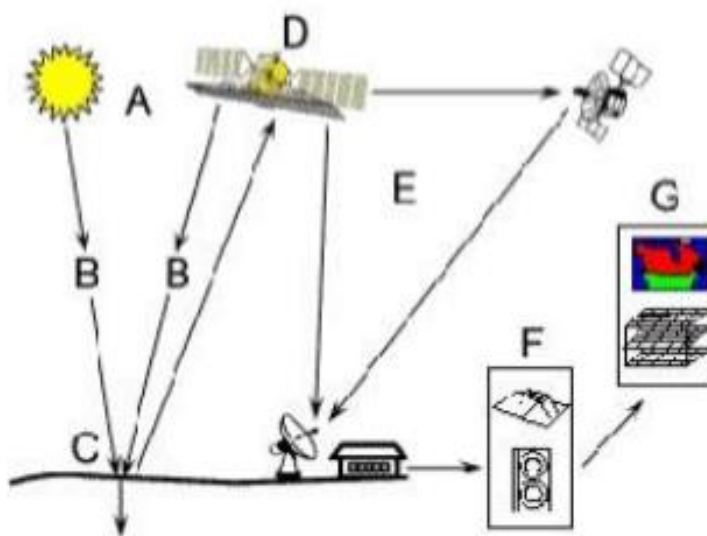
Razvojem računalnih tehnologija i informatike omogućen je veliki napredak u razvoju metoda i tehnika daljinske vrste istraživanja. Dobar primjer toga razvoja je fotogrametrija koja se u zadnjih tridesetak godina razvila iz analogne i analitičke do digitalne pa su i zastarjele snimke, i instrumenti zamijenjeni, novim snimkama i fotogrametrijskim stanicama u digitalnom obliku (Magnusson i dr., 2007, Linder, 2009 prema Milanović, 2018).

Bitna godina za razvoj daljinskih istraživanja bila je 1972. jer je tada lansiran Landsat 1, koji je bio prvi satelit namijenjen konstantnom snimanju i istraživanju površine Zemlje. Snimke su prikazivale velika područja kroz više dijelova spektra, no uz skromne razine detalja. 1970-ih mehanički fotogrametrijski procesi postali su digitalizirani pa su se i same analize odrađivale digitalno. Naravno, digitalizacija je rezultirala poboljšanjem na svim razinama ovog procesa, od preciznosti, jednostavnijeg prikupljanja podataka te njihovoj lakšoj obradi i dijeljenju. 1980-ih, druga generacija pružala je slikovne prikaze u rezolucijama 30, 20 i 10 metara, a nakon 1990. i u rezolucijama manje od 1 metra. Napredak u području daljinskog istraživanja ide simultano s napretkom GIS-a, s kojim je omogućeno povezivanje podataka prikupljenih sensorima i ostalih postojećih geoprostornih podataka. Takav razvoj omogućio je brži i kvalitetniji raspon proizvoda i otvaranje novih tržišta. Na razvoj daljinskih istraživanja uvelike je utjecalo to što su, iako prvotno namijenjena i dostupna stručnjacima koji su podatke obrađivali i analizirali, ona postala dostupna široj javnosti koju je to interesiralo. Javnim pristupom preko interneta omogućeno je korištenje prikupljenih podataka i plasiranje vlastitih “amaterskih” prostornih analiza (Campbell i Wynne 2011).

#### 4.4. Princip rada tehnologije

Zajedničko svojstvo svim objektima na Zemlji je emitiranje termalne energije infrarvenim zračenjem i temperatura veća od 0 Kelvina, što iznosi -273,15 Celzijevih stupnjeva. Za očitavanje infracrvenog zračenja koriste se posebni termografski senzori. Zračna termografija danas se koristi na mnoge načine (geografija, vojska, policija, javni prijevoz, službe za zaštitu, autoindustrija, itd.). Kako bi lakše shvatili princip rada tehnologije daljinskih istraživanja, potrebna su i znanja o svojstvima cijelog EM spektra, emisivnosti, apsorpciji, transmisivnosti i reflektivnosti raznih tvari i materijala. Svojstva dugovalnog (termalnog) zračenja razlikuju se od svojstava vizualnog spektra, a uz znanje i domišljatost mogu nam pružiti vrlo korisne podatke o nekom prostoru (Vrabec, 2020).

Na slici 10 prikazan je proces daljinskih istraživanja kroz sedam sastavnih procesa koja prikazuju način očitavanja i bilježenja reflektirane ili emitirane energije, obradu, analizu i primjenu informacija. Temeljni kriterij za početak je izvor energije (a) u obliku svjetla ili emitera elektromagnetske (EM) energije prema određenom elementu istraživanja. Drugi kriterij su atmosfera i zračenje (b) gdje prolaskom energije od izvora do cilja istraživanja (i nazad), ta energija dolazi u kontakt s atmosferom i slobodnim česticama u atmosferi. Također, kao i sa atmosferom, energija će doći u kontakt i s ciljem istraživanja (c). Nakon toga slijedi prikupljanje i bilježenje energije pomoću daljinskog senzora (d).

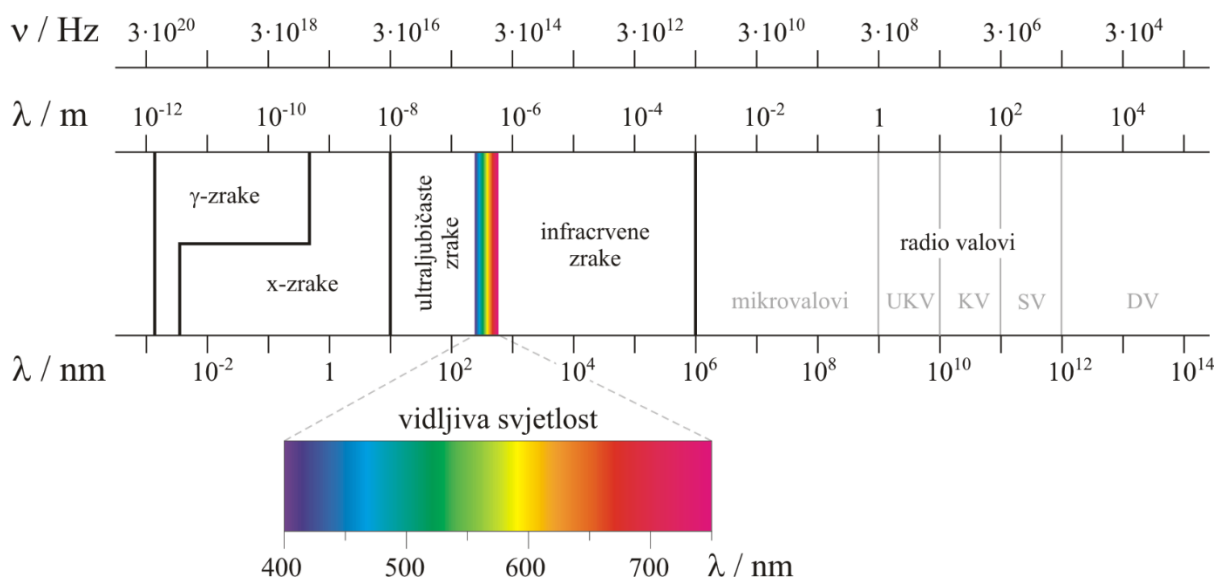


Sl. 10. Princip daljinskih istraživanja

Izvor: Sanad, 2013.

Ta energija zabilježena senzorom prenosi se do postaje za prihvatanje i analizu (e) te se tu svi prikupljeni podaci obrade u digitalnu ili tiskanu sliku. Dobivene digitalne ili tiskane slike nakon toga se interpretiraju (f) na više načina, ovisno o potrebi. Interpretacija može biti vizualna, digitalna ili elektronička. Napokon, posljednji proces principa daljinskih istraživanja je primjena (g) dobivenih informacija o objektu na bilo koji način koji traži istraživanje (Sanad, 2013).

Svi podaci prikupljeni daljinskih istraživanjima spremaju se na više medija te se naknadno, po potrebi, mogu pretvoriti u slikovni oblik. Svaki prikupljeni signal ima posebnu vrijednost piksela jer svaki objekt ima karakterističan obrazac emitiranja i reflektiranja zračenja. Spektar elektromagnetskog zračenja dijeli se u nekoliko skupina, a svaki dio spektra EM zračenja ima svoje posebnosti. Daljinska istraživanja ne koriste cijeli spektar EM zračenja. Spektar koji se koristi je optički spektar granica od 0.3  $\mu\text{m}$  (mikrometra) do 15  $\mu\text{m}$ . Taj se dio spektra, pomoću leće ili zrcala, može reflektirati i refraktirati. Reflektirajući spektar od 0.38  $\mu\text{m}$  do 3.0  $\mu\text{m}$  je bitan za daljinska istraživanja jer sadrži i vidljivu svjetlost i blisko te srednje infracrveno zračenje. Infracrveno zračenje se može podijeliti u tri supkategorije: blisko, srednje i daleko IC zračenje. Blisko i srednje bliži su vidljivom dijelu spektra u odnosu na daleko IC zračenje. Nadalje, blisko IC zračenje se može zabilježiti podjednakim instrumentima potrebnim za snimanje spektra vidljive svjetlosti, dok se srednje i daleko IC zračenje može detektirati termalnom kamerom (Campbell i Wynne 2011).



Sl. 11. Spektar EM zračenja

Izvor: Kemijski rječnik, 2022.

Na slici 11 prikazan je spektar elektromagnetskog zračenja. Gama zrake su valne duljine manje od 0.03 nanometara, x-zrake su valne duljine od 0.03 nanometara do 300 nanometara, ultraljubičasto zračenje od 0.3  $\mu\text{m}$  do 0.38  $\mu\text{m}$ , a vidljiva svjetlost zrači valnim duljinama od 0.38 do 0.72  $\mu\text{m}$ . Kao što je već spomenuto, infracrveni spektar dijeli se u 3 podskupine, blisko IC zračenje (0.72 do 1.3  $\mu\text{m}$ ), srednje IC zračenje (1.3 do 3  $\mu\text{m}$ ) i daleko IC zračenje (7 do 1000  $\mu\text{m}$ ). Preostalo je još mikrovalno zračenje s valnom duljinom od 1 mm do 30 cm i radiovalovi s valnim duljinama preko 30 cm.

Analiza podataka daljinskog istraživanja i primjena geografskog informacijskog sustava vrlo je učinkovita za praćenje prirodnih resursa nakon katastrofa. Praćenje korištenja zemljišta najčešće se provodi korištenjem multitemporalnih Landsat slika zato što su Landsat slike bogate podacima te prikupljaju i pohranjuju podatke dugi niz godina. Landsat prikuplja slike kroz devet infracrvenih pojaseva, kratke infracrvene valove i dva toplinska vala (Utami, 2022).

#### 4.5. Raspršenje, refrakcija i apsorpcija

Već je spomenuto da EM zračenje kroz atmosferu prolazi dva puta te njihovom interakcijom EM valovi mijenjaju brzinu kojom putuju, smjer, frekvenciju, intenzitet i spektralnu distribuciju. Dolaskom EM zračenja do površine ono se reflektira, apsorbira, transmitira ili dolazi (u većini slučajeva) do kombinacije procesa. Refleksija se dogodi kada zraka svjetlosti naleti na neku površinu koja nije transparentna. Način na koji će se zraka reflektirati ovisi o vrsti predmeta ili medija koji se promatra, o njegovoj veličini, hrapavosti itd. Spekularna refleksija se odnosi na glatke površine gdje površina u jednom smjeru reflektira sveukupno ili veći dio upadnog zračenja, a kut refleksije je najčešće jednak kutu upada. Difuzna refleksija se pojavljuje kod hrapavih površina te je tu upadno zračenje odbijeno u više smjerova. Propusnost ili transmisivnost je pojam suprotan refleksiji, a tu površina propušta zračenje. Atmosfera utječe na kvalitetu zabilježenih snimaka pod utjecajem fizikalnih procesa kao što su: raspršenje, refrakcija i apsorpcija.

Raspršenje nastaje kada se zraka sudari s atmosferskim plinovima odnosno njihovim molekulama. Intenzitet raspršenja ovisi o veličini i količini čestica, atmosferi tj. mediju putovanja i naravno, o valnoj duljini upadnog zračenja. J. W. S. Rayleigh (1824. – 1919.), dokazao je da i u čistoj atmosferi može doći do raspršenja te da se ono povećava smanjenjem valne duljine upadnog zračenja. Primjer koji to slikovito opisuje je plava boja neba u vedrim danima te crvena i narančasta u suton. Razlog tomu je četiri veće raspršenje plave svjetlosti u

odnosu na crvenu. Nakon raspršenja, dio zračenja se preusmjeri prema svemiru. Refrakcija je odklon zrake svjetlosti kada ona prođe između granice dva foto-propusna medija. Kada zraka prođe kroz dva medija različitih gustoća ona se lomi, a uz to dolazi i do promjene valne duljine i brzine, ali zraka ima istu frekvenciju. Do apsorpcije zračenja dolazi zbog prolaska zrake kroz atmosferu jer ona može spriječiti ili oslabiti prijenos zračenja ili energije zračenja. Intenzitet i amplituda zrake se smanjuje, a valna duljina je duža. U Zemljinj atmosferi do apsorpcije najčešće dolazi zbog ozona (O<sub>3</sub>), ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) te vodene pare (H<sub>2</sub>O). Najveći utjecaj na apsorpciju zraka ima ozon, a kao primjer je najbolji njegova apsorpcija UV zračenja. Na daljinska istraživanja najviše utječe ugljikov dioksid koji apsorbira srednje i daleko infracrveno zračenje (Campbell i Wynne 2011.; Samardžić, 2021).

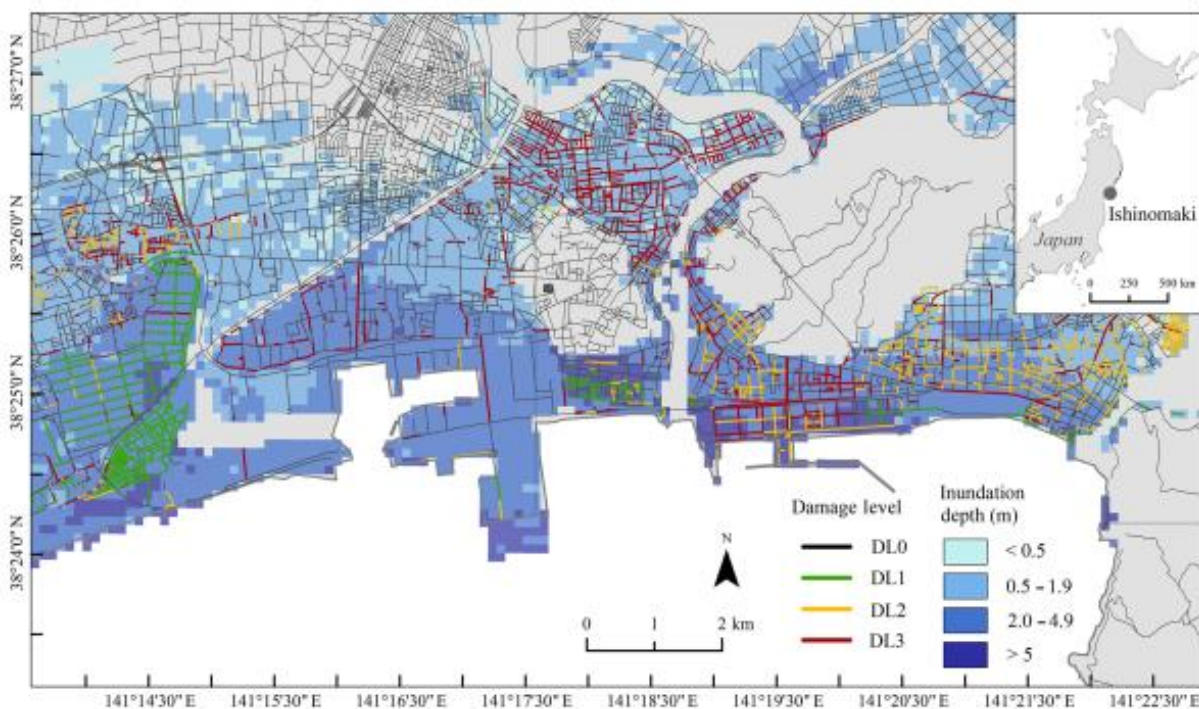
Prije odabira kojim će se satelitskim sustavom istraživač koristiti, treba biti upoznat s karakteristikama snimki koje svaki sustav ima. Neke od karakteristika snimki su: prostorna, spektralna, vremenska i radiometrijska rezolucija o kojima će ovisiti kvaliteta slike. Preko prostorne rezolucije senzor ima mogućnost da raspozna različite objekte u prostoru. Što je veće prostorne rezolucije, on će lakše raspoznati objekte manje veličine. Širina spektra unutar kojega se mogu sakupiti podaci ovisi o spektralnoj rezoluciji. Najbitniji faktor ovdje je širina pojasa raspona valnih duljina koje detektiraju pojedini pojasi. Kada ili ako senzor uspije detektirati više pojaseva, tada dobijemo snimke koje se nazivaju multispektralne ili hiperspektralne. Visoka prostorna rezolucija podrazumijeva senzorsko detektiranje energije s manjeg područja, a visoka spektralna rezolucija senzorsko detektiranje energije unutar uskog dijela spektra. Što su prostorna i spektralna rezolucija bolje, to se više smanjuje količina energije na senzoru. Radiometrijska rezolucija omogućuje razdvajanje objekata na osnovi reflektiranog ili emitiranog zračenja. Napokon, mogućnost praćenja odabranog objekta i njegovo prikazivanje u ujednačenim intervalima, ovisi o vremenskoj rezoluciji (Lillesand i dr. 2008 prema Samardžić, 2021). Pri kvalitetnom istraživanju nepogoda i prirodnih katastrofa, baš kao što su tsunami i potres, važno je imati pristup senzorima koji imaju mali interval ponavljanja snimanja.

#### 4.6. Primjena tehnologije u Japanu

Detekcija štete daljinskim putem, zajedno s geografskim informacijskim sustavima, često igra ključnu ulogu u procjeni i ublažavanju posljedica prirodnih katastrofa. GIS sustavi i daljinska



istraživanja primijenjeni su za kartiranje poplava i procjenu stanja na terenu. Velika prednost kod ovakvih sustava je mogućnost brzog prikupljanja satelitskih snimki na teško pogođenim i nepristupačnim područjima u ranoj fazi. Prije izravnih terenskih istraživanja brzim prikupljanjem i obradom podataka, adekvatne službe znaju što činiti i što očekivati pri dolasku na teren. Sama priroda i prostorni obuhvat ove katastrofe uvjetovao je veoma teško izravno terensko prikupljanje podataka pa su primjenom ovih tehnologija uvelike smanjeni problemi. Radi usporedbe, Landsat, SPOT, SRTM i radarski podaci korišteni su prilikom procjene štete od potresa na Sumatri 2004. godine. Landsat-7 TM i DEM korišteni su za kartiranje opsega poplava obalnog područja Sjeverne Karoline u SAD-u. Kombinacija DI i GIS-a bila je isplativa i sigurna metoda za procjenu područja pogođenih tsunamijem i potresom (Li i dr., 2011).



Sl. 12. Poplava izazvana tsunamijem i oštećenja ceste u gradu Ishinomaki

Izvor: Williams i dr., 2020.

Na slici 12 prikazan je primjer promatranih razina oštećenja cesta i poplavnih područja u gradu Ishinomaki. Ishinomaki je doživio, uz Sendai, najgore posljedice potresa i tsunamija od svih općina u Japanu (Ubaura i dr., 2016). Primjećuju se pojačana oštećenja cesta u luci i uz tok rijeke Kyukitakami te poplavljena područja 4 do 5 kilometara u unutrašnjost. Što se tiče oštećenja cesta, na njih su utjecali i potres i tsunami, no u ovom istraživanju su sve ceste klasificirane kao ceste jednake kvalitete, odnosno, nije bilo podataka koji bi razvrstali ceste u

tom trenutku. Nadalje, činjenica da je dubina plavljenja do 5 metara dosegala i 2 kilometra u unutrašnjost (u ovom gradu), govori o razmjeru katastrofe.

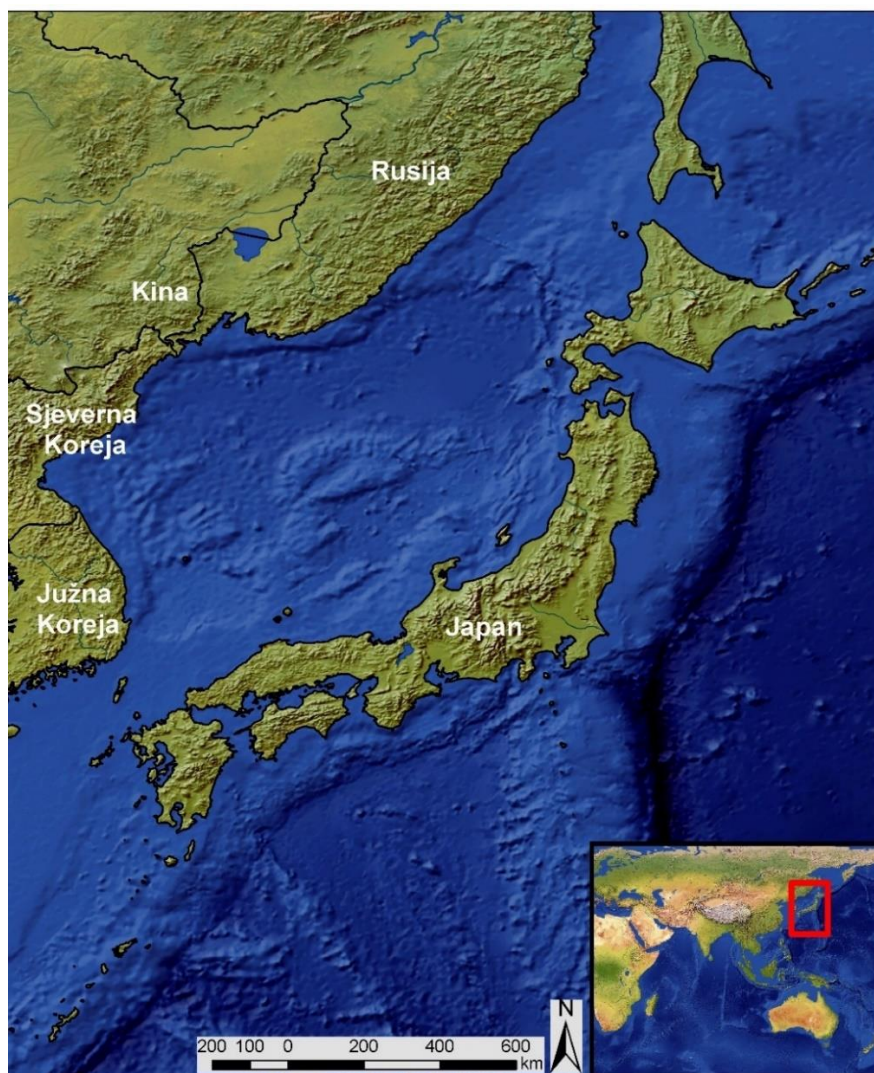
U slučaju japanske katastrofe, satelitske snimke omogućile su brzo i temeljito prikupljanje bitnih informacija kako bi žurne službe mogle započeti operacije spašavanja, a institucije rekonstrukciju i obnovu. U tom trenutku bilo je ključno prikupiti dovoljnu količinu ažurnih podataka kako bi se procijenilo stanje na terenu te su tu daljinska istraživanja daleko najsigurnije i najbrže sredstvo. Brza i učinkovita procjena stanja na terenu nakon katastrofe bila je vrlo važna za oporavak pogođene regije. Pregledom, usporedbom i GIS analizom snimki snimljenih satelitima prije i nakon tsunamija i poplave dobivamo informacije o dubini prodiranja tsunamija, uništenoj infrastrukturi, rasprostranjenosti sedimenata te potencijalnoj opasnosti pri ponovnoj katastrofi. Informacije dobivene daljinskim istraživanjima pomogle su pri smanjivanju i efektivnom uklanjanju posljedica katastrofe i procjeni štete.

Na primjer, prilikom procjene razmjera štete na zgradama, fotografije iz zraka koristile su se za vizualnu usporedbu fotografija snimljenih neposredno prije i nakon potresa te fotografija snimljenih 2 do 6 mjeseci nakon potresa. Na temelju metode procjene, obrasci procjene su klasificirani u 3 kategorije, a to su: laka ili nikakva oštećenja, teška ili srednja oštećenja, isprano ili urušeno (Amakuni i dr., 2012).

Nadalje, izrada karata rizika od velike je koristi za stanovništvo radi pripreme za potencijalan nalet tsunamija. Karte rizika mogu se koristiti za procjenu ugroženih područja i evakuaciju. Geoprostornom analizom mogu se dobiti informacije o prioritetnim postupcima pri donošenju hitrih odluka. Kartiranje ugroženih područja olakšano je primjenom GIS-a pa se zajedno s analizom satelitskih snimki daljinskog istraživanja stvaraju kvalitetne predodžbe ugroženih područja. Namjena zemljišta jedan je od parametara koji se primjenjuje u prostornoj višekriterijskoj analizi pri izradi karte fizičke ranjivosti na tsunami. GIS prikazi pojedinih područja dobiveni su korištenjem SRTM-a ("Shuttle Radar Topography Mission") kojim su se dobili topografskih podaci područja (Sambah i Miura, 2014). Nakon katastrofe znatna količina poljoprivrednog zemljišta preusmjerena je za izgradnju stambenih objekata ili skladištenje otpada, velikim dijelom u sklopu projekata obnove (Ubaura i dr., 2016).

## 5. ANALIZA PROMJENE ZEMLJIŠNOG POKROVA U GIS-u

GIS analiza pojedinih područja od interesa odrađena je kako bi se pobliže prikazao rezultat korištenja takvih softvera za prostorne analize. Idući primjeri samo su mali dio onoga što se pomoću ovakvih alata može postići. U priloženim primjerima prikazano je nekoliko osnovnih kartografskih prikaza, nekoliko prikaza GIS analiza, satelitske snimke koje se koriste za daljinska istraživanja itd. Svaki primjer može se iskoristiti na više načina, interpretirati drugačije, ovisno u koju svrhu se koristi. Upravo to je velika prednost daljinskih istraživanja. Kvalitetna analiza zahtjeva znanje, kreativnost i strpljenje kako bi konačan rezultat bio adekvatan za prikaz nekog prostora ili prostornog problema. Kreativnost u ovakvom tipu istraživanja analitičaru daje za pravo da pojedini prostorni problem analizira na više načina, a eksperimentiranjem u analizi lako se može doći i do neočekivanih, no korisnih informacija.



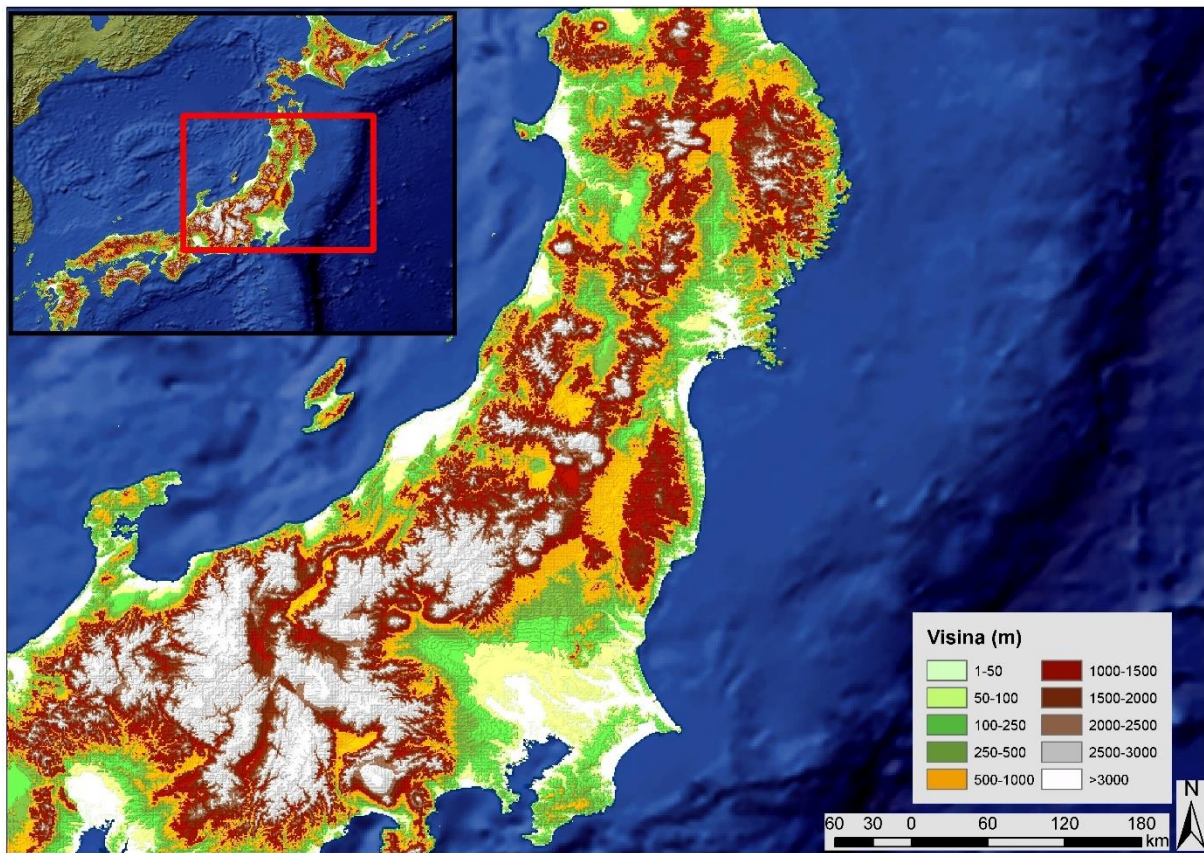
Sl. 13. Geografski položaj Japana

Izvor: Izradio autor prema podacima Natural Earth (2022).



Slika 13 vrlo je jednostavan primjer korištenja ArcMap softvera gdje se korištenjem nekoliko slojeva može prikazati, recimo, geografski položaju kao u ovom primjeru.

Na slici 14 prikazan je digitalni model reljefa (DEM) Japana. Pomoću DEM-a nekog područja i uz kvalitetne rasterske i vektorske podatke, možemo izraditi niz analiza, a u ovom slučaju to je prikaz reljefa tj. visinskih razreda u Japanu. Kvalitetan prikaz DEM-a ovisi o kvaliteti podataka iz kojih se on radi, odnosno o njihovoj rezoluciji. Slike 13 i 14 nisu satelitske snimke nego prikaz obrađenih podataka. Visinski razredi koji su ovdje proizvoljno odabrani zornije prikazuju konfiguraciju istočne obale Japana. Npr. niži dijelovi (1 do 50 metara), koji su zahvaćeni tsunamijem, pretrpjeli su velike štete zbog prodora vode duboko u kontinent.

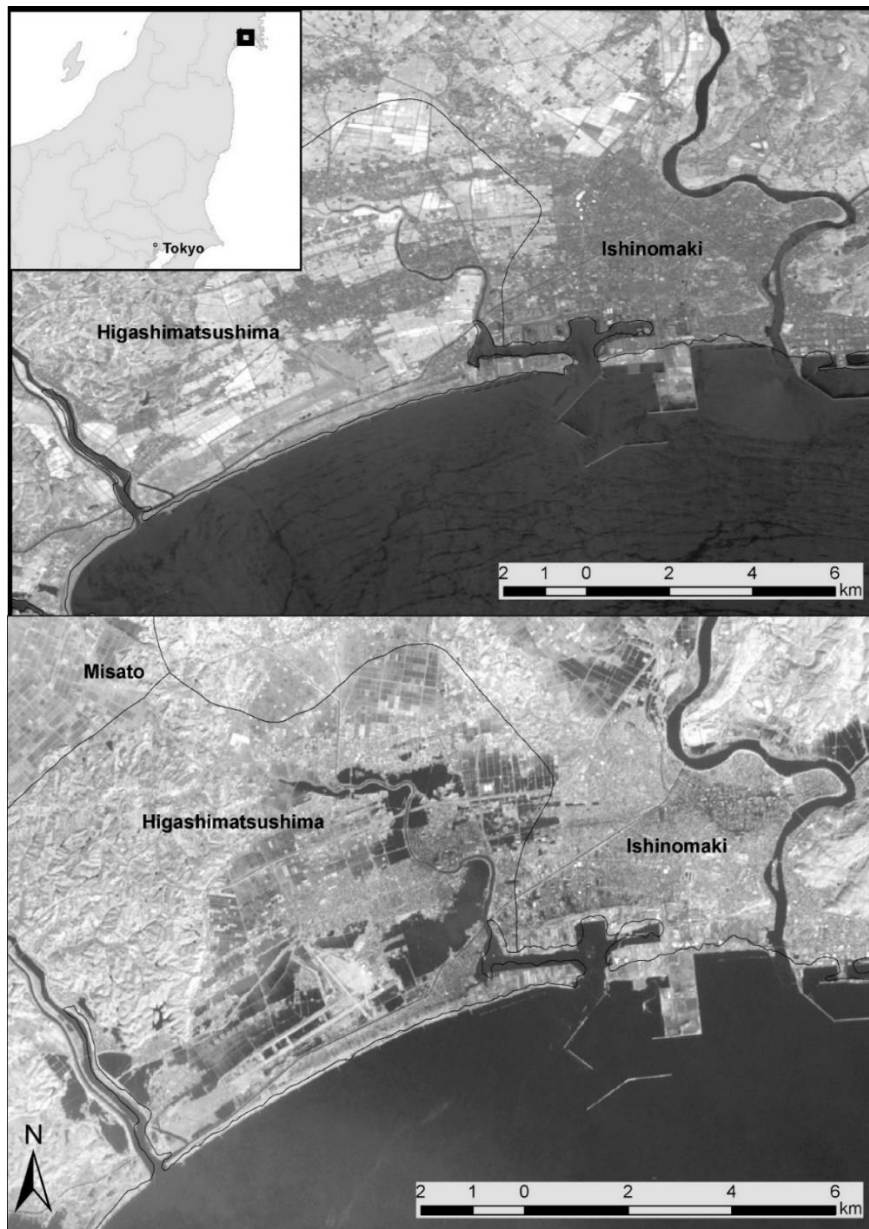


Sl. 14. Digitalni model reljefa (DEM) Japana – približno na istočnu obalu

Izvor: Izradio autor prema podacima Natural Earth (2022).

Slika 15 prikazuje jedan dio prefektura Miyagi koja je pretrpjela velika oštećenja uzrokovana katastrofom. Gornja satelitska fotografija prikazuje stanje u obalnim gradovima Ishinomaki i Higashimatsushima 2008. godine. Donja satelitska fotografija prikazuje stanje u spomenutim gradovima 2011. godine, 3 dana nakon potresa i tsunamija, a snimljena je s NASA-inim satelitom Terra pomoću instrumenta ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer). Čak se i na priloženoj crno-bijeloj fotografiji vidi razlika u odnosu na

gornju iz 2008. Međutim, bez konteksta, teško bi se dalo naslutiti da je promjena uzrokovana naletom vala tsunamija. Na ovom području, tsunami je u područje grada ušao i do 5 kilometara, a voda i nanosi mulja tamo su ostali mjesecima. Izvorni snimci su „false-color composites“ odnosno slike nastale lažnim kombiniranjem boja – pseudokolor snimci, no zbog manjih različitosti, priložena je crno-bijela snimka. U kasnijoj klasifikaciji koristile su se pseudokolor snimke.



Sl. 15. Gradovi Ishinomaki i Higashimatsushima 2008. godine (gore) i 2011. godine (dolje)

Izvor: Izradio autor prema podacima USGS (2022).



Sl. 16. Primjer pseudokolor snimke, grad Ishinomaki

Izvor: NASA, 2012.

Slika 16 primjer je pseudokolor snimke. Na ovom primjeru voda je tamno plava, zemlja prekrivena biljkama je crvena, izložena zemlja je žutosmeđa, a grad je srebrnkaste boje. Tamnoplava ispunjava i prostore između zgrada u dijelovima grada koji su bili potopljeni, a ljudi spašavani čamcima.

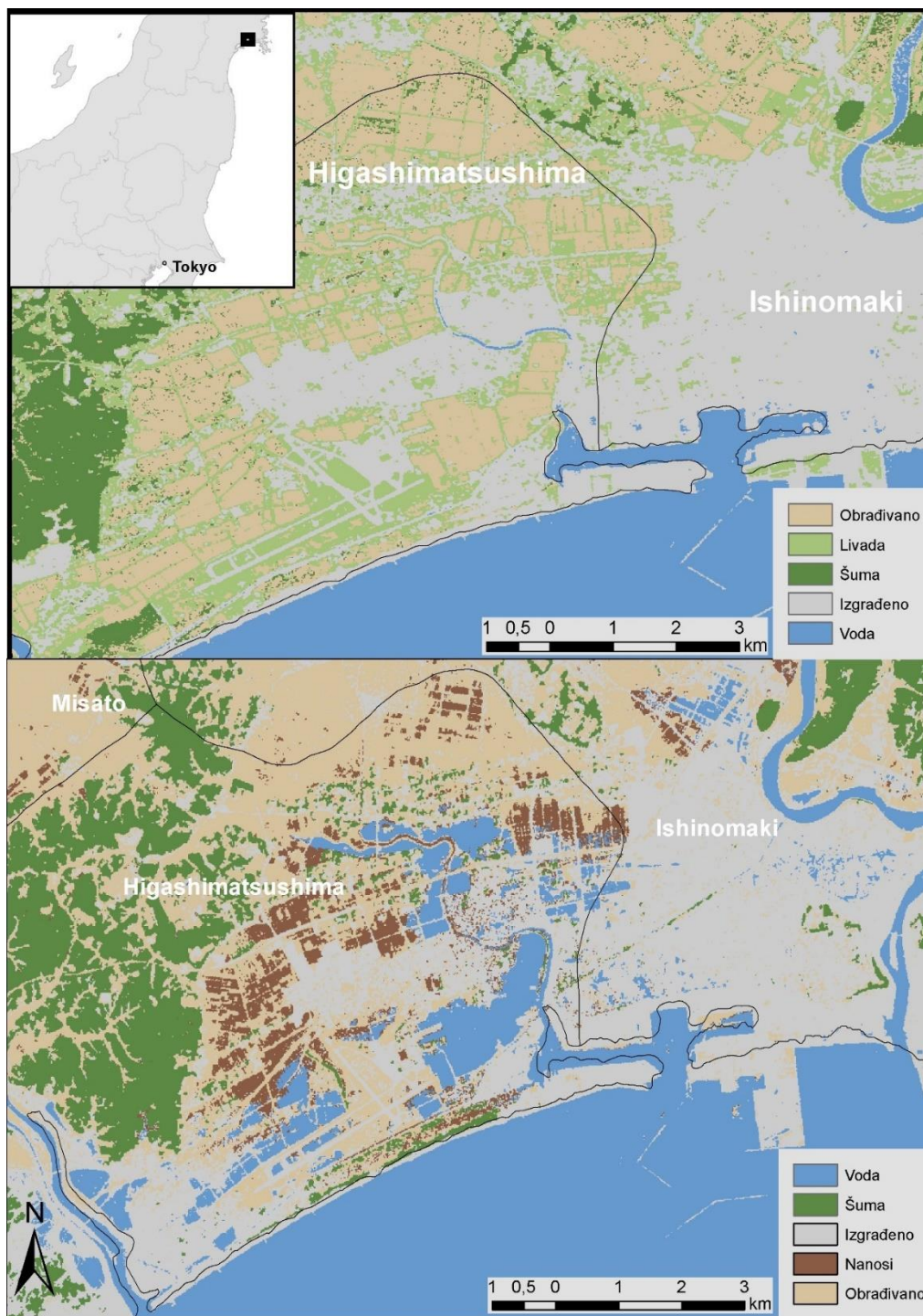
U izradi iduća dva primjera koristila se digitalna klasifikacija koja je infracrvene verzije slike 15, uz manualnu obradu, transformirala u sliku 17. Digitalna klasifikacija snimaka je postupak sortiranja i grupiranja piksela na snimci u adekvatne klase i kategorije. Kategorije mogu biti bilo koja prostorna pojava koja se nalazi na snimci, na primjer, voda, vrsta šume, poljoprivredno zemljište, vrsta kulture, zgrade itd. Podaci koje u početku imamo, nakupina su piksela različite spektralne vrijednosti. Klasifikacija može biti nadzirana i nenadzirana. Kod nenadzirane klasifikacije identificiraju se prirodne zajednice i strukture pomoću prikupljenih multispektralnih snimaka. Obuhvaća definiranje, identifikaciju i kartiranje klasa. Kod nenadzirane klasifikacije nije potrebno predznanje o području interesa te je manja mogućnost

ljudske greške, ali analitičar ima manju kontrolu nad izborom klasa. Nadzirana klasifikacija je postupak gdje pomoću uzorka poznatog identiteta klasificiramo ostatak nepoznatih piksela. Uzorke poznatog identiteta proizvoljno, uz potpunu kontrolu i prilagodbu, bira analitičar te ih svrstava u neku kategoriju, a oni tvore bazu tzv. trening uzoraka. Odabir trening uzoraka početni je i najvažniji korak u nadziranoj klasifikaciji. Neki od nedostataka su ta što analitičar ima veliku ulogu u oblikovanju podataka pa točnost rezultata ovisi o njegovoj kompetentnosti za taj zadatak. Nadalje, ručni odabir može biti dugotrajan i skup. Za uspješno definiranje i odabir uzoraka, analitičar mora biti siguran u ispravnost kategorizacije. Također, bitno je naglasiti da različito definirani uzorci mogu dati vrlo različite rezultate, čak i pri korištenju istih metoda (Campbell i Wynne 2011).

Na slici 17 zornije je prikazano stanje u promatranom području prije i nakon naleta tsunamija. Gornji prikaz odnosi se na stanje prije tsunamija. Donji prikaz predočava razliku na terenu u odnosu na prijašnje stanje. Odmah se zamjećuje znatna količina vode (plava boja) koja se prilikom povratnog kretanja tsunamija, zadržala unutar prostora grada. Voda je pretežno ostala na obrađenim površinama i livadama, a sva voda je otekla tek nakon 11 mjeseci. Smeđa boja predstavlja nanose, odnosno mulj, blato i pijesak koji je akumuliran razornim i erozijskim djelovanjem tsunamija. Zbog mulja i sivo smeđih nanosa, travu je nešto teže klasificirati pa je zahvatila neke druge kategorije, pretežno „obrađivano“ te kao takva prikazana u legendi na slikama nakon tsunamija. To znači da je i taj prostor bio pod određenom količinom vode. Izgrađeni objekti, kuće, ceste itd., procesom klasifikacije nisu kvalitetno mogli biti odvojeni s obzirom na stanje na terenu (slika 4), pa su i na prikazu nakon tsunamija klasificirani kao izgrađeno područje. Štoviše, veliki dio naizgled izgrađenog područja su zapravo bile ruševine i otpad. U krajnjem istočnom dijelu donje fotografije primjećuju se nanosi (i ruševine) na mjestima zahvaćenim bujanjem rijeke praćene naletom tsunamija. Duž istočne obale Japana, upravo su rijeke i kanali za navodnjavanje pripomogli dubljem prodoru vode u unutrašnjost.

Promatrano područje nalazi se na sjevernom kraju zaljeva Sendai, a grad Ishinomaki je prije tsunamija imao jednu od najvećih svjetskih ribarnica. Potres i tsunami uništili su oko 28000 kuća, a poginulo je više od 3000 ljudi. Voda je preplavila polja s obje strane rijeke i sjeverno od aerodroma. Niska nadmorska visina i visoka urbaniziranost rezultirala je time da se Ishinomaki vodi kao jedan od najteže pogođenih gradova (NASA, 2011 prema Scott, 2012).

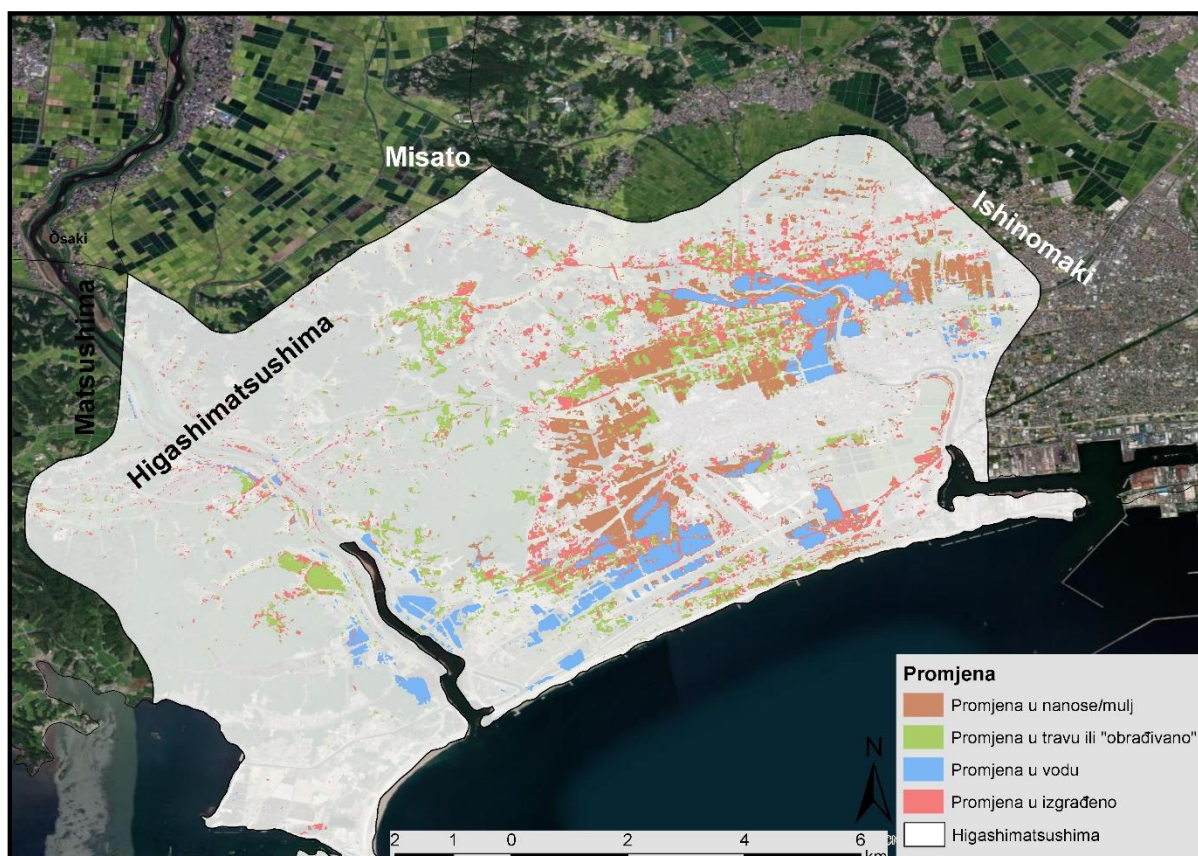




Sl. 17. Klasificirani prikaz gradova Ishinomaki i Higashimatsushima 2008. godine (gore) i 2011. godine (dolje)

Izvor: Izradio autor prema podacima GEOFABRIK (2022) i USGS (2022).





Sl. 18. Promjena u zemljišnom pokrovu u gradu Higashimatsushima od 2008. do 14.3.2011.

Izvor: Izradio autor prema podacima NASA (2012), GEOFABRIK (2022) i USGS (2022).

Slika 18 nastala je dodatnom analizom slike 17 gdje se kombinacijom te 2 slike dobije promjena nastala između 2 promatrana razdoblja. Radi lakšeg snalaženja, promjene svake pojedinačne kategorije (npr. izgrađeno u vodu, izgrađeno u travu, trava u vodu, obrađeno u mulj...) spojene su u zajedničke kategorije onoga u što se pokrov pretvorio. Rezultat analize pokazuje nam područja koja su prošla kroz promjenu uzrokovanu tsunamijem. Promjena zemljišnog pokrova u nanose i mulj nastala je pri naletu i povlačenju vode tsunamija koja je nanijela erodirani materijal. Ta područja se također mogu okarakterizirati kao natopljena vodom odnosno polu-močvarna s muljem. Promjenu zemljišnog pokrova u travu ili obrađeno bilo je nešto teže klasificirati s obzirom na blato, mulj i slično, pa se u ovom prikazu to kategoriziralo pod isto. Štoviše, pitanje je možemo li uopće govoriti o obrađivanoj površini u mjestu naleta tsunamija. Nadalje, obrađivana površina je većinom pretvorena u mulj i vodu, kao i neka izgrađena područja. Zanimljivo je da je analizom dobiveno i novoizgrađeno područje, međutim ne radi se u novogradnji već o nanosima raznovrsnog materijala, kuća, automobila, krovova (slika 4). Od ukupne površine grada koja iznosi 101 kilometar kvadratni, otprilike 65% površine zahvaćeno je tsunamijem, a površina promjene zemljišnog pokrova (u

ovoj analizi) iznosila je oko 20 kilometara kvadratnih. Od spomenutih 20 kilometara kvadratnih, podjednaka promjena površine od 4 do 5 kilometara kvadratnih bila je i za površine pretvorene u vodu, nanose, izgrađeno (razni materijal) i trave. Još jednom, bitno je naglasiti kompliciranost klasifikacije područja pogođenih tsunamijem zbog manje homogenosti prostornih cjelina, no i dalje je ovakva vrsta analize veoma korisna i pouzdana za praćenje razmjera katastrofe i planiranje daljnjih koraka.

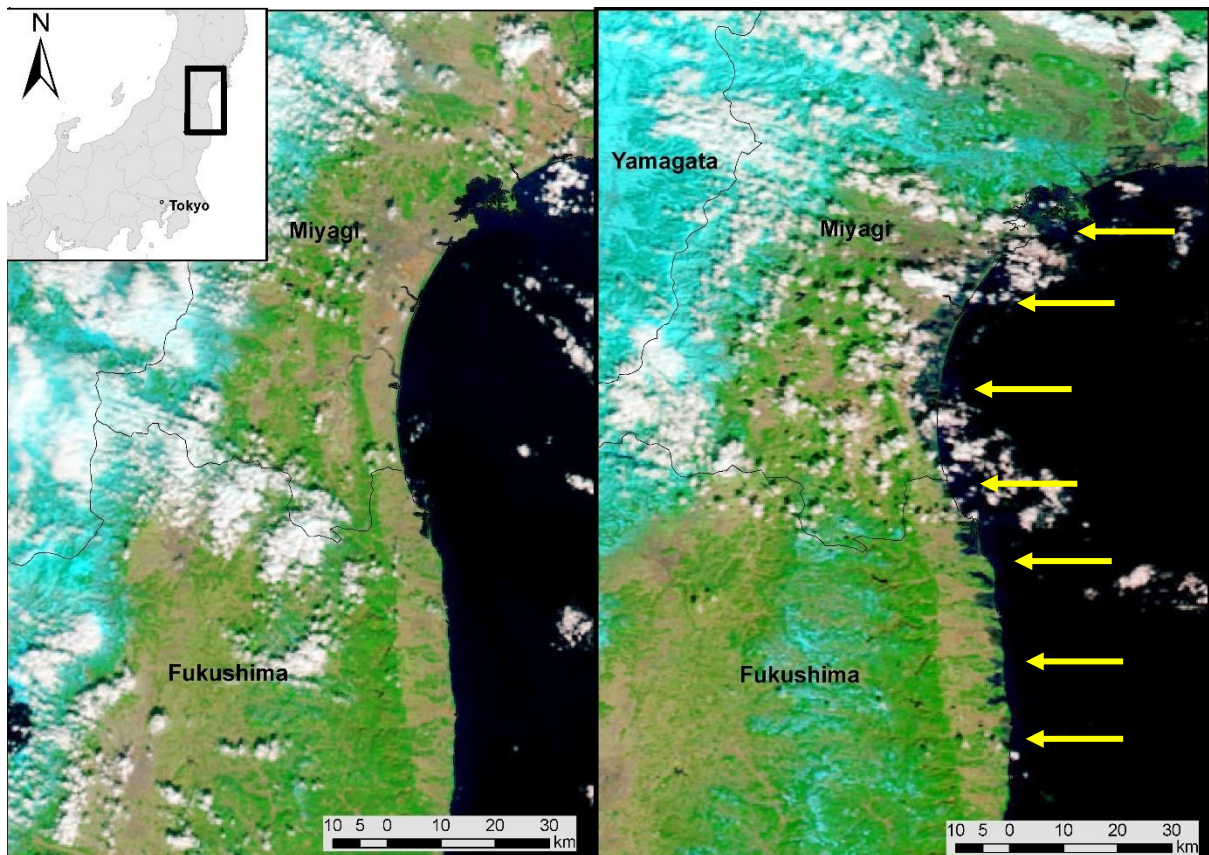


Sl. 19. Klasificirani prikaz grada Sendai 2008. godine (gore) i 2011. godine (dolje)

Izvor: Izradio autor prema podacima GEOFABRIK (2022) i USGS (2022).

Slika 19 rezultat je jednake analize kao u slici 17, samo što prikazuje drugi grad. Grad Sendai (glavni grad prefektуре Miyagi), oko 30 kilometara udaljen od grada Ishinomaki jedan je od najpogođenijih gradova te se i na ovom primjeru ističe velika promjena u količini vode akumulirane tsunamijem. Također, potopljen je veći dio poljoprivrednog zemljišta, a grad je bio pun ruševina i otpada. Na desnome primjeru, tamno zeleni dio zapadne strane grada nije šuma, već nedostatak podataka koji je u procesu klasifikacije kategoriziran pod šumu.





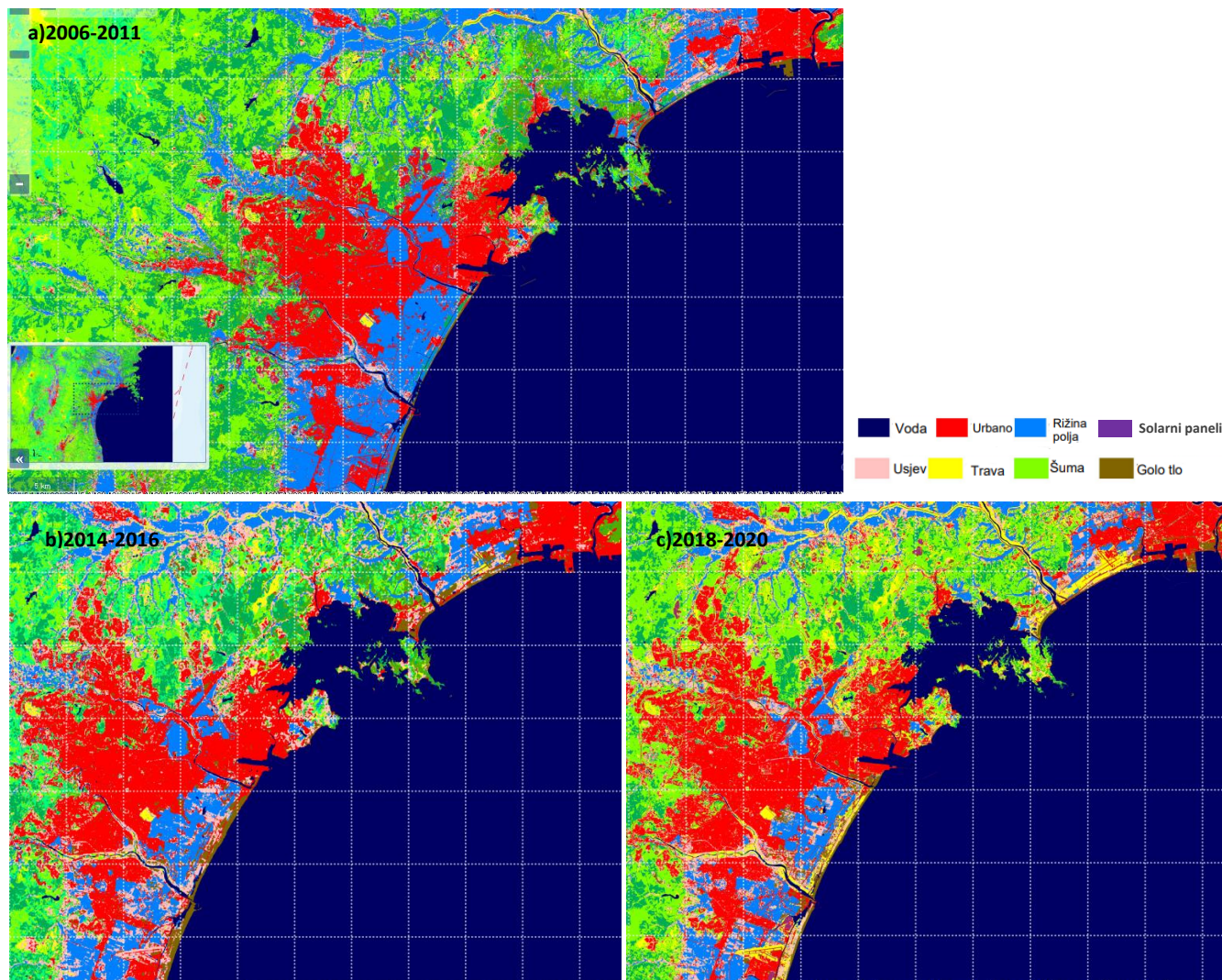
Sl. 20. Satelitska snimka dijela istočne obale Japana s prefekturama Fukushima, Miyagi i Yamagata u veljači 2011. godine (lijevo) i u ožujku 2011. godine (desno)

Izvor: Izradio autor prema podacima NASA- Earth observatory (2011).

Usporedba satelitskih snimaka na slici 20 prikazuje dio istočne obale Japana južnije od prethodno prikazanih područja (prefektura Miyagi). To je također jedan od dijelova obale koji se ističe na slici broj 9. Žutim strelicama prikazana je poplavljena obala.

Slika 21 prikazuje LULC (Land Use Land Coverage) karte koje je izradila JAXA (Japanska agencija za istraživanje svemira). Podaci u sljedećim priložima dobiveni su korištenjem senzora AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type-2) na satelitu ALOS (Advanced Land Observing Satellite). Ove karte stvorene su klasifikacijom više slika kroz duži vremenski period. Na kartama je kategorizirano 8 tipova tla, a ukupna točnost je oko 85%. Kao i na slikama 17 i 19, tako i na trenutno opisivanoj, mnoga poljoprivredna područja uništena su i napuštena su nakon tsunamija. Velika promjena primjećuje se i odnosi na rižina polja koja nisu pobrana ili su zapuštena (plava u žutu boju).

Rezultati ukazuju na promjene u područjima kategoriziranim kao rižina polja koja su se pretvorila u travnate površine duž obale i u zoni evakuacije oko nuklearne elektrane Fukushima (Ishihara i Tadono, 2017).



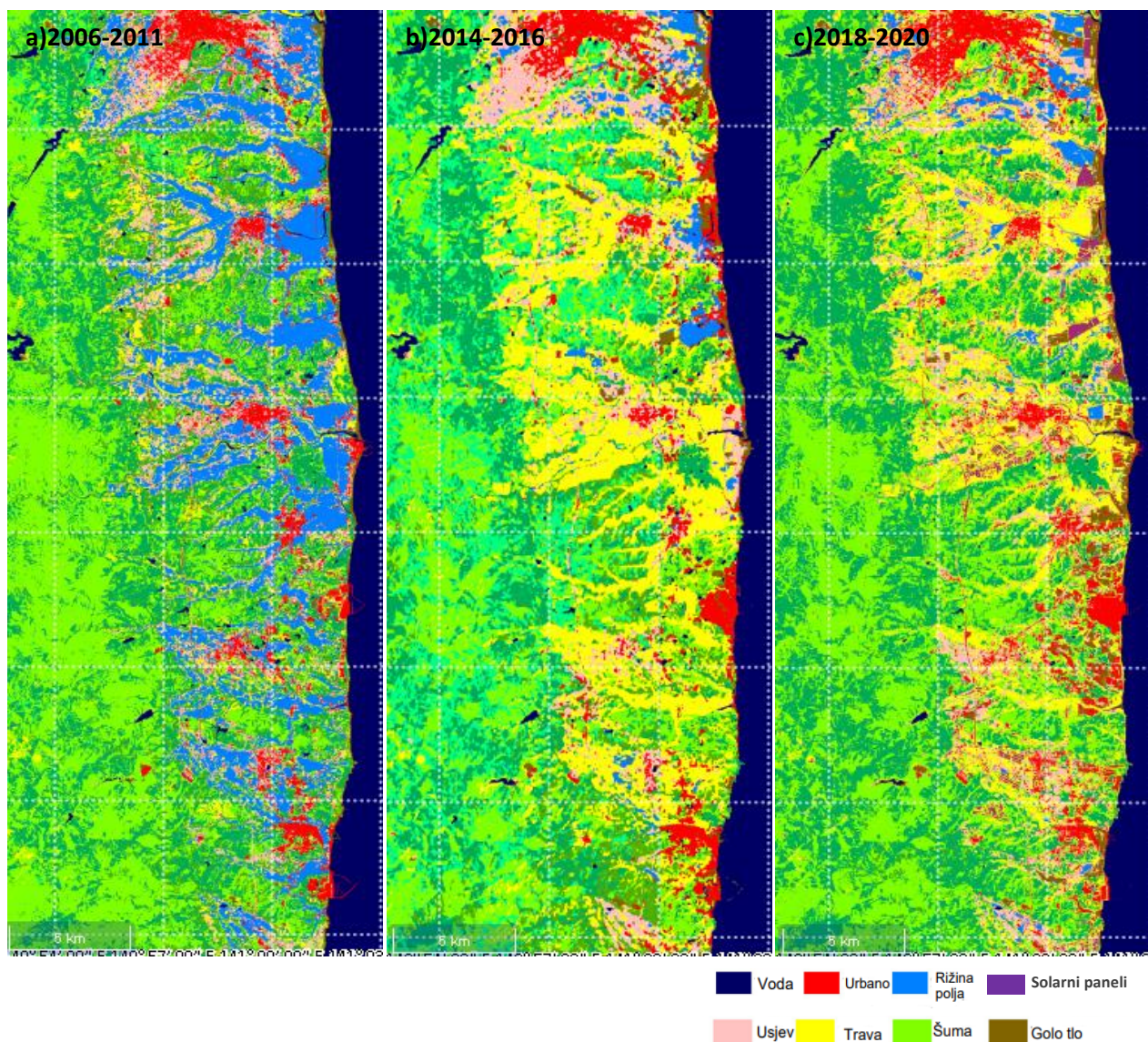
Sl. 21. LULC (Land Use Land Coverage) karta promjene zemljišnog pokrova grada Sendai (a) 2006-2011, b) 2014-2016 i c) 2018-2020)

Izvor: Jaxa, 2022.

Također, na uvećanom prikazu slike 22 koja prikazuje područje oko nuklearne elektrane Fukushima, primjećuje se povećanje udjela travnatih površina. Podsjetimo se da je većina radioaktivnih čestica nošena vjetrom u smjeru sjeverozapada pa se promjena zemljišnog pokrova u tom smjeru i nazire. Neodržavanje površina nakon katastrofe ili procesa dekontaminacije, uzrokovalo je širenje nekih vrsta korova te se na lokalnoj razini primjećuje opadanje urbaniziranih, a porast travnatih i golih površina. Nadalje, ograničena ljudska



aktivnost u zoni evakuacije i u zonama s visokom radijacijom, rezultirali su napuštenim poljoprivrednim zemljištima i izgrađenim područjima koje zahvaća trava, a od kojih će neka vremenom postati šume (Ishihara i Tadono, 2017).



Sl. 22. LULC (Land Use Land Coverage) karta promjene zemljišnog pokrova južnog dijela prefektуре Miyagi i prefektуре Fukushima (a) 2006-2011, b) 2014-2016 i c) 2018-2020)

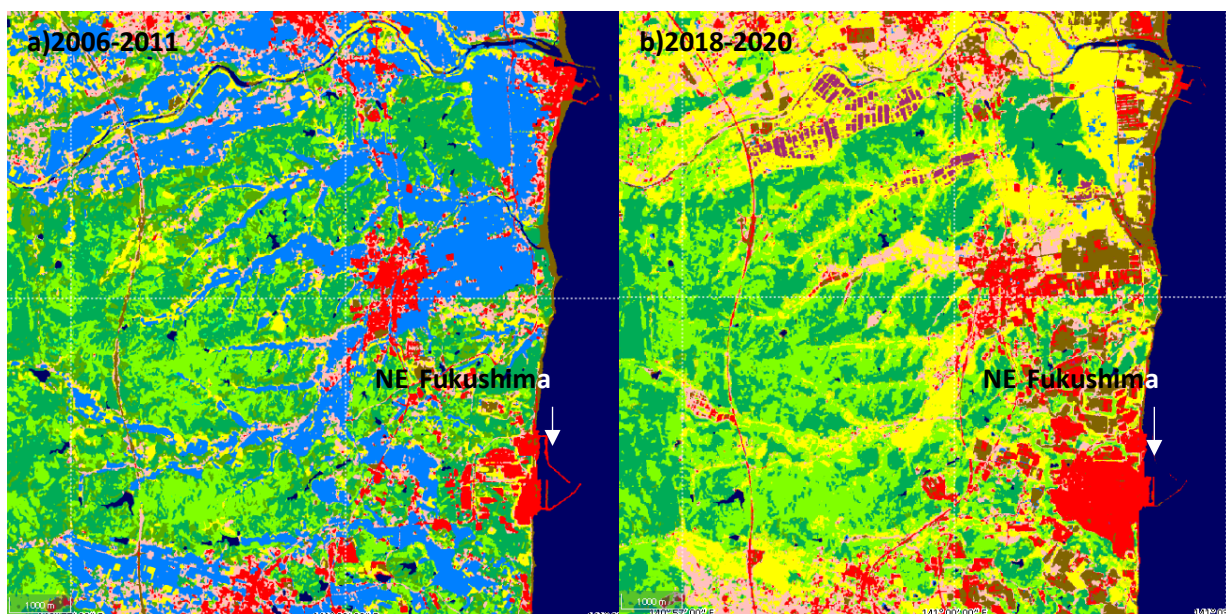
Izvor: Jaxa, 2022.

Na slikama se uspješno detektiraju promjene nastale razornim djelovanjem tsunamija i posljedica iseljavanja zbog radijacije. Promjene zemljišnog pokrova na promatranom području značajne su, naročito u uskom obalnom pojasu do oko 5 kilometara od obale. Na promjene su, osim navedenih faktora, utjecale i odluke vlasti koje je stanovništvo moralo i dalje mora pratiti.



Takav pristup nam za omogućava praćenje i analizu promjena u zemljišnom pokrovu, a sukladno tome i uočavanje povezanosti procesa pri regionalnom razvoju istraživanog prostora. Štoviše, cjelokupan regionalni razvoj pogođenih područja, bio pozitivan ili negativan, pod velikim je utjecajem naknadnih odluka vladajućih. U većini područja oko nuklearne elektrane i zone s ograničenim kretanjem, došlo je do procesa prirodne sukcesije uzrokovane depopulacijom i deagrarizacijom.

Katastrofe su imale višestruk učinak na različite ekosustave i ljudske aktivnosti. Poljoprivredna aktivnost je stagnirala i zbog štete od slane vode donesene tsunamijem, a broj divljih životinja povećao se u zoni evakuacije i okolnim područjima zbog prestanka ljudskih aktivnosti (Ishihara i Tadono, 2017). Usporedbom lijevog i desnog dijela slike 23 primjećuje se veća izgrađenost oko nuklearne elektrane Fukushima, što je rezultat razvoja infrastrukture za rekonstrukciju elektrane i deponiranja velike količine kontaminiranog materijala i spremljene kontaminirane otpadne vode. S druge strane, na desnom dijelu slike primjećuje se velika površina pokrivena solarnim panelima (ljubičasta boja). Pozitivan je to primjer iskorištavanja „otpisanog“ zemljišta jer se tako ipak iskorištava zemlja koja nije prikladna za naseljavanje ili iskorištavanje u poljoprivredne svrhe. Vrlo je vjerojatno da će se područja pod solarnim panelima u idućim godinama proširiti. Legenda je istovjetna onoj na slici 21 i 22.



Sl. 23. LULC (Land Use Land Coverage) karta promjene zemljišnog pokrova oko nuklearne elektrane Fukushima Daiichi (a) 2006-2011, b) 2018-2020)

Izvor: Jaxa, 2022.

## 6. RASPRAVA

Daljinska istraživanja pokazala su se iznimno korisnima u istraživanju i praćenju opisivane i sličnih vrsta katastrofa. Nadalje, ona su neizostavna tehnologija i znanost pri definiranju obujma prostornog problema i u daljnjoj analizi te rješavanju zadataka prostorne problematike. Ovakav pristup i vrsta istraživanja mogu se iskoristiti i npr. pri praćenju brzine protoka tsunamija kroz neko naselje. Moguće je napraviti modele koji u obzir uzimaju širinu ulica i računaju brzinu protoka. Ovisno o brzini vode, može se pokušati predvidjeti šteta. Jasno je da su informacije prikupljene daljinskim istraživanjima od iznimne koristi za mnoge znanosti. Važna je detaljna i kvalitetna izrada uz ažuriranje baza podataka kako bi u danom trenutku odmah mogli reagirati i izraditi prikaz pojedinog prostora. Prikazivanje obujma promjena zemljišnog pokrova dokaz su silovite snage tsunamija, posljedica radijacije te naknadnih socijalnih i ekonomskih promjena. Japan ostavlja pozitivan primjer korištenja novih tehnologija sistematskim praćenjem, korištenjem i implementacijom novih metoda. Na primjeru Japana, koji godinama prati, analizira i predviđa potencijalne opasnosti i ugrožene zone prilikom pojave tsunamija, i druge države bi se trebale više koristiti ovim načinom primjene opisivane tehnologije. Izradom kvalitetnih baza podataka sve se ove informacije mogu koristiti za razvoj raznih scenarija u prošlosti i budućnosti. Kao što je već rečeno, na prirodne procese i promjene u prostoru ne možemo utjecati, ali ih djelomično možemo predvidjeti i na njih pravovremeno reagirati. Treba svakako opet napomenuti da uspješnost analize i interpretacije podataka uvelike ovisi o iskustvu i načinu rada interpretatora, karakteristikama područja koje istražuje, kvaliteti snimaka i podataka i sl. U interpretaciji podataka potrebna je kreativnost, imaginacija i strpljivost kao i opsežno znanje, ne samo o području koje se istražuje, nego i o mnogim drugim znanstvenim područjima.

## 7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je izraditi GIS analizu pojedinih područja pogođenih velikim tsunamijem u Japanu 2011. godine korištenjem tehnologije daljinskih istraživanja i adekvatnih softvera za obradu prostornih podataka prikupljenih kroz istraživanje. Katastrofa koja se dogodila u Japanu samo je podsjetnik na svu snagu, silinu i nepredvidivost planeta Zemlje. Držanje takvih katastrofa „pod kontrolom“, u vidu ažurnih informacija s terena, neminovno olakšava daljnje postupanje svih sfera društva. Na prirodne procese ne možemo utjecati, no sama činjenica da postoji tehnologija koja nam omogućava uvid u situaciju na nekom prostoru u bilo kojem danom trenutku, olakšava teret koji određene situacije nose, ali i zadovoljava ljudsku znatiželju, koja je prirodna. Naravno, korištenje daljinskih istraživanja u ovom diplomskom radu samo je „grebanje površine“ jer se sve sfere ljudske djelatnosti, aktivnosti, zanimacija i šire, mogu na neki način prikazati kroz drugu dimenziju. U radu je na tek par primjera u praksi prikazano naučeno na kolegijima, a ovakvi primjeri imaju stvarnu upotrebu prilikom rješavanja problema. Primijenjene metode pouzdane su za utvrđivanje stanja i promjena zemljišnog pokrova. Istraživanjem i analizama dokazano je da se u proteklih 11 godina zemljišni pokrov i način korištenja zemljišta promijenio i u uskim obalnim područjima i u krugu nuklearne elektrane sa zonom evakuacije. Brz razvoj daljinskih istraživanja, sve veća dostupnost podataka, kvalitetniji podatci dobiveni sve kompleksnijim i naprednijim uređajima zasigurno će rezultirati time da se ova znanost i tehnologija još više koriste. Svaki kutak ove planete pod utjecajima je vanjskih i unutrašnjih faktora i procesa, no iako na većinu tih faktora ne možemo utjecati, možemo pokušati predvidjeti i analizirati njihov ishod. Takvim pristupom možemo spasiti ljudske živote, olakšati funkcioniranje zajednice, upravljati prostorom na optimalan način itd. Također, možemo potaknuti razvoj mnogih područja jer svaki prostor korelira sa svime što ga okružuje, u blizini i daljini, te je nekad potreban pristup i pregled situacije iz neke druge perspektive, kako bi stekli osjet za nove pristupe i mogućnosti. Daljinska istraživanja zasigurno, kao tehnologija i znanost, imaju široku primjenu u analizama, praćenju promjena kroz vrijeme, predviđanju određenih prostornih procesa kako na promatranom području, tako i na bilo kojem drugom području, ovisno o potrebi i kreativnosti. Ona definitivno ostavljaju pozitivan primjer razvoja tehnologije u ispravnom smjeru.



## 8. LITERATURA I IZVORI

### Popis literature:

1. Amakuni, K., Terazono, N., Yamamoto T., Enomoto T., 2012: Basic Analysis on Building Damages by Tsunami due to the 2011 Great East Japan Earthquake Disaster Using GIS
2. Balenović, I. i Marjanović, H., 2016: 'Odabir optimalne prostorne rezolucije fotogrametrijskih digitalnih modela površine za primjenu u šumarstvu – primjer s područja nizinskih šuma hrasta lužnjaka, *Nova mehanizacija šumarstva*, 37(1), str. 1-13
3. Campbell, J.B., Wynne, R. H., 2011: Introduction to Remote Sensing, Fifth Edition, The Guilford Press, New York Lin
4. Cartwright, J. H. E., Nakamura, H., 2008: Tsunami: A history of the term and of scientific understanding of the phenomenon in japanese and western culture, *Notes and Records of the Royal Society*, 62, 151-166, DOI:10.1098/rsnr.2007.0038
5. Cvitanović, M. 2014: Promjene zemljišnog pokrova i načina korištenja zemljišta u Krapinsko-zagorskoj županiji od 1978. do 2011. godine, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet
6. Dunbar, P., McCullough, H., Mungov, G., Varner, J., Stroker, K., 2011: 2011 Tohoku earthquake and tsunami data available from the National Oceanic and Atmospheric Administration/National Geophysical Data Center, *Geomatics, Natural Hazards and Risks 2* (4), 305-323, DOI:10.1080/19475705.2011.632443
7. Frančula, N., Lapaine, M. i Vučetić, N., 1994: Primjena daljinskih istraživanja u kartografiji, *Geodetski list : glasilo Hrvatskoga geodetskog društva*, 48(71) (3), 265-276.
8. Grudenić, M., 2019: 'Primjena daljinskih istraživanja u suvremenoj geografiji, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet

9. Holt, M., Campbell, R. J., Nikitin, M. B., 2012: Fukushima Nuclear Disaster, Congressional Research Service 1-12
10. Ishihara, M. i Tadono, T., 2017: Land cover changes induced by the great east Japan earthquake in 2011, *Scientific Reports*, 7(1), DOI:10.1038/srep45769
11. Li, R., Liu, S., Guan, Q., i Peng, Y., 2011: Post-disaster assessment of northeastern coastal region for the 2011 Sendai Earthquake and tsunami, 2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection
12. Markuš, D., 2011: Potresi i analiza seizmičnosti, diplomski rad, Odjel za fiziku, Osijek
13. Milanović, K., 2018: Obrada i analiza 3D podataka iz aerofotogrametrijskog snimanja, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
14. Mori, N., Takahashi, T., Yasuda, T. i Yanagisawa, H. 2011: Survey of 2011 Tohoku earthquake tsunami inundation and run-up, *Geophysical Research Letters*, 38(7), DOI:10.1029/2011GL049210
15. Norio, O., Ye, T., Kajitani, Y., Shi, P., Tatano, H., 2011: The 2011 eastern Japan great earthquake disaster: Overview and comments, *Int J Disaster Risk Sci* 2 (1), 34–42
16. Petrović, M., 2022: 'Detekcija opožarenog područja Splitsko-dalmatinske županije 2017. godine korištenjem Sentinel-2 multispektralnih satelitskih snimaka, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
17. Samardžić, K., 2021: Klasifikacija oštećenja objekata uslijed potresa pomoću satelitskih snimki, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti
18. Sambah, A.B. i Miura, F., 2014: Integration of Spatial Analysis for Tsunami Inundation and Impact Assessment, *Journal of Geographic Information System*, 06(01), pp.11–22, DOI:10.4236/jgis.2014.61002.

19. Sanad, I., 2013: Design of Remote Sensing Satellite Orbit.
20. Stimpson, I., 2011: Japan's Tohoku Earthquake and Tsunami, *Geology Today*, 27 (3), 96-98, DOI:10.1111/j.1365-2451.2011.00793.x
21. Stipković, J., 2021: 'Uzroci i posljedice Tohoku potresa 2011. u Japanu, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet
22. Summerfield, M., A., 2013: Global geomorphology: An introduction to the study of landforms, Longman, Edinburgh.
23. Ubaura, M., Miyakawa, M. i Nieda, J., 2016: Land Use Change after Large Scale Disasters a Case Study of Urban Area of Ishinomaki City after the Great East Japan Earthquake, *Procedia Engineering*, 161, pp.2209–2216, DOI:10.1016/j.proeng.2016.08.817.
24. Udo, K., Takeda, Y. i Tanaka, H., 2016: Coastal Morphology Change Before and After 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami at Rikuzen-Takata Coast, *Coastal Engineering Journal*, 58(4), pp.1640016–11640016–16, DOI:10.1142/s0578563416400167.
25. Utami, W., 2022: Post Tsunami Land Use Monitoring to Support Sustainable Coastal Management, *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 12(2), pp.186–196, DOI:10.29244/jpsl.12.2.186-196.
26. Vrabec, M., 2020: Klasifikacija termalnih infracrvenih snimaka iz zraka, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti
27. Wang, T., Meng, T., Zhao, H., 2015: Analysis of tsunami effect and structural response, *Tehnički vjesnik*, 22 (6), 1365-1371, DOI: 10.17559/TV-20150122115308
28. Watanabe, A. i Jansen, M.B., 2019: Japan - History, Flag, Map, Population, & Facts, Encyclopedia Britannica

29. Wei, Y., Chamberlin, C., Titov, V.V., Tang, L. i Bernard, E.N., 2012: Modeling of the 2011 Japan Tsunami: Lessons for Near-Field Forecast, *Pure and Applied Geophysics*, 170(6-8), pp.1309–1331, DOI:10.1007/s00024-012-0519-z.
30. Weng, Q., Qihao, W., 2013: Remote Sensing of Natural Resources, Fifth edition, Taylor & Francis group. Boca Raton, str. 3-4
31. Williams, J.H., Wilson, T.M., Horspool, N., Paulik, R., Wotherspoon, L., Lane, E.M. i Hughes, M.W., 2020: Assessing transportation vulnerability to tsunamis: utilising post-event field data from the 2011 Tōhoku tsunami, Japan, and the 2015 Illapel tsunami, Chile, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(2), pp.451–470. DOI:10.5194/nhess-20-451-2020.

## Popis izvora:

1. An Introduction to the Geography of Japan,  
<https://education.asianart.org/resources/an-introduction-to-the-geography-of-japan/> (22.8.2022.)
2. ArcGis, Hazard Analysis,  
<https://storymaps.arcgis.com/stories/558dd822f71743f8b1e73c1a60ff8c95> (29.8.2022.)
3. ArcGis, The 2011 Great Tohoku Tsunami,  
<https://storymaps.arcgis.com/stories/1814cbc53f0441458cd0a87ddfd40553> (24.8.2022.)
4. ArcGis, Tsunami Risk Analysis and Disaster Management by Using GIS,  
<https://storymaps.arcgis.com/stories/112de26893994a8c97eb2c8665887aba> (29.8.2022.)
5. Closeup of Tsunami Damage,  
Rikuzentakata <https://earthobservatory.nasa.gov/images/77329/closeup-of-tsunami-damage-rikuzentakata> (22.8.2022.)
6. EarthExplorer (USGS), <https://earthexplorer.usgs.gov/>, (1.9.2022.)
7. Encyclopedia Britannica, <https://www.britannica.com/event/Fukushima-accident>. (24.8.2022.)
8. Fukushima radiation dose map,  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fukushima\\_radiation\\_dose\\_map\\_2011-04-29.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fukushima_radiation_dose_map_2011-04-29.png)  
(22.8.2022.)
9. Fukushima (Prefecture, Japan) - Population Statistics, Charts, Map and Location  
(citypopulation.de), [https://www.citypopulation.de/en/japan/admin/07\\_fukushima/](https://www.citypopulation.de/en/japan/admin/07_fukushima/) (9.11.2022.)
10. Generalić, Eni. "Spektar elektromagnetskog zračenja." Englesko-hrvatski kemijski rječnik & glosar. 29 June 2022. KTF-Split, <https://glossary.periodni.com> (21.8.2022.)
11. GEOEYE, Satellite Photos of Japan, Before and After the Quake and Tsunami  
<http://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/interactive/2011/03/13/world/asia/satellite-photos-japan-before-and-after-tsunami.html?hp> (26.8.2022.)
12. Japan Aerospace Exploration Agency,  
[https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc/gsimap\\_lulc\\_jp\\_ver2111.html](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc/gsimap_lulc_jp_ver2111.html) (5.9.2022.)
13. Japan earthquake and tsunami: Before and after the cleanup <https://www.latimes.com/world/la-fg-japan-tsunami-before-after-slider-htmllstory.html> (5.11.2022.)
14. Natural Earth, <https://www.naturalearthdata.com/downloads/> (1.9.2022.)
15. The Evacuation Zones Around the Fukushima Daiichi Nuclear Plant,  
<https://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/interactive/2011/03/16/world/asia/japan-nuclear-evacuation-zone.html> (1.9.2022.)
16. Tsunami Damage near Ishinomaki, Japan,  
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/49648/tsunami-damage-near-ishinomaki-japan> (19.8.2022.)

17. Wald, L., 2009.: The science of earthquakes, U.S. Geological Survey,  
[https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/science-earthquakes?qtscience\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/science-earthquakes?qtscience_center_objects=0#qt-science_center_objects) (9.11.2022.)
18. Wreckage and Recovery in Ishinomaki, Japan,  
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/77352/wreckage-and-recovery-in-ishinomaki-japan>  
(19.8.2022.)
19. Youtube, Inside Fukushima What Happened After the Nuclear Disaster?,  
<https://www.youtube.com/watch?v=YDvKkG1FTbU> (24.8.2022.)



## PRILOZI

### Popis slika:

Sl. 1. Zaljev Hirota, Rikuzentakata 14.3.2011.....	3
Sl. 2. Obalne promjene u gradu Rikuzentakata od 1947. do 2022.....	4
Sl. 3. a) Sjever prefekture Miyagi i jug prefekture Iwate – inundacija. Uvećani prikaz grada b) Rikuzentakata i Ofunato, c) Kesenuma, d) Kitakami .....	5
Sl. 4. Luka Kesenuma u prefekturi Miyagi, lijeva fotografija 12.3.2011, desna fotografija 4.3.2013...8	
Sl. 5. Grafički prikaz subdukcije Tihooceanske ploče pod Euroazijsku te epicentra Tohoku potres.....	10
Sl. 6. Sendai, gornja fotografija 4.4.2010, donja fotografija 12.3.2011 .....	11
Sl. 7. Evakuacijska zona oko nuklearne elektrane.....	13
Sl. 8. Smjer pružanja kontaminiranog područja i doza radijacije u travnju 2011.....	15
Sl. 9. Visina plavljenja i naleta vode na obali.....	16
Sl. 10. Princip daljinskih istraživanja.....	21
Sl. 11. Spektar EM zračenja.....	22
Sl. 12. Poplava izazvana tsunamijem i oštećenja ceste u gradu Ishinomaki.....	25
Sl. 13. Geografski položaj Japana.....	27
Sl. 14. Digitalni model reljefa (DEM) Japana.....	28
Sl. 15. Gradovi Ishinomaki i Higashimatsushima 2008. godine (gore) i 2011. godine (dolje).....	29
Sl. 16. Primjer pseudokolor snimke, grad Ishinomaki .....	30
Sl. 17. Klasificirani prikaz gradova Ishinomaki i Higashimatsushima 2008. godine (gore) i 2011. godine (dolje).....	32
Sl. 18. Promjena u zemljišnom pokrovu u gradu Higashimatsushima od 2008. do 14.3.2011.....	33
Sl. 19. Klasificirani prikaz grada Sendai 2008. godine (gore) i 2011. godine (dolje).....	34
Sl. 20. Satelitska snimka dijela istočne obale Japana s prefekturama Fukushima, Miyagi i Yamagata u veljači 2011. godine (lijevo) i u ožujku 2011. godine (desno).....	35
Sl. 21. LULC (Land Use Land Coverage) karta promjene zemljišnog pokrova grada Sendai (a) 2006-2011, b) 2014-2016 i c) 2018-2020).....	36
Sl. 22. LULC (Land Use Land Coverage) karta promjene zemljišnog pokrova južnog dijela prefekture Miyagi i prefekture Fukushima (a) 2006-2011, b) 2014-2016 i c) 2018-2020).....	37
Sl. 23. LULC (Land Use Land Coverage) karta promjene zemljišnog pokrova oko nuklearne elektrane Fukushima Daiichi (a) 2006-2011, b) 2018-2020).....	38