

Uzroci i posljedice Tohoku potresa 2011. u Japanu

Stipković, Jurica

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:217:491357>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-23**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Jurica Stipković

Uzroci i posljedice Tohoku potresa 2011. u Japanu

Prvostupnički rad

Mentor: prof. dr. sc. Sanja Faivre

Ocjena: _____

Potpis: _____

Zagreb, godina.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Prvostupnički rad

Uzroci i posljedice Tohoku potresa 2011. u Japanu

Jurica Stipković

Izvadak: Dana 23. ožujka 2011. godine Japan je zadesila jedna od najvećih prirodnih katastrofa u novijoj povijesti. Snažan potres, s epicentrom u blizini najvećeg japanskog otoka Honshua, izazvao je tsunami s najrazornijim učinkom za Tohoku regiju na sjeveroistoku Honshua. Tsunami je potopio generatore za hlađenje reaktora nuklearne elektrane rezultirajući havarijom nuklearne elektrane Fukushima Daiichi. Potres i tsunami izmijenili su geomorfološka obilježja dijelova Japana te ostavili brojne izravne i neizravne posljedice u japanskom društvu – od brojnih ljudskih žrtava, goleme materijalne štete, do ekonomskih posljedica, zdravstvenih problema i onečišćenja okoliša. Nakon potresa, japansko društvo je donijelo odgovarajuću strategiju oporavka te planove za smanjenje opasnosti od budućih potresa s obzirom da se Japan nalazi na seizmički vrlo aktivnom području. Ovaj rad dat će temeljit pregled uzroka i posljedica Tohoku potresa te planova za obnovu i strategija ublažavanja opasnosti od budućih potresa.

28 stranica, 13 grafičkih priloga, 2 tablica, 16 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: potres, tsunami, havarija nuklearne elektrane, posljedice potresa, obnova nakon potresa, japanska strategija oporavka

Voditelj: prof. dr. sc. Sanja Faivre

Tema prihvaćena: 11. 2. 2021.

Datum obrane: 23. 9. 2021.

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

Undergraduate Thesis

Causes and consequences of the 2011 Tohoku earthquake in Japan

Jurica Stipković

Abstract: On March 23, 2011, Japan was hit by one of the largest natural disasters in recent history. A strong earthquake, with epicenter near Japan's largest island of Honshu, caused a tsunami with the most devastating effect for the Tohoku region in northeastern Honshu. The tsunami sank the reactor cooling generators of the nuclear power plant resulting in the failure of the Fukushima Daiichi nuclear power plant. The quake and tsunami changed the geomorphological features of parts of Japan and left numerous direct and indirect consequences in Japanese society – from numerous human casualties, huge material damage, to economic consequences, health problems and environmental pollution. After the earthquake, Japanese society has adopted an appropriate recovery strategy and plans to reduce the risk of future earthquakes given that Japan is in a very seismically active area. This paper will provide a thorough overview of the causes and consequences of the Tohoku earthquake, as well as recovery plans and mitigation strategies for future earthquakes.

28 pages, 13 figures, 2 tables, 16 references; original in Croatian

Keywords: earthquake, tsunami, nuclear power plant accident, earthquake consequences, earthquake reconstruction, Japanese recovery strategy

Supervisor: Sanja Faivre, PhD, Full Professor

Undergraduate Thesis title accepted: 11/02/2021

Undergraduate Thesis defense: 23/09/2021

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

SADRŽAJ:

1. Uvod.....	1
2. Uzrok potresa	2
2.1. Tektonika ploča.....	2
2.2. Model globalne tektonike	3
2.3. Pacifički vatreni prsten	4
3. Opće značajke potresa	5
3.1. Rasprostranjenost potresa	6
3.2. Seizmički valovi.....	7
3.2.1. Dubinski valovi.....	7
3.2.2. Površinski valovi	8
3.3. Potres u Čileu 1960.g. – najjači ikad zabilježeni potres.....	9
4. Tohoku potres 2011.g.....	10
4.1. Tsunami	13
4.2. Havarija nuklearne elektrane Fukushima	15
5. Posljedice potresa	16
5.1. Izravne posljedice Tohoku potresa	17
5.1.1. Geofizičke posljedice	17
5.1.2. Ljudske žrtve.....	17
5.1.3. Materijalne posljedice	17
5.2. Neizravne posljedice	19
5.2.1. Ekonomske posljedice	19
5.2.2. Zdravstveni problemi i onečišćenje okoliša	19
6. Japanska strategija oporavka nakon potresa	20
6.1. Tokyo – grad u opasnosti	23
7. Zaključak	25
8. Literatura i izvori.....	26

1. Uvod

Potresi uzrokuju jednu od najvećih i najrazornijih prirodnih katastrofa na Zemlji te su oduvijek bili jedna od najopasnijih prirodnih prijetnji za čovjeka. Potres ili zemljotres je iznenadno i kratkotrajno podrhtavanje tla koje može biti vrlo slabog intenziteta, ali također i vrlo intenzivnog u rjeđim slučajevima. Razni su uzroci potresa. Potres može nastati kao posljedica urušavanja stijena te se takav naziva *urušni potres*. Može nastati kao posljedica vulkanske aktivnosti te se onda naziva *vulkanski potres*, ali najčešći su oni potresi koji su rezultat tektonskih poremećaja u litosferi i djelomično u Zemljinom plaštu, tzv. *tektonski potres*. Mjesto nastanka potresa u unutrašnjosti Zemlje naziva se *hipocentar*, a mjesto gdje se najviše osjeti intenzitet potresa, odnosno mjesto na Zemljinoj površini neposredno iznad hipocentra naziva se *epicentar* potresa. Jačina pojedinog potresa ovisi o dubini hipocentra, udaljenosti epicentra te o značajkama tla. Potresi su razorni zbog širenja potresnih valova koji mogu biti longitudinalni ili transverzalni, a o njima će biti više riječi u nastavku rada. Veličina, tj. jakost potresa određuje se na osnovi *magnitude*. Magnituda potresa je veličina koja se izračunava na temelju zapisa seizmografa, a ljestvicu magnituda je definirao Charles Francis Richter 1935.g. pa se tako definirana ljestvica jačine potresa naziva Richterova ljestvica, a vrijednosti joj se kreću od 0 do 10. Richterova ljestvica najčešća je u uporabi za određivanje magnituda potresa. Dva najjača zabilježena potresa su Tohoku potres u Japanu iz 2011.g., magnitude 9 prema Richterovoj ljestvici, te Valdivia potres u Čileu iz 1960.g. koji je najjači ikad zabilježeni potres magnitude 9,5 prema Richterovoj ljestvici. Zbog veće dostupnosti podataka, ovaj rad temeljit će se na uzrocima i posljedicama drugog najjačeg zabilježenog potresa u povijesti, odnosno Tohoku potresa u Japanu 2011.g.

Događaj iz ožujka 2011. g. jedan je od najtragičnijih događaja u japanskoj povijesti jer je potres velike magnitude prouzročio kompleksnu katastrofu koja se sastojala od razorne moći potresnih valova, tsunamija te nuklearne katastrofe uzrokovane tsunamijem, a najpogođenije su bile regije Iwate, Miyagi i Fukushima na istoku Japana. Tragični događaj imao je čitav niz izravnih i neizravnih posljedica nakon kojih je pokrenuta japanska strategija oporavka. Tohoku potres bio je teška lekcija za Japance nakon koje su počeli još više ulagati u planove i infrastrukturu radi ublažavanja opasnosti od budućih potresa.

2. Uzrok potresa

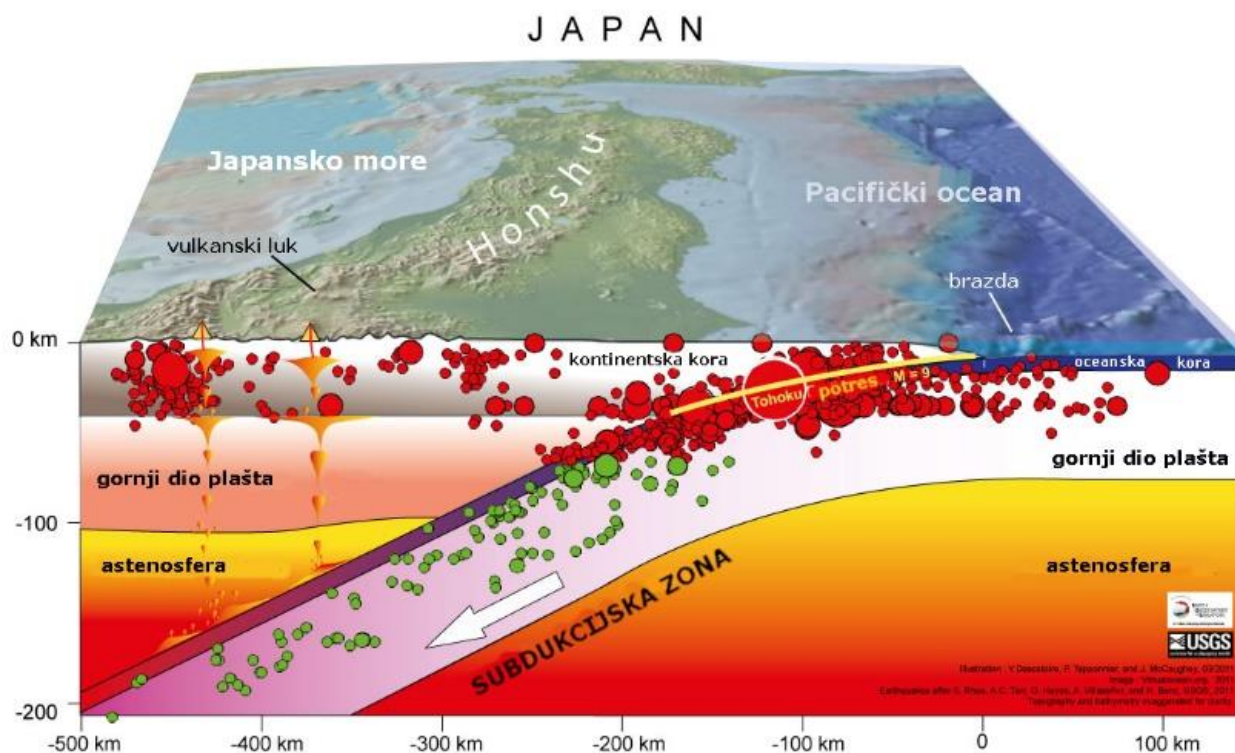
2.1. Tektonika ploča

Budući da se najveći broj potresa veže uz gibanje litosfernih ili tektonskih ploča, potrebno je ukratko objasniti sustav globalne tektonike ploča za razumijevanje uzroka potresa u Japanu. Koncept tektonike ploča formuliran je 1960-ih godina. Prema teoriji, Zemlja ima kruti vanjski sloj, poznat kao *litosfera*, koji je obično debeo oko 100 km i prekriva djelomično rastaljen sloj koji se naziva *astenosfera*. Litosfera je podijeljena na sedam vrlo velikih ploča veličine kontinenta i oceana, šest ili sedam regionalnih ploča srednje veličine i nekoliko manjih ploča. Ove se ploče kreću jedna prema drugoj, obično brzinom od 5 do 10 cm godišnje i međusobno reagiraju duž svojih granica gdje mogu konvergirati, divergirati ili smicati jedna pored druge. Smatra se da su takve interakcije odgovorne za većinu seizmičke i vulkanske aktivnosti, iako se potresi i vulkani mogu pojaviti i u unutrašnjosti ploča. Dok se litosferne ploče kreću po Zemljinoj površini, pokreću ih snažne unutrašnje sile Zemlje. Unutrašnjost ploča je uglavnom nedeformirana, iako se i u unutrašnjosti mogu naći deformacije, a granice ploča su vrlo aktivne zone koje uključuju potrese, vulkanizam i orogenezu, odnosno formiranje planinskih lanaca (Andel i Murphy, 2021).

Dakle, potresi se najčešće javljaju na rubnim dijelovima litosfernih ploča, ponajviše u subdukcijskoj zoni, a dio subdukcijske zone najčešće seizmičke aktivnosti naziva se *Wadati-Benioff zona*. To je zona subdukcije jedne litosferne ploče pod drugu s nagibom od 20 do 55 stupnjeva. Unutar Wadati-Benioff zone nastaju gotovi svi srednji i duboki potresi dok se plitki većinom vežu uz kolizijske granice litosfernih ploča. Na temelju detaljnijih seizmičkih podataka, dostupnih od kraja 1960-ih godina, sugeriralo se da bi se nagnuta zona seizmičke aktivnosti, koja je povezana s otočnim lukovima i aktivnim kontinentskim granicama, mogla objasniti postojanjem litosfernih ploča koje se spuštaju u plašt. Analiza pomaka ploča, koji su povezani s potresima nastalim u Wadati-Benioff zoni, dokazala je da se litosfera doista spušta prema plaštu duž subdukcijske granice ploča u zoni koja je nazvana *zona subdukcije* (Summerfield, 2013). Jedna od najaktivnijih zona subdukcije upravo se nalazi na prostoru Japana zbog čega je područje Japana i Kurilskih otoka jedno od seizmički najaktivnijih prostora na Zemlji.

2.2. Model globalne tektonike

Kao što je rečeno, Zemljina se površina sastoji od sedam velikih i najmanje desetak manjih litosfernih ploča sastavljenih od kore te gornjeg, krućeg dijela plašta. Ploče se neprestano kreću jedna prema drugoj i prema Zemljinoj osi rotacije te u ostalim smjerovima a kretanje jedne ploče utječe na kretanje drugih. Većina tektonskih, vulkanskih i seizmičkih aktivnosti Zemlje izravno je ili neizravno povezano s kretanjem između susjednih ploča. Uska zona koja označava relativno kretanje između dvije ploče, koja je u većini slučajeva prilično jasno razgraničena seizmičkom aktivnošću, predstavlja granicu ploče (Summerfield, 2013). Japan se nalazi na rubnom području, u zoni subdukcije, gdje se Tihooceanska litosferna ploča podvlači pod Euroazijsku ploču rezultirajući na taj način brojnim potresima koji katkad mogu biti izuzetno snažnog intenziteta poput potresa iz 2011.g. (sl.1.).



Sl.1. Subdukcija Tihooceanske ploče pod Euroazijsku na području otoka Honshu

Izvor: Lefevre (2011)

Postoje tri vrste granica litosfernih ploča. Na divergentnoj granici, poput Srednjoatlantskog hrpta, nastaje nova kora. Na divergentnim ili konstruktivnim granicama odvija se širenje dna oceana te takve granice nalazimo u središnjim dijelovima oceana. Ploča se bočno udaljava od srednje-oceanskog hrpta koji se širi. Na konvergentnoj granici, poput zapadne obale Južne Amerike ili istočne obale Japana, dvije su ploče u pokretu jedna prema drugoj pri čemu jedna ploča subducira ispod druge duž zone subdukcije u slučaju subdukcijske vrste konvergentnih granica. Površina ploče se smanjuje u zoni subdukcije, dok se povećava uz srednje-oceanski hrbat koji se širi. Uz transformnu granicu, dvije se ploče jednostavno kreću jedna pored druge duž transformnog rasjeda bez većih elemenata divergencije ili konvergencije (Summerfield, 2013).

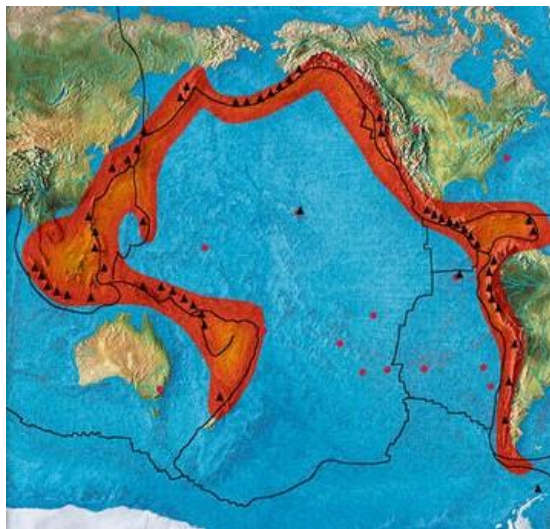
Konvergentne granice između oceanske litosfere karakteriziraju dubokomorske brazde, vulkanski otočni nizovi te Wadati-Benioff zone. Prilikom subdukcije oceanske ispod kontinentske litosfere također nastaju dubokomorske brazde i zone seizmičke aktivnosti, ali u ovom slučaju dolazi do vulkanske aktivnosti unutar aktivnog planinskog lanca koji se nalazi na kontinentalnoj litosferi uz rub brazde. Tamo gdje se sudaraju dva kontinenta ne dolazi do značajne subdukcije, ali dolazi do zadebljanja kore i nastanka tzv. korijena planine i oblikovanja visokog reljefa (Summerfield, 2013).

Može se zaključiti kako je smještaj Japana upravo idealan za pojavu snažnog potresa. Smještaj uz konvergentnu granicu litosfernih ploča tj. subdukcijску zonu, gdje se gušća oceanska ploča podvlači pod manje gustu kontinentsku, glavni su razlozi pojave ovako snažnog potresa upravo u tom području. Japan je dio Pacifičkog vatrenog prstena, odnosno područja uz rubni dio Tihog oceana koje karakterizira snažna vulkanska i seizmička aktivnost.

2.3. Pacifički vatreni prsten

Pacifički vatreni prsten naziv je za niz vulkana i prostora seizmičke aktivnosti ili potresa oko rubova Tihog oceana. Otprilike 90% svih potresa događa se uz Pacifički vatreni prsten te se u njemu nalazi 75% svih aktivnih vulkana na Zemlji. Pacifički vatreni prsten nije u potpunosti kružnog oblika već je oblikovan kao 40 000 km duga potkova koja se proteže od južnog vrha Južne Amerike, uz obalu Sjeverne Amerike, preko Beringovog tjesnaca, kroz Japan pa sve do Novog Zelanda (sl.2.). Prsten zatvara nekoliko aktivnih i uspavanih vulkana na Antarktici. Vatreni prsten rezultat je tektonike ploča, a kao što je već rečeno, većina tektonskih aktivnosti događa se u

geološki aktivnim zonama kao što je zona subdukcije na području Japana (National Geographic, n.d.).



Sl.2. Pacifički vatreni prsten

Izvor: Express (2018)

Konvergentne granice ploča mogu biti subdukcijske (destruktivne) ili kolizijske. Kod kolizijskih zona, konvergentna granica ploča nastaje sudaranjem litosfernih ploča jedne o drugu. Kao što je rečeno, konvergentne granice često su zone subdukcije, gdje teža ploča subducira ispod laganije ploče. Subdukcijom se gusti materijal plašta pretvara u magmu koja se kroz koru izdiže do površine Zemlje. Tijekom milijuna godina nakupljena magma stvara niz aktivnih vulkana koji čine vulkanski luk (National Geographic, n.d.). Tako nastali vulkanski nizovi obrubljuju Pacifički vatreni prsten u kojemu je Japan jedan od najaktivnijih prostora.

3. Opće značajke potresa

Prema istraživanjima Američkog geološkog instituta (USGS), potres se dogodi u području rasjeda, kada se iznenada pomaknu dva rasjedna krila. Površina po kojoj se kreću dva rasjedna krila naziva se paraklaza (Wald, n.d.). Potresi se događaju zbog gibanja litosfernih ploča, a temeljni uzrok gibanja je *konvekcija*, odnosno strujanja u Zemljinoj unutrašnjosti koja su posljedica temperaturne razlike između vruće Zemljine jezgre i hladnije površine. Gibanje tektonskih ploča akumulira se u stijenama u obliku snažnih, ali promjenjivih naprezanja koja, kad postanu veće od graničnih vrijednosti posmične čvrstoće stijena ili postojećih rasjeda, dovode do naglog otpuštanja akumulirane energije i tako nastaje potres (Hrvatska enciklopedija, 2021).

Potres se ne može predvidjeti, ali u nekim slučajevima manji potresi mogu upozoriti na mogućnost jačeg potresa. Ti manji potresi nastaju na istom mjestu kao i veći potres koji slijedi. Znanstvenici ne mogu odrediti je li tzv. *prethodni potres* dok se ne dogodi veći potres. Najveći potres predstavlja glavni, najjači udar koji uvijek ima naknadne potrese. Ovisno o veličini glavnog potresa, naknadni potresi mogu se nastaviti tjednima, mjesecima, pa čak i godinama nakon najvećeg udara (Wald, n.d.).

Potres zapravo predstavlja oslobođenu energiju koja se akumulira u stijenama. Naime, dok su rubovi rasjeda spojeni, a ostatak bloka se pomiče, energija koja bi inače uzrokovala klizanje blokova jedan pored drugog se pohranjuje. Kada sila pokretnih blokova konačno savlada trenje, dolazi do pomaka duž rasjeda te se oslobađa sva pohranjena energija (Wald, n.d.).

3.1. Rasprostranjenost potresa

Iako je opća raspodjela potresa u svijetu poznata već dugi niz godina, tek se uspostavom opsežne mreže seizmografskih postaja za praćenje podzemnih ispitivanja nuklearnog oružja u ranim 1960-im pojavila detaljna globalna slika. Daleko od slučajnog rasporeda, gotovo sva seizmička aktivnost koncentrirana je u relativno uskim zonama. Ovaj se uzorak podudara s brojnim strukturnim značajkama, uključujući srednje-oceanske hrptove, planinske pojaseve, oceanske brazde i vulkanske otočne lukove. Gledajući detaljnije, moguće je seizmičku aktivnost klasificirati u četiri zone (Summerfield, 2013).

Prva se zona nalazi uz srednje-oceanske hrptove. Potresi ovdje nastaju na plitkim dubinama (manje od 70 km), a podudaraju se s velikim toplinskim tokovima i vulkanskom aktivnošću hrptova. Druga kategorija usko je povezana s oceanskim brazdama i s njima povezanim otočnim lukovima ili planinskim pojasevima. Takva zona proteže se manje-više kontinuirano uz zapadne, sjeverne i istočne rubove Tihog oceana (Pacifički vatreni prsten). Najznačajnija značajka ove seizmičke zone jest odnos između dubine stvaranja potresa i njihovog položaja s obzirom na susjedni otočni luk ili planinski pojas. Na njihovom oceanskom rubu žarišta potresa su plitka, ali postupno epicentri postaju sve dublji udaljavajući se od brazde do maksimalne dubine od oko 700 km. Taj odnos dovodi do zaranjanja planarnog područja seizmičke aktivnosti (Summerfield, 2013). U ovoj zoni dogodio se i snažni Tohoku potres. Treće područje potresne aktivnosti predstavlja kolizijsku zonu, a proteže se kao prilično difuzni pojas od mediteranske regije, preko Himalaje do Kambodže. U

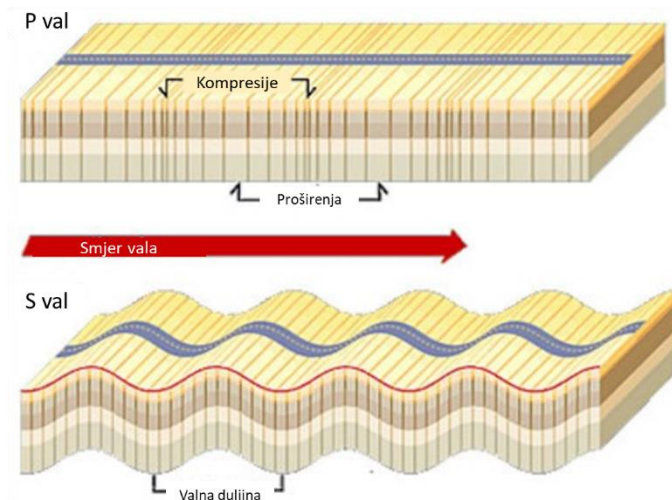
kolizijskoj zoni potresi su povezani s dugim i složenim planinskim pojasom, a općenito su plitki i nastaju prvenstveno naprezanjima pod utjecajem tlaka. Posljednja zona seizmičke aktivnosti povezana je s transformnim granicama i ograničena je na relativno mala područja unutar kontinenata i karakterizirana je plitkim potresima koji nisu povezani s izraženom vulkanskom aktivnošću. Najbolji primjer ovakve zone potresa je kalifornijska zona rasjeda San Andreas, gdje kretanje kore uključuje velika bočna pomicanja (Summerfield, 2013).

3.2. Seizmički valovi

Seizmički valovi prenose energiju potresa i zaslužni su za njegove učinke na površini, ali i u unutrašnjosti Zemlje. Prema tome, seizmički valovi se mogu podijeliti na površinske i dubinske. Proučavanjem seizmičkih valova došlo se do zaključka o slojevitoj građi našega planeta.

3.2.1. Dubinski valovi

Dosadašnja istraživanja načina na koji se potresni valovi prenose kroz Zemlju pokazala su da Zemljina unutrašnjost ima koncentričnu strukturu. Prilikom potresa oslobođena energija se prenosi u obliku valova u svim smjerovima. Brzine potresnih (seizmičkih) valova određene su svojstvima materijala kroz koji prolaze. Nastaju dvije glavne vrste dubinskih valova koje putuju različitim brzinama (sl.3.). Primarni ili P-valovi su najbrži. To su longitudinalni, kompresijski valovi, čija se energija prenosi početnom kompresijom čestica koja se zatim prenosi na susjedne čestice. Time nastaje niz zona kompresije i širenja koji se udaljavaju od izvora. Sekundarni ili S-valovi su posmični, transversalni valovi koji prenose energiju gibanjem čestica „gore-dolje“ u odnosu na smjer širenja vala (Summerfield, 2013).



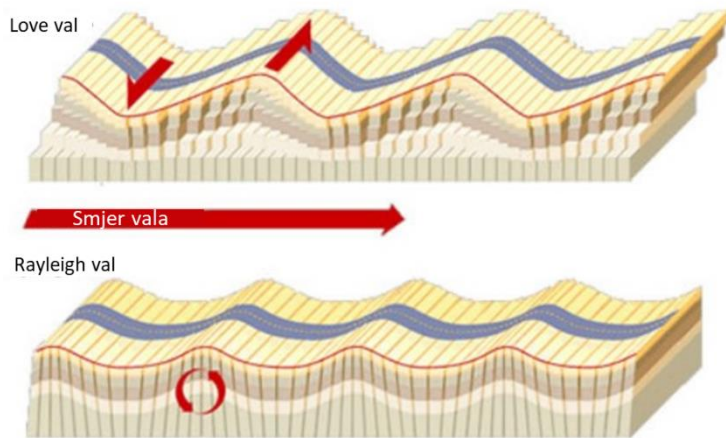
Sl.3. P i S dubinski valovi
Izvor: Tsunami Warning (2018)

Gustoća i svojstva stijena bitno utječu na prolaz seizmičkih valova. P-valovi putuju kroz bilo koju tvar, ali S-valovi putuju samo kroz krute tvari. Iz kretanja ovih valova kroz Zemlju moguće je izgraditi opću sliku svojstava njezine unutrašnjosti. Postoje dva velika diskontinuiteta u promjeni brzine potresnih valova što potvrđuje podjelu Zemljine unutrašnjosti na koru, plašt i jezgru, a granica između kore i plašta označena je *Mohorovičićevim diskontinuitetom* koji se ispod kontinenata u prosjeku nalazi na oko 35 km, a ispod oceanskih bazena na samo 5-10 km (Summerfield, 2013).

3.2.2. Površinski valovi

Površinski valovi, za razliku od dubinskih valova, putuju samo površinom Zemlje. Oni dolaze nakon glavnih P i S valova te uzrokuju najveće površinsko razaranje. Površinski potresni valovi podijeljeni su u dvije različite kategorije: *Love* i *Rayleigh* valovi (sl.4.).

Kod Love valova čestice titraju, poput S-valova, transverzalno u odnosu na smjer širenja vala, ali bez okomitog gibanja. Njihovo bočno kretanje uzrokuje najveću štetu građevinama. Rayleigh valovi, s druge strane, stvaraju kružno gibanje, odnosno kretanje gore-dolje s eliptičnim i retrogradnim gibanjem čestica ograničenih na okomitu ravninu u smjeru širenja vala (Tsunami Warning, 2018). Ovi valovi su posebice destruktivni za građevine. Potresi zrače seizmičku energiju i dubinskih i površinskih valova, ali duboki potresi općenito ne stvaraju površinske valove.



Sl.4. Love i Rayleigh površinski valovi
Izvor: Tsunami Warning (2018)

3.3. Potres u Čileu 1960.g. – najjači ikad zabilježeni potres

Čileanski potres i Tohoku potres u Japanu 2011.g. dva su najjača ikad zabilježena potresa koja su imala katastrofalne posljedice. Potres u Čileu 1960.g. najveći je ikad zabilježeni potres. Nastao je uz obale južnog Čilea 22. svibnja 1960.g. te je zaslužan za golemu materijalnu štetu i ljudske žrtve, kako u Čileu, tako i u udaljenim obalnim područjima Pacifika za što je bio odgovoran tsunami koji je nastao kao posljedica snažnog potresa (Pallardy, 2021).

Potres je udario u 15:11 h, otprilike 160 km od obale Čilea, a epicentar mu se nalazio paralelno s gradom Valdivijom. Znanstvenici se općenito slažu da je potres bio magnitude 9.5, iako su neke studije sugerirale da je možda bio 9.4 ili 9.6 prema Richteru. Najjačem potresu prethodio je niz iznimno jakih prethodnih potresa koji su najavljivali nadolazeću katastrofu. Takav je bio potres magnitude 8.1 koji je izazvao velika razaranja u gradu Concepciónu. Potres je uzrokovan pomakom duž 900 do 1000 km dugog rasjeda na Nazca ploči koja se podvlači pod Južnoameričku ploču. Kako se potres dogodio neposredno prije revolucije u seizmološkoj tehnologiji 1960-ih, te brojke treba uzeti u obzir s rezervom. Mnogi čileanski gradovi pretrpjeli su značajnu štetu, uključujući Puerto Montt, gdje je došlo do značajne subsidencije tla, i Valdiviu, gdje je, kao što je prikazano na slici 5., gotovo polovica zgrada postala neupotrebljiva (Pallardy, 2021).



Sl.5. Razoreni grad Valdivia nakon potresa 1960.g.

Izvor: The Santiago Times (2018)

Iako kaos izazvan potresom nije bio beznačajan, većina žrtva posljedica je tsunamija koji je pogodio obalu Čilea 15 minuta nakon potresa. Valovi visine od 25 m u potpunosti su opustošili obalu. Kombinirani učinci katastrofe ostavili su dva milijuna ljudi bez krova nad glavom. Iako broj smrtnih slučajeva nikada nije u potpunosti potvrđen, rane procjene, koje su se kretale u tisućama poginulih, smanjene su na 1655 smrtno stradalih osoba, a broj ranjenih na oko 3000. Ogromni pomaci na morskom dnu, koji su uzrokovali tsunamije, bili su tako snažni da su valovi, koji su stigli gotovo 15 sati kasnije na Havajske otoke, udaljene 10 000 km, još uvijek na nekim mjestima bili visoki 11 metara. Valovi su prouzročili milijunsku štetu u zaljevu Hilo na glavnom otoku Havaja te su usmrtili 61 osobu. Kada su nakon 22 sata stigli do glavnog japanskog otoka Honshua, valovi su bili visoki otprilike 5.5 m i opustošili više od 1600 domova te usmrtili 138 ljudi. Na Filipinima je, zbog valova tsunamija, smrtno stradalo ili nestalo 32 ljudi. SAD je također osjetio posljedice snažnog potresa. Iako je kut pod kojim su se valovi približavali pacifičkoj obali SAD-a ublažio njihovu snagu, na pojedinim mjestima u Kaliforniji valovi su bili visoki i do 1.7 m te su oštetili brodove i pristaništa u Los Angelesu, San Diegu i Long Beachu (Pallardy, 2021).

4. Tohoku potres 2011.g.

Dana 11. ožujka 2011.g., u 05:46:24 prema koordiniranom svjetskom vremenu, dogodio se potres magnitude 9.0 prema Richterovoj ljestvici u blizini istočne obale otoka Honshu u Japanu. Snažni potres prouzročio je tsunami čiji su se valovi izdigli do visine od 38.9 metara. Potres i tsunami uzrokovali su gotovo 20.000 smrtnih slučajeva i nestalih u Japanu. Tsunami je također opažen

diljem Tihog oceana te je izazvao dodatne žrtve u Indoneziji te u Kaliforniji u SAD-u. Potres i tsunami uzrokovali su i najgoru nuklearnu katastrofu nakon Černobila (Dunbar i dr., 2011).

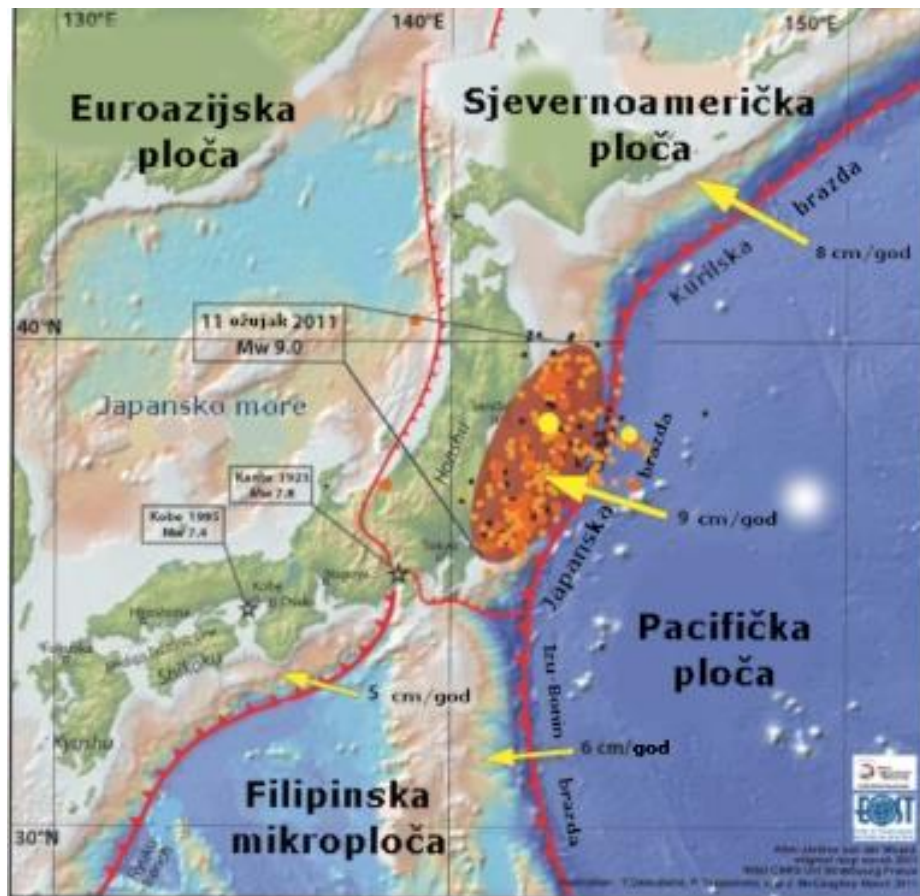
Tohoku potres bio je jedan od najvećih potresa zabilježenih u posljednjih 100 godina te je također jedan od najdužih jer je trajao punih 6 minuta. Prvotno očitavanje pokazalo je da je to bio potres magnitude 8.9, ali je naknadno preračunat na 9.0 nakon što je više podataka postalo dostupno. Središte potresa bilo je na morskom dnu 72 km istočno od Tohokua, na dubini od otprilike 24 km. Nakon glavnog udara uslijedilo je više od 5000 naknadnih potresa, a najveći potres nakon glavnog udara bio je magnitude 7.9 (Stimpson, 2011).

Prema USGS-u (2011), Tohoku potres rezultat je rasjedanja duž subdukcijske granice litosfernih ploča ili u samoj blizini granice koja se nalazi između Pacifičke i Sjevernoameričke litosferne ploče. Na geografskoj širini gdje je nastao potres, Tihooceanska ploča pomiče se približno prema zapadu u odnosu na Sjevernoameričku ploču brzinom od 83 mm godišnje i počinje se podvlačiti ispod Japana kod Japanske brazde. Kod ovog potresa došlo je do pomaka duž rasjeda u dužini od oko 300 km (USGS, 2011) dok se, prema Japanskoj meteorološkoj agenciji (JMA, 2011), rasjed aktivirao duž 450 km. Potres je bio povezan s horizontalnim pomakom od 4-5 m te subsidencijom od 0.4 do 1 m u moru, dok su najveći horizontalni pomaci na kopnu iznosili 5.4 m, a vertikalni 1.2 m zabilježeni na poluotoku Ojika u prefekturi Miyagi (Mimura i dr. 2011, preuzeto iz Dunbar i dr., 2011).

Honshu, glavni japanski otok, nalazi se na sjecištu triju litosfernih ploča: Euroazijske, Filipinske i Sjevernoameričke ploče. Iako je geometrija ploča u Japanu prilično komplicirana, općenito govoreći, oceanska kora Tihooceanske ploče podvlači se pod Euroazijsku i Filipinsku ploču i subducira ispod kontinentske kore Japana. Kako se ove ploče sudaraju i guraju jedna drugu radi pozicioniranja na granicama, nakuplja se kompresijsko naprezanje duž granica ploča. U slučaju Tohokua, potres je povezan sa subdukcijom Tihooceanske ploče ispod Ohotske mikroploče, koja je dio velike Sjevernoameričke ploče. Tihooceanska ploča kreće se prema Ohotskoj ploči oko 8-9 cm godišnje, što je prilično brzo (The Geological Society, 2012).

Slika 6. prikazuje četiri litosferne ploče na području Japana i u njegovoj blizini. Crvene linije predstavljaju rasjede koji tvore granice ploča, a žute strelice prikazuju smjer relativnog kretanja ploča. Veliki potres i tsunami 11. ožujka 2011. g. rezultat su iznenadnog pucanja duž dijela rasjeda istočno od Japana ispod područja zasjenjenog narančastom bojom. Najveća žuta točka prikazuje

epicentar najjačeg potresa, a manja žuta točka prikazuje epicentar najvećeg naknadnog potresa toga dana. Ostale manje točkice prikazuju manje potrese u prvim danima nakon velikog potresa 11. ožujka 2011.g.



Sl.6. Položaj i smjer kretanja litosfernih ploča na području Japana te epicentar velikog potresa i najvećeg naknadnog potresa

Izvor: Lefevre (2011)

Potres magnitude 9 izuzetno je snažan potres. Zapravo, toliko je jak da GPS podaci iz Japanske uprave za geoprostorne informacije pokazuju da se sjeveroistočna obala Japana pomakla prema istoku za 4 metra. U isto vrijeme obala se spustila za oko 0,5 metara. Potresi ove veličine, gdje postoje veliki pomaci duž rasjeda, često rezultiraju stvaranjem tzv. *pseudotahilita* - sitnozrnatih, staklastih stijena koje nastaju tijekom taljenja trenjem, kakve se vide na rasjedu vanjskih otoka u Velikoj Britaniji. Tijekom brzog pomaka duž rasjeda može doći do taljenja stjenki stijena uzrokujući stvaranje pseudotahilita. Debljina zone pseudotahilita pokazatelj je veličine događaja i udaljenosti pomaka. Očekivalo bi se da će se u Tohoku potresu pronaći značajna nalazišta pseudotahilita. Međutim, znanstvenici još nisu pronašli način za njihovo promatranje, ali ako postoje, oni bi mogli dati dokaze o potresima koji su se dogodili u prošlosti, a bili bi korisni za buduće generacije (The Geological Society, 2012).

Iako je ovo bio izuzetno snažan potres, pravo razaranje posljedica je tsunamija čiji valovi su, kako je već rečeno, dosežali visinu od gotovo 39 metara te su opustošili sjeverni Honshu. Posljedice tsunamija bile su brojne ljudske žrtve, velika materijalna šteta i havarija nuklearne elektrane Fukushima.

4.1. Tsunami

Tsunami je intenzivno i kratkotrajno kretanje oceanske vode, uglavnom izazvano snažnim podmorskim potresom, erupcijom podvodnog vulkana, kao i velikim podvodnim ili obalnim klizištem. Međutim, među uzrocima koji dovode do tsunamija, podmorski potres je najčešći uzrok, posebno kada dolazi do vertikalnog kretanja krila rasjeda kao što je to bilo kod Tohoku potresa (Wang i dr., 2015).

Riječ *tsunami* japanskog je podrijetla i nastala je spajanjem dviju riječi: *tsu*, što znači luka i *nami*, što znači val, a odnosi se na valove koji razbijaju luku (Cartwright i Nakamura, 2008). Tsunamiji nastaju dakle pomicanjem dna oceana. Pomicanje velike mase oceanske vode, često na velikoj dubini, stvara valove male amplitude (obično manje od 1 m), znatne duljine (do 200 km i više) te velike brzine. Brzina samog vala povezana je s dubinom oceana, a valovi na pučini mogu putovati brzinom većom od 600 km/h. Zbog toga seizmički morski valovi mogu prijeći cijeli Tihi ocean u roku od nekoliko sati. Približavajući se kopnu, smanjuje im se brzina i povećava amplituda pa im visina može dosegnuti i više od 15 metara. Čini se da tsunamije najučinkovitije stvaraju plitki

potresi povezani s oceanskim brazdama, kao što je to slučaj s Tohoku potresom, što vjerojatno objašnjava njihovu prevlast u Tihom oceanu (Summerfield, 2013).

Kako se val primiče kopnu, velike količine vode s ogromnom energijom jure prema obalnoj liniji, trenutno uništavajući i brišući infrastrukturu, zgrade i ljude što dovodi do velikih ljudskih žrtava i gubitaka imovine. Iako je učestalost pojave tsunamija vrlo rijetka, jednom kad se dogodi, može donijeti nebrojene katastrofalne posljedice. U posljednja dva desetljeća svjedočili smo nizu velikih tsunamija koji su rezultirali katastrofalnim ljudskim i ekonomskim gubicima za obalne zajednice. Neki od najrazornijih bili su tsunami u Indijskom oceanu 2004.g., tsunami koji je pogodio Čile 2010. g. te tsunami uzrokovan Tohoku potresom koji je pogodio Japan 2011. g. Analiza magnitude i raspodjele sile tsunamija te proučavanje načina na koji reagiraju strukture pod utjecajem tsunamijskih sila važno je kako bi se povećala izdržljivost građevina te kako bi se smanjile ljudske žrtve i ekonomski gubici nakon tsunamija (Wang i dr., 2015).

Prema informacijama koje je objavila Japanska vremenska asocijacija (2011), ubrzo nakon velikog potresa stigao je prvi val koji je pogodio gradove u blizini puknuća rasjeda kao što su Miyako, Ofunato i Kamaishi u prefekturi Iwate. Najviši val stigao je do ovih gradova između 15:15 i 15:20 sati prema japanskom vremenu. To znači da su najveći valovi dosegli najbližu obalu 30 do 40 minuta nakon samog potresa. Prvi valovi stigli su na udaljenije obale, od Hokkaida na sjeveru do prefektуре Chiba na jugu, znatno kasnije. Valovi velike visine pojavili su se uz južni Aomori, Iwate, Miyagi te prefekturu Fukushima. Mnoge mareografske postaje zabilježile su visok vodostaj od oko 8 m u tim područjima prije nego što ih je tsunami uništio (Mimura i dr., 2011).



Sl.7. Luka Rikuzentakata prije i poslije tsunamija

Izvor: Nohara (2011)

4.2. Havarija nuklearne elektrane Fukushima

Potres i tsunami izazvali su najgoru nuklearnu katastrofu nakon Černobilske katastrofe. Tijekom događaja došlo je do eksplozija i curenja radioaktivnih tvari u tri reaktora nuklearne elektrane Fukushima I, koja se još naziva i Daiichi (sl.8.). Fukushima Daiichi udaljena je približno 150 km od epicentra potresa. Kada se dogodio potres, reaktori, koji su radili u Daiichiju, su se ugasili kako su i dizajnirani u slučaju potresa. Iako je lokalna električna mreža bila isključena, elektrana je imala svoje vlastite generatore. Otprilike sat vremena nakon potresa, generatori su se ugasili uslijed tsunamija (Sanger i Wald, 2011). Prema Tokijskoj kompaniji za električnu energiju (TEPCO), visina vala, koji je pogodio Daichii, procijenjena je na 10 metara (World Nuclear News, 2011, preuzeto iz Dunbar i dr., 2011). Na taj su način veliki potres i tsunami srušili rezervne sustave napajanja koji su bili potrebni za hlađenje reaktora u elektrani. Zbog pregrijavanja, došlo je do eksplozije vodika te ispuštanja radioaktivnih tvari iz tri reaktora. Zbog radioaktivnog zračenja bila je potrebna evakuacija ljudi u radijusu od 40 km od elektrane što je utjecalo na više od 100 000 stanovnika, a mnogima od njih je zabranjen pristup domovima na neograničeno vrijeme (Holt i dr., 2012). Iako nije bilo izravnih smrtnih slučajeva zbog izloženosti zračenju, zabrinutost za sigurnost vezana uz nuklearnu kontaminaciju stvorila je ogroman strah, teret i smetnje pojedincima, skupinama, zajednicama te lokalnim i nacionalnim vladama (Harada i dr., 2015). Vjeruje se da su pravovremene evakuacije, u većini slučajeva, spriječile da izloženost stanovništva zračenju premaši japanske regulatorne granice. Također, vjeruje se da su kratkoročni smrtni slučajevi i bolesti uzrokovani zračenjem malo vjerojatni, iako su rak i drugi dugoročni učinci na zdravlje i dalje mogući (Holt i dr., 2012). Od svih ljudi najgore su stradali radnici koji su radili u samoj elektrani ili u njezinoj blizini. Oni su bili izloženi daleko većim razinama zračenja, a potvrđeno je da su najmanje dva radnika zadobila opekline na nogama nakon izloženosti zračenju u kontaminiranoj vodi. Također, potvrđeno je i da su se dva radnika utopila tijekom tsunamija (Holt i dr., 2012).

Od 30. rujna 2011., Japan je ukinuo upozorenja o evakuaciji za područje koje obuhvaća pet gradova oko nuklearne elektrane. Međutim, tzv. zona isključenja od otprilike 20 km ostat će na snazi oko nuklearne elektrane, a najgore pogođena područja u blizini elektrane vjerojatno će ostati nenastanjiva desetljećima. 29. rujna japanska vlada je izjavila da su temperature u tri najoštećenija

reaktora u elektrani pale ispod 100 °C, što je važan korak prema onome što stručnjaci nazivaju stabilnim „hladnim zatvaranjem“ objekta (Tabuchi 2011, preuzeto iz Dunbar i dr., 2011).



Sl.8. Eksplozija nuklearne elektrane Fukushima Daiichi nakon taljenja reaktora

Izvor: Occupy.com (2012)

5. Posljedice potresa

Potres i tsunami ostavili su brojne posljedice diljem sjeverne obale Honshua, ali i šire. Prefekture Iwate, Miyagi i Fukushima u regiji Tohoku, po kojoj je i potres dobio ime, iskusile su najteže posljedice ovih događaja (sl.9.). Općenito, posljedice velikog potresa i njime izazvanog tsunamija mogu se podijeliti na izravne i neizravne posljedice. Prema Norio i dr. (2011), u izravne posljedice Tohoku potresa mogu se uvrstiti geofizičke i geomorfološke posljedice, ljudske žrtve te materijalna šteta izazvana na građevinama i infrastrukturi (Norio i dr., 2011). S druge strane, u neizravne posljedice mogu se uvrstiti zdravstveni problemi, onečišćenje okoliša te ekonomske posljedice.



Sl.9. Najpogođenije prefekture Tohoku regije

Izvor: Harada i dr. (2015)

5.1. Izravne posljedice Tohoku potresa

5.1.1. Geofizičke posljedice

Geofizičke i geomorfološke promjene koje su nastale nakon potresa dokaz su nevjerojatne snage udara Tohoku potresa. Prema Chai (2011) i CBS News (2011), snažni udar koji je nastao kao posljedica potresa pomaknuo je japanski otok Honshu oko 3.6 m prema istoku, pomaknuo je Zemljinu os za 25 cm te je ubrzao rotaciju planeta za 1.8 mikrosekundi (Norio i dr., 2011). Chang (2011), dodaje kako se ukupno 400 km istočne japanske obale spustilo za oko 0.6 m nakon potresa (Norio i dr., 2011). Najveći pomaci tla dogodili su se na poluotoku Ojika gdje su podrhtavanja i pomicanja tla aktivirali brojna klizišta (Mimura i dr., 2011). Sam poluotok Ojika, koji se nalazi sjeverozapadno od epicentra potresa, pomaknuo se oko 5.3 m jugoistočno prema epicentru s istovremenom subsidencijom od oko 1.2 m. Svjetska meteorološka organizacija upozorila je japansku vladu na potencijalno ozbiljniji rizik od poplava u sjeveroistočnom dijelu Japana u budućnosti (Xinhuanet, 2011, preuzeto iz Norio i dr., 2011).

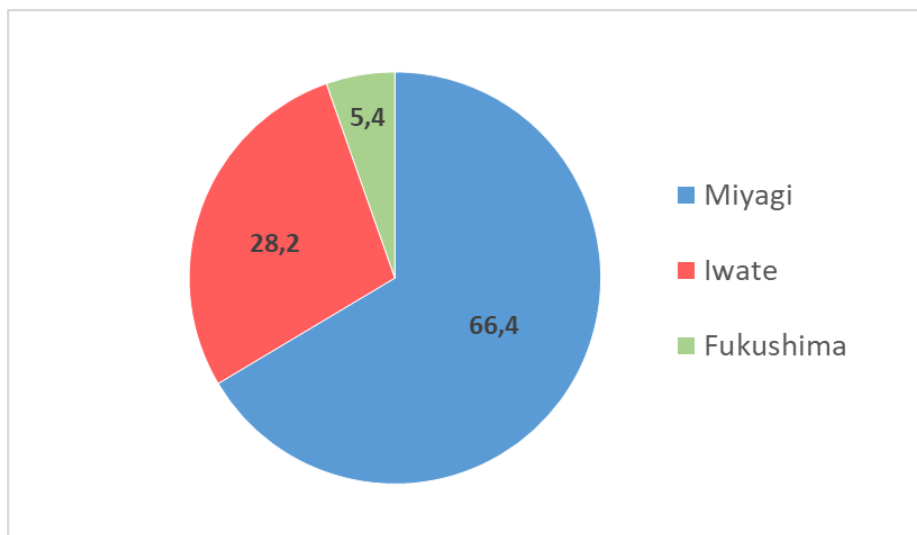
5.1.2. Ljudske žrtve

Kao što je već rečeno, najveći broj ljudskih žrtava nije izravna posljedica potresa, već je najveći broj ljudi stradao od tsunamija. Zapravo, samo je jedna prefektura pogođena jačim seizmičkim intenzitetom, ali bez obzira na to, ljudski gubici nastali uslijed potresa i tsunamija bili su izuzetno veliki. U 90% slučajeva uzrok smrti bio je utapanje (Mimura i dr., 2011). Prema statističkim podacima Japanske nacionalne policijske agencije, do 13. travnja u cijeloj zemlji bilo je ukupno 13 392 mrtvih te 15 133 nestalih osoba. Veliki problem su predstavljale izbjeglice koje su nakon tsunamija ostale bez svojih domova. Naime, više od 335 000 izbjeglica na sjeveroistoku Japana nije imalo hrane, vode, skloništa ni potrebne medicinske njege (Norio i dr., 2011).

5.1.3. Materijalne posljedice

Kao i kod ljudskih žrtava, tsunami je glavni uzrok i velikih materijalnih gubitaka. Stanovništvo i većina aktivnosti na istočnoj obali Japana koncentrirani su u uskim obalnim područjima, a tsunami je prodro i do 5 km u unutrašnjost te je zahvatio područje površine od 561 km² (Koshimura i dr., 2014). Do 3. travnja 2011.g. potvrđeno je oštećenje kod 190 000 zgrada, od kojih je 45 700 potpuno uništeno. Većina uništenih zgrada (njih 44 400) nalazi se na prostoru tri najpogođenije prefekture – Miyagi, Iwate i Fukushima (sl.10.). Kao što se može vidjeti, regija Miyagi ima najveći udio uništenih zgrada u tri najpogođenije regije. Do 13. travnja japanska policijska agencija je potvrdila

taj broj i povećala ga (Norio i dr., 2011). Naposljetku je potvrđeno da je na cijeloj istočnoj obali Japana potpuno uništeno preko 120 000 građevina, a preko 280 000 ih je znatno oštećeno (Japan Reconstruction Agency, 2020). Potres i tsunami prouzročili su 250 milijuna tona ruševina (Norio i dr., 2011).



SL.10. Udio (u %) 44 400 potpuno uništene zgrade u tri najpogođenije regije

Izvor: NHK World (2011); preuzeto iz Norio i dr. (2011)

U ovoj katastrofi teško je oštećeno nekoliko elektrana i termoelektrana, uz već spomenutu nuklearnu elektranu Fukushima. Prema Japan Times (2011) i Nikkei (2011), opskrba TEPCO-a električnom energijom smanjena je za 21 GW što je uzrokovalo gubitak električne energije za 4.4 milijuna obitelji u istočnom Japanu. Potres je ozbiljno utjecao na japanski prometni sustav. Nakon potresa, sve luke u Japanu bile su nakratko zatvorene, a 15 luka zahvaćenih katastrofom potpuno je otvoreno tek 29. ožujka. Japanske željeznice bile su različito zahvaćene katastrofom, a 23 željezničke postaje i 7 pruga bilo je potpuno uništeno (Nihon Keizai Shimbun, 2011, preuzeto iz Norio i dr., 2011). Sjeveroistočni dio brze željezničke pruge Tokaido Shinkansen također je bio zatvoren zbog potresa i otvoren tek 24. ožujka (The Guardian, 2011, preuzeto iz Norio i dr., 2011). Potres je utjecao i na odvijanje zračnog prometa. Prema The Aviation Herald (2011), zračna luka Sendai pretrpjela je velike gubitke jer je bila poplavljena tsunamijem jedan sat nakon potresa. Također, i tokijske zračne luke Narita i Haneda bile su zatvorene oko 24 sata (Norio i dr., 2011). Dodatni problem je predstavljao pristup područjima koja su pretrpjela najveća razaranja zbog uništene cestovne i željezničke infrastrukture. Pojednim pogođenim područjima moguće je bilo pristupiti samo iz zraka (Nohara, 2011).

5.2. Neizravne posljedice

5.2.1. Ekonomske posljedice

Potres i tsunami imali su dugoročne posljedice na japansku ekonomiju. Prema Martinu (2011), procjenjuje se da je 23.600 hektara poljoprivrednog zemljišta uništeno, a proizvodnja riže u Japanu smanjila se za 3 do 4%. Nadalje, mnogi veliki proizvođači automobila (Toyota, Nissan i Honda), čelika (Nippon Steel) te kemikalija (Mitsubishi Kagagu) prestali su raditi što je prouzročilo pad u svjetskoj proizvodnji automobila (Mainichi Daily News, 2011, preuzeto iz Norio i dr., 2011). Čak su i neoštećena područja patila od nedostataka materijala, a konačna potražnja se smanjila. Budući da su se mnoge primarne industrije japanskih opskrbnih lanaca nalazile u Tohokuu, sjeveroistočnoj regiji Honshua, njihova oštećenja uzrokovala su široko rasprostranjene gospodarske učinke diljem Japana (Norio i dr., 2011).

Zbog potresa u Japanu došlo je do značajnih fluktuacija na svjetskim financijskim tržištima. Prema BBC-u (2011), potres je donio brzu aprecijaciju japanskog jena, a vrijednost jena je, u odnosu na američki dolar, u jednom trenutku dosegla 76,25 jena za 1 američki dolar, najvišu vrijednost još od Drugoga svjetskog rata. Inflacija i samo uvažavanje vrijednosti jena štetna je za japansko gospodarstvo, koje uvelike ovisi o izvozu i stranim valutama. Indeks industrijske proizvodnje dramatično se smanjio za čak 15.5% u odnosu na indeks u veljači (Norio i dr., 2011).

Prema Paganu (2011), u ranoj procjeni analitičara, katastrofa izazvana potresom uzrokovala je izravne ekonomske gubitke od oko 171 do 183 milijarde američkih dolara, dok bi znatni troškovi oporavka mogli doseći 122 milijarde američkih dolara. Centar za upravljanje krizama Ureda premijera objavio je 24. lipnja 2011.g. grubu procjenu prema kojoj je samo vrijednost oštećene imovine iznosila preko 16 trilijuna jena. Samo u tri najpogođenije prefekture u regiji Tohoku, imovinska šteta iznosila je 14 trilijuna jena (Norio i dr., 2011).

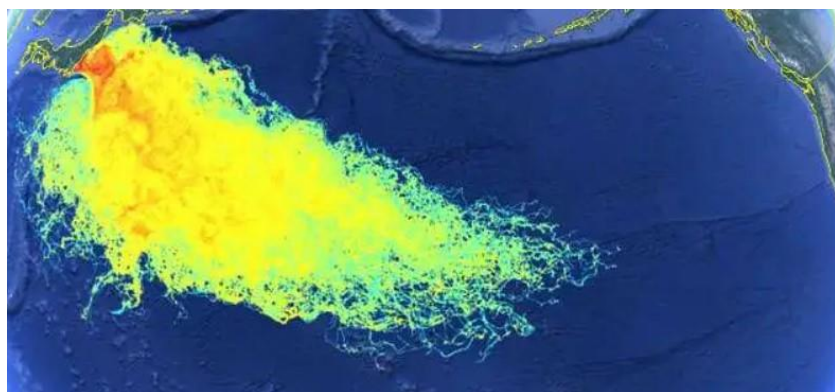
5.2.2. Zdravstveni problemi i onečišćenje okoliša

Potres i tsunami imali su, kako direktne, tako i indirektne posljedice na ljudsko fizičko i mentalno zdravlje. Kako izjavljuju Aoki i dr. (2013), kod ljudi koji su doživjeli u ovu katastrofu, aktivacija simpatičkog živčanog sustava povisila je krvni tlak i broj otkucaja srca zbog čega je došlo do porasta kardiovaskularnih bolesti u Japanu (Aoki i dr., 2013). Također, izvješće Satoha i dr. (2011), pokazalo je da se nakon potresa značajno povećao krvni tlak kod ljudi. Osim toga, potres je značajno povećao pojavu raznih srčanih bolesti, npr. ventrikularnih tahiaritmija kod pacijenata

s umetnutim srčanim defibrilatorom. Japanski stručnjaci stoga smatraju da su aktivirani simpatički živčani sustav, povišeni krvni tlak i povećana pojava tahiaritmija uzrokovali povećanu pojavu bolesti povezanih sa zatajenjem srca (HF) tijekom i nakon Tohoku potresa u istočnom Japanu (Aoki i dr., 2013). Osim kardiovaskularnih bolesti, došlo je i do pojave bolesti dišnih puteva, prvenstveno kod ljudi koji su bili smješteni u privremenom smještaju. Naime, iako su ljudi u privremenim smještajima bili opskrbljeni potrebnim informacijama i kompresijskim pomagalicama, nakon potresa došlo je do povećanja tromboembolije pluća (PTE), koja je također povezana s kardiovaskularnim problemima. Zbog straha od potresa, povećao se broj srčanih udara nakon potresa, a posebno akutnog infarkta miokarda (AMI) s nekolicinom smrtnih slučajeva (Aoki i dr., 2013).

Uz navedene zdravstvene probleme, potres je imao snažan utjecaj i na mentalno zdravlje ljudi. Nedostatak lijekova, povećani stres i nemogućnost kretanja nakon potresa imali su vrlo negativne učinke na psihičko zdravlje Japanaca. Općenito je veliki problem predstavljao nedostatak liječnika te psihijata i psihologa u najpogođenijim područjima (Nohara, 2011).

Radijacija ispuštena iz reaktora Fukushima također je imala negativan učinak na zdravlje ljudi (povećana pojava kancerogenih bolesti), ali i na okoliš. Naime, radioaktivni materijal iz Fukushima Daichii uzrokovao je visoku razinu zračenja te široku kontaminaciju cijele regije. Do velikih radioaktivnih ispuštanja u atmosferu došlo je zbog ozračivanja i eksplozije vodika. Veći problem glede okoliša uzrokovala je kontaminirana voda koja je bila ispuštena te je iscurila u ocean gdje se proširila diljem Tihog oceana utječući na podmorski svijet (Holt i dr., 2012).



Sl.11. Širenje radijacije iz nuklearne elektrane Fukushima diljem Tihog oceana

Izvor: Riordan (2016)

6. Japanska strategija oporavka nakon potresa

Nakon jakog potresa, potrebno je bilo razraditi detaljan plan i program financiranja i provođenja obnove pogođenih područja. U lipnju 2011.g. japanska vlada je proglasila nacionalnu krizu te je donijela Zakon o obnovi nakon potresa. U tu svrhu osnovano je tijelo Savjet za obnovu (Reconstruction Design Council - RDC) koje je donijelo plan desetogodišnje obnove ukupne vrijednosti od 350 bilijuna eura. Međutim, provođenje obnove je počelo tek u veljači 2012.g. kada je, kao dodatno tijelo vlasti osnovana Agencija za obnovu (Reconstruction Agency of Japan - RAJ). Temeljni razlozi zbog kojih je kasnila obnova bili su nesuglasice unutar japanske vlade te nesigurnosti u dodijeli sredstava za obnovu (Cho, 2014). Vlasti pogođenih prefektura i lokalne vlasti bile su zadužene za samu obnovu nakon katastrofe (Ishiwatari, 2014), a centralna je japanska vlast stvorila posebne zone rekonstrukcije radi lakše raspodjele sredstava te je pružala financijsku pomoć prilikom rekonstrukcije (Cho, 2014). Cjelokupna rekonstrukcija je, zbog goleme štete, tekla izuzetno sporo, a dodatno ju je otežavala subsidencija na pogođenim područjima zbog čega je obnova predstavljala veliki izazov za lokalne vlasti. Planovi donošenja odluka o rekonstrukciji na oštećenim područjima bili su podijeljeni u tri glavne faze (Tab.1.).

Tab.1. Planovi donošenja odluka o rekonstrukciji na oštećenim područjima nakon katastrofe 2011. godine

FAZA	PLANOVI
I. faza (prva 4 mjeseca)	1. 1. osnivanje nadležnog tijela za analizu štete
	1. 2. donošenje osnovnih smjernica i odluka (4 mj.)
	1. 3. prvi rebalans proračuna (1.5 mj.)
II. faza (između 4 i 11 mjeseci nakon katastrofe)	2. 1. osnivanje nadležnog tijela za obnovu
	2. 2. lokalne vlasti i prefektura izrađuju osnovne planove
	2. 3. dva dodatna rebalansa proračuna
III. faza (između 11 mjeseci i 10 godina nakon katastrofe)	3. 1. određene agencije za obnovu i uspostavljanje posebnih zona
	3. 2. četvrti rebalans proračuna
	3. 3. provođenje obnove uz pomoć vlasti i njihovih subvencija

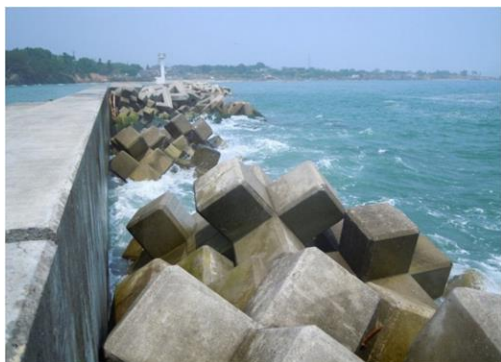
Izvor: IRP i dr., 2013, preuzeto iz Leelawat i dr. (2015)

Problemi koji su prevladavali na pogođenim područjima prije početka same obnove uključivali su šok kod stanovništva koje je imalo jaku želju za preseljenjem s tog područja. Naime, između ožujka i studenog 2011.g. broj stanovnika obalnih prefektura pogođenih katastrofom smanjilo se za 57 000. Dodatni problemi uključivali su radijaciju na području nuklearne elektrane Fukushima Daichii te privremena obustava ostalih postrojenja pogođenih područja. Kao što je rečeno, japanska vlada je podijelila prostor u zone rekonstrukcije radi lakšeg provođenja obnove. Na taj način pogođeni prostor je bio podijeljen u tri kategorije: zona dugoročne nemogućnosti stanovanja, prioritetne zone za dekontaminaciju te dekontaminirana zona gdje je moguć povratak (Ishiwatari, 2014).

Sama obnova uključivala je rekonstrukciju fizičke infrastrukture, kompenzaciju za nuklearnu elektranu Fukushima te sanaciju ostale štete. Ni financiranje rekonstrukcije nije teklo glatko i bez problema. Lokalne vlasti su bile zabrinute u sigurnost dostupnog budžeta, a stanovništvo je bilo zabrinuto zbog kompenzacije. Nadalje, sudionici nisu znali hoće li se rekonstrukcije nastaviti prema predviđenim planovima te su bili zabrinuti u provođenje financiranja od strane japanske vlade koja je financijsku potporu podijelila u tri rate. Na taj su način lokalne vlasti bile izuzetno ovisne o samoj centralnoj vlasti budući da budžet kojim je raspolagala Agencija za obnovu (RAJ) nije bio ni približno dovoljan za provođenje rekonstrukcije. Također, lokalne vlasti su mogle izvršiti samo one projekte koje je odobrila centralna vlast, a oni su uglavnom bili limitirani na obnovu fizičke infrastrukture. Zbog svega navedenog došlo je do obostranog nepovjerenja između lokalnih i centralnih vlasti. Moguća rješenja ovih problema podrazumijevala su dodatno uključivanje građana u njihovo rješavanje te daljnju decentralizaciju u donošenju odluka (Cho, 2014).

Budući da se u Japanu očekuje još jakih potresa u narednim godinama, 18. ožujka 2015.g. potpisan je Sendai okvir za smanjenje rizika od katastrofa za razdoblje od 2015. do 2030. g. Četiri glavna prioriteta ovog dokumenta uključuju razumijevanje rizika, bolje upravljanje, ulaganja te bolju pripremu. Glavni ciljevi bili bi smanjenje broja mrtvih i stradalih, reduciranje ekonomske štete, očuvanje ključnih objekata, bolja angažiranost države, povećanje suradnje te bolji sustav uzbunjivanja za stanovnike (UN, 2015).

Planovi za sprječavanje rizika od prirodnih katastrofa u budućnosti uključuju gradnju objekata za zaštitu od katastrofe (sl.12), preseljenje zajednica na sigurnija područja te bolje planove za evakuaciju (Ishiwatari, 2014).



Sl.12. Sustav za zaštitu od tsunamija
Izvor: Esteban i dr. (2014)



Sl.13. Grad Ofunato nakon katastrofe 2011. g.
Izvor: Defense.gov (n.d.)

6.1. Tokyo – grad u opasnosti

Tokyo je jedna od najvećih svjetskih aglomeracija koja se nalazi na jednom od seizmički najaktivnijih područja na planetu. Budući da postoji vjerojatnost da potres magnitude veće od 7 po Richteru zadesi Tokyo do 2050. g. (Tab.2.), ne čudi što je Tokyo grad s jednom od najboljih priprema u slučaju potresa na svijetu.

Tab.2. Vjerojatnost pojave jakog potresa na području Japana u sljedećih 30 godina prema regijama

Područje	Grad i prefektura	Vjerojatnost potresa
Metropolitansko područje Tokyja	Chiba, prefektura Chiba	85%
	Yokohama, prefektura Kanagawa	82%
	Mito, prefektura Ibaraki	81%
	Saitama, prefektura Saitama	55%
	Tokyo	48%
Tōkai	Shizuoka, prefektura Shizuoka	70%
	Tsu, prefektura Mie	64%
	Nagoya, prefektura Aichi	46%
Kansai	Nara, prefektura Nara	61%
	Wakayama, prefektura Wakayama	58%
	Osaka, prefektura Osaka	56%
	Kobe, prefektura Hyogo	45%

Izvor: Nippon.com (2018)

Posljednji veliki potres koji je zadesio Tokyo dogodio se 1923.g. s katastrofalnim posljedicama. Prema Hurstu (2019), kada bi se dogodio jaki potres na području Tokyja, potencijalno bi bilo 9700 žrtava, 150 000 ozlijeđenih te 3.39 milijuna evakuiranih ljudi. Zbog toga, Tokyo ima visoku razinu pripravnosti za nadolazeći potres u obliku najveće svjetske vatrogasne postrojbe, sigurnosnih parkova za prevenciju posljedica potresa te infrastrukture za obranu od potresa. U tom smislu, 3000 škola u slučaju potresa mogu postati evakuacijski centri, odnosno privremena skloništa u slučaju jakog potresa na tom području. Tokyo također ima i 1200 centara za pomoć najpotrebitijima u slučaju potresa (Hurst, 2019).

Unutar priručnika „Let's Get Prepared“ također su propisane i preporuke stanovnicima Tokyja u slučaju velikog potresa. Prema Hurstu (2019), neke od preporuka uključuju pričvršćivanje namještaja uz zid i podmetanje klinova ispod nestabilnog namještaja te osiguravanje rezervnih zaliha konzervirane hrane i vode u bocama, a poslodavcima se sugerira da imaju pripremljene trodnevne zalihe za prodaju u slučaju potresa (Hurst, 2019). S vremenom će se pokazati koliko su ove mjere zaista pripremile Tokyo na veliki potres.

7. Zaključak

Dana 23. ožujka 2011. g. potres u Japanu izazvao je katastrofu iznimnih razmjera koja se sastojala od megapotresa snage 9.0. prema Richteru, njime izazvanog tsunamija te nuklearne katastrofe. Tohoku potres bio je najjači potres 21. stoljeća te je imao katastrofalne posljedice za sjeverni dio najvećeg japanskog otoka Honshua budući da mu se epicentar nalazio sedamdesetak km od obale. Japan se nalazi na jednom od seizmički najaktivnijih područja na svijetu, u zoni subdukcije litosfernih ploča koju karakteriziraju brojni potresi. Subdukcija Tihooceanske pod Euroazijsku ploču stvorila je golemu napetost među stijenama u unutrašnjosti Zemlje, a naglo oslobađanje te goleme količine energije uzrokovalo je snažni Tohoku potres. Budući da je to bio podmorski potres, nedugo nakon njega tsunami je opustošio sjeveroistočnu obalu Japana te je uzrokovao najveći broj žrtava. Tsunami je uništio generatore za hlađenje reaktora nuklearne elektrane Fukushima Daichii što je uzrokovalo pregrijavanje reaktora te eksploziju i ispuštanje radioaktivnih tvari u atmosferu i ocean. Potres i tsunami ostavili su za sobom brojne izravne i neizravne posljedice u obliku geofizičkih i geomorfoloških posljedica na japansko otočje, ali i šire, te brojne ljudske žrtve i materijalnu štetu. Od neizravnih posljedica potresa valja istaknuti njime izazvane zdravstvene probleme, onečišćenje okoliša te ekonomske gubitke. Zbog Tohoku potresa, japanska vlada i lokalne vlasti bili su primorani donijeti strategiju oporavka te planove za smanjenje opasnosti od budućih potresa. Budući da se u Japanu mogu očekivati daljnji jaki potresi, Japan ima visoku razinu pripravnosti u slučaju novog potresa, a naročito japanska prijestolnica. Tohoku potres bio je teška lekcija za Japance koja je samo još jednom dokazala snagu prirode.

8. Literatura i izvori

Literatura:

1. Aoki, T., Takahashi, J., Fukumoto Y., Yasuda, S., Ito, K., Miyata, S., 2013: Effect of the Great East Japan Earthquake on Cardiovascular Diseases – Report from the 10 Hospitals in the Disaster Area, *Official Journal of the Japanese Circulation Society*, 77 (1), 490-493.
2. 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.
3. Cho, A., 2014: Post-tsunami recovery and reconstruction: governance issues and implications of the Great East Japan Earthquake, *Disasters* 38 (2), 158-178.
4. 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.
5. Esteban, M., Jayaratne, R., Mikami, T., Morikubo, I., Shibayama, T., Danh Thao, N., Ohira, K., Ohtani, A., Mizuno, Y., Kinoshita, M., Matsuba, S., 2014: Stability of Breakwater Armor Units against Tsunami Attacks, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 140 (2), 188-198.
6. Harada, N., Shigemura, J., Tanichi, M., Kawaida, K., Takahashi, S., Yasukata, F., 2015 : Mental health and psychological impacts from the 2011 Great East Japan Earthquake Disaster: a systematic literature review, *Disaster and Military Medicine* 17 (1), 1-12.
7. Holt, M., Campbell, R. J., Nikitin, M. B., 2012: Fukushima Nuclear Disaster, *Congressional Research Service* 1-12.
8. Ishiwatari, M., 2014: *Learning from megadisasters: Lessons from the Great East Japan Earthquake*, World Bank, Washington.
9. Koshimura, S., Hayashi, S., Gokon, H., 2014: The impact of the 2011 Tohoku earthquake tsunami disaster and implications to the reconstruction, *Soils and Foundations* 54 (4), 560-572.
10. Leelawat, N., Suppasri, A., Imamura, F., 2015: Disaster Recovery and Reconstruction Following the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami: A Business Process Management Perspective, *International Journal of Disaster Risk Science* 6 (3), 310-314.
11. Mimura, N., Yasuhara, K., Kawagoe, Yokoki, H., Kazama, S., 2011: Damage from the Great East Japan Earthquake and Tsunami - A quick report. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 16, 803-818.

12. Nohara, M., 2011: Impact of the Great East Japan Earthquake and tsunami on health, medical care and public health systems in Iwate Prefecture, Japan, *Western Pac Surveill Response J.*, 2(4), 24–30.
13. 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.
14. Stimpson, I., 2011: Japan's Tohoku Earthquake and Tsunami, *Geology Today*, 27 (3), 96-98.
15. Summerfield, M., A., 2013: *Global geomorphology: An introduction to the study of landforms*, Longman, Edinburgh.
16. Wang, T., Meng, T., Zhao, H., 2015: Analysis of tsunami effect and structural response, *Tehnički vjesnik*, 22 (6), 1365-1371.

Izvori:

1. Andel, T. H., Murphy, J., 2021: Plate tectonics, *Encyclopedia Britannica*, <https://www.britannica.com/science/plate-tectonics> (6.8.2021.)
2. Defence.gov, n. d.: A tug boat rests upright among the debris in Ofunato, Japan, March 15, 2011, <https://www.defense.gov/observe/photo-gallery/igphoto/2001163254/> (21.8.2021.)
3. Express, 2018: Earthquake news: Pacific Ring of Fire very active - volcanoes erupt and quakes across Asia, <https://www.express.co.uk/news/world/909449/earthquake-news-un-warning-pacific-ring-of-fire-active-volcanoes> (6.8.2021.)
4. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49792> (6.8.2021.)
5. Hurst, D., 2019: This is not a "what if" story: Tokyo braces for the earthquake of a century, *The Guardian*, <https://www.theguardian.com/cities/2019/jun/12/this-is-not-a-what-if-story-tokyo-braces-for-the-earthquake-of-a-century> (20.8.2021.)
6. Japan Reconstruction Agency, 2020: Great East Japan Earthquake, <https://www.reconstruction.go.jp/english/topics/GEJE/index.html> (18.8.2021.)
7. Lefevre, S., 2011: The great East Japan (Tohoku) 2011 earthquake: Important lessons from old dirt, <https://www.earthobservatory.sg/news/great-east-japan-tohoku-2011-earthquake-important-lessons-old-dirt> (6.8.2021.)
8. National Geographic, n.d.: Ring of fire, <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/ring-fire/> (7.8.2021.)

9. Nippon.com, 2018: The Next Big One: Government Map Forecasts Likely Future Japanese Earthquakes, <https://www.nippon.com/en/features/h00234/> (18.8.2021.)
10. Occupy.com, 2012: Awakning from the dream: The real facts on Fukushima, <https://www.occupy.com/article/awakening-dream-real-facts-fukushima#sthash.NFj3MLtd.pEUfvBu8.dpbs> (14.8.2021)
11. Pallardy, R., 2021: Chile earthquake of 1960, *Encyclopedia Britannica*, <https://www.britannica.com/event/Chile-earthquake-of-1960> (12.8.2021.)
12. Riordan, J., 2016: Radiation from Fukushima meltdown has contaminated the entire Pacific ocean: A well thought out scream by James Riordan, *Men of value*, <https://menofvalue.com/2016/10/02/radiation-fukushima-meltdown-contaminated-entire-pacific-ocean-well-thought-scream-james-riordan/> (16.8.2021.)
13. Sanger, D. E., Wald, M., 2011: Radioactive Releases in Japan Could Last Months, Experts Say, *The New York Times*, <https://www.nytimes.com/2011/03/14/world/asia/japan-fukushima-nuclear-reactor.html> (12.8.2021.)
14. The Geological Society, 2012.: Plate Tectonic Stories: Tohoku Earthquake, Japan, <https://www.geolsoc.org.uk/Policy-and-Media/Outreach/Plate-Tectonic-Stories/Outer-Isles-Pseudotachylytes/Tohoku-Earthquake> (9.8.2021.)
15. The Santiago Times, 2018: On this day in 1960, Chile was hit by most powerful earthquake ever recorded, <https://santiagotimes.cl/2018/05/22/on-this-day-in-1960-chile-was-hit-by-most-powerful-earthquake-ever-recorded/> (12.8.2021.)
16. Tsunami Warning, 2018: Earthquake: seismic waves, file:///C:/Users/PC/Desktop/FAKS/Prvostupni%C4%8Dki%20rad/Izvori/Earthquake%20_%20Seismic%20waves%20as%20body%20waves%20and%20surface%20waves.html#.YST_1Y4zZPY (12.8.2021.)
17. Ujedinjeni narodi, 2015: Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030v> (18.8.2021.)
18. Wald, L., n.d.: The science of earthquakes, *U.S. Geological Survey*, https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/science-earthquakes?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (8.8.2021.)

Popis grafičkih priloga:

1. Sl.1. Subdukcija Tihooceanske ploče pod Euroazijsku na području otoka Honshu (str. 3.)
2. Sl.2. Pacifički vatreni prsten (str. 5.)
3. Sl.3. P i S dubinski valovi (str. 8.)
4. Sl.4. Love i Rayleigh površinski valovi (str. 9.)
5. Sl.5. Razoreni grad Valdivia nakon potresa 1960.g. (str. 10.)
6. Sl.6. Položaj i smjer kretanja litosfernih ploča na području Japana te epicentar velikog potresa i najvećeg naknadnog potresa (str. 12.)
7. Sl.7. Luka Rikuzentakata prije i poslije tsunamija (str. 14.)
8. Sl.8. Eksplozija nuklearne elektrane Fukushima Daiichi nakon taljenja reaktora (str. 16.)
9. Sl.9. Najpogođenije prefektore Tohoku regije (str. 16.)
10. Sl.10. Udio (u %) 44 400 potpuno uništene zgrade u tri najpogođenije regije (str. 18.)
11. Sl.11. Širenje radijacije iz nuklearne elektrane Fukushima diljem Tihog oceana (str. 20.)
12. Tab.1. Planovi donošenja odluka o rekonstrukciji na oštećenim područjima nakon katastrofe 2011. godine (str. 21.)
13. Sl.12. Sustav za zaštitu od tsunamija (str. 23.)
14. Sl.13. Grad Ofunato nakon katastrofe 2011. g. (str. 23.)
15. Tab.2. Vjerojatnost pojave jakog potresa na području Japana u sljedećih 30 godina prema regijama (str. 23.)