

U Pacifičkome vatrenom prstenu: Rizik od tsunamija tijekom Svjetskoga nogometnog prvenstva 2026.

PRIPREMILE:

Maja Mrkonjić, Doris Knežević

Rezolucijom 70/203 Opće skupštine Ujedinjenih naroda 2015. ustanovljen je Dan podizanja svijesti o riziku od tsunamija (engl. *Tsunami Risk Awareness Day*), koji se obilježava 5. studenog svake godine

Uvodne napomene

Prema podacima Ureda Ujedinjenih naroda za smanjenje rizika od katastrofa (engl. *United Office for Disaster Risk Reduction-UNDRR*) i Međuvladine oceanografske komisije UNESCO-a (engl. *The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO*), tijekom posljednjih stotinu godina dogodilo se 58 tsunamija u kojima je život izgubilo više od 260 tisuća ljudi. Tsunami su, nakon potresa, najsmrtonosnija prirodna katastrofa. U posljednjih tridesetak godina materijalna šteta od tih razornih valova procjenjuje se na više od 200 milijardi američkih dolara (približno 185 milijardi eura). Zato se svake godine diljem svijeta organiziraju brojna događanja čiji je cilj informirati i educirati stanovništvo o mogućim rizicima.

Tijekom posljednjih stotinu godina dogodilo se 58 tsunamija u kojima je život izgubilo više od 260 tisuća ljudi

U Hrvatskoj se taj dan također obilježava, kako bi nas prijenos znanja i razumijevanje rizika učinili spremnijima i otpornijima na buduće izazove. Dana 5. studenoga 2025. u Zagrebu, u organizaciji Hrvatske udruge za zaštitu i promociju geološke baštine ProGEO Hrvatska, uz potporu Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, održana je konferencija "Tsunami Risk at Adriatic Sea", na kojoj su stručnjaci iz različitih područja predstavili svoja

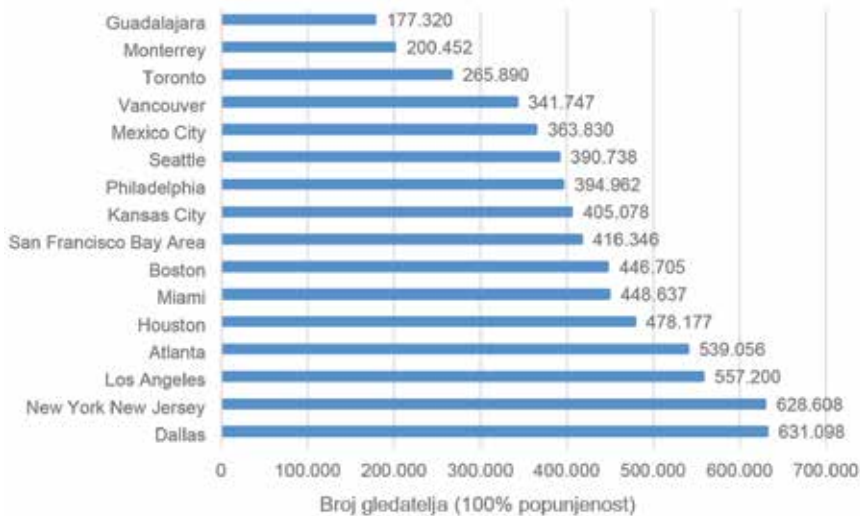
istraživanja, zakonodavne okvire te mjere prevencije i odgovora na potencijalne opasnosti. Tom prigodom predstavljeno je izlaganje o rezultatima istraživanja na temu rizika od tsunamija za stadione Svjetskoga nogometnog prvenstva 2026., koje će se održati u Sjedinjenim Američkim Državama, Kanadi i Meksiku, zemljama smještenima uz tzv. Vatrene prsten. Pacifički vatreni prsten jest pojas dug približno 40.000 km koji okružuje Tih ocean. U njemu se nalazi oko 75 % svih aktivnih vulkana na svijetu i ondje se događa 90 % svih potresa. U nastavku donosimo zaključke tog istraživanja. Primjenom seizmičkih modela i modela tsunamija (GEM, PTHA) te metodologije FEMA P-646 procijenjena je razina opasnosti i prag sigurnosne visine (H_{tn}) za šesnaest gradova domaćina Svjetskoga nogometnog prvenstva 2026., dok je QGIS korišten za prostornu obradu, kartografsku vizualizaciju i vizualnu interpretaciju rezultata. U QGIS-u analizirani su prostorni odnosi između stadiona na kojima će se igrati utakmice turnira, obalnih zona, batimetrijskih podataka, povijesnih tsunamija i područja potencijalne izloženosti, pri čemu se izračun H_{tn} -vrijednosti temeljio na prethodno navedenim modelima i metodologiji. Rezultati pokazuju kako su San Francisco i Vancouver izloženi najvišem riziku, dok gradovi poput Los Angelesa i Seattlea imaju umjeren hazard, a unutrašnji i atlantski gradovi zanemariv rizik. Članak naglašava važnost integracije inženjerskih smjernica, prostornog planiranja i sustava civilne zaštite radi povećanja ra-

zine otpornosti obalnih područja na prirodne katastrofe, osobito tijekom velikih međunarodnih događaja.

Primjenom seizmičkih modela i modela tsunamija procijenjena je razina opasnosti i prag sigurnosne visine za šesnaest gradova domaćina Svjetskoga nogometnog prvenstva 2026.

Studija slučaja

Svjetsko nogometno prvenstvo (*FIFA World Cup*) jedno je od najvećih i najgledanijih sportskih događaja na svijetu. Službeno se održava već gotovo stotinu godina, točnije od 1930. kada je prvo takvo natjecanje održano u Urugvaju, gdje je tijekom 18 dana na trima stadionima nastupilo 13 nogometnih reprezentacija. Ovogodišnje Svjetsko nogometno prvenstvo jest dvadeset i treće. Održava se u razdoblju od 16. lipnja do 20. srpnja 2026. Prvi put u povijesti ugostit će ga tri države: SAD, Kanada i Meksiko. Nakon kvalifikacija, u završnici turnira prvi put nastupa čak 48 država. Utakmice će se igrati na 16 stadiona, a većina njih ima kapacitet od 65.000 do 95.000 mjesta. Tijekom 39 dana i ukupno 104 utakmice to će biti najveće i najduže nogometno prvenstvo u povijesti. Prema broju sjedala u navedenim arenama, u slučaju popunjenosti neto kapaciteta, očekuje se okupljanje više od 6,5 milijuna gledatelja (slika 1.). Pri izračunu te brojke ipak se nije uzimao u obzir puni nominalni kapacitet stadiona. Pojam *neto kapacitet* označava broj sjedala stvarno dostupnih gledateljima tijekom turnira, pri čemu su iz toga isključena mjesta namijenjena medijima, sigurnosnome osoblju, tehničkim službama i drugim područjima s ograničenim pristupom.



Slika 1. Procijenjena ukupna posjećenost Svjetskog nogometnog prvenstva 2026. [1]

Izvor i nastanak tsunamija na području Pacifičkoga vatrenog prstena

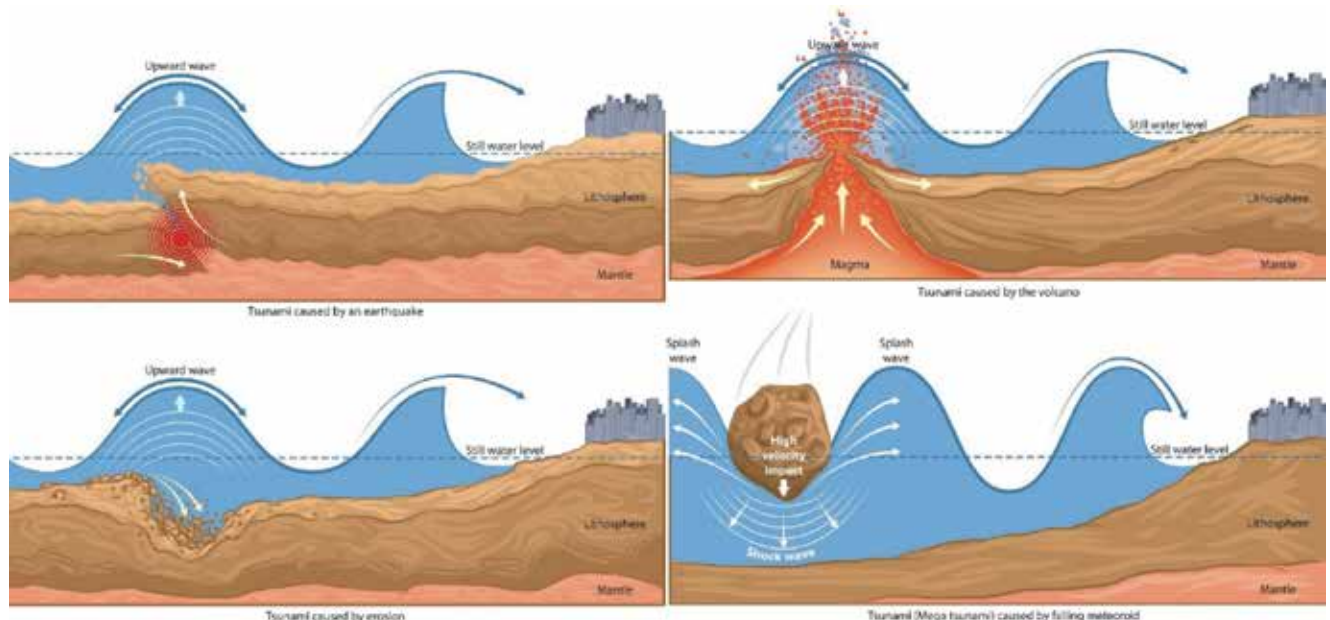
Tsunami je jedan od najsnažnijih i najrazornijih prirodnih fenomena na Zemlji, a njegova snaga proizlazi iz ogromne količine energije prenesene na vodeni stupac uslijed naglog poremećaja u morskome okolišu [2, 3]. Najčešće nastaje kao posljedica podmorskih potresa u zonama subdukcije, gdje se tektonske ploče sudaraju i uzrokuju vertikalni pomak morskog dna, čime započinje stvaranje serije dugih valova koji se velikim brzinama šire kroz

oceane. Za razliku od površinskih valova koje stvara vjetar, tsunami ima valnu dužinu veću od stotinu kilometara i može se kretati brzinom većom od 700 km/h. Iako je u otvorenome oceanu gotovo neprimjetan, pri ulasku u pliće obalne vode dolazi do njegova naglog usporavanja i povećanja visine vala (engl. *shoaling*), što može dovesti do katastrofalnih poplava i razaranja infrastrukture. Osim potresa, uzroci tsunamija mogu biti i podmorski odroni, vulkanske erupcije, kolapsi ledenjaka te, rjeđe, udari meteorita (slika 2.). Pacifički vatreni prsten (engl. *Pacific Ring of Fire*) naziv je za seizmički i vulkanski

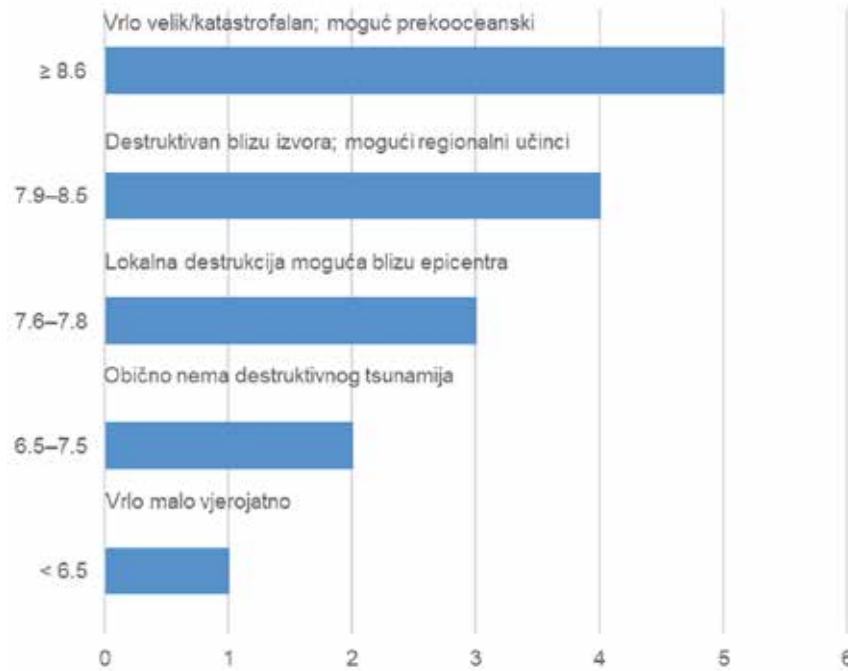
iznimno aktivan pojas koji okružuje Tih ocean. Proteže se od istočne Azije i Oceanije, duž zapadne obale Sjeverne i Južne Amerike, sve do Aljaske. U tome području nastaje oko 80 % svih svjetskih tsunamija, od čega se približno 70 % povezuje s pojavom potresa [5]. Geološki gledano, riječ je o prostoru intenzivne tektonske aktivnosti, gdje se oceanske i kontinentalne ploče neprestano sudaraju, podvlače i pomiču.

U Pacifičkom vatrenom prstenu nastaje oko 80 % svih svjetskih tsunamija, od čega se približno 70 % povezuje s pojavom potresa

U toj dinamičnoj zoni smješten je velik broj gradova domaćina nadolazećeg Svjetskog prvenstva 2026. Među njima su metropole poput Los Angelesa, Vancouvera, Seattlea i San Francisca. Svi ti gradovi nalaze se unutar područja povećanog rizika od tsunamija. Analiza njihove prostorne distribucije u odnosu na geološku podlogu i povijest seizmičkih događaja otvara prostor za dublje razumijevanje rizika, ali i za raspravu o izazovima vezanima uz planiranje, infrastrukturu i sigurnost globalnih sportskih manifestacija u seizmički aktivnim područjima.



Slika 2. Uzroci nastanka tsunamija [4]



Slika 3. Vjerojatnost nastanka tsunamija u odnosu na magnitudu potresa [6]

Hazard od potresa i tsunamija za Kanadu, SAD i Meksiko

Hazard (opasnost) od potresa, tsunamija ili neke treće pojave jest vjerojatnost da će se ona dogoditi na nekome području u određenome razdoblju. Jaki potresi, koji mogu izazvati valove tsunamija, događaju se ispod morskog dna, kada se zbog naglog pomaka litosfernih ploča pomakne i samo morsko dno. Time se pomiče ogromna masa vode koja stvara valove koji se mogu širiti preko cijelog oceana. Takvi su događaji najčešći u zonama subdukcije, gdje se jedna ploča podvlači pod drugu i akumulira veliku količinu energije koja se oslobađa u trenutku potresa.

Najveći rizik od nastanka tsunamija vezan je uz plitke podmorske potrese, na dubinama manjim od stotinu kilometara. Sama magnituda potresa (odnosno količina oslobođene energije) nije jedini čimbenik. Važne su i vrste rasjeda (način na koji se ploče pomiču) te udaljenost epicentra od obale, ali ipak potresi velikih magnituda znatno češće stvaraju uvjete potrebne za nastanak tsunamija (slika 3.).

Seizmički hazard

Za prikaz rezultata seizmičkoga hazarda korišteni su podaci iz međunarodnog modela GEM – *Global Earthquake Model* (v2023.1), javno dostupnog na platformi *OpenQuake* [7]. GEM objedinjuje službene nacionalne seizmičke modele, i to za Sjedinjene Američke Države USGS NSHM 2023, za Kanadu NRCan/NBCC 2020 i za Meksiko CFE/UNAM, te prikazuje razine očekivanog podrhtavanja tla za cijeli svijet. Model je izrađen na temelju brojnih točaka s poznatim geografskim koordinatama, čime se prikazuje prostorna raspodjela procijenjenoga seizmičkoga hazarda. Za svaki analizirani grad domaćina, i to na mjestu promatranog stadiona, očitana je vrijednost PGA (*Peak Ground Acceleration*), odnosno najveće horizontalno ubrzanje tla tijekom potresa, iz sloja koji prikazuje 10 % vjerojatnosti premašivanja u 50 godina, što odgovara povratnome razdoblju od približno 475 godina. Te vrijednosti predstavljaju standardni seizmički hazard za stambene i druge građevine u urbanim područjima. U slučaju projektiranja stadiona ili građevina veće važnosti i okupljanja primjenjuje se stroži kriterij s povratnim

razdobljem od 2475 godina (vjerojatnost pojave 2 % u 50 godina) prema mjerodavnim propisima. Dobivene 475-godišnje vrijednosti omogućuju usporedbu razina seizmičke opasnosti između analiziranih gradova te upozoravaju na područja u kojima povećana seizmička aktivnost može predstavljati i veći potencijalni rizik od pojave tsunamija u priobalnim zonama.

Sjedinjene Američke Države

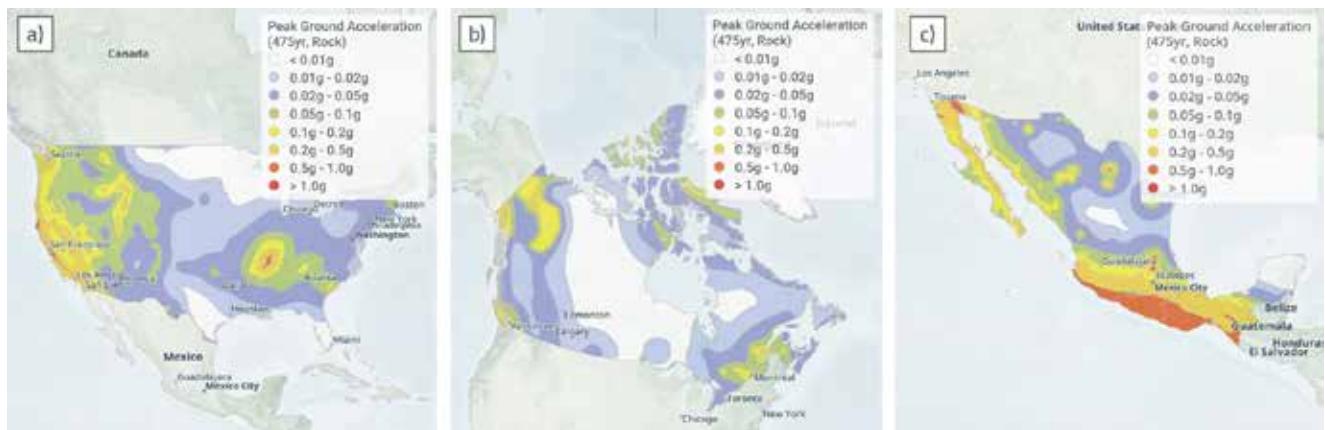
Najveći seizmički hazard u Sjedinjenim Američkim Državama (slika 4.a) prisutan je duž pacifičke obale, osobito u Kaliforniji, Oregonu, Washingtonu i na Aljasci, gdje se dodiruju velike litosferne ploče. U tim regijama događaju se subdukcijski i rasjedni potresi vrlo visokih magnituda, uključujući zonu Cascadia i rasjed San Andreas [8]. Hazard se smanjuje prema unutrašnjosti kontinenta. Međutim, i seizmičke zone unutar ploče (engl. *intra-plate seismic zones*), područja seizmičke aktivnosti unutar same ploče, daleko od njezinih granica, mogu povremeno generirati jače potrese.

Najveći seizmički hazard u Sjedinjenim Američkim Državama prisutan je duž pacifičke obale

Najpoznatiji primjer jest zona New Madrid u središnjemu dijelu SAD-a, gdje se povijesno bilježe snažni potresi. Smatra se kako ih uzrokuje ponovno aktiviranje starih rasjeda i prijenos napreznja s aktivnih rubova ploča [9]. Takvi su potresi rijetki, ali mogu biti vrlo razorni jer nastaju u područjima niske seizmičke pripremljenosti. Najviše vrijednosti ubrzanja tla (PGA) bilježe se uz zapadni obalni pojas, što čini osnovu za seizmičke karte, građevinske propise i planove civilne zaštite usmjerene na ublažavanje posljedica jakih potresa.

Kanada

Seizmički hazard Kanade (slika 4.b) koncentriran je na zapadnu obalu Britanske Kolumbije, gdje se ploča Juan de Fuca



Slika 4. Opasnost od potresa za: a) SAD; b) Kanadu; c) Meksiko [7]

podvlači pod Sjevernoameričku ploču. Zona Cascadia može proizvesti potrese magnitude do 9 prema Richteru, s dugotrajnim podrhtavanjem tla.

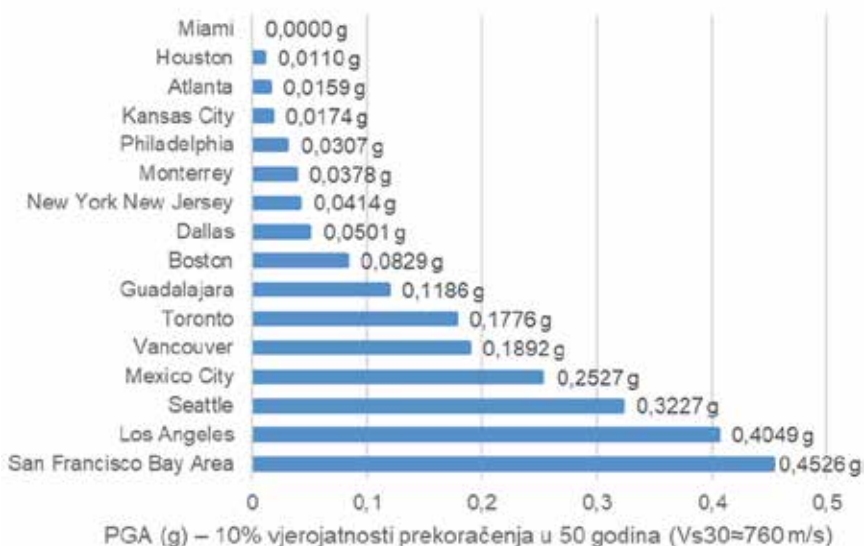
Seizmički hazard Kanade koncentriran je na zapadnu obalu Britanske Kolumbije

U unutrašnjosti zemlje hazard je znatno manji, no u unutarpločnim zonama poput Charlevoixa i Ottawa Valleyja povremeno se bilježe jači potresi. Takvi događaji obično su posljedica drevnih rasjednih struktura koje su ponovno aktivirane, naprimjer, pod utjecajem unutarnjih naprezanja ploče. Najviše vrijednosti PGA pojavljuju se uz pacifičku obalu, dok su atlantska i arktička područja niskog hazarda. Ti podaci služe kao temelj za nacionalne seizmičke karte, građevinske norme i sustave ranog upozoravanja koji povećavaju razinu sigurnosti obalnih zajednica [10].

Meksiko

Seizmički hazard Meksika (slika 4.c) najveći je uz pacifičku obalu, posebno u saveznom državama Oaxaci, Guerrero, Michoacánu, Colimi i Chiapasu, gdje se ploče Cocos i Rivera podvlače pod Sjevernoameričku ploču. Ti procesi uzrokuju česte potrese magnitude iznad 7 prema Richteru, a povremeno i iznimno jake događaje s razornim posljedicama. Najviše vrijednosti ubrzanja tla zabilježene su uz južnu obalu, dok se u unu-

PGA (g) pri povratnom razdoblju od 475 godina - po gradu



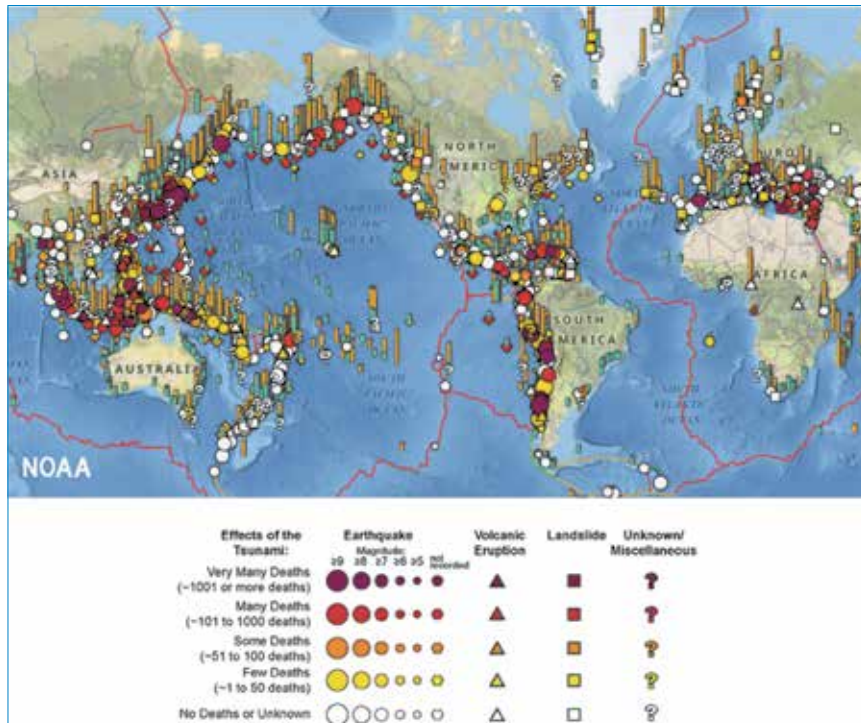
Slika 5. PGA (g) pri povratnome razdoblju od 475 godina: stadioni FIFA Svjetskog prvenstva 2026. [7]

trašnjosti hazard smanjuje, ali može biti pojačan zbog mekih sedimenata, osobito u Ciudad de México. Seizmičke karte i procjene hazarda temelj su za građevinske propise, prostorno planiranje i mjere civilne zaštite, koje imaju ključnu ulogu u smanjenju budućih posljedica potresa [11].

Seizmički hazard Meksika najveći je uz pacifičku obalu, posebno u saveznom državama Oaxaci, Guerrero, Michoacánu, Colimi i Chiapasu

Hazard od tsunamija

Procjena hazarda od tsunamija temelji se na analizi geotektonskih obilježja, povijesnih potresa i modeliranju inundacije (prodiranja morske vode na kopno), čime se određuju vjerojatnost pojave i intenzitet mogućih valova na pojedino području. Dobiveni rezultati služe kao temelj za izradu karata inundacije, planiranje evakuacijskih ruta te uspostavu sustava ranog upozoravanja, koji zajedno čine osnovu za učinkovito upravljanje rizikom od tsunamija. Mnoge države izradile su vlastite modele i karte tsunamija koje pomažu u



Slika 6. Preglednik prirodnih opasnosti Nacionalnih centara za informacije o okolišu (engl. *National Centers for Environmental Information - NCE*) [12]

planiranju civilne zaštite i prostornome uređenju obalnih područja. Takvi modeli često uključuju i probabilističku procjenu hazarda (PTHA), redovito se ažuriraju te se povezuju s lokalnim planovima pripravnosti. Na taj se način znanstvena procjena opasnosti povezuje s konkretnim mjerama kojima se smanjuju rizici i povećava razina otpornosti zajednica na obalnim područjima (slika 6.).

Procjena hazarda od tsunamija temelji se na analizi geotektonskih obilježja, povijesnih potresa i modeliranju inundacije, čime se određuju vjerojatnost pojave i intenzitet mogućih valova na pojedinome području

Sjedinjene Američke Države

Najveći hazard od tsunamija u Sjedinjenim Američkim Državama prisutan je uz pacifičku obalu, osobito u državama Kaliforniji, Oregonu, Washingtonu, Aljaski i Havajima, gdje se duž subdukcijskih zona

događaju potresi vrlo velikih magnituda koji mogu generirati razorne valove. Najteže katastrofe zabilježene su 1946. (aleutski potres) i 1964. (veliki aljaški potres), dok udaljeni potresi poput japanskog iz 2011. mogu prouzročiti mjerljive valove i na američkim obalama. Procjene hazarda temelje se na modelima sustava *NOAA Tsunami Warning System*, osnovanog uslijed spomenutog potresa na Aljasci 1964., i USGS seizmičkim podacima koji omogućuju izradu karata inundacije i identifikaciju najizloženijih zona obalne infrastrukture. Ti podaci čine podlogu za daljnje planiranje evakuacijskih ruta i građevinskih normi u obalnim zajednicama [13].

Kanada

U Kanadi je najveći hazard od tsunamija koncentriran uz zapadnu obalu Britanske Kolumbije, gdje se ploča Juan de Fuca podvlači pod Sjevernoameričku ploču u sklopu subdukcijske zone Cascadia. Ta geološka struktura može proizvesti potrese magnitude veće od 8 prema Richteru, praćene razornim tsunamijima koji bi, prema modelima, mogli dosegnuti

obalu u roku od 20 do 30 minuta, s valovima visine do 15 metara. Tsunami kod Grand Banksa 1929. usmrtio je 28 ljudi u Newfoundlandu, dok je tsunami iz 1964., izazvan potresom koji se dogodio na Aljasci na Veliki petak, pogodio Port Alberni i uništio 375 domova. Procjena hazarda provodi se kroz programe *Natural Resources Canada (NR-Can)* i *Emergency Management British Columbia (EMBC)*, koji koriste seizmičke i batimetrijske podatke za izradu modela inundacije i procjenu ugroženih zona [14].

Meksiko

Hazard od tsunamija u Meksiku najveći je uz pacifičku obalu, gdje se ploče Cocos (Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Chiapas) i Rivera (Colima, Jalisco) podvlače pod Sjevernoameričku ploču. Takvi događaji često generiraju lokalne tsunamije koji do obale stižu u nekoliko minuta, pri čemu oblik zaljeva i lokalna batimetrija mogu dodatno pojačati amplitudu i prodor valova. Povijesni podaci i moderni senzorski sustavi potvrđuju da su Oaxaca, Guerrero, Michoacán i Colima područja s najvećom vjerojatnošću pojave razornog tsunamija.

U praksi, brzo prepoznavanje prirodnih znakova (jak potres, brzo povlačenje ili nagli porast razine mora) te evakuacija na viši teren ostaju ključne mjere, uz primjenu nacionalnih smjernica i edukacije stanovništva. Time se smanjuje ranjivost obalnih zajednica unatoč trajno povišene hazardu u subdukcijskome pojasu Meksika [15].

Rizik od tsunamija za stadione domaćine Svjetskoga nogometnog prvenstva 2026.

Rizik od tsunamija definira se kao vjerojatnost nastanka štete ili gubitaka zbog djelovanja toga prirodnog fenomena, a određuje se kroz tri međusobno povezana elementa: opasnost (*hazard*), izloženost (*exposure*) i ranjivost (*vulnerability*). Drugim riječima, rizik ovisi o snazi samog događaja, broju izloženih ljudi, količini i vrijednosti izložene infrastrukture te sposobnosti da se izdrže ili ublaže po-

Tablica 1. Ključni pojmovi procjene rizika i relevantne institucije

Pojam	Kratka definicija	Primarne institucije / okvir	Dokument ili standard
Hazard (opasnost)	Vjerojatnost i intenzitet pojave tsunamija na određenom području.	UNDRR, NOAA/NTHMP, USGS, NRCAN/EMBC, CENAT (SEMAR)	PTHA izvješća, nacionalne karte hazarda
Exposure (izloženost)	Broj i važnost ljudi i infrastrukture koji mogu biti pogođeni.	UNDRR, FEMA, nacionalni sustavi CZ	Community Exposure Index, lokalne procjene izloženosti
Vulnerability (ranjivost)	Stupanj osjetljivosti ljudi, građevina ili sustava na posljedice događaja.	UNDRR, FEMA, ASCE	FEMA HAZUS, ASCE smjernice o otpornosti
Risk (rizik)	Kombinacija $H \times E \times V$; pokazuje očekivane gubitke i posljedice.	UNDRR, FEMA, World Bank / GFDRR	Okviri procjene rizika i DRR strategije
PTHA	Probabilistička procjena tsunami hazarda (vjerojatnost + intenzitet).	NOAA/NTHMP, USGS, IOC-UNESCO	Nacionalni PTHA modeli i karte inundacije
Hth (threshold height)	Minimalna visina iznad koje se građevina nalazi izvan dosega vala (screening).	FEMA	FEMA P-646; ASCE/SEI 7 – Tsunami Loads and Effects

sljedice. U općenitome obliku taj se odnos izražava na sljedeći način:

Rizik = Opasnost \times Izloženost \times Ranjivost

Procjena seizmičkog i hazarda od tsunamija, odnosno vjerojatnosti pojave potresa i tsunamija određene jačine, te s njima povezanih rizika za stanovništvo, infrastrukturu i gospodarstvo, neophodna je za planiranje sustava civilne zaštite, ranog upozoravanja i evakuacijskih planova u priobalnim područjima.

Analiza rizika od tsunamija za stadione domačine Svjetskoga nogometnog prvenstva 2026. godine provedena je kako bi se procijenilo u kojoj bi mjeri seizmička aktivnost i mogući sekundarni učinci poput tsunamija mogli utjecati na sigurnost obalnih gradova i sportske infrastrukture. Takva analiza omogućuje bolje razumijevanje razine izloženosti pojedinoga grada te pomaže u planiranju preventivnih i zaštitnih mjera tijekom održavanja sportskog događaja.

Ključni pojmovi i institucionalni okvir

Procjena rizika temelji se na međunarodno prihvaćenim metodološkim okvirima koje primjenjuju institucije poput Ureda Ujedinjenih naroda za smanjenje rizika od katastrofa (UNDRR – *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*), Savezne agencije za upravljanje izvanrednim situacija-

ma Sjedinjenih Američkih Država (FEMA – *Federal Emergency Management Agency*), Nacionalne oceanografske i atmosfere administracije SAD-a (NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*), Geološkog instituta Sjedinjenih Američkih Država (USGS – *United States Geological Survey*), *Natural Resources Canada* (NRCAN), *Emergency Management British Columbia* (EMBC) i Nacionalnog centra za seizmološka istraživanja Kostarike (CENAT – *Centro Nacional de Alta Tecnología*).

U tablici 1. prikazani su osnovni pojmovi i dokumenti koji čine temelj procjene rizika od tsunamija.

Pokazatelji izloženosti stadiona domačina














Za potrebe procjene izloženosti analizirani su svi gradovi domačini Svjetskoga nogometnog prvenstva 2026. U obzir su uzeta tri osnovna parametra: udaljenost stadiona od obale, nadmorska visina lokacije i kapacitet stadiona. Uz fizikalno-geografske pokazatelje analizirana je povijesna učestalost tsunamija u područjima gradova domačina. Prostornom analizom u QGIS-u evidentirani su povijesni tsunamiji u blizini promatranih lokacija, čime je omogućena procjena dugoročne izloženosti pojedinih obalnih područja. Ti čimbenici ne utječu na pojavu samog tsunamija, ali određuju razinu potencijalne ugroženosti i broj ljudi koji bi mogli biti pogođeni u slučaju ekstremnog događaja.






Slika 7. Prostorna analiza izloženosti tsunamiju stadiona domačina Svjetskog prvenstva 2026. izrađena u QGIS-u

Analiza dostupnih GIS podataka provedena u QGIS-u pokazuje jasnu povezanost između povijesnih tsunamija, granica tektonskih ploča i položaja stadiona domačina Svjetskog prvenstva 2026. Najveća zastupljenost evidentiranih tsunamija vidljiva je posebno na području zapadne obale Kanade, Sjedinjenih Američkih Država i Meksika. Na tim područjima tsunamiji se prostorno podudaraju s aktivnim granicama tektonskih ploča Pacifičkoga vatrenog prstena, odnosno nalaze se u blizini subdukcijske zone.

Tablica 2. Osnovni pokazatelji izloženosti i kategorizacije hazarda od tsunamija stadiona domaćina SP-a 2026.

Identifikacija stadiona				Pokazatelji izloženosti				Kategorizacija tsunami hazarda		
R. br.	Stadion / FIFA naziv	Grad i država Kapacitet		Kapacitet*	Udaljenost od obale [km]*	Nadmorska visina [m]**	Povijesna učestalost*	NOAA sektor	Tip obale	Tip tsunami hazarda
		Grad	Država							
1	AT&T Stadium / Dallas Stadium	Dallas, Arlington, Texas		94.000	393,93	175,00	NISKA	—	Inland	Nema
2	MetLife Stadium / New York/ New Jersey Stadium	New York – East Rutherford, New Jersey		82.500	6,61	2,00	ŠEST (posljednji 1944.)	North Atlantic	Atlantic Ocean	Ocean tsunami
3	Mercedes-Benz Stadium / Atlanta Stadium	Atlanta, Georgia		75.000	345,41	310,00	NISKA	—	Inland	Nema
4	GEHA Field at Arrowhead Stadium / Kansas City Stadium	Kansas City, Missouri		73.000	1059,56	257,00	NISKA	—	Inland	Nema
5	NRG Stadium / Houston Stadium	Houston, Texas		72.000	32,42	14,00	NISKA	Gulf of America	Gulf Coast	Ocean tsunami
6	Levi's Stadium / San Francisco Bay Area Stadium	San Francisco Bay Area – Santa Clara, California		71.000	8,08	3,01	OSAM (posljednji 1989.)	West	Pacific Ocean	Ocean tsunami (subduction)
7	SoFi Stadium / Los Angeles Stadium	Los Angeles – Inglewood, California		70.000	8,93	30,00	SEDAM (posljednji 1994.)	West	Pacific Ocean	Ocean tsunami (subduction)
8	Lumen Field / Seattle Stadium	Seattle, Washington		69.000	0,61	4,00	PET (posljednji 1949.)	West	Pacific Ocean	Ocean tsunami (Cascadia)
9	Lincoln Financial Field / Philadelphia Stadium	Philadelphia, Pennsylvania		69.000	0,42	3,00	JEDAN (1840.)	North Atlantic	Atlantic Ocean	Ocean tsunami
10	Hard Rock Stadium / Miami Stadium	Miami Gardens, Florida		65.000	11,58	3,00	NISKA	Gulf of America	Atlantic/ Gulf	Ocean tsunami
11	Gillette Stadium / Boston Stadium	Boston – Foxborough, Massachusetts		65.000	29,80	78,00	JEDAN (1668.)	North Atlantic	Atlantic Ocean	Ocean tsunami
12	BC Place / BC Place Vancouver	Vancouver, British Columbia		54.000	1,42	9,00	NISKA	West	Pacific Ocean	Ocean tsunami (Cascadia)
13	BMO Field / Toronto Stadium	Toronto, Ontario		45.000	388,05	75,00	NISKA	Great Lakes	Lake Ontario	Lake tsunami / seiche

Tablica 2. Osnovni pokazatelji izloženosti i kategorizacije hazarda od tsunamija stadiona domaćina SP-a 2026. - nastavak

Identifikacija stadiona				Pokazatelji izloženosti				Kategorizacija tsunami hazarda		
R. br.	Stadion / FIFA naziv	Grad i država		Kapacitet*	Udaljenost od obale [km] *	Nadmorska visina [m] **	Povijesna učestalost *	NOAA sektor	Tip obale	Tip tsunami hazarda
		Grad	Država							
14	Estadio Azteca / Mexico City Stadium	Monterrey, Guadalupe		83.000	256,82	2241,00	JEDAN (1837.)	—	Inland	Nema
15	Estadio BBVA / Estadio Monterrey	Monterrey, Guadalupe		53.500	279,09	495,00	NISKA	—	Inland	Nema
16	Estadio Akron / Estadio Guadalajara	Guadalajara, Zapopan		48.000	184,14	1668,00	NISKA	—	Inland	Nema

*QGIS, **Google Earth

U analizu je uključen i batimetrijski sloj koji predstavlja prostorni prikaz dubina mora, jezera, oceana ili rijeka u rasterskome obliku, pri čemu svaka ćelija rastera sadržava vrijednost dubine u odnosu na razinu mora. Batimetrijski podaci važni su za razumijevanje širenja valova tsunamija jer dubina mora izravno utječe na njihovu brzinu, smjer i ponašanje pri približavanju obali. Valovi tsunamija u dubokome oceanu putuju velikim brzinama i uglavnom imaju malu visinu, no pri dolasku u plića obalna područja dolazi do njihova usporavanja i povećanja visine valova zbog koncentracije energije. Zbog toga konfiguracija i dubina oceanskog dna mogu znatno utjecati na intenzitet i razornu snagu tsunamija u pojedinim obalnim područjima.

Sloj *Zona 100 km od povijesnih tsunamija* izrađen je oko evidentiranih tsunamija koji prikazuju područja koja su tijekom povijesti bila pogođena pojavama tsunamija ili su se nalazila u njihovoj neposrednoj blizini. Za njegovu izradu korištena je naredba Zaštitna zona (engl. *Buffer*). Ona je predstavljena kao vektorski poligon određene udaljenosti oko odabranoga drugog vektorskog sloja (točkastog, linijskog ili poligonskog). Analiza pokazuje koncentraciju povijesnih tsunamija uz pacifičku obalu Sjeverne Amerike, osobito u područjima gdje se dodiruju velike litosferne ploče. Zbog takvih tektonskih uvjeta pacifička obala Sjeverne Amerike posebno je važna u procjeni mogućeg hazarda od tsunamija.

Karta također potvrđuje kako povijesna učestalost tsunamija ne mora neophodno odgovarati razini budućeg rizika, jer pojedina područja mogu imati visoku potencijalnu ugroženost unatoč manjemu broju zabilježenih događaja.

Iako je današnji hazard od tsunamija na istočnoj obali SAD-a, primjerice, na području New Yorka, relativno nizak zbog udaljenosti od aktivnih subdukcijskih zona i slabije seizmičke aktivnosti Atlantskog oceana, na karti je prikazan veći broj povijesno evidentiranih događaja tsunamija. S druge strane, Vancouver se ne nalazi unutar izraženijih zona povijesne tsunamijske aktivnosti, no njegovo područje smješteno je u izrazito aktivnoj tektonskoj regiji te predstavlja lokaciju visokoga potencijalnog rizika zbog neposredne blizine subdukcijske zone Cascadia i oceanskog jarka (*trench*), gdje postoji mogućnost nastanka megapotesa i snažnih valova tsunamija.

Gradovi poput Vancouvera, Seattlea i Philadelphije nalaze se blizu obale, na niskoj nadmorskoj visini i u opasnijoj tektonskoj regiji, što ih svrstava među lokacije s većom izloženosti. Suprotno tome, gradovi u unutrašnjosti poput Dallasa, Atlante ili Kansas Cityja imaju zanemarljivu izloženost budući da se nalaze daleko od oceana.

Nazivi NOAA sektora tsunamija korišteni su kao prostorni referentni okvir za interpretaciju izloženosti stadiona tsunamiju. Sektori se odnose konkretno na obalu,

a ne izravno na stadione. Zbog toga su obalni stadioni pridruženi odgovarajućem sektoru prema prostorno najbližoj obali, dok stadioni u unutrašnjosti nisu izravno povezani.

Metodologija procjene praga visine građevina (*Threshold Height*) prema FEMA P-646

Procjena minimalne visine na kojoj se građevine u priobalnim područjima mogu smatrati sigurnima od djelovanja tsunamija temelji se na metodologiji propisanoj u smjernici *FEMA P-646: Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis* (2019.). Ta metoda omogućuje inženjersku procjenu praga visine građevine (*Threshold Height*, H_{th}), odnosno visine iznad koje standardna građevina projektirana prema seizmičkim standardima više nije izložena hidrodinamičkome djelovanju vala. Metoda se temelji na procijenjenoj maksimalnoj visini vala ($R - run-up height$) za određenu lokaciju. Na tu se vrijednost dodaje sigurnosna rezerva (*freeboard*) od 12 stopa (3,66 m), a zatim se rezultat zaokružuje na najbližih 5 stopa (1,52 m). Minimalni prag visine iznosi 25 stopa (7,62 m), što osigurava dodatnu razinu sigurnosti i u područjima s manjim valovima. Matematički se kriterij izražava izrazima:

$$H_{th,ft} = \max\left(25, 5 \cdot \text{round}\left(\frac{R_{ft} + 12}{5}\right)\right)$$

odnosno u metričkome sustavu:

Tablica 3. Procijenjeni *run-up* i prag visine H_{th} za sve gradove domačine

Grad	Run-up [ft]	Run-up [m]	Prag visine H_{th} [ft]	Prag visine H_{th} [m]	Izvor
Vancouver	65,60	20,00	80,00	24,39	Numerical modeling of Cascadia Subduction Zone tsunami at Seal Cove, British Columbia Str. 2
Seattle	10,14	3,09	25,00	7,62	ASCE Tsunami hazard tool [22]
San Francisco Bay Area	85,96	26,20	100,00	30,48	ASCE Tsunami hazard tool [22]
Los Angeles	32,51	9,91	45,00	13,72	ASCE Tsunami hazard tool [22]
New York – New Jersey	0,00	0,00	25,00	7,62	ASCE Tsunami hazard tool [22]
Miami	0,00	0,00	25,00	7,62	ASCE Tsunami hazard tool [22]
Toronto	0,00	0,00	25,00	7,62	ASCE Tsunami hazard tool [22]
Boston	0,00	0,00	25,00	7,62	Inland
Philadelphia	0,00	0,00	25,00	7,62	Inland
Houston	0,00	0,00	25,00	7,62	ASCE Tsunami hazard tool [22]
Mexico City	0,00	0,00	25,00	7,62	Inland
Monterrey	0,00	0,00	25,00	7,62	Inland
Guadalajara	0,00	0,00	25,00	7,62	Inland
Dallas	0,00	0,00	25,00	7,62	Inland
Atlanta	0,00	0,00	25,00	7,62	Inland
Kansas City	0,00	0,00	25,00	7,62	Inland

$$H_{th,mt} = \max \left(7,62 \cdot 1,524 \cdot \text{round} \left(\frac{R_m + 3,658}{1,524} \right) \right)$$

gdje je:

R – procijenjena najviša visina vala [m] ili [ft]; H_{th} – prag visine građevine, odnosno minimalna visina konstrukcije ili razine terena iznad koje se ne očekuje hidrodinamičko djelovanje vala; *Freeboard* dodatna sigurnosna visina 12 [ft] = 3,66 [m] koja osigurava sigurnosnu rezervu zbog neizvjesnosti u procjeni visine vala i modeliranju inundacije.

Visina *run-upa* (R) predstavlja najveću visinu do koje voda doseže na obali tijekom tsunamija, mjerenu iznad srednje razine mora. Ta se vrijednost uobičajeno određuje na temelju numeričkih modela širenja tsunamija i karata inundacije koje izrađuju nacionalne agencije i međunarodne institucije. U ovome radu korištene su već postojeće procijenjene vrijednosti *run-upa* preuzete iz dostupnih modela za hazard od tsunamija i javno dostupnih baza podataka. Za područje Sjedinjenih Američkih Država korišteni su podaci sustava *FEMA P-646 (2019)* i *NOAA Tsunami Hazard Viewer*, za

Kanadu modeli *Emergency Management British Columbia* (EMBC), a za Meksiko podaci *Centro de Alerta de Tsunamis* (CENAT) i *Secretaría de Marina* (SEMAR). Podaci korišteni u radu odnose se na procijenjene maksimalne visine inundacije i *run-up* vrijednosti za analizirane obalne lokacije te su korišteni kao ulazni parametar R u izrazu prema *FEMA P-646* za određivanje minimalne sigurne visine građevine (H_{th}).

Prema toj metodologiji, procijenjeni prag visine omogućuje preliminarno razlikovanje područja u kojima je standardni seizmički proračun dovoljan (tsunamij-ska opterećenja manja od seizmičkih) od područja u kojima su potrebni specifični tsunamij-ski zahtjevi za projektiranje standardnih te evakuacijskih građevina, kao što su vertikalne evakuacijske kule, povišene platforme ili zgrade projektirane prema poglavljima ASCE/SEI 7 – *Tsunami Loads and Effects* [17].

Primjena metode na gradove domačine Svjetskog prvenstva 2026.

Na temelju ranije procijenjenih vrijednosti *run-upova* (R) proveden je izračun

praga visine (H_{th}) za svaki grad domačina. Dobivene vrijednosti prikazane su u tablici 3.

Za obalne gradove (Vancouver, Seattle, San Francisco Bay Area te Los Angeles) korištene su procijenjene vrijednosti *run-upa* (R) iz tzv. *screening* analize. Za gradove u unutrašnjosti (Boston, Philadelphia, Houston, Mexico City, Monterrey, Guadalajara, Dallas, Atlanta, Kansas City) postavljen je $R \approx 0$ radi inicijalnog *screeninga* (bez relevantne opasnosti od tsunamija). Prema FEMA P-646, u tim slučajevima vrijedi minimalni prag $H_{th} = 25$ ft (7,6 m).

Analiza rizika od tsunamija za stadione domačine pokazuje kako je izloženost obalnih gradova, osobito uz Tih ocean, znatno veća nego kod gradova u unutrašnjosti te gradova duž američkoga atlantskog ruba

Analiza rizika od tsunamija za stadione domačine pokazuje kako je izloženost obalnih gradova, osobito uz Tih ocean,



Slika 8. Prag visine građevine iznad dosega vala tsunamijsa [16]

znatno veća nego kod gradova u unutrašnjosti te gradova duž američkoga atlantskog ruba. Tsunamijsi uz atlantsku obalu vrlo su rijetki događaji jer se to područje nalazi u zoni slabe i spore tektonske aktivnosti. Potencijalna podmorska klizišta uzrokovana potresima, koja bi mogla izazvati tsunami, ondje su puno rjeđa nego uz pacifički rub, gdje se susreću aktivne tektonske ploče i gdje su snažni potresi češći. Kombinacijom fizikalnih podataka (*run-up*, udaljenost, nadmorska visina) i inženjerske metodologije [16] moguće je precizno odrediti razine rizika i definirati potrebne mjere zaštite. Takav pristup povezuje znanstvenu procjenu hazarda s praktičnim planiranjem sigurnosti velikih javnih okupljanja poput Svjetskog prvenstva u nogometu.

Prevenција i pripravnost

Prevenција i pripravnost za tsunami temelje se na integriranome sustavu koji povezuje međunarodne, nacionalne i lokalne mehanizme ranog upozoravanja, infrastrukturne mjere i edukaciju zajednica. Sustav djeluje u sklopu Pacifičkog sustava za upozoravanje na tsunamijsa

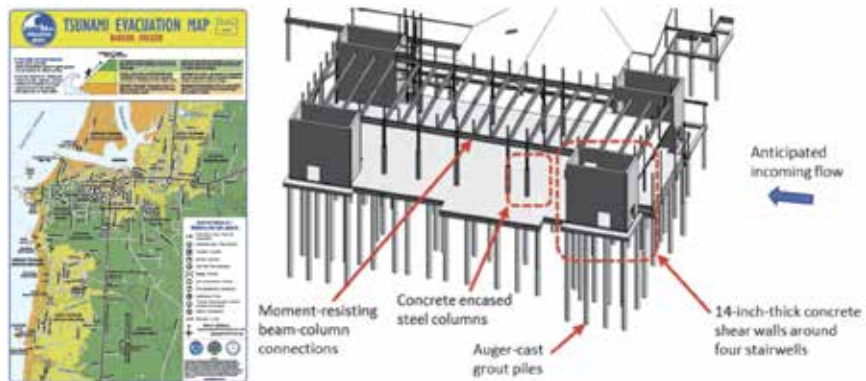
(*Pacific Tsunami Warning System – PTWS*) pod okriljem IOC-UNESCO-a, koji koristi mreže seizmografa, mareografa i DART plutača za brzo otkrivanje anomalija u razini mora. Nacionalni centri NOAA u SAD-u, EMBC u Kanadi i CENAT u Meksiku integrirani su u taj okvir i djeluju prema zajedničkim međunarodnim smjernicama [5].

Na nacionalnoj razini prevencija se ostvaruje kroz programe koji kombiniraju tehničke sustave s institucionalnim i edukacijskim mjerama. U SAD-u FEMA i NOAA provode program *TsunamiReady*, kojim se certificiraju zajednice s razra-

đenim planovima evakuacije, sustavima sirena i periodičnim vježbama. U Kanadi primjenjuje se sustav *Tsunami Notification Zones* (A–E) uz redovite simulacije i obuku lokalnih službi, dok Meksiko putem SEMAR-a (*Secretaría de Marina*) i CENAT-a razvija nacionalne vježbe i digitalne platforme poput *ListoMX-a*.

Fizičke mjere zaštite uključuju planiranje evakuacijskih ruta (slika 8.) i označenih sigurnih zona te izgradnju vertikalnih građevina za evakuaciju (*Tsunami Evacuation Buildings*) u visokorizičnim područjima prema smjernicama *FEMA P-646* [16]. Takve konstrukcije već su implementirane u Oregonu i Washingtonu, dok se slična rješenja planiraju u Vancouveru. Prostorno planiranje i projektiranje građevina u obalnim područjima sve više uključuje i specifične kriterije otpornosti u pogledu tsunamijsa, što predstavlja primjer dobre prakse u urbanome planiranju obalnih zona.

Ključan segment pripravnosti čini edukacija stanovništva i posjetitelja. Javne kampanje, školski programi i digitalne platforme (*Know Your Zone*, *ListoMX*) usmjerene su na prepoznavanje prirodnih znakova tsunamijsa (naglo povlačenje mora, podrhtavanje tla) i brzo reagiranje. Tijekom velikih međunarodnih događaja poput Svjetskog prvenstva 2026. preporučuje se uspostava privremenih protokola upozorenja te suradnja organizatora s lokalnim sigurnosnim službama, čime se osigurava brza i učinkovita reakcija u slučaju ekstremnog događaja. Zato su prevencija i pripravnost neprekidni proces koji povezuje znanstvene,



Slika 9. a) Evakuacijska mapa za Bandon, u Oregonu, u SAD-u; b) Konstrukcijski sustav zgrade za zaštitu od tsunamijsa

institucionalne i društvene mehanizme radi očuvanja života, imovine i infrastrukture. Sustavno ulaganje u edukaciju, planiranje i tehničku opremljenost zajednica najvažniji je korak prema stvaranju otpornijih obalnih područja.

Zaključak

Analiza prikazana u ovom članku potvrđuje kako se gradovi domaćini Svjetskog nogometnog prvenstva 2026. razlikuju po razini izloženosti i ranjivosti na rizik od tsunamija. Najveći rizik

bilježe priobalni gradovi uz Tih ocean, gdje se očekuju visoke vrijednosti procijenjene najviše visine vala R i potreba za dodatnim mjerama zaštite. Metodologija *FEMA P-646* pokazala se korisnim alatom za definiranje minimalne sigurnosne visine građevina i za procjenu tehničke otpornosti infrastrukture. Procjena rizika i planiranje pripravnosti nisu samo tehnički, već i društveni procesi koji zahtijevaju koordinaciju znanstvenih institucija, civilne zaštite i lokalne zajednice. Prostorna analiza u QGIS-u dodatno je pokazala kako povijesna

učestalost tsunamija ne mora neophodno odgovarati razini budućeg hazarda, što potvrđuju primjeri Vancouvera i New Yorka. Time je naglašena važnost uključivanja tektonskih, geografskih i batiometrijskih obilježja u procjenu rizika od tsunamija, a ne oslanjanje isključivo na povijesne podatke. Sustavno ulaganje u edukaciju, rano upozoravanje i urbanu otpornost ključno je za smanjenje mogućih posljedica budućih događaja te za sigurnu provedbu velikih međunarodnih događanja poput Svjetskoga nogometnog prvenstva.

LITERATURA

- [1] FIFA World Cup 26: What are the official addresses, stadium capacities and maps of the FIFA World Cup 26™ stadiums?, <https://gpcustomersupportfwc2026.tickets.fifa.com/hc/en-gb/articles/28784010437021-2-What-are-the-official-addresses-stadium-capacities-and-maps-of-the-FIFA-World-Cup-2026-stadiums>, [29.10.2025.]
- [2] Satake, K., Atwater, B.F.: Long-term perspectives on giant earthquakes and tsunamis at subduction zones, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 35 (2007), pp. 349-374, doi:10.1146/annurev.earth.35.031306.140302.
- [3] NOAA: The science behind tsunamis, <https://www.noaa.gov/explainers/science-behind-tsunamis>, [6.12.2024.]
- [4] Tsunami cause, https://kidspressmagazine.com/wp-content/uploads/2014/04/dreamstimeextralarge_28627345-2.jpg, [27.10.2025.]
- [5] IOC-UNESCO: Tsunami Risk Reduction Guidelines – Building Resilient Coastal Communities, Intergovernmental Oceanographic Commission, 2021.
- [6] U.S. Geological Survey (USGS): What is it about an earthquake that causes a tsunami?, *Earthquake Hazards Program*, U.S. Department of the Interior, <https://www.usgs.gov/faqs/what-it-about-earthquake-causes-a-tsunami>, [27.10.2025.]
- [7] Johnson, K., Villani, M., Bayliss, K., Brooks, C., Chandrasekhar, S., Chartier, T., Chen, Y.-S., Garcia-Pelaez, J., Gee, R., Styron, R., Rood, A., Simionato, M., Pagan, M.: *Global Seismic Hazard Map*, Zenodo, 2023, doi:10.5281/zenodo.8409647.
- [8] U.S. Geological Survey: 2023 US National Seismic Hazard Model: Overview and Implications, <https://www.usgs.gov/publications/2023-us-50-state-national-seismic-hazard-model-overview-and-implications>, [29.10.2025.]
- [9] U.S. Geological Survey: New Madrid Seismic Zone, *Earthquake Hazards Program*, 2023, <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/new-madrid-seismic-zone>, [29.10.2025.]
- [10] Adams, J., Halchuk, S., Allen, T., Rogers, G.: *Canada's 6th Generation Seismic Hazard Model: Overview and Applications*, Proceedings of the 12th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Quebec City, Canada, 2019.
- [11] Servicio Sismológico Nacional (UNAM): La zona de subducción mexicana y su potencial para un sismo mayor, *Boletín del Servicio Sismológico Nacional*, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2020.
- [12] National Centers for Environmental Information (NCEI): *Natural Hazards Viewer*, <https://www.ncei.noaa.gov/maps/hazards>, [20.5.2026.]
- [13] U.S. Tsunami Warning Centers, <https://www.tsunami.gov>, [20.3.2026.]
- [14] Province of British Columbia: Get prepared for a tsunami, <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/safety/emergency-management/preparedbc/known-your-hazards/earthquakes-tsunamis/tsunami>, [20.5.2026.]
- [15] Centro de Alerta de Tsunamis, <https://diredimoat.semarn.gob.mx/cat/centroAlertasTsunamis.html>, [20.3.2026.]
- [16] FEMA P-646: *Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis*, Federal Emergency Management Agency, 2019.
- [17] ASCE/SEI 7-16: *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures – Chapter 6: Tsunami Loads and Effects*, American Society of Civil Engineers, 2022.
- [18] QGIS, <https://qgis.org>, [21.3.2026.]
- [19] NOAA Shoreline Data Explorer, <https://nsde.ngs.noaa.gov>, [22.3.2026.]
- [20] NCEI/WDS Global Historical Tsunami Database, <https://data.noaa.gov/metadata/view/page?header=none&view=getDataView&xml=NOAA%2FNESDIS%2FNGDC%2FMGG%2FHazards%2Fiso%2Fxml%2FG02151.xml>, [25.3.2026.]
- [21] ASCE Tsunami Online, <https://asce7tsunami.online>, [26.3.2026.]
- [22] U.S. Geological Survey: *Pacific Coastal and Marine Science Center – Could It Happen Here?*, <https://www.usgs.gov/centers/pcmsc/could-it-happen-here>, [26.3.2026.]