

POTRES 26. DECEMBRA 2004 V INDONEZIJI – NASTANEK, CUNAMIJI IN POSLEDICE

Earthquake in Indonesia on 26 December 2004 – origin, tsunamies and effects

Renato Vidrih * UDK 550.349(594)“2004”

Povzetek Abstract

Potres 26. decembra 2004 je nastal v seizmogenem območju, ki obkroža Tih ocean in ga imenujemo ognjeni obroč. Njegova magnituda 8,8 (Ms) ga uvršča med najmočnejše potrese zadnjih desetletij. V globinah pod morskim dnom se je aktivirala prelomna cona v dolžini okoli 1000 km. Navpični premik morskega dna je povzročil nastanek cunamija, katerega razsežnosti in posledice so bile katastrofalne. Najmanj 300.000 žrtev bo verjetno predramilo odgovorne, da bodo zgradili alarmni sistem, predvsem pa vzgajali prebivalce o posledicah naravnih nesreč, ki so v teh območjih vsakdanji pojav.

The earthquake of 24 December 2004 originated in the seismographic region that surrounds the Pacific Ocean and is called the Ring of Fire. It's magnitude of 8.8 (Ms) ranks it among the most powerful earthquakes of recent decades. Deep below the ocean floor it activated a fracture zone around 1000 km in length. The vertical shift of the sea floor caused the occurrence of a tsunami, the extent and effects of which were catastrophic. It will have taken at least 300,000 casualties to persuade those responsible to construct an alarm system, and above all educate the population about the effects of natural disasters that are everyday phenomena in those regions.

Uvod

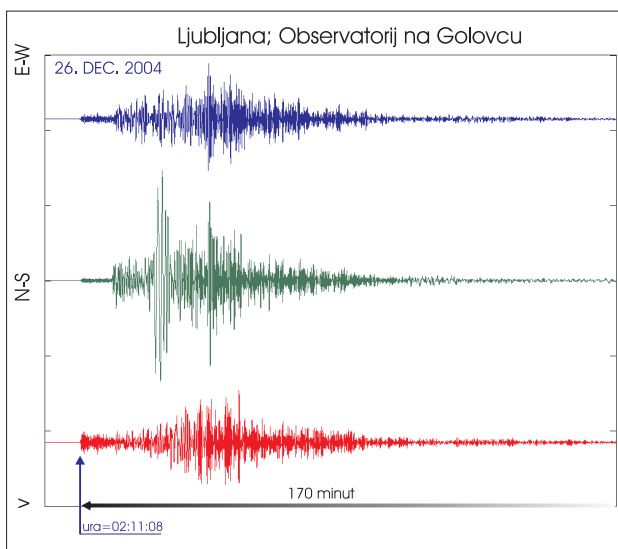
Potres je bil ob 00.58 in 53,4 sekunde (6. 58 po lokalnem času) v globinah pod oceanskim dnom na območju Javanskega globokomorskega jarka. Ocena globine žarišča je majhna, kar je tudi eden glavnih razlogov za tako obsežne posledice. Koordinati nadžarišča sta 3,29 N in 95,98 E (otočje Pulau Simeulue). Do observatorija na Golovcu, ene od opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic v Ljubljani, so potresni valovi potovali 12 minut 18 sekund (738 sekund). Oddaljenost observatorija od žarišča potresa je 81,6 stopinje, kar je približno 9000 km. Enostaven izračun pokaže, da so valovi potovali s povprečno hitrostjo 12,2 km/s (to je približno 12.200 m/s ali 43.900 km/h). Na seizmogramu je prikazanih prvih 170 minut zapisa potresa, kar pomeni, da so potresni valovi večkrat obkrožili planet (Vidrih, Gosar, 2005) (slika 1).

Nastanek in osnovne značilnosti potresa

Žarišče potresa je bilo v vulkansko potresnem pasu, ki obkroža Tih ocean in ga imenujemo »ognjeni obroč« (slika 2). Bil je 26. decembra 2004 ob zahodni obali severnega dela indonezijskega otoka Sumatre med Indoavstralsko in Evrazijsko litosfersko ploščo. Indonezijsko otočje uvrščamo v Tihomorski (Pacifiški) potresni pas, ki po sproščeni potresni energiji daleč presega vsa druga potresna območja na Zemlji. Tu se sprosti več kot 70 % celotne potresne energije. V preteklosti in tudi v prihodnosti so bili in bodo tu nastajali močni potresi. Potresi so posledica podiranja Indoavstralske litosferske plošče pod Evrazijsko ploščo. Podiranje poteka še danes in je izraženo z javanskim globokomorskim jarkom (slika 3). Plošči imata na stiku celinsko litosfero. Oceanska litosfera Indoavstralske plošče je tu nastala že pred nekaj milijoni let, plošči sta trčili druga ob drugo. Zaradi močnih tektonskih napetosti se to ozemlje počasi dviguje.

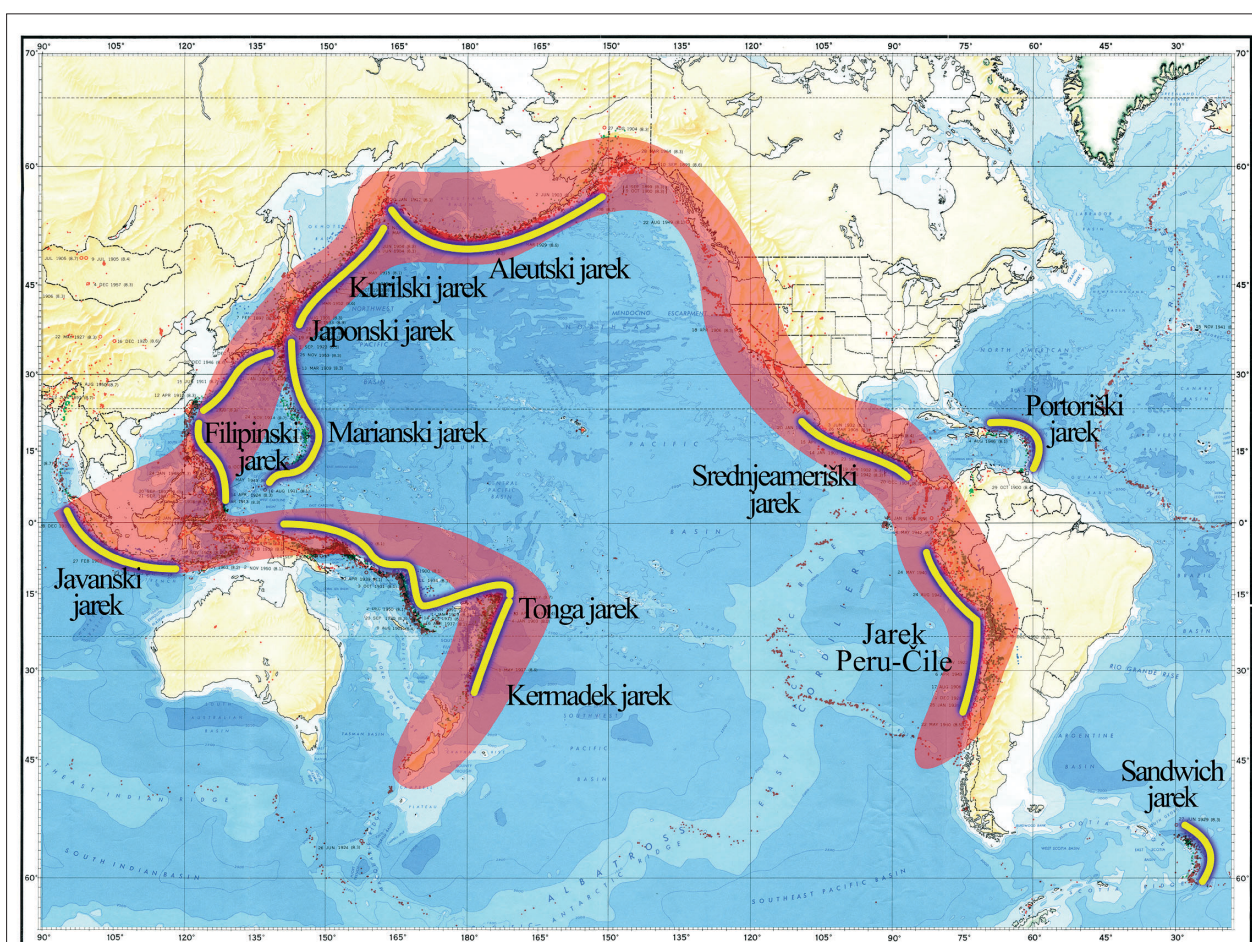
* Mag., Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, Ljubljana, Renato.Vidrih@gov.si

Podrobneje lahko nastanek potresa pripišemo manjšim tektonskim ploščam, ki gradijo to ozemlje. Tektonika tega



Slika 1. Zapis potresa 26. decembra 2004 na opazovalnici državnega omrežja potresnih opazovalnic, na observatoriju na Golovcu v Ljubljani. Potresni valovi so 9000-kilometrsko razdaljo od žarišča potresa do seizmografov na observatoriju prepotovali v 12 minutah in 18 sekundah. Seizmogram prikazuje prvih 170 minut zapisa potresa.

Figure 1. Seismogram of the earthquake on 26 December 2004 at the monitoring station of the national network of seismic monitoring stations, the Observatory on Golovec in Ljubljana. The seismic waves travelled the 9000 km from the focus of the earthquake to the seismograph at the Observatory in 12 minutes and 18 seconds. The seismogram shows the first 170 minutes of the earthquake.

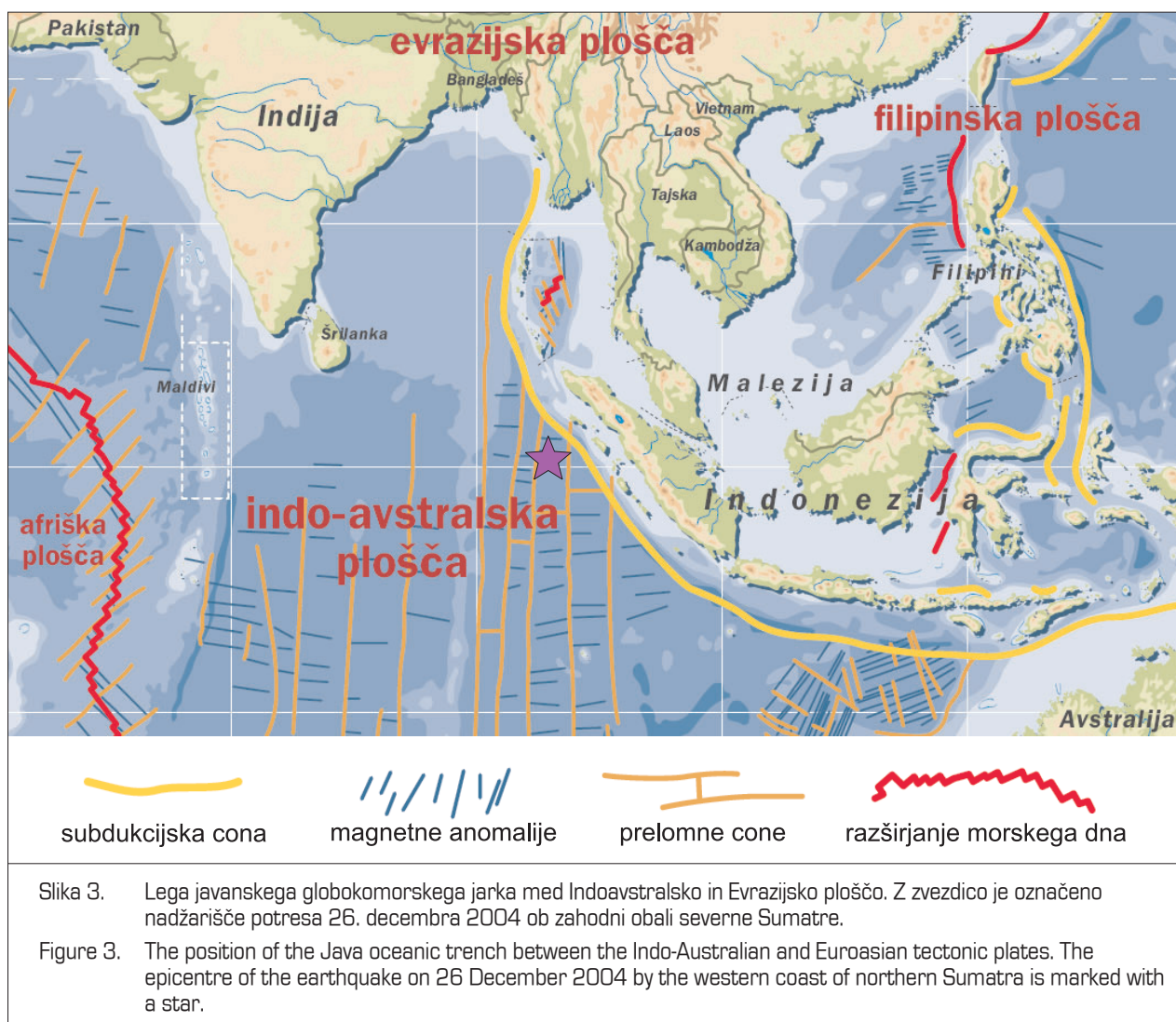


Slika 2. Ognjeni obroč, kakor imenujemo potresnovulkanski pas, ki obkroža Tihi ocean. Tu se sprosti več kot 70 % celotne potresne energije. Rumene črte označujejo globokomorske jareke, kjer se plošče podrivajo druga pod drugo in nastajajo številni močni potresi.

Figure 2. The Ring of Fire, as the volcanic zone that surrounds the Pacific Ocean is called. More than 70% of total seismic energy is released here. The yellow lines mark the oceanic trenches where the tectonic plates are pushing into and being subducted under each other, and where numerous powerful earthquakes occur.

območja je posledica medsebojnega delovanja Avstralske, Javanske in Evrazijske plošče v kombinaciji z Indijsko in Burmansko. Indijska in Avstralska plošča se gibljeta proti severovzhodu s približno hitrostjo okoli 6 cm/leto proti Burmanski plošči. Ta dogajanja se kažejo v Javanskem

tektonskem jarku. Ponekod nastajajo transformni prelomi in cone razširjanja, ki ločujejo Burmansko ploščo od Javanske. Žarišče potresa je nastalo na stičišču Indijske in Burmanske plošče, vzrok pa je bil sprostitvev napetosti, ki se je nakopičila v Indijski plošči zaradi podrivanja, v



Burmanski pa zaradi nadrživanja nanjo. Indijska plošča se spušča v Zemljin plašč na območju Javanskega tektonskega jarka, ki leži zahodno od žarišča potresa (slika 4).

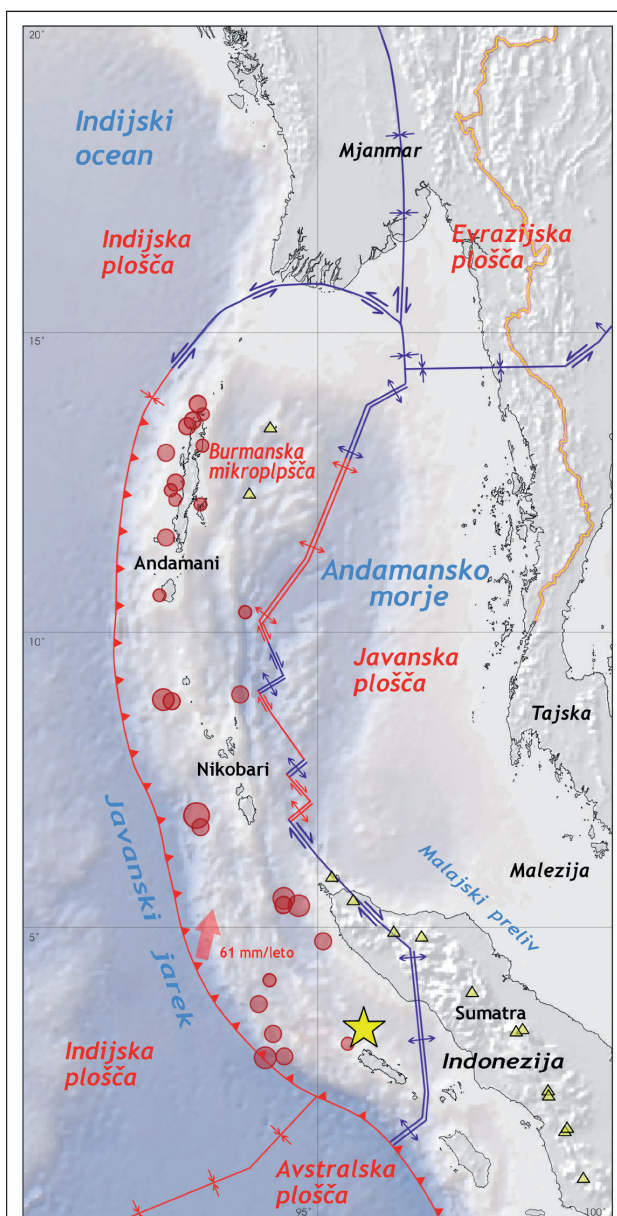
Začasno določene lokacije močnejših popotresnih sunkov z magnitudo, večjo od 4,5, kažejo, da se je aktivirala meja med ploščama v dolžini 1300 km in širini 200 km. Popotresi so razporejeni vzdolž stičišča plošč in se raztezajo severno od žarišča proti Nikobarskim in Andamanskim otokom. Potres je povzročil nastanek velikega cunamija, ki je zajel več držav v južni in jugovzhodni Aziji in celo Afriki: Indonezijo, Malezijo, Tajsko, Mjanmar, Šrilanko, Indijo, Maldive, Bangladeš, Somalijo in Tanzanijo. Cunami je zajel celotni Tih ocean in dosegel obale Južne in Severne Amerike. Opazili so ga tudi na otočju Kokos, v Keniji in na otočjih Mauritius, Reunion in Sejšelih. Potresni sunek so čutili prebivalci Indonezije, Bangladeša, Indije, Malezije, Maldivov, Mjanmara, Singapurja, Šrilanke in Tajske.

Prve analize potresnega sunka so pokazale, da je žarišče nastalo ob coni podirivanja v smeri severoseverozahod jugojugovzhod z vodoravnimi pritiski v smeri severoseverovzhod jugojugozahod. Mehanizem žarišča nastanka

kaže, da je šlo za tri dogodke v globinah med 5 in 20 km s skupnim trajanjem 240 sekund. Skupni skalarni seizmični moment je bil $7,25 \times 10^{21}$ Nm ($M_w=9,0$), največji zdrs ob prelomu pa 9 m. V prvih 45 sekundah se je pretrg širil proti severozahodu v dolžini okoli 200 km, sledila sta še dva pretrga, in sicer drugi 85 sekund, tretji pa 135 sekund za prvim pretrgom. Pretrg se je širil 400 km proti severozahodu in okoli 350 km proti jugovzhodu. Prelomna hitrost je bila 3,0 km/s v času približno 240 sekund (USGS).

Moč potresa

Potresna nevarnost tega območja je zelo velika in so seizmologi potrese podobne moči predvideli. Predhodni izračun magnitude je 8,8 (M_s) (Jesenko, Vidrih, 2005), kar uvršča potres po sproščeni energiji med največje v novejši potresni zgodovini (od leta 1900 dalje). Po moči in načinu nastanka (cone podirivanja) galahko primerjamo s potresi 22. maja 1960 v Čilu (magnituda 9,5, najmočnejši izmerjeni potres v zgodovini, od 4000 do 5000 žrtev, cunami je povzročil gmotno škodo na Japonskem, Havajih, Filipinih in v ZDA, aktivirala se je cona v dolžini 1600 km),

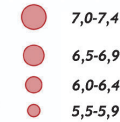


Legenda

Potresi magnitude: glavni potres



popotresi



Meje tektonskih plošč

kontinentalne:



oceanske:



vir (USGS)

Slika 4. Tektonska zgradba potresnega območja. Indoavstralska plošča je razdeljena na Indijsko in Avstralsko, prav tako pa tudi Evrazijsko sestavlja več manjših plošč. Žarišče je nastalo na stičišču Indijske plošče, ki se podriva pod Burmansko na območju javanskega tektonskega jarka.

Figure 4. Tectonic construction of the earthquake region. The Indo-Australian plate is divided into the Indian and Australian and, similarly, the Eurasian plate consists of a number of smaller plates. The focus occurred at the point at which the Indian plate is subducted under the Burma plate in the area of the Java tectonic trench.

potresom 28. marca 1964 na Aljaski – Prince William Sound (magnituda 9,2, 115 mrtvih, zaradi utekočinjanja tal so nastale v tleh 15 m globoke in 10 m široke razpoke, v prelomni coni so nastali 6-metrski navpični in vodoravni premiki, cunami pa je na obali dosegel višino do 8 m), potresom 9. marca 1957 na Aljaski – otočje Andreanof (magnituda 9,1, brez žrtev, cunami do 15 m, premiki tal do 5 m) in potresom 4. novembra 1952 na Kamčatki (magnituda 9,0, cunami so bili do 13 m visoki).

Ti podatki zgovorno pričajo, da je bilo prejšnje stoletje zaradi najmočnejših potresov »srečno«, saj so glede na sedanji indonezijski potres kljub večji moči povzročili manjšo gmotno škodo, predvsem pa niso zahtevali toliko življenj. V preglednici 3 je število velikih in zelo velikih

Leto	7,0-7,9	8,0 ali več
1980	13	1
1981	13	0
1982	10	1
1983	14	0
1984	8	0
1985	13	1
1986	5	1
1987	11	0
1988	8	0
1989	6	1
1990	12	0
1991	11	0
1992	23	0
1993	15	1
1994	13	2
1995	22	3
1996	21	1
1997	20	0
1998	16	0
1999	20	0
2000	12	1
2001	15	1
2002	13	0
2003	14	1
2004	14	1

Preglednica 1. Seznam velikih (magnituda med 7,0 in 7,9) in zelo velikih potresov (magnituda 8,0 ali več) v obdobju 1980–2004 (USGS, 2004)

Table 1. List of large (magnitude between 7.0 and 7.9) and very large (magnitude 8.0 or more) earthquakes in the period 1980-2004 (USGS, 2004)

potresov, ki nastajajo vsako leto na našem planetu. Težko si predstavljamo, da bi žarišča teh potresov nastajala na naseljenih območjih, saj bi to pomenilo vsako leto nekaj deset tisoč žrtev, tako pa je povprečno število žrtev ob potresih v 20. stol. približno 16.000 letno.

Cunamiji

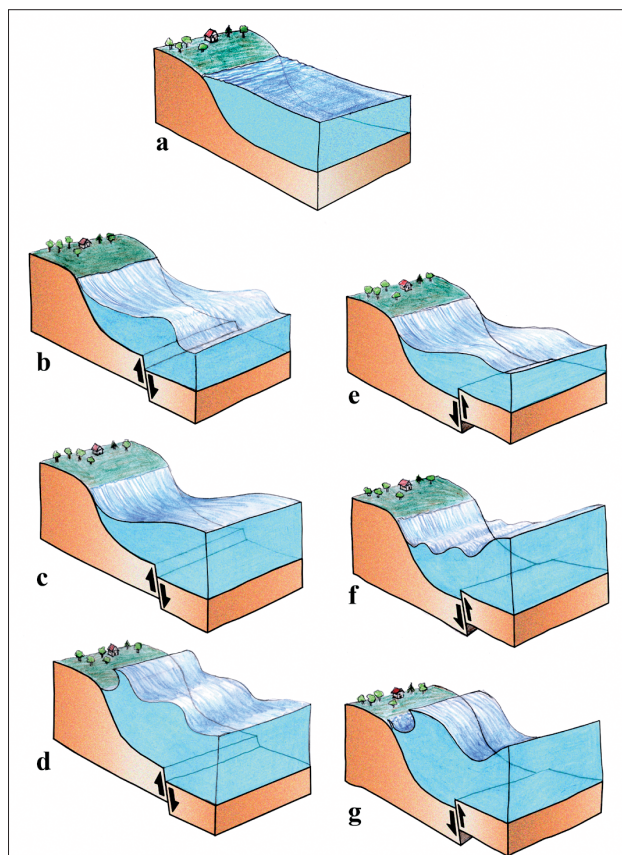
Zadnja katastrofa je pokazala, da na morju ne poznamo le valov, ki so posledica delovanja vetra in plimovanja, ampak jih lahko povzročijo tudi potresi. Valovi, ki nastanejo zaradi

vetra, nagubajo morsko površino in ustvarijo razmeroma kratke, ponavljajoče se valove, katerih učinki so omejeni le na vrhno plast vode (Čampa, 1999).

Nastanek cunamijev pa je vezan na potres, vulkanski izbruh, velik plaz ali padec meteorita. V splošnem cunamiji, ki niso vezani na potres, redko dosežejo oddaljeno obalo. Največkrat nastanejo v Tihem oceanu. Beseda cunami izhaja iz japonščine, kjer so ti pojavi zelo pogosti in dobesedno pomeni "pristaniški val" (cu pomeni pristanišče, nami pa val). Tako je lepo opisano, da gre za val, ki je nevaren le v bližini obale. Do nastanka cunamijev pride le redko, saj je za to potrebnih več pogojev. V povprečju nastaneta dva močnejša letno, cel Tih ocean pa vzvalovi v povprečju enkrat na deset let. Znan je cunami iz leta 1896, ko japonski ribiči, ki so lovili na odprtem morju pred japonsko obalo, cunamija sploh niso zaznali, ko pa so se vrnili, obalnih mest in vasi ni bilo več. Takrat je cunami zahteval 27.000 življenj. Skoraj neverjetna je tudi zgodba ameriške vojne ladje *Waterree* leta 1868 na območju današnjega severnega Čila. Cunami je ladjo vrgel tri kilometre daleč v notranjost, kjer je na pesku pristala praktično nepoškodovana (preglednica 2).

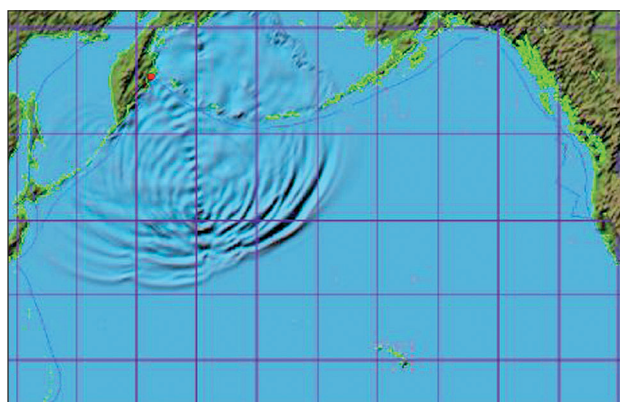
Kot zanimivost naj navedem primer največjega cunamija, ki je nastal kot posledica velikega zemeljskega plazu, ki ga je sprožil potres. Nastal je 9. julija 1958 v zalivu Lituya na Aljaski. Povzročil je dvig gladine vode za 525 m, na srečo pa se je po uničenju gozdnatih površin razlil v zalivu Aljaske. Največ cunamijev nastane zaradi potresov. Najhujši pa so tisti, pri katerih se je ob potresu morsko dno pretrgalo ob prelomu in sta se dva bloka kamnine, ki ju prelom loči, med seboj navpično razmaknila. Tako je bilo tudi tokrat, ko se je zahodno od Sumatre morsko dno na območju Javanskega jarka pretrgalo v dolžini okoli 1000 km in je po prvih podatkih nastala do devet metrov visoka stopnica. Cunami pa nastane tudi, če je žarišče potresa globlje in morsko dno zaradi potresnih valov le silovito zaniha.

Nenaden dvig oceanskega dna povzroči, da se dvigne tudi obsežen steber vode v oceanu nad tem območjem (slika 5). Ker voda ni stisljiva, se na površju poruši težnostno



Slika 5. Prikaz nastanka cunamija: a) normalna gladina morja; skice b, c in d kažejo dogajanja pri normalnem prelomu, kjer se eno krilo pogrezne; skice e, f in g pa dogajanja ob reverznm prelomu, kjer se eno krilo dvigne. b) voda se preliva prek preloma in odteka od obale, c) voda se kopiči nad spuščnim delom preloma, d) voda v obliki cunamija zalije kopno, e) voda se nabira nad narivom in odteka od obale, f) voda se kopiči nad dvignjenim delom preloma, g) voda zalije kopnino.

Figure 5. Presentation of the emergence of a tsunami: a - normal sea surface; sketches b, c and d show events with a normal fracture, where one wing is sinking, b - water flows through the fracture and away from the shore, c - water accumulates above the released part of the fracture, d - water in the form of a tsunami floods the land, e - water collects above the overthrust and flows away from the shore, f - water accumulates above the raised part of the fracture, g - water pours landwards

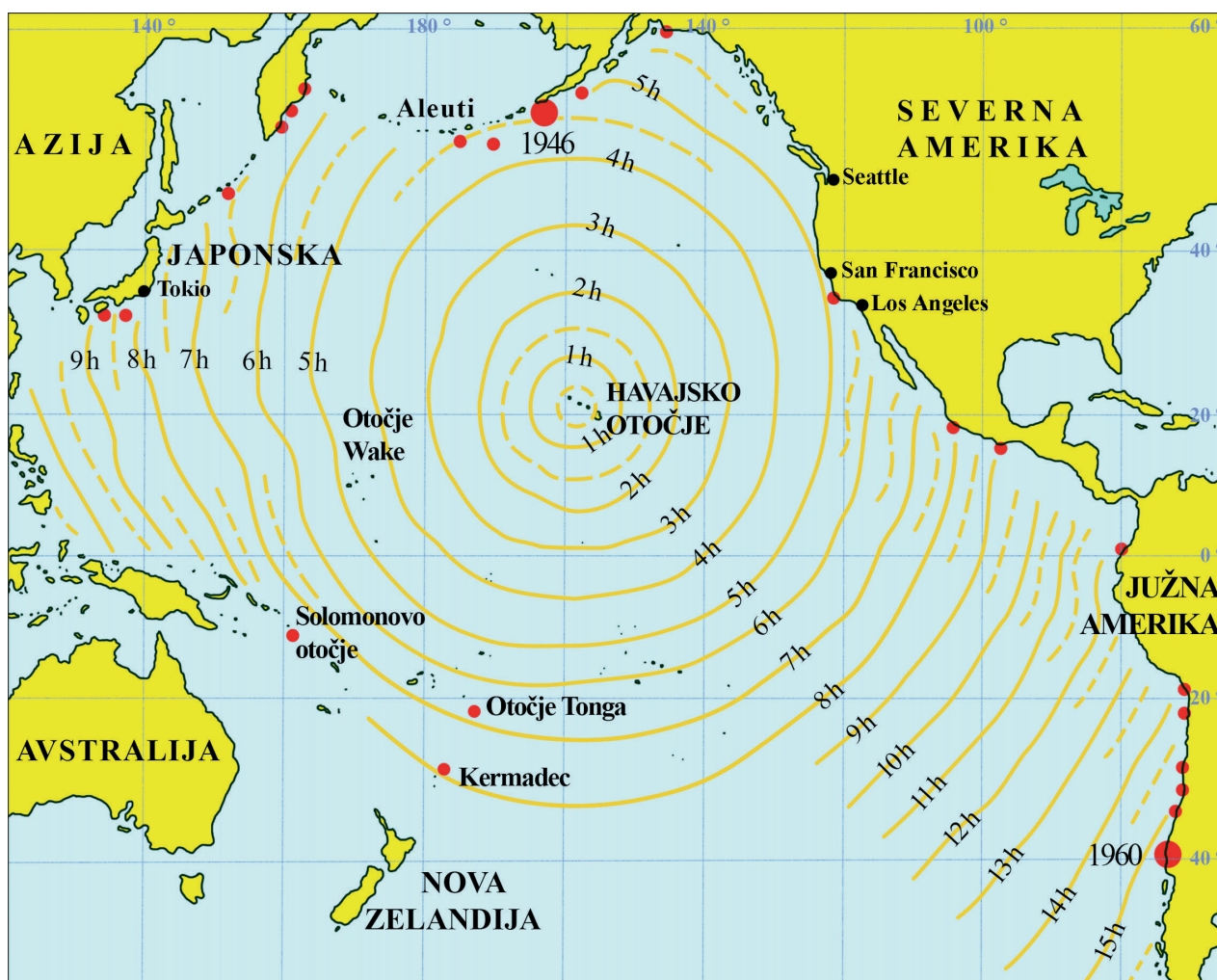


Slika 6. Prikaz potovanja cunamija, ki ga je sprožil potres na Kamčatki.

Figure 6. Presentation of the journey of the tsunami triggered by the earthquake in Kamchatka.

ravnotežje, ki ga sicer zavzema gladina oceana. Morje okoli dvignjenega dela seveda poskuša vzpostaviti ravnotežje, zaradi česar se od točke na gladini, ki je navpično nad žariščem potresa, začnejo širiti valovi na vse strani (slika 6). Valovi imajo precej drugačno obliko kot valovi, ki jih povzroča veter. Slednji imajo majhno valovno dolžino, ki doseže največ od 100 do 200 m, medtem ko imajo valovi cunamija v globokem oceanu valovno dolžino med 200 in 300 km. Podobno je perioda valov, ki jih povzroča veter, med 5 in 20 sekundami, perioda valov cunamija pa med 10 minutami in eno uro. Višina valov (amplituda) močnega cunamija je na odprtem oceanu največ od enega do dveh metrov, zato ga pri tako veliki valovni dolžini ladje tam sploh ne zaznajo. Amplituda vala je tako majhna v primerjavi z njegovo valovno dolžino in globino morskega dna, da se njen vpliv na valovanje lahko zanemari. Se pa ti valovi širijo s hitrostjo med 500 in 900 km/h, torej s hitrostjo, ki je podobna hitrosti potniških letal. Njihova hitrost je sorazmerna z globino oceana, torej je večja, če je ocean globlji. Npr. v Tihem oceanu, kjer je povprečna globina vode okoli 4000 m, potujejo cunamiji s hitrostjo nad 700 km/h (preglednica 3 in slika 7).

Razvoj cunamija ima tri stopnje: nastanek zaradi porušene ravnotežja vode, širjenje po oceanu in preplavljanje kopnega. Kako visok val se bo razvil v bližini obale, je odvisno od številnih dejavnikov. Najpomembnejši je seveda oblika morskega dna. Nepravilnosti na morskem dnu, predvsem v plitvi vodi, vplivajo na spremembo smeri širjenja valov. Valovna fronta teži k temu, da se poravnava z obliko obale. V plitvini se valovi upočasnijo, npr. v 10 metrov globoki vodi je hitrost 36 km/h, valovna dolžina pa je 10 km. Ker energija valovanja ostaja tako rekoč stalna, se zaradi zmanjšanja hitrosti poveča amplituda, razdalje med vrhovi valov se zmanjšajo, poveča pa se tudi gostota energije. Globoka voda blizu obale ovira nastanek visokega vala, nasprotno pa počasno manjšanje globine povečuje val. Če ima zaliv obliko črke V, se bo energija nakopičila v zelo visokem valu, koralni greben pred obalo pa bo del energije izničil. Na razvoj vala vplivajo tudi prelivi, ožine in plitvine. Kako daleč v notranjost obale bo segalo uničenje, pa je odvisno od njene strmine. Ker so obale Bengalskega zaliva večinoma položne, je tokratni tsunami prodrl daleč v notranjost. Iz zgodovine pa so pri cunamijih višine 30 in več metrov znani primeri, ko je voda prodrla do 5 km daleč v notranjost.



Slika 7. Trajanje potovanja cunamija po Tihem oceanu ob potresu na Havajih. Lahko ocenimo, koliko časa potrebujejo valovi, da prepotujejo Tih ocean.

Figure 7. Duration of journey of tsunami across the Pacific Ocean, in the case of the Hawaii earthquake. How much time the waves need to travel across the Pacific Ocean can be estimated.

Datum	Kraj nastanka	Učinki	Žrtve
7. junij 1692	Portoriko, Karibi	poplavljen Port Royal, Jamajka	2000
1. november 1755	Atlantski ocean 6-metrski valovi	opustošenja ob obalah Portugalske, Lizbona, manj obale Španije in Maroka	60.000
20. februar 1835	jarek Peru - Čile	mesto Concepcion v Čilu uničeno	ni znano
8. avgust 1868	jarek Peru - Čile	uničenih več mest	10.000-15.000
27. avgust 1883	vulkan Krakatau 40-metrski valovi	opustošenje vzhodne Indije, Indonezijsko otočje	36.000
15. junij 1896	japonski jarek 30,5-metrski val	vzhodna obala Japonske, Jošihimama	27.122
28. december 1908	Sicilija	vzhodna obala Sicilije z Messino	58.000
3. marec 1933	japonski jarek	na otoku Honšu (Sanriko) uničenih 9000 hiš in 8000 ladij	3000
1. april 1946	aleutski jarek	Škoda na Aljaski in Havajih	159
22. maj 1960	južni osrednji Čile 11-metrski val	škoda v Čilu in na Havajih	1500
27. marec 1964	Anchorage, Aljaska	velika škoda na južnih obalah Aljasko	115
23. avgust 1976	morje Celebes	opustošenje jugozahodnih predelov Filipinov	8000
12. december 1992	Flores, Indonezija 26-metrski val	opustošenja ob obalah Indonezije	1000
2. september 1992	Nikaragva, 10-metrski val	Nikaragva	170
12. julij 1993	japonski jarek 31-metrski val	opustošenje otoka Okuširi	330
2. junij 1994	Java, 14-metrski val	opustošena vzhodna Java	238
17. februar 1996	Irian, 7,7-metrski val	Irian, Jaya	161
17. julij 1998	Papua, Nova Gvineja, Bismarckovo morje, 15-metrski val	opustošena nekatera mesta v Papui, Novi Gvineji	2200
26. december 2004	javanski jarek, Indonezija	opustošeni predeli Tajsko, Šrilanke, Indonezije, Indije, Malezije ...	najmanj 300.000

Preglednica 2. Pregled zanimivejših cunamijev, ki so povzročili največ grotne škode in zahtevali številne žrtve. Prvič je bil cunami opisan že v 4. stoletju.

Table 2. Review of more interesting tsunamis that caused the most material damage and number of casualties. A tsunami was first described in the 4th century.

Ko se cunami približuje obali, kjer postaja morje plitvejšo, se zaradi trenja z morskim dnom hitrost upočasni. Hitrost valovanja se lahko zmanjša do desetkrat na 70 km/h, valovna dolžina pa na 20 do 40 km. Ker je obenem prostora med dnom in gladino morja vedno manj in zato prostornina vode, ki je udeležena pri valovanju, vedno manjša, se močno poveča njihova višina, ki lahko doseže od 10 do 30 m, kar na obali seveda povzroči katastrofalno uničenje. Zelo pogosto doseže obalo najprej dno vala, kar priče opisujejo, da je morje kar naenkrat odteklo, in sicer tako hitro, da ostanejo na dnu celo ribe. Šele potem udari deset in več metrov visok vrh vala. Če se na kopnem moč potresnih valov z oddaljenostjo relativno hitro zmanjšuje in je v večini primerov prizadeto omejeno

Globina (m)	Hitrost (km/h)	Valovna dolžina (km)
7000	943	282
4000	713	213
2000	504	151
200	159	48
50	79	23
10	36	10,6

Preglednica 3. Hitrost in valovna dolžina cunamijev v različnih globinah morja.

Table 3. Speed and wavelength of tsunamis at various sea depths

območje, pa je izguba energije pri cunamiju zaradi krožnega razširjanja na vse strani in dušenja bistveno manjša, zaradi česar lahko povzroči uničenje tudi zelo daleč od kraja njegovega nastanka. Izgubljanje energije je obratno sorazmerno z valovno dolžino, zato cunamiji s svojimi izjemnimi valovnimi dolžinami zelo počasi izgubljajo energijo.

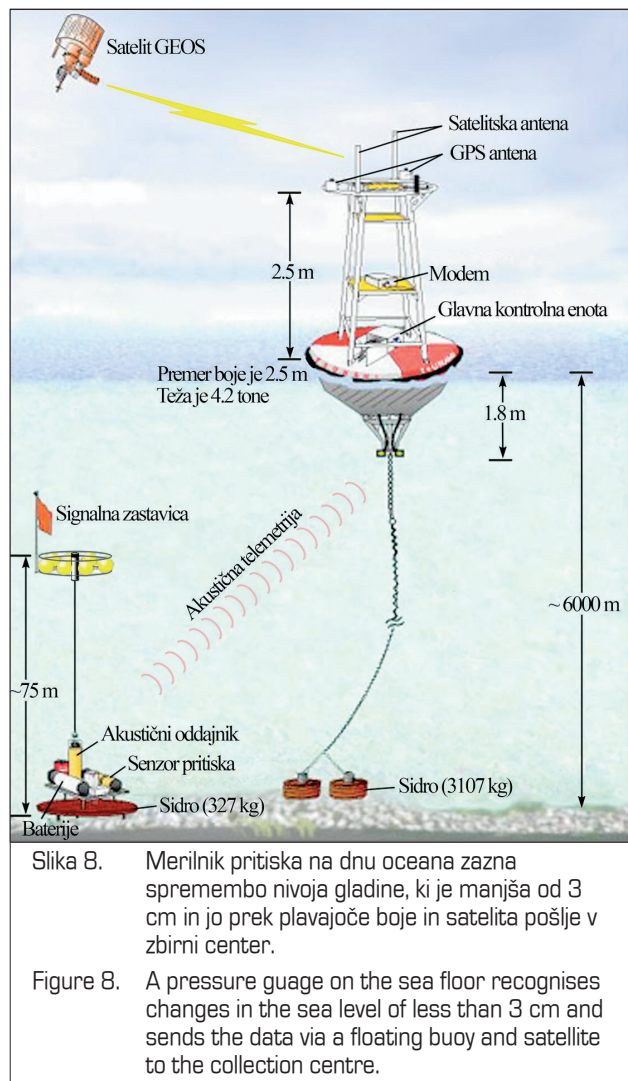
Po preplavitvi kopnega začne val izgubljati energijo zaradi trenja in vrtničenja. Če je obala položna in napredovanja valov ne ovira strm relief, lahko valovi prodrejo globoko v notranjost. Pri zadnjem cunamiju so na več krajih močnejše napredovanje cunamijev ustavili koralni grebeni. Kljub bojazni, da so bili uničeni, danes biologi ugotavljajo, da so še največ poškodb povzročili umikajoči se valovi, ki so ob vrnitvi s seboj pobrali pesek in rastlinje z obale ter ju odlagali na koralnih grebenih.

Opozarjanje pred cunamiji

Vsako napovedovanje in opozarjanje lahko rešuje življenja in zmanjša gmotno škodo, če je pravočasno in če so ljudje ozaveščeni. Če za potrese na splošno velja, da jih ne moremo napovedovati in da zato ne moremo reševati človeških življenj z njihovo pravočasno evakuacijo, pa so cunamiji edini potresni pojav, pri katerem je za to običajno nekaj ur časa. Cunami, ki nastane na primer na območju Havajev, bo dosegel Japonsko v sedmih do osmih urah, zahodno obalo ZDA v petih do šestih urah, obale Južne Amerike v 12- do 16-ih urah, Avstralije v 10-ih urah itd. Najmočnejši potres v zgodovini z magnitudo 9,5, ki se je zgodil leta 1960 pod morjem pri Čilu, je povzročil cunami, ki je potreboval 21 ur, da je dosegel Japonsko, vendar je kljub temu tam zahteval 150 življenj.

V Tihem oceanu so najbolj izpostavljena območja Japonske, Havajev, Aljaske, Kamčatke ... (preglednica 2), najpogosteje pa so izvor cunamijev Aleuti, Japonska, Kamčatka ... Prvi sistem za zgodnje opozarjanje pred nevarnostjo cunamija so vzpostavili na Havajih že leta 1946 po cunamiju, ki je prizadel mesto Hilo na tem otočju. Ta sistem je temeljil na obveščanju o močnih potresih v obtihomorskem potresnem pasu. Pomagali so si s podatki o potresih in z merilniki plimovanj v obalnih vodah. Kmalu se je pokazalo, da sistem, ki temelji le na podatkih o močnih potresih, ni učinkovit, ker je bilo več kot 75 % opozoril lažnih. Vzrok je v tem, da vsak močan potres pod morskim dnom ne povzroči nastanka cunamija. Če je povzročil potres vodoravni premik med dvema blokoma kamnine, se cunami ne bo razvil. Naprednejše sisteme so začeli razvijati po dveh najmočnejših potresih v prejšnjem stoletju v Čilu (1960) in na Aljaski (1964). Cunami slednjega je opustošil obale Aljaske in Havajev. Ustanovili so Tihomorski center za opozarjanje pred cunamiji (Pacific Tsunami Warning Center), v katerem sodeluje 25 držav z območja Tihega oceana.

V sistem so najprej vključili mareografe, ki na morskih obalah spremljajo plimovanje, kar je bilo zadovoljivo



Slika 8. Merilnik pritiska na dnu oceana zazna spremembo nivoja gladine, ki je manjša od 3 cm in jo prek plavajoče boje in satelita pošlje v zbirni center.

Figure 8. A pressure gauge on the sea floor recognises changes in the sea level of less than 3 cm and sends the data via a floating buoy and satellite to the collection center.

za lokalne potrese, na pa tudi za oddaljene. Zato so v Tihem oceanu začeli nameščati posebne boje DART (Deep-ocean Assessment and Reporting). Sistem je leta 1997 finančno podprl ameriški kongres. Do leta 2003 so v globokih predelih Tihega oceana postavili sedem takih naprav. Vsaka je sestavljena iz merilnika pritiska (tlačni detektor), ki je sidran na morskem dnu, in boje na površini. Detektor sestavljajo kremenov kristal, pritrjen na Bourdonovo cev, ki je občutljiv na spremembe tlaka v frekvenčnem območju cunamijev. Signali se med senzorjem na dnu in bojo prenašajo s pomočjo akustičnih valov, iz boje pa po satelitu v zbirni center. Senzor lahko zazna spremembo pritiska zaradi cunamija, ki je dvignil morsko gladino za manj kot 3 centimetre pri globini oceana do 6000 m (slika 8).

Sistem obveščanja je večstopenjski. Vsak potres z magnitudo, večjo kot 6,5, alarmira osebe centra, ki začne analizirati zbrane podatke z boj in obalnih mareografov. Če zaznajo, da se je razvil cunami, izdajo opozorilo. Razvite države ob obalah Tihega oceana imajo izdelane sisteme za alarmiranje prebivalstva v obalnih predelih in načrte evakuacije.

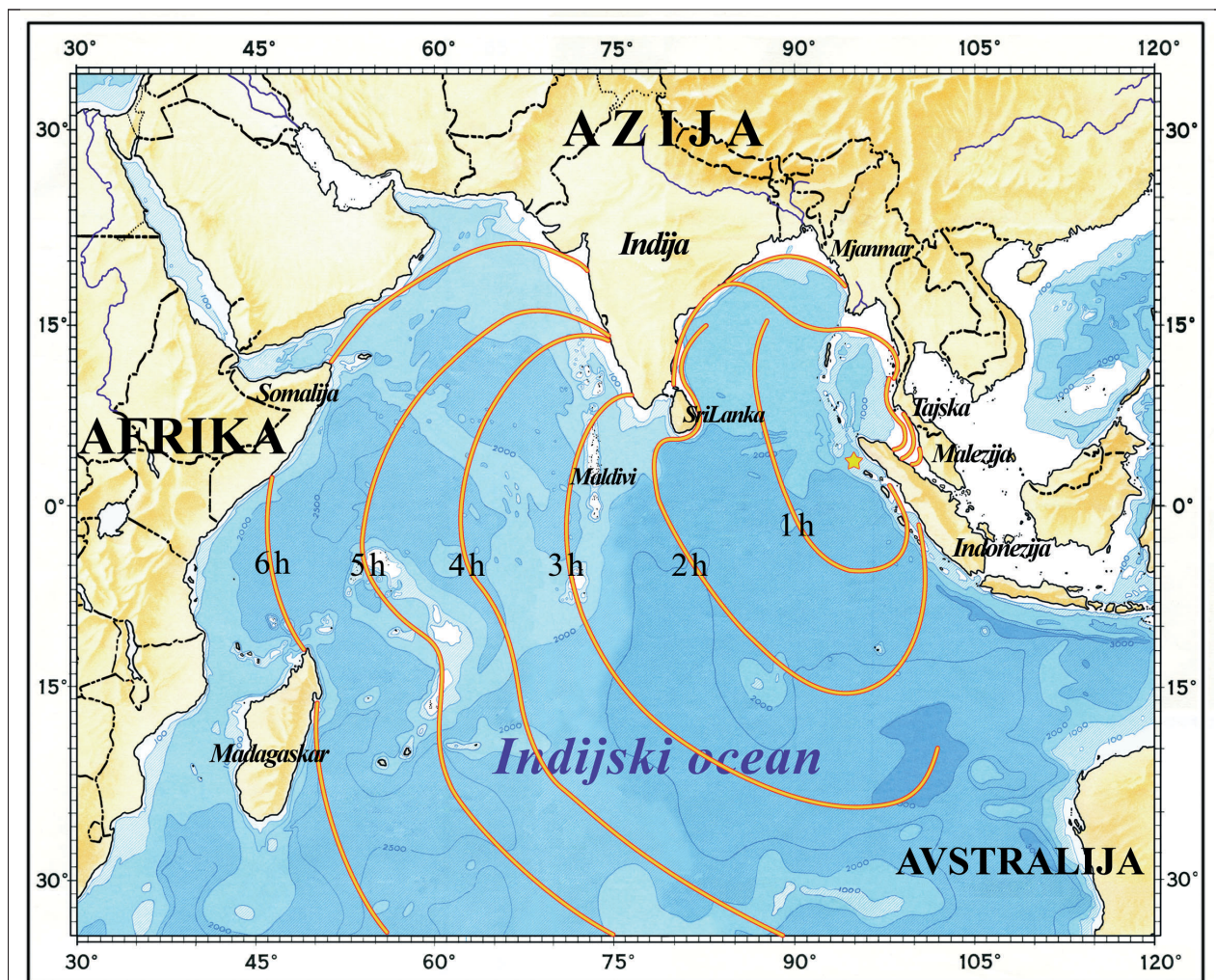
Cunamiji v Jadranu

V Jadranskem morju je več območij z veliko potresno dejavnostjo, kjer lahko nastajajo tudi potresi z magnitudami 6 in več. Med najmočnejšimi potresi v Jadranskem morju je bil potres 15. aprila 1979 z magnitudo 6,8 in žariščem blizu obale v globini 13 km. Ob potresu je nastal premik velikosti 3 m, ki je povzročil premik vode v velikosti 60 x 120 km (model). Nastanek cunamija v Jadranskem morju je nekaj posebnega, saj je odvisen od morfologije morskega dna, ki je zelo razvejana, prav tako pa je razvejana tudi obala. Valovi se odbijajo in lomijo po drugačnih zakonih kot v Tihem oceanu, zato teoretični model širjenja valov ocenjuje, da bi val do severnega Jadrana potoval eno do tri ure. Ob črnogorskem potresu je bil na mareografski opazovalnici v Baru izmerjen 20- do 25-centimetrski val, nekajcentimetrski pa tudi v Dubrovniku. V potresni zgodovini Jadrana je znanih 20 primerov, ko so potresi sprožili cunamije, od tega polovico vzdolž albanske obale. Največje valove je povzročil dubrovniški potres leta 1667, ko kronike opisujejo, da je voda odtekla

in so ladje nasedle, zatem pa se je vrnila in prevračala ladje (Orlić, 1984). Sklenemo lahko, da cunamiji v Jadranu so, vendar imajo zaznavne amplitude le v izvornem območju, ki se izgubijo že v majhnih oddaljenostih.

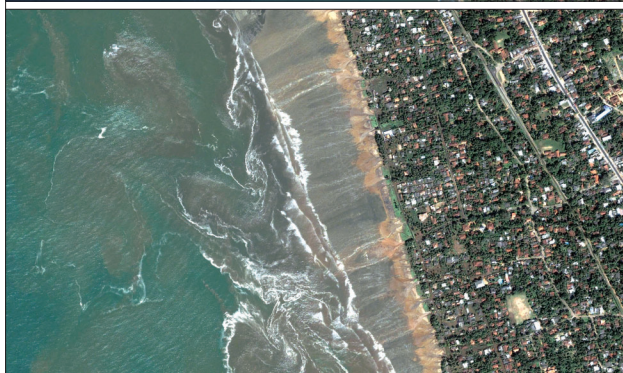
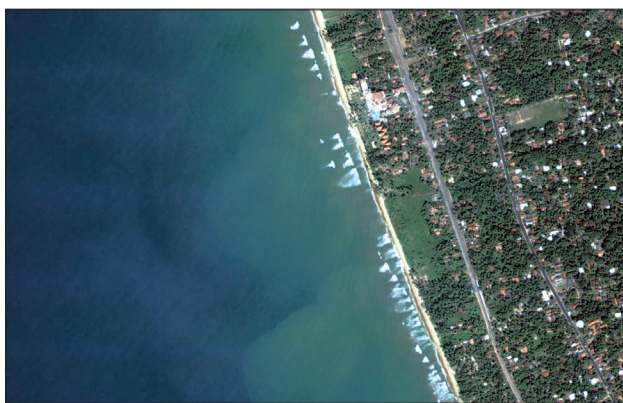
Razmišljanja o posledicah

O potresu 26. decembra, ki je bil po sproščeni energiji eden največjih potresov v zadnjih sto letih, predvsem pa o cunamiju, ki je nastal zaradi navpičnega premika morskega dna, nastajajo po vsem svetu številna mnenja. Kljub temu da sta v Tihomorski center za opozarjanje pred cunamiji vključeni tudi Indonezija in Tajska, ta sistem v Indijskem oceanu ni razvit. Indija in Šrilanka, kjer je bilo največ žrtev, vanj nista vključeni. Poročajo pa, da je oceanografska boja južno od žarišča potresa zaznala 60 cm visok val, ki je potoval v smeri Avstralije. Sistem zgodnjega obveščanja pred nevarnostjo, seveda ne sestavljajo le naprave, ki bi cunami zaznale. Če je med potresom in trenutkom, ko uničujoči valovi zadenejo obale, na voljo le



Slika 9. Potovanje cunamija ob potresu 26. decembra 2004 kaže, da bi lahko bilo ob pravilnem obveščanju in ozaveščenosti prebivalcev posameznih ogroženih območij žrtev bistveno manj.

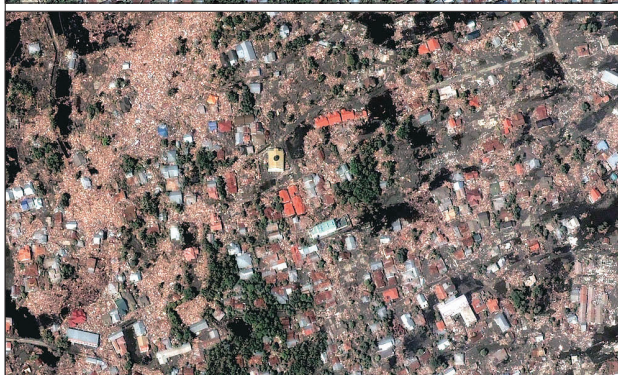
Figure 9. Journey of the tsunami at the time of the earthquake of 26 December 2004 shows that there could have been considerably fewer victims if the population of individual threatened regions had been properly informed and alerted.



Slika 10. Obala pred prihodom cunamija (10 a), nekaj minut zatem obala (10 b) in umik, opustošena obala (10 c). Morje se je umaknilo za več kot 340 m (obala Kalutara na Šrilanki).

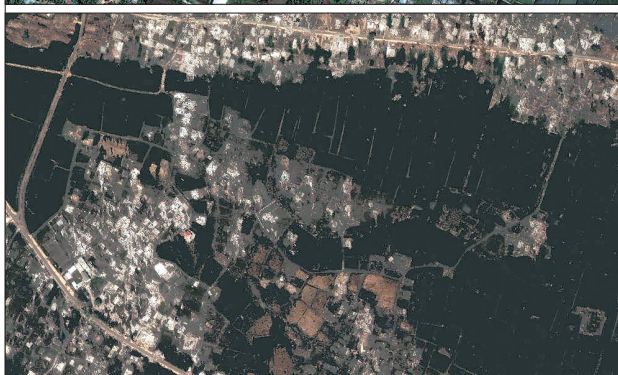
Figure 10. The coast before the arrival of the tsunami (10a), the coast a few minutes later (10b) and the shift of the devastated coast (10c). The sea withdrew by more than 340 m (coast of Kalumatra in Sri Lanka).

dve do tri ure, kot je bilo v tokratnem primeru, morata biti izdelana predvsem zelo učinkovit sistem lokalnega alarmiranja prebivalstva in njihova predhodna vzgoja. Julija 1993 je potres na Japonskem povzročil nastanek cunamija, ki je močno prizadel otok Okuširi. Japonska meteorološka služba je že pet minut po potresu obvestila javnost in s tem rešila veliko življenj (mrtvih je bilo »le« 330 prebivalcev, ki se jim ni uspelo pravočasno umakniti). Pet let pozneje pa se podobna zgodba v Novi Gvineji ni iztekla tako dobro, saj je zaradi neobveščenosti in nepripravljenosti umrlo 2200 ljudi. Na območjih, na katerih je obala položna, je treba zgraditi tudi posebna zaklonišča, saj se ni mogoče umakniti na višje ležeča območja, kar je sicer edini učinkovit sistem zaščite. Japonski otroci se učijo pravnega ravnanja ob potresu ali cunamiju že v



Slika 11. Pogled na mesto pred opustošenjem (11 a) in po njem (11 b) (Banda Aceh, severna Sumatra, Indonezija).

Figure 11. View of town before (11a) and after devastation (11b) (Banda Aceh, northern Sumatra, Indonesia).



Slika 12. Pogled na predele mesta pred opustošenjem (12 a) in po njem (12 b) (Banda Aceh, severna Sumatra, Indonezija).

Figure 12. View of town district before (12a) and after devastation (12b) (Banda Aceh, northern Sumatra, Indonesia).



Slika 13. Pogled na pristaniški del in pomole pred cunamijem (13 a) in po njem (13 b) (Banda Aceh, severna Sumatra, Indonezija).

Figure 13. View of the harbour and quay before (13a) and after (13b) the tsunami (Banda Aceh, northern Sumatra, Indonesia).



Slika 14. Opustošenje na otoku Phuket (Tajska). Cunami je uničil ali odnesel praktično vse. Največ žrtev je bilo zaradi premetavanja in udarcev plavajočih v trdne predmete ali zgradbe in udarcev plavajočih predmetov.

Figure 14. Devastation on the island of Phuket (Thailand). The tsunami destroyed or carried off practically everything. Most casualties were a result of those in the water being tossed about and striking solid objects or buildings or floating objects.

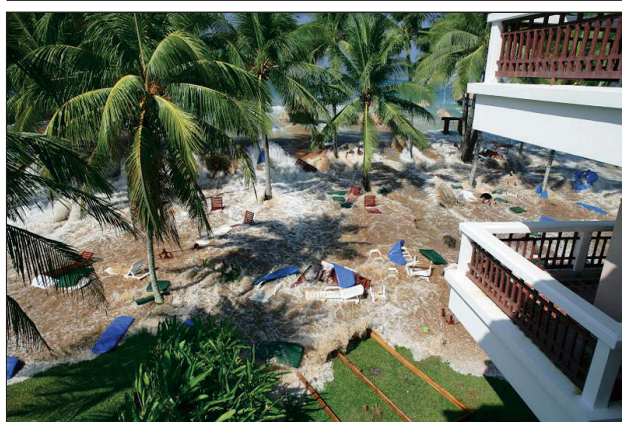
vrtačih. Ob potresih se stari in mladi rutinsko zatečejo na vzpetine čim dlje od obale.

Nekaj tednov po potresu so novice o žrtvah in ugibanja o tem, ali bi bilo mogoče zmanjšati število žrtev, še vedno aktualne. Nekateri menijo, da bi se dalo ljudi obvestiti; toda



Slika 15. Nekateri so si skušali rešiti življenje, drugi so fotografirali (otok Phuket, Tajska).

Figure 15. Some tried to save life and some took photographs (island of Phuket, Thailand).



Slika 16. Prihajajoča voda je dobesedno »pometla« z vsem, kar ji je bilo napoti (otok Phuket, Tajska).

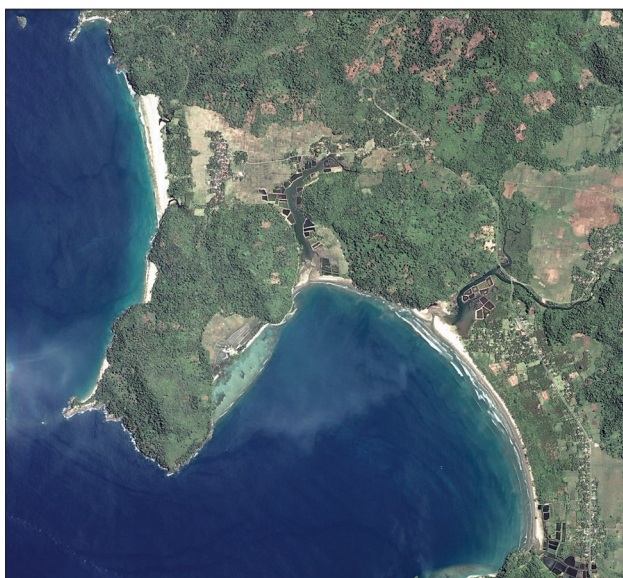
Figure 16. The incoming water simply »swept up« everything in its path (island of Phuket, Thailand).



Slika 17. Ladje in čolni na odprtem morju cunamija ne čutijo, medtem ko zasidrane doleti uničenje.

Figure 17. Vessels on the open sea do not feel a tsunami, while those at anchor are destroyed.

ali je to dovolj? Če gledamo posnetke, ki po svetovnem spletu in drugih medijih obkrožajo svet, pogosto vidimo nasmejene obraze, ki veselo fotografirajo in čakajo, da jih zalije voda. Ali bi opozorilo, ki bi prišlo nekoliko prej, delovalo na njihovo nevednost, bi se res umaknili ali bi še z



Slika 18. V neposredni bližini žarišča potresa in nastanka cunamija je bilo uničenje popolno. Pogled pred cunamijem (18 a) in ostanki gozda na hribu (18 b) [Gleebruk, zahodna Sumatra, Indonezija].

Figure 18. In the immediate vicinity of the epicentre and the creation of the tsunami, destruction was total. View before the tsunami (18a) and remains of the forest on a hill (18b) [Gleebruk, western Sumatra, Indonesia].

Slika 19. Detajl slike 18 kaže lepo urejene nasade (19 a), ki jih po cunamiju ni bilo več (19 b) [Gleebruk, zahodna Sumatra, Indonezija].

Figure 19. Detail of Figure 18 shows the well laid out plantations (19a), which no longer existed after the tsunami (19b) [Gleebruk, western Sumatra, Indonesia].

»večjim užitkom« čakali na ta nevsakdanji pojav? Odgovor je po vsej verjetnosti pritrdilen, saj je bilo ponekod več kot dve uri časa za umik, ob afriški obali pa celo pet ur. Če že ni bil mogoč umik ob obalah Indonezije, pa bi se lahko velik del prebivalstva na Šrilanki, Indiji, Maldivih ... umaknil v notranjost. Če predpostavimo, da je bila hitrost cunamija približno 700 km/h (hitrost potresnih valov pa 12,2 km/s, to je okoli 44.000 km/h), vidimo, da je potresni sunek dosegel omenjene obale več kot 63-krat hitreje kot cunami. Prebivalci Šrilanke, Indije, Maldivov ... so potres občutili; če bi bili obveščeni še o prihajajočem cunamiju, bi se mogoče umaknili (slika 9). Upam pa si trditi, da še tako dober alarmni sistem ni dovolj, ampak



Slika 20. Pred 10-metrskim valom ni rešitve.

Figure 20. There is no salvation from a 10-metre wave.



Slika 21. Ljudje so spremljali razdejanje, ne da bi vedeli, kaj se dogaja.

Figure 21. People followed the destruction without knowing what it was.



Slika 22. V ozadju vidimo pagodo, ki jo je prekrila voda.

Figure 22. A pagoda covered by the water can be seen in the background.



Slika 24. Ponekod so naravne ovire, kot so koralni grebeni, nasadi dreves, urejene obale, nekoliko ublažili moč valov.

Figure 24. In places, natural barriers such as coral reefs, tree plantations or the layout of the shore somewhat alleviate the power of the wave.



Slika 23. Val pripotuje na obalo s hitrostjo 30 km/h ali več. Umika ni.

Figure 23. The wave travels towards the shore at speeds of 30 km/h or more. There is no escape.

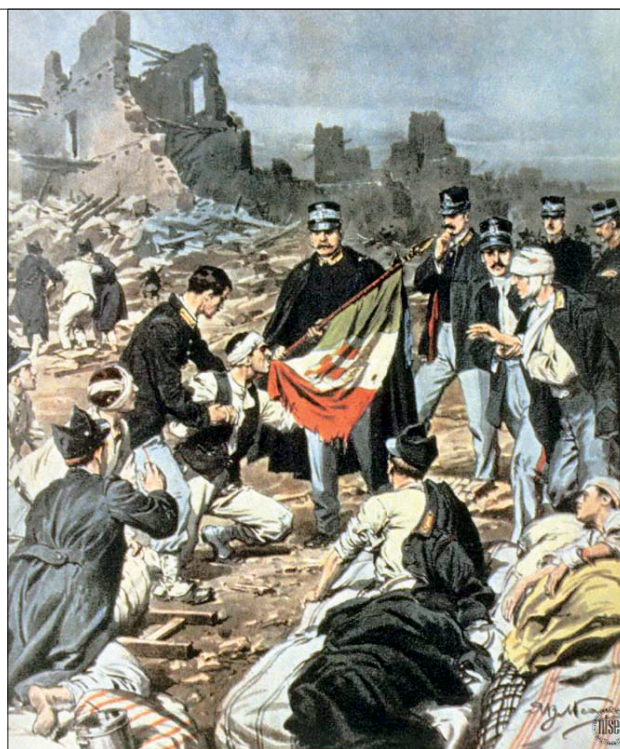
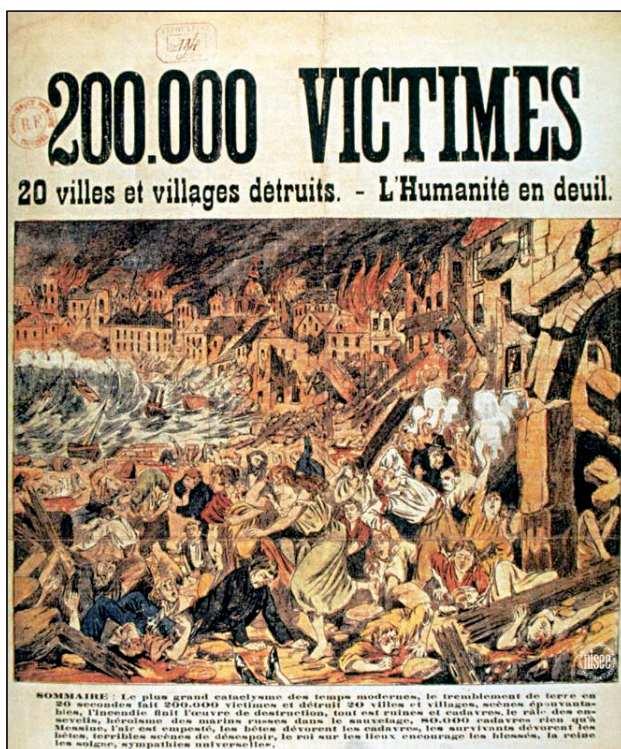


Slika 25. Dobesedno »dvignjeno« morje se približuje obali.

Figure 25. The literally »raised« sea approaches the shore.

je nujno treba prebivalstvo vzgajati in ga ozaveščati o nesrečah, ki ga lahko doletijo. Upajmo, da je bil cunami dovolj kruto opozorilo, da se bodo prebivalci vsega sveta zavedali nevarnosti potresov, cunamijev in številnih drugih naravnih nesreč, ki nas lahko prizadenejo. Na slikah od 10 do 25 so prikazane posledice cunamija.

Narava katastrof ne pozna, poznamo jih ljudje. Živali v narodnem parku Yala na jugovzhodu Šrilanke so čutile potresni sunek in se instinktivno umaknile stran od potresnega valovanja.



Sliki 26 in 27. Potres 28. decembra 1908 in cunami sta na vzhodni obali Sicilije in v Messini zahtevala okoli 58.000 življenj (na sliki sicer piše drugače).

Figures 26 and 27. The death toll for the earthquake and tsunami at Messina and on the east coast of Sicily of 28 December 1908 was 58,000. (The picture, though, gives a different figure).

Sklepne misli

Skupni učinki potresa 26. decembra 2004 so ena največjih katastrof v zgodovini človeštva. Večkrat smo zapisali, da potres sam po sebi ne zahteva žrtev, ampak ubijajo podirajoče zgradbe. Tokrat je ubijala voda. Cunamijski so nevarni za vse prebivalce, živeče v obalnih mestih, predvsem ob Tihem oceanu, pa tudi drugod. Po letu 1990 je ob desetih velikih cunamijskih izgubilo življenje več kot 4000 ljudi. 80 % vseh cunamijskih nastane v Tihem oceanu, drugi pa v Indijskem oceanu, Sredozemskem morju, na območju Karibov in Atlantskem oceanu. Cunamijski povzročijo le tisti potresi, ki nastanejo ob prelomih v oceanih in povzročijo nekajmetrski navpičen premik plasti (morskega dna) ob prelomu. Aktivirati se mora območje, večje od tisoč kvadratnih kilometrov. Največ cunamijskih povzročijo potresi z žarišči v globinah, manjših od 70 km, vzdolž subdukcijskih con (con podiranja ene tektonske plošče pod drugo). Upajmo, da bo ta katastrofa pozitivno vplivala na prebivalstvo in politike, da bodo čim prej namestili po vseh ogroženih območjih sveta alarmne sisteme in hkrati začeli ozaveščati prebivalstvo o naravnih nesrečah, ki jim pretijo. Nanje je treba biti vedno pripravljen.

Viri in literatura

1. Čampa, T., 1999. Nevarnost, imenovana cunami. Življenje in tehnika 1999/10. Tehniška založba Slovenije, str. 31–36.
2. Jesenko, T. in Vidrih, R., 2005. Močnejši potresi po svetu leta 2004. V: Ujma 19, 2005
3. NEIC, 2004. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.
4. Orlič, M., 1984. Ima li »tsunamijski« u Jadranskom moru? Priroda, svibanj-lipanj, 1984, str. 310–311.
5. Vidrih, R., Gosar, A., 2005. Potres 26. decembra 2004 v Javanskem globokomorskem jarku. Tokrat je ubijala voda. DELO – Znanost, 3. januar 2005.
6. <http://www.digitalglobe.com/>
7. <http://www.noaanews.noaa.gov/>
8. <http://neic.usgs.gov/>
9. <http://www.munichre.com/>

Vse fotografije kakor tudi nekateri drugi podatki so s spletnih strani. Avtorji večinoma niso znani, zato v besedilu niso navedeni.