

ZAPISI ODDALJENIH POTRESOV IN NOTRANJA ZGRADBA ZEMLJE

Registration of teleseisms and the structure of the Earth

Izidor Tasič*, Renato Vidrih** UDK 550.34.05

Povzetek Abstract

Potresi lahko povzročijo velike naravne nesreče in so ena najbolj uničujočih sil narave. Toda hkrati so tudi najpomembnejši izvor podatkov o sestavi notranjosti Zemlje. Podatek, ki je dandanes samoumeven, da je naš planet sestavljen iz skorje, plašča in jedra, so nam v resnici razkrili potresi oziroma potresno valovanje, ki so ga zaznavale opazovalnice po celem svetu. Še danes nam potresi neprestano razkrivajo nove podatke o kompleksni sestavi Zemljine notranjosti. Posebej pomembni so pri tem zapisi oddaljenih potresov. Pri sestavljanju tega mozaika sodeluje tudi Slovenija s svojo državno mrežo potresnih opazovalnic. Članek opisuje, kako slovenske opazovalnice zaznajo potres, ki je nastal nekaj tisoč kilometrov daleč. Za primer bomo uporabili dva od najmočnejših potresov v tem stoletju.

Earthquakes can cause enormous natural disasters and are one of nature's most destructive forces, but are also one of the best sources of information about the structure of the Earth. The information that the Earth consists of a crust, mantle and core, which seems self evident today, was in fact discovered by monitoring earthquakes all over the world. Even today, new information about its complexity is obtained in that way. Slovenia, with its seismic monitoring system, contributes to the fully integrated earth mosaic. The article presents the work of the Slovenian seismic network monitoring teleseismic data. The two most powerful earthquakes this century serve as examples.

Uvod

Notranjost Zemlje je že od davnine razvnela človeško domišljijo. V starih legendah je zemlja ležala na hrbtih živali. Pri Japoncih jo je nosila velikanska riba, pri prebivalcih otoka Bali pa bik. Filozof Tales je razmišljal, da Zemlja plava na vodi. Aristotel pa je s svojo idejo o štirih elementih, zemlja, ogenj, voda in zrak, močno vplival na razmišljanje o vzrokih potresov in s tem sestavi Zemlje. Po njegovi predpostavki je bil v notranjosti stisnjen zrak, ki pa lahko v trenutku uide in s tem povzroči potres. Z razvojem seizmoloških instrumentov je v 18. stoletju način proučevanja sestave Zemlje dobil znanstveno podlago. Že leta 1828 sta A. L. Cauchy in S. D. Poisson razvila enačbe, ki analitično opisujejo razširjanje valovanja skozi prožno snov (Bath, 1973; Ribarič, 1984).

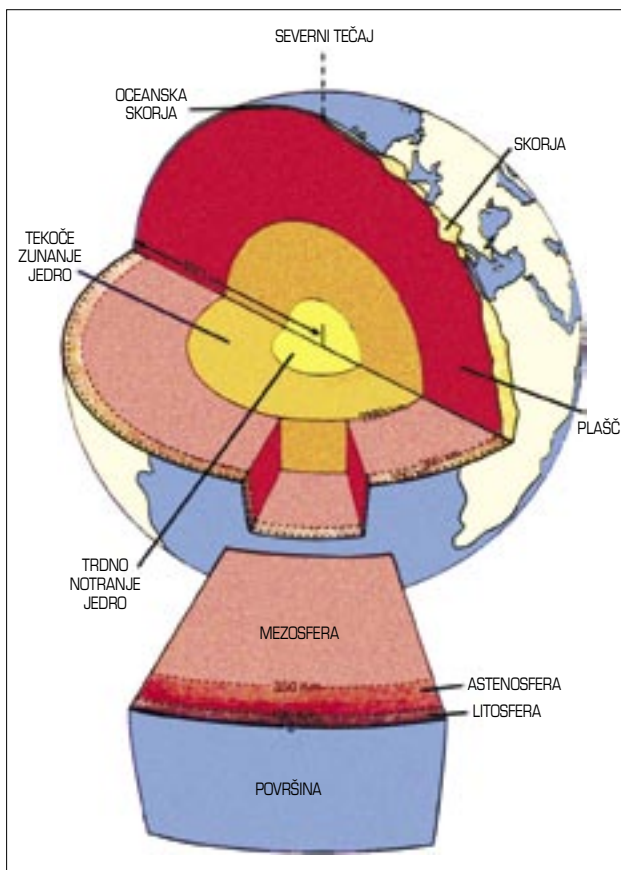
Vendar pot do tega spoznanja ni bila tako preprosta. Predpostavko, da Zemlja sestavlja več plasti, v katerih se fizikalne lastnosti snovi skokovito spremenijo, je postavil leta 1906 E. Wiechert (Skoko, 1982). Istega leta je R. D.

Oldham iz zapisov oddaljenih potresov ocenil, da je del jedra tekoč. Omenimo tukaj še hrvaškega seizmologa Andrijo Mohorovičiča, ki je leta 1910 na podlagi pokupskega potresa iz leta 1909 dokazal, da že nekaj deset kilometrov pod površino zemlje obstaja diskontinuiteta, ki je po njem tudi dobila ime (Skoko, 1982). Ko je leta 1936 danska seizmologinja Inge Lehmann dokazala, da je jedro sestavljeno iz dveh delov, tekočega in trdnega (Skoko, 1982), so bile osnovne plasti zemeljske notranjosti razkrite. Na podlagi zapisov potresov in teorije o razširjanju potresnega valovanja so strokovnjaki spoznali, da so potresi vir podatkov o Zemljini notranjosti. Danes vemo, da je Zemlja sestavljena iz skorje, plašča, tekočega in trdnega jedra (slika 1).

Zemljina skorja je zunanja kamninska lupina, ki je pod oceani debela med 5 in 8 km, pod celinami pa med 25 in 40 km. Pod večjimi gorskimi verigami doseže med 50 in 60 km. Od Zemljinega plašča jo loči Mohorovičičeva diskontinuiteta, kjer je najbolj izrazita hitrostna meja ali nezveznost. Hitrost longitudinalnega valovanja na tej meji skokovito naraste od 6,5 do 7,2 km/s v spodnjem delu skorje na 7,8 do 8,5 km/s v zgornjem delu plašča, hitrost transverzalnega valovanja pa od 3,7 do 3,8 km/s na 4,8 km/s, gostota pa od 2,9 g/cm³ na 3,3 g/cm³ (Gosar, 2005). Debelina Zemljine skorje v Sloveniji se spreminja, od najmanjše debeline v vzhodnem delu Murske depresije, kjer doseže 27 km, do največje debeline med 41 in 43 km v zahodni Sloveniji (Gosar, 2005).

* Mag., Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, Ljubljana, Izidor.Tasic@gov.si

** Dr., Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, Ljubljana, Renato.Vidrih@gov.si



Slika 1. Notranja zgradba Zemlje (Skinner in drugi, 2004)

Figure 1. Structure of the Earth (Skinner, 2004)

V Zemljini skorji je pomembna še Conradova diskontinuiteta (Gosar, 2005), ki ločuje zgornji granitni del Zemljine skorje od spodnjega, bazalnega dela. Hitrost longitudinalnega valovanja se poveča s 5,8 do 6,2 km/s na več kot 6,5 km/s (Gosar, 2005). Iz seizmičnih podatkov lahko razberemo tudi mejo med sedimentnimi kamninami in magmatsko ali metamorfno podlago (Gosar, 2003).

S potresnim valovanjem je bil ugotovljen tudi prehod Zemljine skorje v Zemljin plašč, ki sega do globine 2800 km. Plašč prehaja v Zemljino jedro, med njima pa je Gutenbergova diskontinuiteta (Skoko, 1982).

Središčni del Zemlje gradita jedro, in sicer zunanje tekoče jedro, ki sega od globine 2800 do globine 5100 km, in notranje trdno jedro, ki sega do globine 6371 km. Gostota jedra je ocenjena med 9,4 g/cm³ in 15 g/cm³ (Skoko, 1982), po nekaterih modelih tudi manj (npr. Bormann, 2002).

Potresi neprestano dopolnjujejo znanje o kompleksni zgradbi Zemljine notranjosti. Z zaznavanjem potresov z žarišči po celem svetu sodeluje pri nenehnem raziskovanju Zemljine notranjosti tudi slovenska državna mreža potresnih opazovalnic (Kobal in drugi, 2007), čeprav je namenjena predvsem zaznavanju potresov na slovenskem ozemlju in v neposredni bližini (Vidrih, 2006). Ker pa je državna mreža tudi del mednarodnega omrežja, lahko

z izmenjavo podatkov o potresih po svetu prispevamo k natančnejšemu poznavanju zgradbe našega planeta.

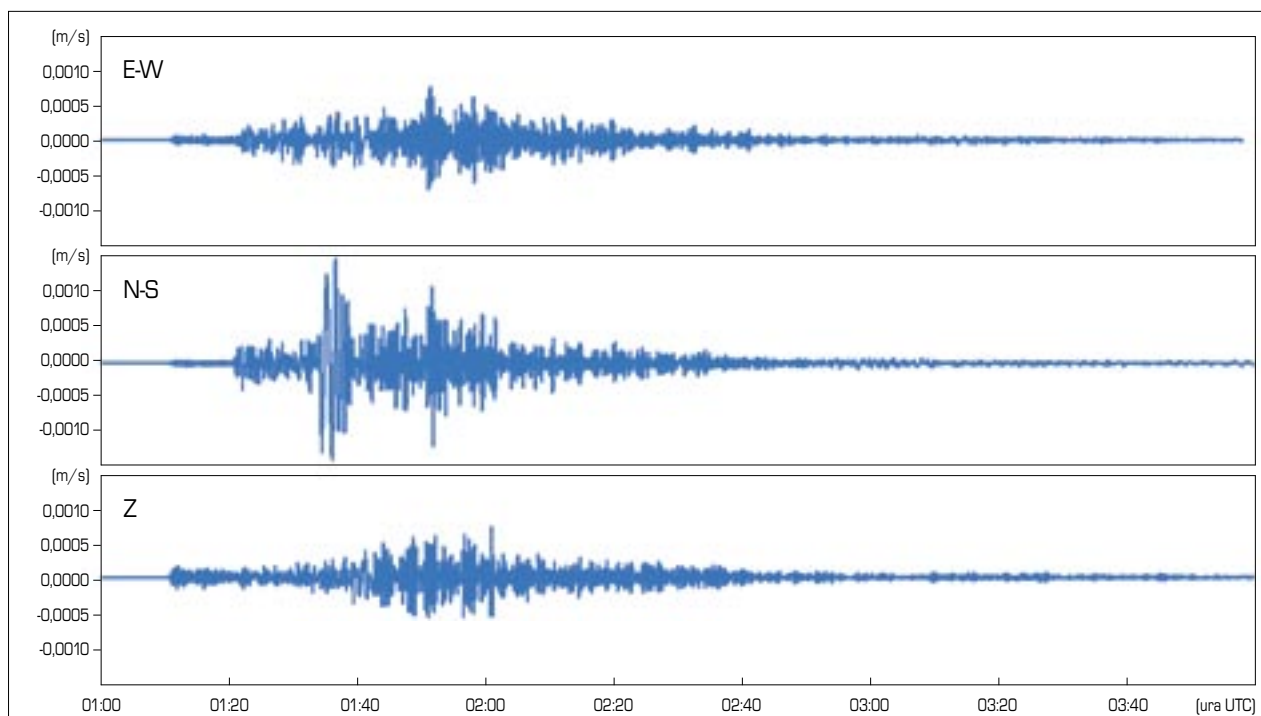
V zadnjem času sta nastala dva izjemno močna potresa, ki so ju zaznale tudi potresne opazovalnice državne mreže in smo ju uporabili kot primera zapisa oddaljenih potresov. To sta potresa leta 2004 v Indoneziji in 2007 na Salomonovih otokih.

Potres z magnitudo ($M_w = 9,0$) na območju Javanskega globokomorskega jarka

26. decembra 2004 ob 0. uri, 58 minut in 53,4 sekunde po UTC (oziroma 6.58 po krajevem času) je nastal v globinah pod oceanskim dnom na območju Javanskega globokomorskega jarka ob zahodni obali severne Sumatre močan potres z magnitudo $M_w = 9,0$ (NEIC, 2004). Ocenjena globina žarišča je bila okoli 10 km. V globinah pod morskim dnom se je aktivirala prelomna cona v dolžini okoli 750 km. Pri potresu je prišlo do navpičnega premika morskega dna, ocenjenega na 9 metrov, ki je povzročil nastanek cunamija. Posledice cunamija so bile katastrofalne, znanih je več kot 230.000 žrtev. Smrtne žrtve so bile tudi v državah, ki so bile daleč stran od žarišča potresa. Skupni učinki potresa 26. decembra 2004 pomenijo eno največjih katastrof v zgodovini človeštva.

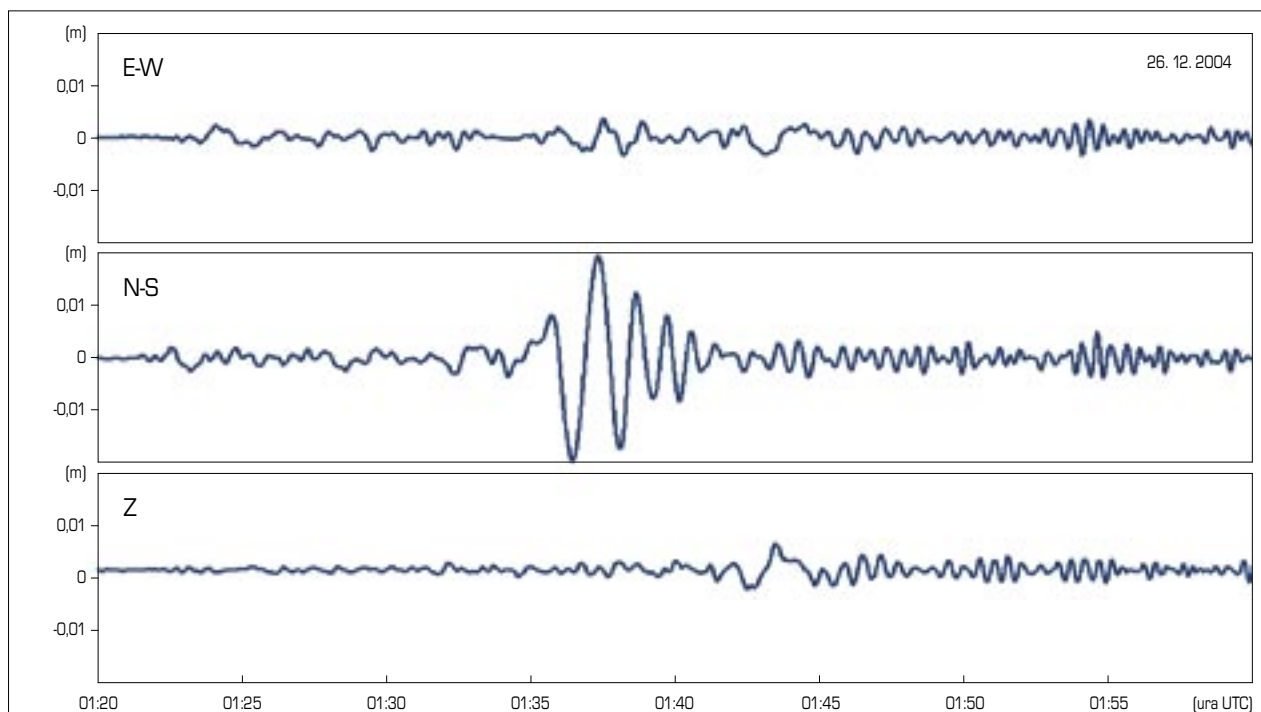
Potres je zaznalo 19 tedaj delujočih potresnih opazovalnic v Sloveniji. Potresno valovanje je prva zaznala opazovalnica KOGS (Kog), zadnja pa opazovalnica ROBS (Robič), in sicer 9,85 sekunde pozneje. Valovanje je torej navidezno prečkalo ozemlje od vzhoda proti zahodu s hitrostjo 21,4 km/s. To ni prava hitrost valovanja (saj je večja od največje znane hitrosti potresnega valovanja v Zemlji in na njej). V resnici se valovanje ni razširjalo v vodoravni smeri, ampak je prihajalo do opazovalnic od spodaj. Razlika dolžin poti valovanja do omenjenih dveh opazovalnic je zato precej manjša od razdalje med tema opazovalnicama. Ozemlje Slovenije se je nato neprestano treslo še dobre tri ure. Na potresni opazovalnici LJU smo največje nihanje tal zaznali ob 1.35 po UTC, ko so tla zanihala v vodoravni ravnini za 1,86 cm z nihajnim časom 90 sekund. Največji premik v vertikalni smeri (komponenta Z) je bil 0,47 cm. Na slikah 2 in 3 vidimo zapise potresa na potresni opazovalnici z oznako LJU, ki je na observatoriju na Golovcu v Ljubljani.

Kaj so zaznale opazovalnice na slovenskem ozemlju? Žarišče potresa je izvor potresnega valovanja. V njem nastaneta dve vrsti potresnega valovanja, longitudinalno potresno valovanje ali P-valovanje in transverzno potresno valovanje ali S-valovanje (slika 4). Hitrost potresnega valovanja je odvisna od fizikalnih lastnosti snovi. Longitudinalno potresno valovanje potuje hitreje od trans-



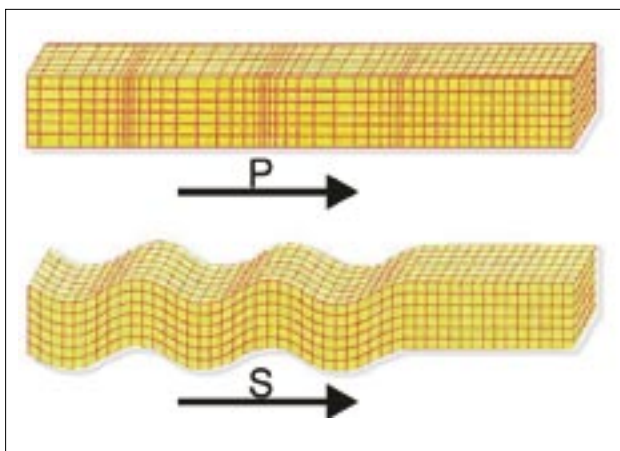
Slika 2. Zapis potresa na potresni opazovalnici LJU, ki je na observatoriju na Golovcu v Ljubljani, na komponenti vzhod-zahod (oznaka E-W), sever-jug (oznaka N-S) in vertikalni smeri (oznaka Z) za potres z nadžariščem v bližini Sumatre 26. decembra 2004 ob 0. uri in 58 minut po UTC z magnitudo 8,9. Ozemlje Slovenije se je zaradi potresa treslo več kot tri ure.

Figure 2. Waveform of the Sumatra earthquake (on 26 December 2004 at 00.58 UTC with magnitude 8.9) recorded by LJU seismic station on a three-component seismometer located on Golovec in Ljubljana. The record shows that the earthquake caused the ground in Slovenia to shake for more than three hours.



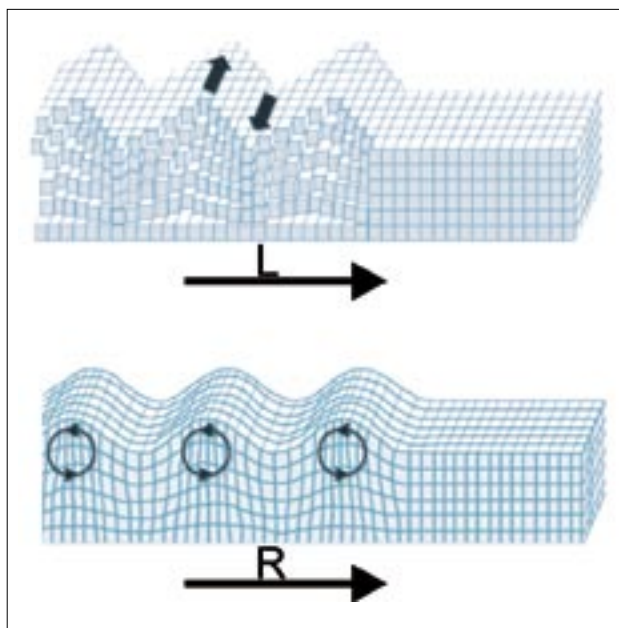
Slika 3. Največje nihanje tal, zaznano na potresni opazovalnici LJU (za potres z žariščem v bližini Sumatre 26. decembra 2004 ob 0. uri in 58 minut po UTC z magnitudo 9,0), je bilo ob 01.35 po UTC, ko smo zaznali nihanje v smeri sever-jug (oznaka N-S) za 1,85 cm.

Figure 3. The displacement of earthquake ground motion in Slovenia caused by the Sumatra earthquake, registered at LJU seismic station. The highest amplitude was registered at 01:35 UTC in a north - south direction and was 1.8 cm with a period of 90 seconds.



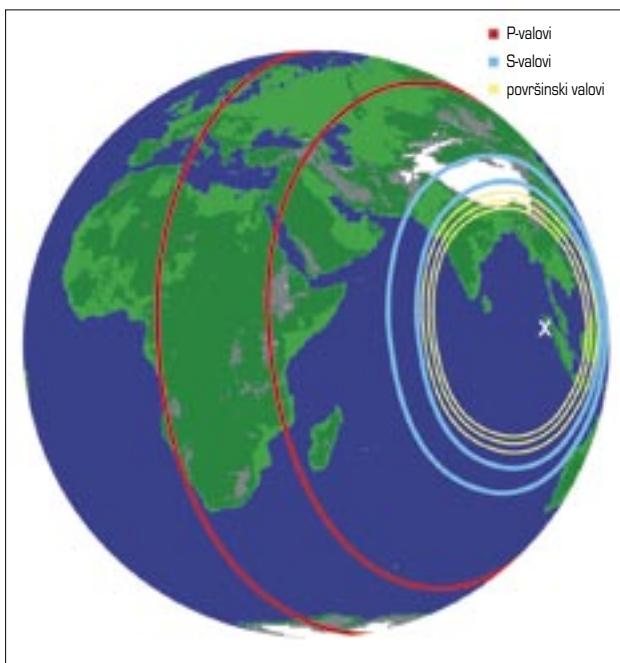
Slika 4. Leta 1828 sta A. L. Cauchy in S. D. Poisson pokazala (Spencer, 1999; Wiki, 2007), da se skozi elastično snov lahko razširjata dve vrsti valovanja, longitudinalno potresno valovanje ali P-valovanje in transversalno potresno valovanje ali S-valovanje. Pri potresu se v žarišču ustvarita hkrati oba tipa in potujeta skozi notranost Zemlje. Smer razširjanja potresnih valov je označena s puščico (Skinner in drugi, 2004).

Figure 4. In 1828, A. L. Cauchy and S. D. Poisson proved the existence of two types of body seismic waves, longitudinal (P) and transversal (S) waves (Spencer 1999; Wiki 2007). Both waves are generated simultaneously at the epicenter and travel across the layers of the Earth. The arrow shows their direction (Skinner & all, 2004).



Slika 6. L-valovi in R-valovi potujejo po površini Zemlje. Smer razširjanja potresnih valov je označena s puščico (Braille, 2006).

Figure 6. 'Love' ("L" sign) and 'Rayleigh' ("R" sign) seismic waves travel along the Earth's surface. The arrow shows their direction (Braille, 2006).



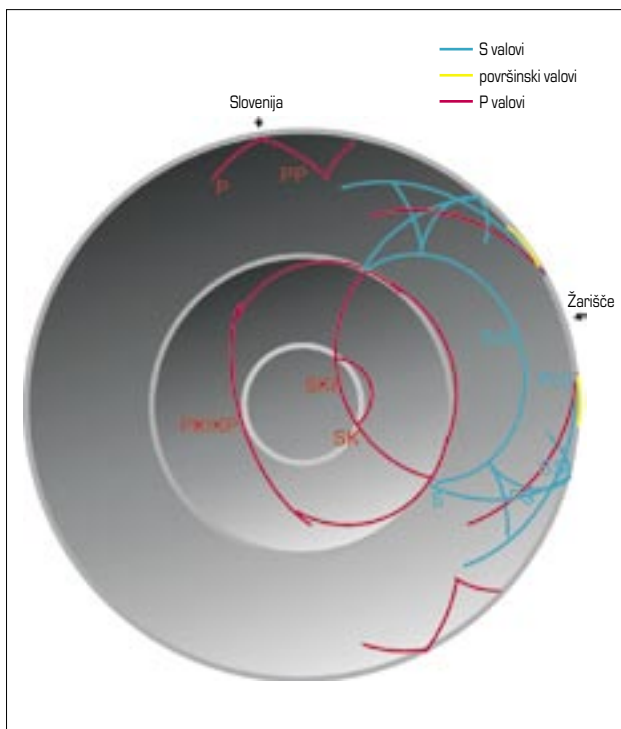
Slika 5. Navidežno potovanje P-valov in S-valov po površini Zemljine oble od nadžarišča na območju Javanskega globokomorskega jarka proti Sloveniji (Jones, 2005).

Figure 5. Virtual travel of seismic (P and S) waves along the Earth's surface, from the epicenter towards Slovenia (Sumatra earthquake).

verzalnega. Do potresne opazovalnice najprej pride longitudinalno valovanje, odtod tudi ime P-valovi (Bath, 1973; Bormann, 2002). Na sliki 5 vidimo potovanje potresnega valovanja od žarišča potresa do Slovenije, kot ga zaznamo na površini zemlje. Ob prihodu longitudinalnega in transversalnega valovanja na površje zaniha to na svojstven način – nastaneta dve vrsti površinskega valovanja, Lovejevo valovanje ali L-valovi in Rayleighovo valovanje ali R-valovi (slika 6). Hitrost površinskega valovanja je manjša od prostorskega, ima pa večjo amplitudo.

Na območjih v Zemljini notranosti, v kateri se fizikalne lastnosti snovi nezvezno spremenijo, v seizmologiji jih imenujemo diskontinuitete, lahko pride do loma, odboja in konverzije potresnih valov, pri čemer pa se celotna energija valovanja ohrani. Tako lahko na primer pri vpadnem P-valovanju dobimo prepuščeno in odbito-P valovanje, del valovanja pa se pretvori v odbite S-valove in prepuščene S-valove. S pomočjo opazovanja prepuščenih in odbitih potresnih valov dobivamo podatke o Zemljini notranosti. Vsaka stopnja razširjanja potresnega valovanja na območjih med različnimi diskontinuitetami je zaradi prepoznavnosti enolično poimenovana in jo v seizmologiji imenujemo faza. Primer prehajanja potresnih valov skozi Zemljino notranost imamo na sliki 7. Prikazane so lege valovnih čel potresnih valov v notranosti Zemlje dvanajst minut po nastanku potresa, to je v trenutku, ko so prvi potresni valovi dosegli ozemlje Slovenije. Označene so samo pomembnejše faze (Jones, 2005). Vidimo, da so P-valovi že prešli skozi trdno jedro.

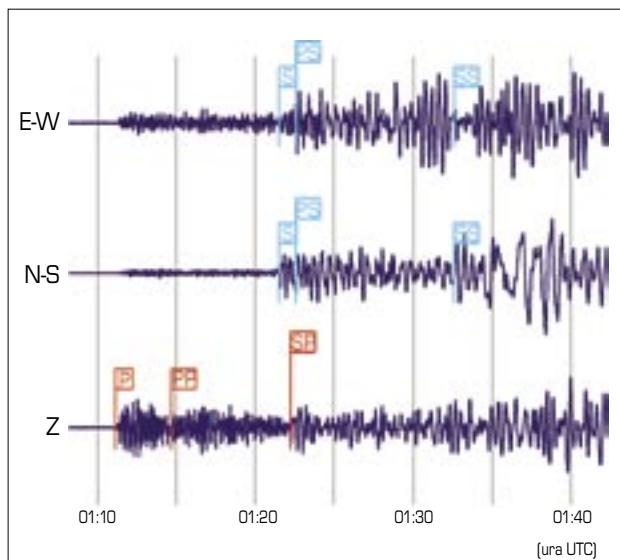
Primer, kako smo na potresni opazovalnici LJU zaznali prihode različnih faz, imamo na slikah 8 in 9. V prvih



Slika 7. Prerez Zemljine notranjosti. Prikazane so lege valovnih čel potresnih valov v notranjosti Zemlje dvanajst minut po nastanku potresa. Označene so samo pomembnejše faze (Jones, 2005).

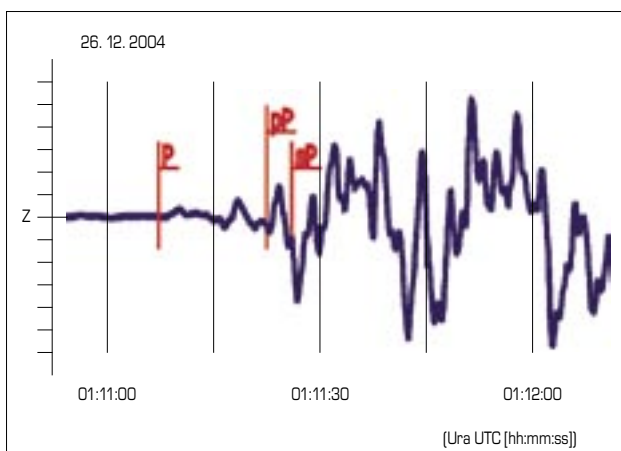
Figure 7. Transmitted P-waves and S-waves through the Earth from an earthquake source, 12 minutes after the earthquake occurred. Only the main phases are shown (Jones, 2005)

tridesetih sekundah po prihodu prvih potresnih valov, ki so prišli neposredno iz žarišča (P-valovi, oznaka P), so potresne opazovalnice na slovenskem ozemlju zaznale odbite P-valove (oznaka pP) in odbite S-valove, ki so se pri odboju pretvorili v P-valove (oznaka sP).



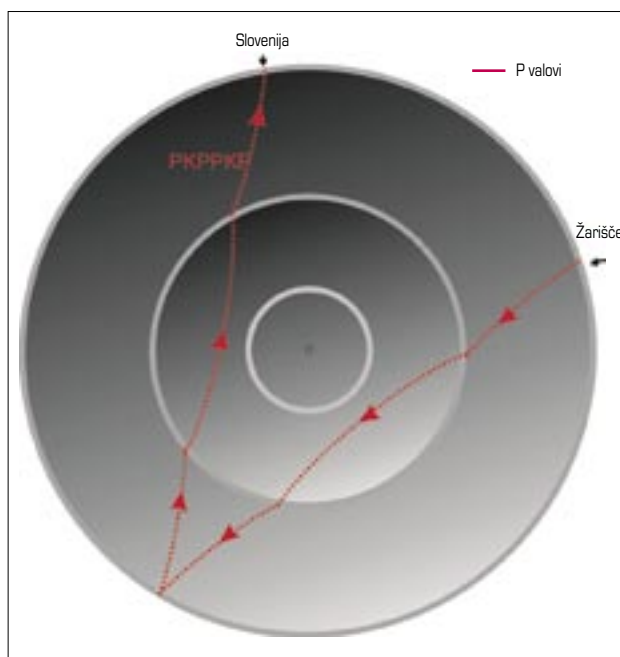
Slika 9. Zapis potresa na potresni opazovalnici LJU na vseh treh komponentah seizmometra (zapis v dolžini trajanja trideset minut). Na zapisu so označeni prihodi pomembnejših zaznanih odbojev.

Figure 9. First 30 minutes of three component waveform record at LJU seismic station. The main phases are shown.



Slika 8. Zapis začetka potresa in označeni prihodi prvih zaznanih odbojev na vertikalni komponenti (oznaka Z) na potresni opazovalnici LJU. Na opazovalnici smo najprej zaznali P-valove, ki so prišli neposredno iz žarišča, nato odbite P-valove (oznaka pP) in odbite-S valove, ki so se pri odboju pretvorili v P-valove (oznaka sP).

Figure 8. Waveform of the Sumatra earthquake recorded at LJU seismic station. The direct "P" wave is first recorded, then the reflected "P" wave, marked as "pP", followed by the converted "S" wave to "P", marked as "sP".



Slika 10. Potresno valovanje, ki je prepotovalo celotno notranjost Zemlje, je doseglo Slovenijo 39 minut po nastanku (Bormann, 2002).

Figure 10. Seismic ray paths travelling across the earth were recorded in Slovenia 39 minutes later (Bormann, 2002).

Približno 39 minut po prihodu prvih potresnih valov so potresne opazovalnice na slovenskem ozemlju zaznale prihod potresnih valov, ki so se odbili na drugi strani Zemlje in prepotovali skozi njeno celotno notranjost do Slovenije (slika 10).

Potres z magnitudo ($M_w = 8,1$) na Salomonovih otokih

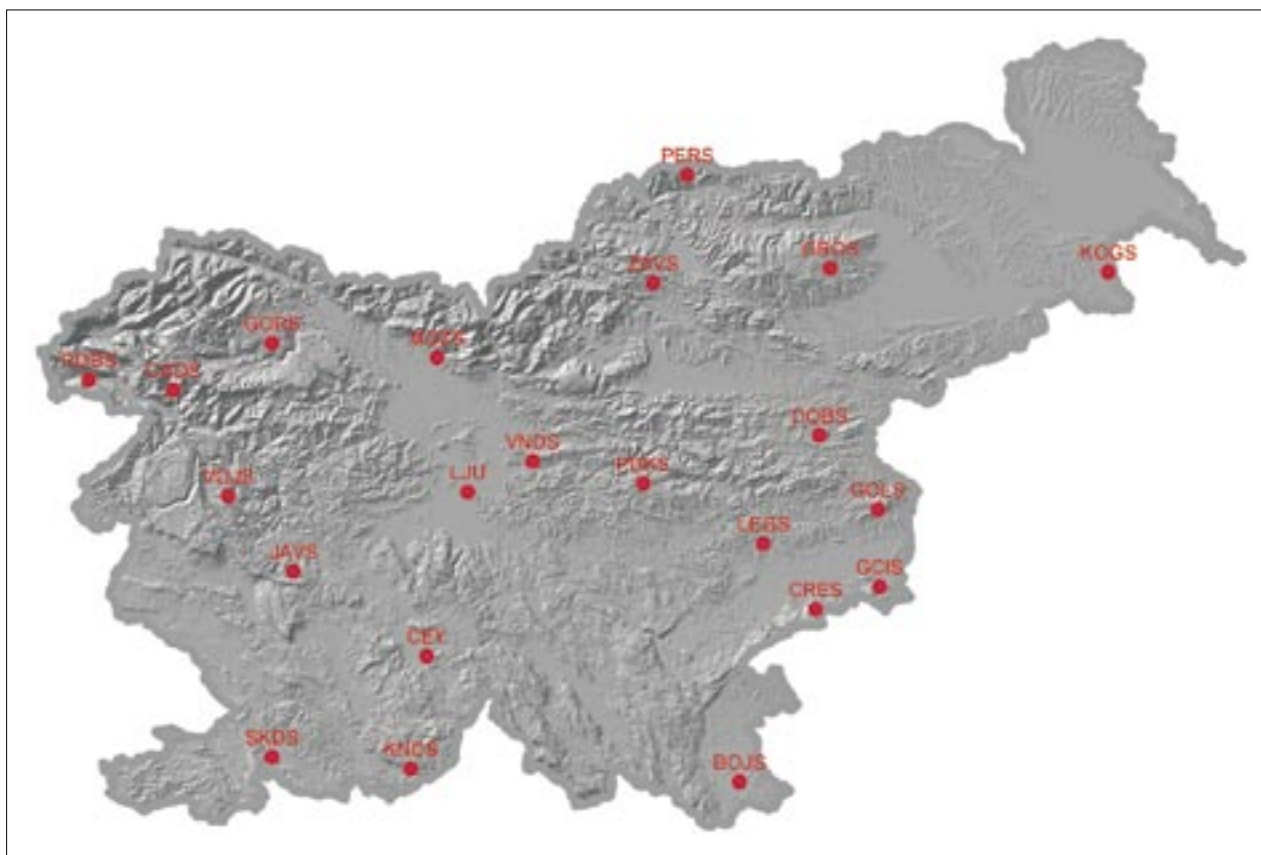
1. aprila 2007 ob 20. uri, 39 minut in 55,0 sekunde po UTC (oziroma 2. aprila ob 6.39 po krajevem času) je nastal na Salomonovih otokih v bližini otoka Gizo močan potres z magnitudo ($M_w = 8,1$) (NEIC, 2007). Predhodno ocenjena globina žarišča je bila okoli 10 km. V globinah pod morskim dnom se je aktivirala prelomna cona v dolžini okoli 300 km. Pri potresu je prišlo do navpičnega premika morskega dna; ocenjen je bil na 4 metre in je povzročil nastanek cunamija. Znanih je več kot 32 žrtev.

Na slovenskem ozemlju ga je čez 15 minut in 7 sekund po nastanku zaznala potresna opazovalnica KOGS (Kog). Nato je potres zaznalo še dvaindvajset tedaj delujočih

potresnih opazovalnic, zadnja opazovalnica SKDS (Skadanščina) 7,94 sekunde pozneje (slika 11). Potresni val (oziroma njegova horizontalna komponenta) je navidezno prečkal ozemlje iz smeri severovzhod. Ozemlje Slovenije se je nato neprestano treslo še dobre tri ure. Na slikah 12 in 13 vidimo zapise potresa na potresni opazovalnici z oznako LJU, ki je na observatoriju na Golovcu v Ljubljani. Največje nihanje tal so seizmografi zaznali ob 21.34 po UTC, ko je Slovenija nihala v vodoravni ravnini za 2,3 mm z nihajnim časom 81 sekund. Največji premik v vertikalni smeri (komponenta Z) je bil 0,47 cm. Zanimivost tega potresa je, da glede na njegovo žarišče Slovenija leži v tako imenovanem območju sence. To pomeni, da longitudinalno valovanje (P) in transverzalno valovanje (S) ne pripotujeta do slovenskega ozemlja »naravnost«, ampak z odboji in lomi (slika 14).

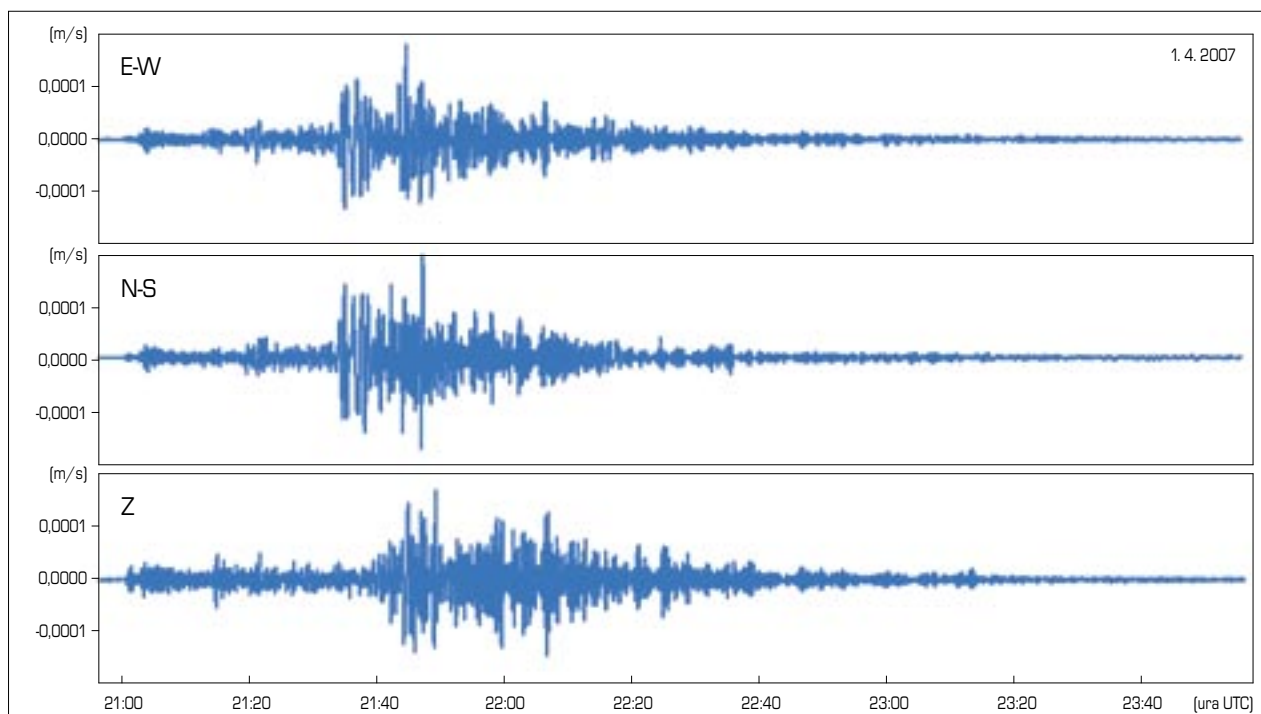
Sklepne misli

Globalni model Zemljine notranjosti je posledica nenehnega zaznavanja potresov z žarišči po celem svetu, pri katerem sodelujejo potresne opazovalnice s celega sveta, tudi iz Slovenije.



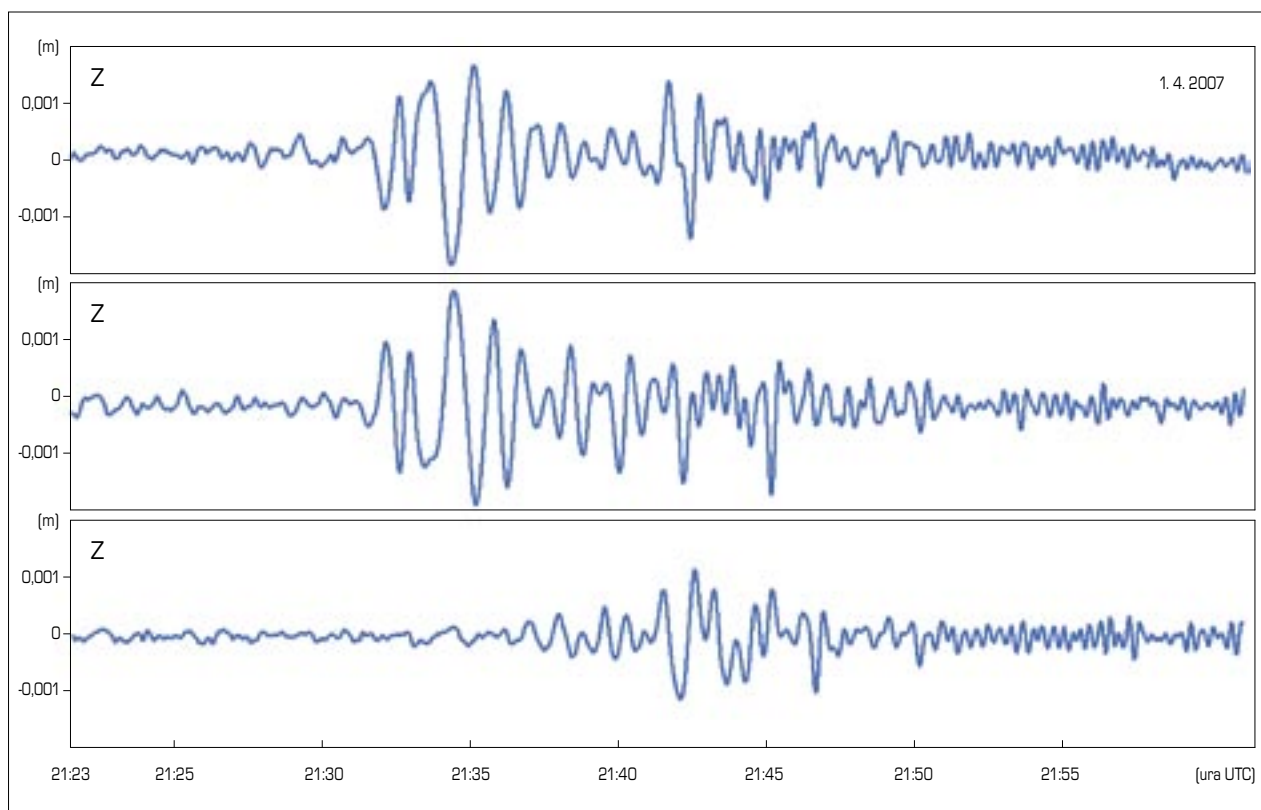
Slika 11. Potres z nadžariščem v bližini Salomonovih otokov 1. aprila 2007 ob 20. uri in 39 minut po UTC je zaznalo dvaindvajset tedaj delujočih potresnih opazovalnic državne seizmološke mreže. 15 minut in 7 sekund po nastanku potresa je prihod najprej zaznala potresna opazovalnica z oznako KOGS (Kog), zadnja pa je potres zaznala opazovalnica z oznako SKDS (Skadanščina) 7,94 sekunde pozneje.

Figure 11. Seismic waves from the Solomon Islands earthquake of April 1, 2007, were recorded first by a seismic station with the name KOGS (Kog), 15 minutes and 7 seconds after the earthquake occurred. All 22 stations operating at that time recorded the earthquake. SKDS (Skadanščina) seismic station registered the earthquake 7.94 seconds later.



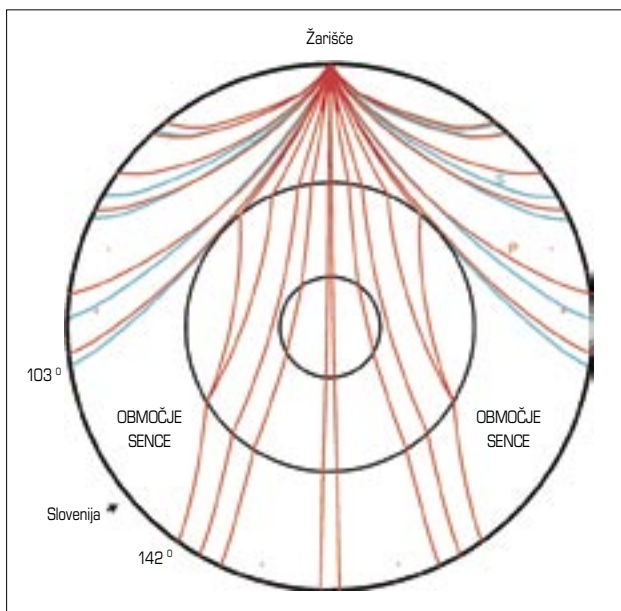
Slika 12. Zapis potresa na potresni opazovalnici LJU, ki je na observatoriju na Golovcu v Ljubljani, na komponenti vzhod-zahod (oznaka E-W), sever-jug (oznaka N-S) in vertikalni smeri (oznaka Z) za potres z nadžariščem v bližini Salomonovih otokov 1. aprila 2007 ob 20. uri in 39 minut po UTC z magnitudo 8,1.

Figure 12. Three component waveform record (components: east-west, north-south and vertical) of the Solomon Islands earthquake on 1 April 2007 at 20.39 UTC with magnitude 8.1 recorded by LJU seismic station, which is located on Golovec in Ljubljana.



Slika 13. Največje nihanje tal, zaznано na potresni opazovalnici LJU (za potres z žariščem v bližini Salomonovih otokov 1. aprila 2007 ob 20. uri in 39 minut po UTC z magnitudo 8,1), je bilo ob 1.35 po UTC.

Figure 13. The displacement motion of ground in Slovenia caused by the Solomon Islands earthquake on 1 April 2007, registered at LJU seismic station. The highest amplitude was registered at 20:39 UTC.

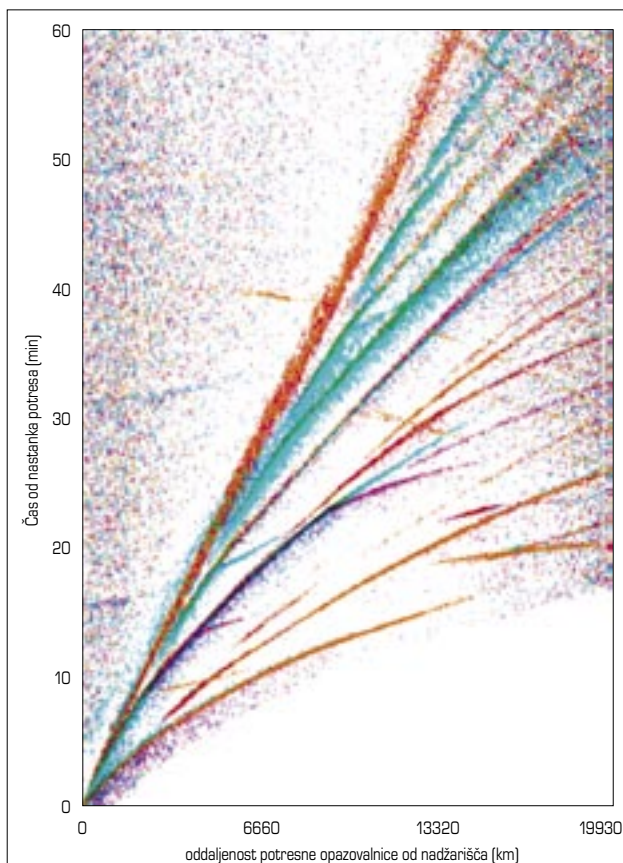


Slika 14. Slovenija za potrese na Salomonovih otokih leži v območju sence. P-valovi in S-valovi pridejo do slovenskega ozemlja z odboji in lomi, česar pa slika ne kaže (Pratt, 2001).

Figure 14. The P-wave shadow zone is a region that extends from 104 degrees to 142 degrees from the epicenter of an earthquake and is marked by the absence of P waves. Slovenia is considered to be "shadow zone" for the Solomon Islands earthquake on 1 April 2007 (Pratt, 2001).

Da so odčitki različnih faz na seizmogramu pomembni za razumevanje sestave Zemljine notranjosti, lahko vidimo na sliki 15 (Bormann, 2002). Za nastanek te slike so strokovnjaki uporabili zapise več sto potresov z magnitudo M_w , večjo od 5,6, in globino žarišča pod 50 km, ki so jih v letih od 1988 do 1994 zaznale potresne opazovalnice po celem svetu. Dobilili so nekaj tisoč zapisov. Na vsakem zapisu so strokovnjaki označili prihode različnih faz potresnih valov, izračunali, kolikšen čas so potrebovali od (nad)žarišča do potresne opazovalnice, ter podatek glede na oddaljenost potresne opazovalnice od nadžarišča potresa kot točko vnesli v graf. Dobilili so krivulje, ki se skladajo z napovedmi odbojev potresnih valov od diskontinuitet v Zemljini notranjosti.

Prvi globalni modeli Zemljine notranjosti segajo nekako v prvo polovico dvajsetega stoletja. Toda šele v osemdesetih letih prejšnjega stoletja so izdelali modele, ki so temeljili na inverznem postopku. Enodimenzionalni model so pripravili tako, da so se rezultati usklajevali z odčitki s seizmogramov. V začetku devetdesetih let sta bila pripravljena dva enakovredna modela IASP91 in SP6, ki se v nekaterih podrobnostih razlikujeta med seboj, vendar za ta članek niso pomembne. Sredi devetdesetih let so pripravili izboljšani IASP91 in ga poimenovali AK135 (Bormann, 2002). Kako se za ta model hitrost longitudinalnega in transverzalnega potresnega valovanja spreminja z globino, je prikazano na sliki 16.



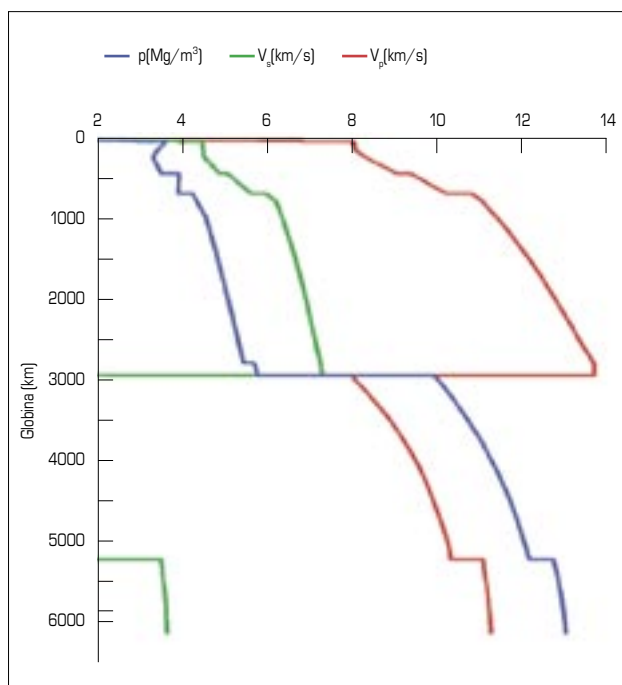
Slika 15. Časovni diagram za določanje različnih faz potresnih valov, pridobljen s pomočjo analize več tisoč seizmogramov za 979 potresov, zaznanih v letih od 1988 do 1994, z magnitudo $M_w > 5,6$ in globino žarišča do 50 km. Potrese je zaznalo več tisoč širokopasovnih potresnih opazovalnic po celem svetu (Bormann, 2002).

Figure 15. Global travel-time curves for earthquakes as produced by stacking broadband seismograms from 979 earthquakes with $M_w > 5.6$ and depth < 50 km. The earthquakes were recorded between 1988 and 1994 all over the world (Bormann, 2002).

Neprestano zaznavanje potresov nam stalno odkriva nove skrivnosti Zemljine notranjosti. Danes že vemo, da trdno notranje jedro ni enakomerno gosto. Pripravljajo se tudi sodobni tridimenzionalni modeli, pri katerih se hitrost (in s tem gostota Zemlje) ne spreminja samo z globino. Slovenija pri tem odkrivanju skrivnosti Zemlje sodeluje z drobnimi, vendar ravno tako pomembnimi gradniki.

Viri in literatura

1. Bath, M., 1973. Introduction to Seismology. Birkhauser Verlag Basel and Stuttgart, New York: John Wiley and Sons, 395.
2. Bormann, P. (ed.), 2002. IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice. GeoForschungs Zentrum Potsdam, vol. 1, poglavje 3, 1–94.



Slika 16. Spreminjanje hitrosti P-valov (rdeča) in S-valov (zelena) ter gostote (modra) z globino ($Mg = 1000 \text{ kg, g/cm}^3 = Mg/m^3$) po modelu AK135 (Bormann, 2002).

Figure 16. The AK135 velocity model (Bormann, 2002).

3. Braile, W., L., 2006. Seismic Waves and the Slinky, <http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/slinky/slinky4.htm>
4. Gosar, A., 2005. Seizmične raziskave litosfere v srednji Evropi in debelina Zemljine skorje v Sloveniji. V: Potresi v letu 2003 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 99–110.
5. Jones, A., 2005. Seismic Waves. Version 2.1, Binghamton, <http://www.geol.binghamton.edu/faculty/jones>
6. Kennett, B., L., N., 2005. Seismological Tables: ak135. The Australian National University, Canberra, www.rses.anu.edu.au/seismology/AK135tables.pdf
7. Pratt, D., 2001. Mysteries of the Inner Earth, <http://ourworld.compuserve.com/homepages/dp5/inner1.htm>
8. NEIC, 2004. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior: Geological Survey, National Earthquake Information Center.
9. NEIC, 2007. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior: Geological Survey, National Earthquake Information Center.
10. Ribarič, V., 1984. Potresi. Cankarjeva založba, Ljubljana, 271.
11. Skinner, B. J., Porter, C. S., Park, J., 2004. The dynamic earth: An introduction to physical geology. Fifth edition. New York: John Wiley & Sons.
12. Spencer, R., 1999. History, <http://maxwell.byu.edu/~spencerr/phys442/node4.htm>
13. Skoko, D., Mokrović, J., 1982. Andrija Mohorovičić, Školska knjiga, Zagreb.
14. Kopal, M., Kolar, J., Pahor, J., Živčić, M., 2007. Performance of the Seismic Network of the Republic of Slovenia - First Results. Orfeus Newsletter, vol. 7, no. 2, <http://www.orfeus-eu.org/newsletter/vol7no2/slovenia/slovenia.html>
15. Vidrih, R., 2006. Potresi. V: Kaj spreminja svet (ur. Jeršek, M., Tome, S., Vidrih, R., Gregorič, G.). Prirodoslovni muzej Slovenije in Agencija RS za okolje, Ljubljana, 27–42.
16. Wiki, 1007, Navier-Stokes_equations, http://www.cfd-online.com/Wiki/Navier-Stokes_equations