

GEOLOGIJA – TEKTONIKA I ISTORIJSKA GEOLOGIJA

**Studijski program GEOGRAFIJA
Godina I, Semestar II
Mart, 2021.**

(5) – OSNOVI SEIZMIZMA

dr Slobodan Radusinović, naučni saradnik UCG

Predavanja pripremljena na osnovu:

OPŠTA GEOLOGIJA

Autori udžbenika

Prof. dr Nataša Gerzina, vanredni profesor

Prof. dr Ivana Carević, vanredni profesor

Izdavač

Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, 2019

9. OSNOVI SEIZMIZMA

Elementi zemljotresa

Jačina zemljotresa

Nastanak i vrste zemljotresa

Magnituda zemljotresa

Seizmički talasi

Intenzitet zemljotresa

Mjerenje i lociranje zemljotresa

Prateće pojave zemljotresa

OSNOVI GEONAUKA

Prof. dr B. Glavatović, vanredni profesor

Izdavač: Seizmološki zavod Crne Gore, Podgorica, 2005

8. SEIZMOLOGIJA

Nastanak zemljotresa

Seizmometrija

Analiza i obrada seizmoloških podataka

Inženjerska seizmologija

GEOLOGIJA – TEKTONIKA I ISTORIJSKA GEOLOGIJA

Autorizovana predavanja 2016/2017.

Prof. dr S. Ivanović, redovni profesor, Prof. dr G. Nikolić, vanredni profesor

OSNOVI SEIZMIZMA

- SEIZMOLOGIJA -

Seizmologija - relativno mlada naučna oblast **Geofizike**, proučava geološke i geofizičke procese koji dovode do nastanka zemljotresa, zatim strukturu zemljine kore i dublje zemljine unutrašnjosti, na osnovu karakteristika kretanja seizmičkih talasa kroz tu unutrašnjost, kao i destruktivne efekte dejstva seizmičkih talasa na objektima i tlu.

Naziv **seizmologija** potiče od grčkih riječi seismos (σεισμος) – potres i logos (λογος) – nauka, dakle: **nauka o zemljotresima**.

Zemljotresi su se događali tokom čitave istorije formiranja i razvoja zemljine kore.

S obzirom na katastrofalne posljedice razornih zemljotresa koje oni ostavljaju za sobom (ljudske žrtve i gubitak materijalnih dobara), fenomen nastanka zemljotresa uvijek je predstavljao predmet proučavanja brojnih istraživača.

Tokom posljednje tri decenije došlo je do vrlo intenzivnog razvoja veoma kvalitetnih instrumenata za registrovanje seizmičkih talasa prouzrokovanih zemljotresom, opažanje fizičkih fenomena vezanih za fazu njihove pripreme, kao i metoda za analizu i obradu tih podataka.

Time su stvoreni neophodni preduslovi za kvalitetnije proučavanje fenomena zemljotresa uopšte.

Poslednjih nekoliko decenija ulažu se veliki istraživački naponi u seizmološkim institucijama većeg broja država, u cilju utvrđivanja pouzdanih metoda za **kratkoročnu prognozu** mjesta i vremena događanja, kao i intenziteta budućih velikih zemljotresa.

OSNOVI SEIZMIZMA - ELEMENTI ZEMLJOTRESA -

Zemljotres je podrhtavanje tla koje nastaje kao posledica oslobađanja energije tokom rasjedanja.

Mjesto na rasjednoj površi gdje dolazi do oslobađanja energije, odnosno odakle polaze seizmički talasi je **hipocentar (fokus)** zemljotresa.

Oslobodena energija se prenosi u vidu seizmičkih talasa u svim pravcima.

Zemljotres će se na površini zemlje prvo osjetiti u **epicentru** – tački koja se nalazi direktno iznad hipocentra.

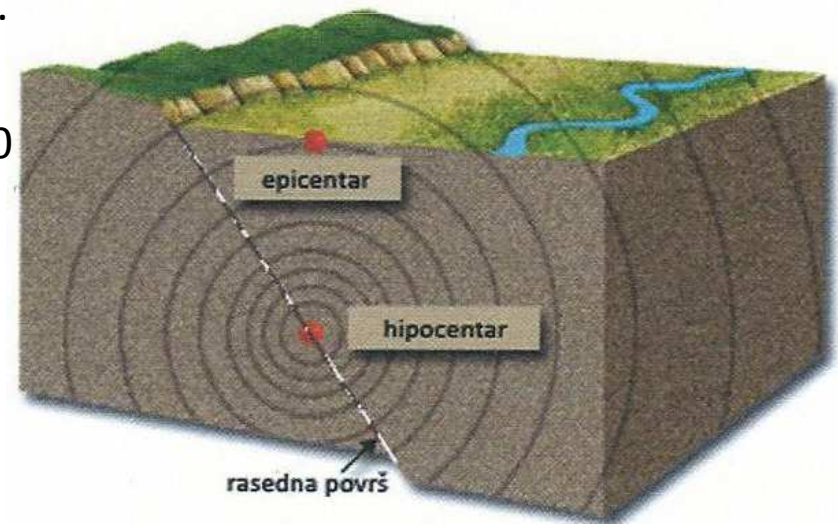
Često je zemljotres najjači i nanosi najveću štetu upravo u epicentru, iako to može da zavisi od više faktora, prvenstveno geološke građe terena.

Rastojanje između epicentra i hipocentra je **dubina zemljotresa**: plitki (<60 km), srednje duboki (60-300 km) i duboki (300-720 km).

Da bi došlo do zemljotresa neophodan je krti lom, odnosno pucanje.

Najveći broj zemljotresa vezan je za plitke djelove zemljine kore, dubine do 15 km – stijene su najhladnije i najviše krte.

Sa dubinom stijene se ponašaju sve plastičnije i sklonije su ubiranju nego pucanju.



SLIKA 9.1 Elementi zemljotresa: epicentar i hipocentar

Izvor: Opšta geologija.
Gerzina i Carević, 2019

OSNOVI SEIZMIZMA

- NASTANAK I VRSTE ZEMLJOTRESA -

*Izvor: Opšta geologija.
Gerzina i Carević, 2019*

Zemljotres nastaje iznenadnim lomom u stijenskoj masi, pod dejstvom napona stvorenim tektonskim pritiscima, koji su nastali u geodinamičkim procesima regiona.

Lom stijene nastaje u momentu kada naponi prevaziđu fizičku čvrstoću stijene, pri čemu se značajan dio akumulirane energije u pritisku, oslobađa u obliku neelastične deformacije – dislociranjem dva stvorena bloka rasjeda a ostatak energije se emituje u okolni prostor u obliku elastične deformacije stijena, odnosno **seizmičkih talasa**.

Seizmički talasi prožimaju cijelu zemljinu unutrašnjost, šireći se od nukleusa zemljotresa – tačke koja se naziva **hipocentrom**, odnosno tačkom začetka loma stijene.

Veličina rasjeda koji nastaje u ovom tektonskom procesu diktira snagu stvorenog zemljotresa, odnosno veličinu mehaničke energije koja će biti emitovana iz hipocentra.

Dužina stvorenih rasjeda kod vrlo snažnih i razornih zemljotresa dostiže dimenzije od više desetina kilometara, a veličina dislociranja blokova rasjeda može dostići dimenzije od nekoliko metara.

Da bi se ovaj kompleksni fenomen bolje i potpunije razumio, neophodno je proučiti osnovne **vrste i tipove** zemljotresa i shvatiti procese njihove **pripreme i geneze**.

Prema načinu nastanka, razlikujemo dvije osnovne vrste zemljotresa: **prirodne i vještačke**.

Od prirodnih zemljotresa izdvajamo tri tipa ili podvrste: **tektonske, vulkanske i urvinske**.

OSNOVI SEIZMIZMA

- NASTANAK I VRSTE ZEMLJOTRESA -

PRIRODNI ZEMLJOTRESI

TEKTONSKI zemljotresi predstavljaju najznačajniju i apsolutno dominantnu vrstu zemljotresa (posebno na prostoru Balkana), kako po broju, tako i po snazi.

Ovi zemljotresi nastaju u procesu naglog loma stijenske mase, pod dejstvom velikih pritisaka u stijenama, koji su obično dugotrajno akumulirani u široj zoni **žarišta** zemljotresa.

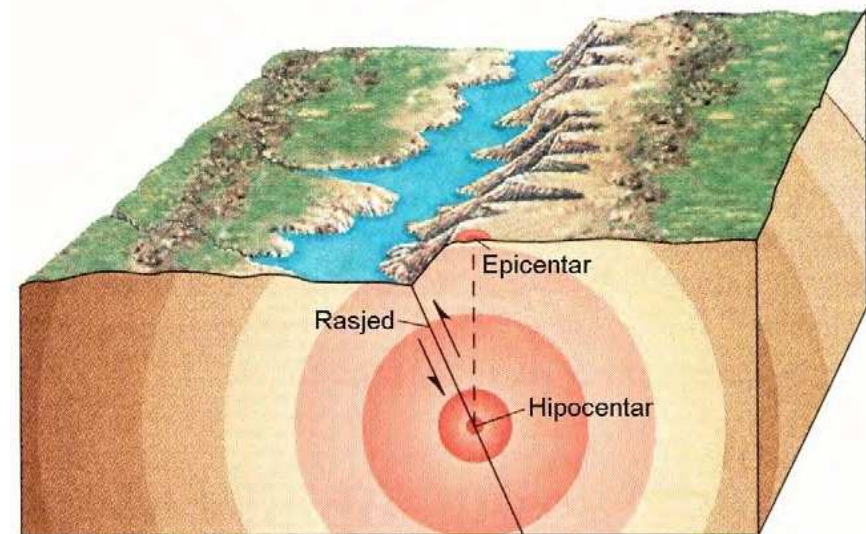
Pod žarištem zemljotresa podrazumijevamo mjesto (tačku) maksimalne koncentracije napona u stijenama, neposredno prije njenog loma, odnosno njenog rasijedanja - dakle mjesto na kojem započinje taj lom.

Žarište zemljotresa se često naziva i **hipocentar** ili **fokus**, a njegova vertikalna projekcija na Zemljinu površ je **epicentar**, koja je zapravo tačka u kojoj će biti najsnažnije manifestovano dejstvo zemljotresa na objektima na zemljinoj površi.

VULKANSKI zemljotresi se stvaraju u vulkanskim zonama, kao posljedica mehaničkog dejstva magme u njenom kretanju kroz vulkanske kanale, kao i pri samoj erupciji vulkana.

URVINSKI zemljotresi nastaju zarušavanjem podzemnih kaverni i pećina u stijenskim masama površinskih dijelova Zemljine kore, koji su izloženi erozionim procesima podzemnih voda.

Karakteristični su za kraške terene.



Slika 175. Nastanak tektonskog zemljotresa u procesu rasijedanja stijena, sa karakteristikama kretanja blokova rasjeda, stvorenih seizmičkih talasa i položaj hipocentra i epicentra. Izvor: Osnovi geonauka, Glavatović, 2005

OSNOVI SEIZMIZMA

- NASTANAK I VRSTE ZEMLJOTRESA -

Zemljotresi mogu biti izazvani udarima nebeskih tijela (meteora ili asteroida) ili snažnih eksplozija.

VJEŠTAČKI ZEMLJOTRESI

Pored eksplozija, najčešći **vještački** zemljotresi nastaju kao posljedica čovjekovog dejstva na prirodu.

Tako se, na primjer, u zoni vještačkih akumulacionih jezera javljaju tzv. **indukovani** zemljotresi, kao posljedica promjene naponskog stanja na dnu i bokovima akumulacije, usljed povećanja i učestale promjene hidrostatičkog pritiska vodenog stuba na stijenske mase, ali i kao posljedica smanjenja mehaničke otpornosti stijene usljed povećanja pornog pritiska vode u porama.

Ova vrsta zemljotresa je znatno učestalija u početnoj fazi eksploatacije akumulacije, kao i u fazama njenog naglog pražnjenja i punjenja.

U grupu vještačkih zemljotresa spadaju i zemljotresi nastali tzv. **gorskim udarom**, pretežno u starim rudnicima uglja, kao i drugim podzemnim kopovima usljed njihovog zarušavanja, kao i manji zemljotresi stvoreni u procesu kliženja tla i odronjavanja stijena u usjecima puteva i sl.

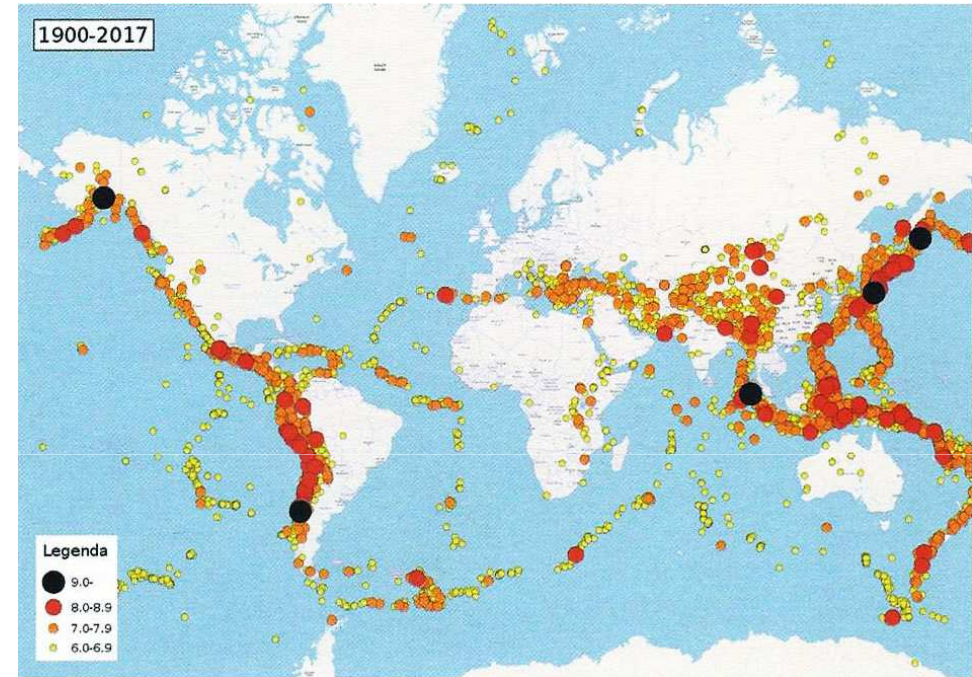
OSNOVI SEIZMIZMA

- NASTANAK I VRSTE ZEMLJOTRESA -

PROSTORNI RASPORED SEIZMIČKE AKTIVNOSTI

Analizom prostornog rasporeda seizmičke aktivnosti, zapaža se da su epicentri zemljotresa locirani najvećim dijelom u relativno uskim pojasevima na Zemlji, od kojih su posebno značajni Tiho-okeanski pojas sa brojnim ograncima, zatim Mediteranski i trans-azijski.

Tiho-okeanski pojas prostire se duž čitave zapadne obale južne i severne Amerike, zatim preko Aljaske – do Kamčatke, a zatim na jug – preko japanskih ostrva do Filipina i Novog Zelanda.



SLIKA 9.2 Zemljotresi magnitude preko 6 u periodu 1900-2017 (Autor: Phoenix7777/Wikimedia)

Pojas Mediterana, odnosno krajnji zapadni dio trans-azijskog pojasa, obuhvata zemljotrese dogođene u širem području Mediterana (posebno je izražen pojas u njegovom sjevernom dijelu – od Španije, preko južne Francuske, Italije, Slovenije, Hrvatske, Bosne i Hercegovine, Srbije i Crne Gore, Albanije i Grčke, do Turske i Crnog Mora) zatim u regionu Bliskog istoka i dalje - preko Indije i Pamira – do Dalekog istoka.

OSNOVI SEIZMIZMA

- NASTANAK I VRSTE ZEMLJOTRESA -

U slučajevima međusobnog primicanja (konvergencije) dvije susjedne tektonske ploče, nastaje njihovo sučeljavanje (kolizija).

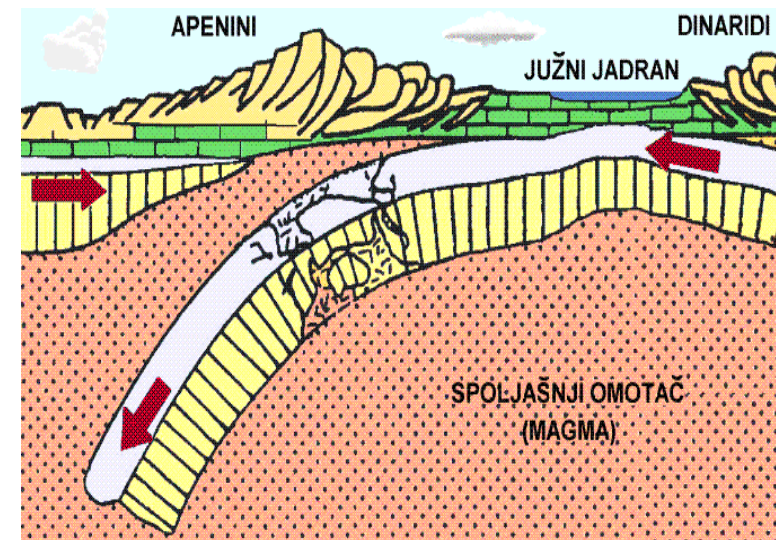
U stijenama kontaktne zone nastaju visoki bočni pritisci, pri čemu se akumuliraju naponi u stijenskim masama zemljine kore.

Kada naponi dostignu gornju granicu mehaničke čvrstoće stijene, dolazi do njenog pucanja duž najslabijih zona i pri tome nastaju tektonske forme - **rasjedi**.

U ovom tektonskom procesu vrši se naglo oslobađanje akumulirane mehaničke energije u obliku seizmičkih talasa, odnosno **nastaje zemljotres**.

Kao produkt ovakvih tektonskih procesa, u široj zoni sučeljavanja ploča, kumulativnim dejstvom ovakvih dugotrajnih procesa – nastaje regionalno ubiranje stijenskih masa, odnosno formiranje vjenačnih planina (stvaraju se orogeni), a tipičan primjer takve pojave je cijela zona spoljašnjih i unutrašnjih Dinarida.

Dinaridi, Helenidi, Apenini, Karpati, kao i drugi orogeni pojasevi u sjevernom obodu Mediterana, nastali su kao posljedica prenošenja bočnih pritisaka iz zone Mediterana (preko apulijske platforme) na sjeverni obod Mediterana, usljed laganog kretanja Afričke ploče ka sjeveru i sjeverozapadu i istovremeno, translacionim kretanjem evroazijske ploče u suprotnom smjeru – ka jugoistoku, približno istim brzinama od oko 7 milimetara na godišnjem nivou (ovaj proces i dalje traje).



Slika 69. Šematski prikaz apeninske subdukcione ploče i mikroploče Jadrana.
Izvor: Osnovi geonauka, Glavatović, 2005

OSNOVI SEIZMIZMA

- NASTANAK I VRSTE ZEMLJOTRESA -

Najčešće u zonama sučeljavanja tankih okeanskih kora i relativno debelih kontinentalnih ploča, dolazi do podvlačenja djelova okeanske kore pod kontinentalni dio zemljine kore, što se naziva **subdukcijom**.

U ovim slučajevima dio kore koji subdukuje pod kontinet, tone do određene dubine – do donje granice tranzitne zone – oko 670 km, postižući maksimalne dubine od oko 700 km. Na tim dubinama subdukovana ploča biva mehanički i termički degradirana i/ili istopljena u magmi.

U oblasti južne Amerike, subdukovana ploča istočnog dijela Tihog Okeana prodrla je do dubine od blizu 600 kilometara.

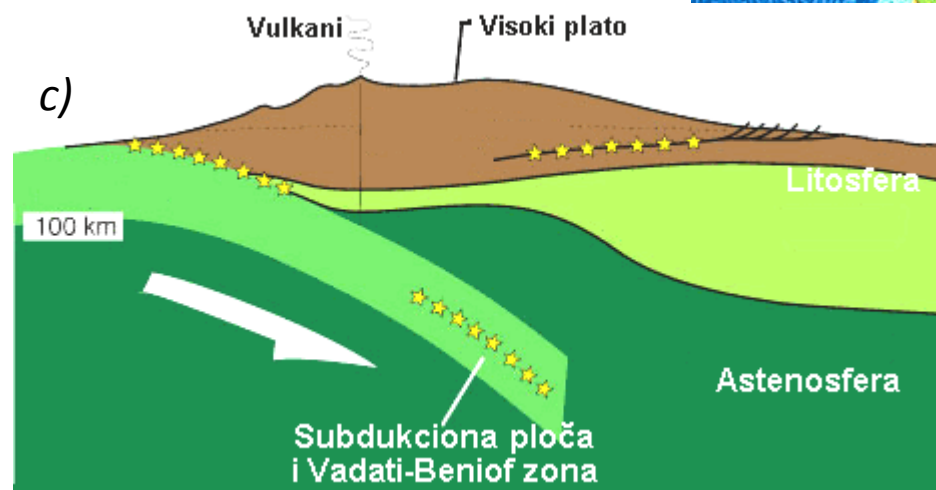
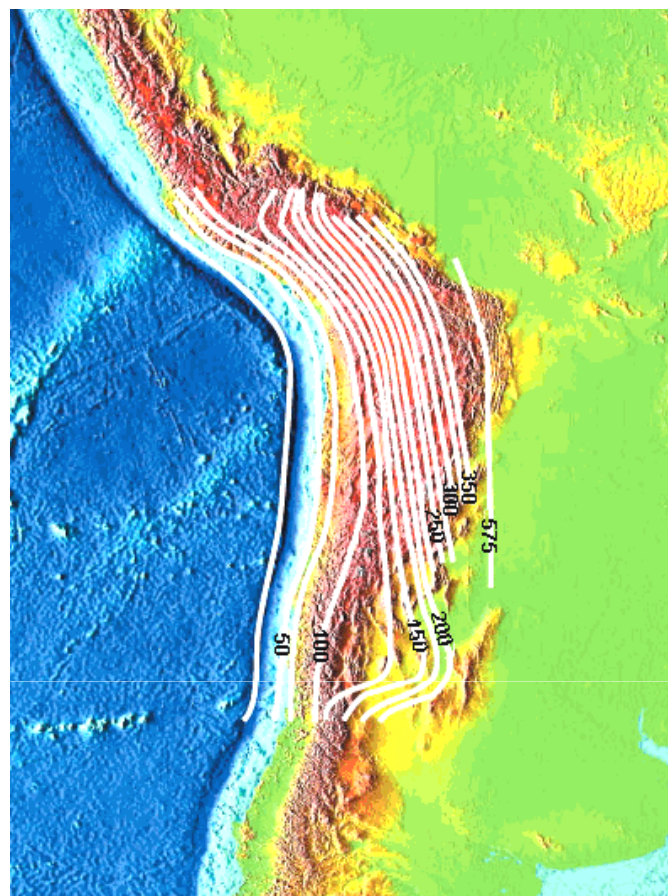
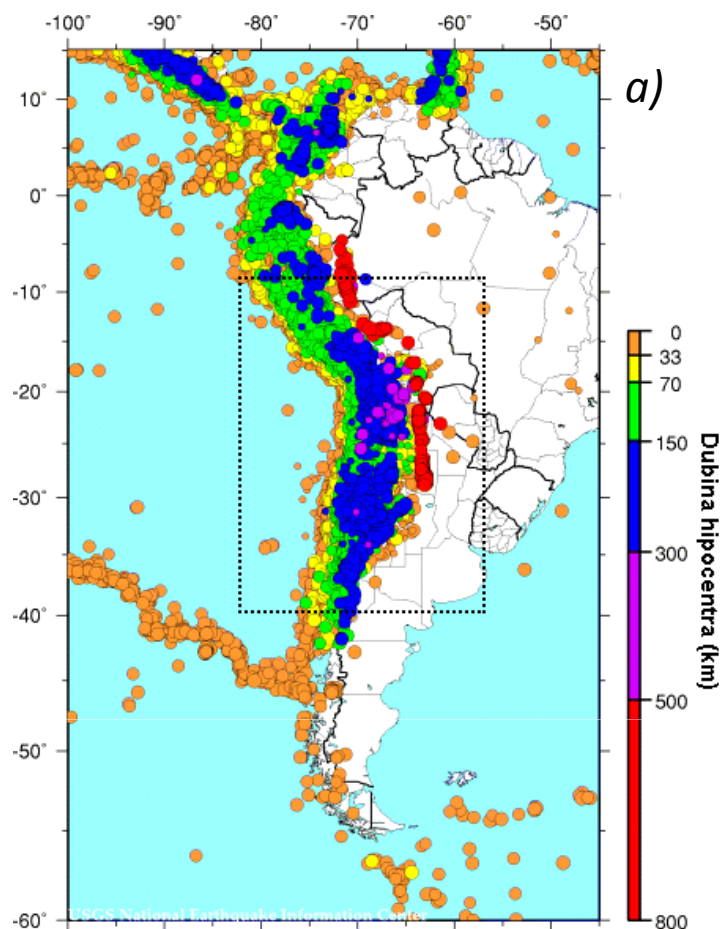
Pošto su ovi procesi praćeni mehaničkim razaranjem stijena u dijelu kore koji vrši subdukciju, to se u ovakvim slučajevima stvaraju (i registruju) zemljotresi.

Analizom prostornog položaja hipocentara tih zemljotresa jasno se može pratiti opisani proces.

Zona koncentracije hipocentara u okviru subdukcione ploče naziva se ***Vadati-Beniof zonom*** (Wadati-Beonioff) ili kratko - ***zona Beniofa***.

Zone subdukcije su najizraženije u regionu zapadnog dijela južne Amerike, Novog Zelanda, japanskih ostrva, ali i na mnogim drugim mjestima, kao što je Egejsko more, zatim Tirensko more, u regionu Vrančea u Rumuniji (zoni Karpato-Balkanskog luka) i dr.

OSNOVI SEIZMIZMA - NASTANAK I VRSTE ZEMLJOTRESA -



Slika 178. Subdukciona proces u južnoj Americi:
a) položaj hipocentara zemljotresa različite dubine,
b) izolonije dubine Vadati-Beniof zone i
c) šema vertikalnog presjeka kroz centralni dio ove subdukcijske ploče sa indicijom Vadati-Beniof zone.

Izvor: Osnovi geonauka, Glavotović, 2005

OSNOVI SEIZMIZMA

- NASTANAK I VRSTE ZEMLJOTRESA -

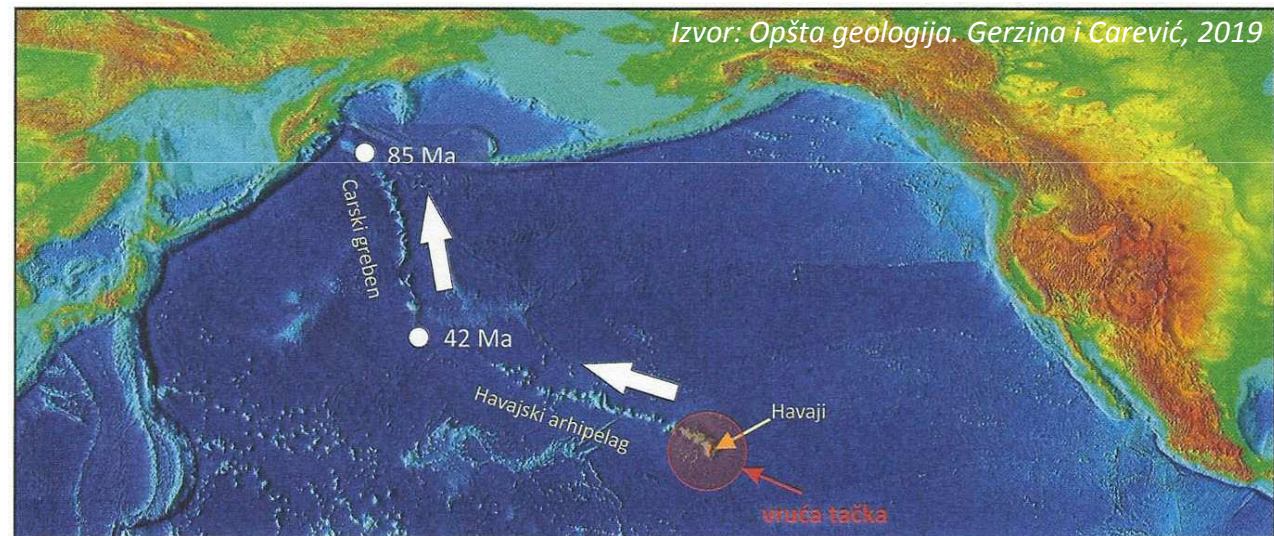
Izvor: Opšta geologija. Gerzina i Carević, 2019 ; Osnovi geonauka, Glavatović, 2005

U slučajevima kada se vrši međusobno **razmicanje** tektonskih ploča, što se obično dešava u okeanima, tada duž formirane pukotine između dva bloka stijena okeanskog dna, dolazi do izbijanja magme.

Magma se u kontaktu sa vodom naglo hladi i formira bazaltnu koru, popunjavajući nastalu prazninu u kori – do sljedećeg pucanja, odnosno razmicanja blokova.

I ovi procesi su praćeni stvaranjem **zemljotresa**.

Snaga ovih zemljotresa znatno je manja od onih koji se dešavaju u zonama kolizije tektonskih ploča. *Primjeri: Island, istočna Afrika...* Zemljotresi se dešavaju i na transformnim granicama – *duž San Andreas rasjeda u Kaliforniji.*



SLIKA 6.14 Formiranje havajskog ostrvskog luka kao rezultat prelaska pacifičke ploče preko vruće tačke

Ostali epicentri zemljotresa su rasuti po površini Zemlje i vezani su za **vruće tačke** ili za duboke, veoma stare dugotrajno aktivne rasjedne zone.

Vruća tačka (hot-spot) je mjesto na površini Zemlje koje karakteriše prinos toplote, intenzivni vulkanizam i izdizanje litosfere, što se dešava nezavisno od granice litosfernih ploča. Utvrđeno je postojanje oko 50 vrućih tačaka na Zemlji.

OSNOVI SEIZMIZMA

- MEHANIZAM NASTANKA TEKTONSKIH ZEMLJOTRESA -

Bočni pritisci u zemljinoj kori, stvoreni usljed kretanja tektonskih ploča koncentrišu se u vidu napona u stijenama - duž linija sučeljavanja ploča i u neposrednoj okolini.

Pošto tektonske ploče u kretanju predstavljaju ogoromne mase stijena, sa zapreminom reda veličine miliona kubnih kilometara, to je i njihova kinetička energija ogromna, bez obzira na relativno malu brzinu tog kretanja.

Pri sučeljavanju dvije tektonske ploče, vrši se transformisanje njihove kinetičke energije u mehaničku energiju, koja se preko pritisaka koncentriše u stijenama zone sučeljavanja.

Akumuliranje pritisaka (i njihovih posljedica – napona) u stijenama, obavljaće se do momenta kada ovi naponi dostignu granicu mehaničke čvrstoće stijene.

Tada, **duž površi maksimalne koncentracije napona**, nastaje mehanički lom stijene, formiranje rasjeda i **dislociranje stijenskih masa duž rasjedne ravni**. Na taj način se postiže naponsko rasterećenje stijena i privremeno se uspostavlja novo stabilno stanje, a stijena je zatim sposobna da akumulira nove napone.

Sam proces rasijedanja obično traje samo nekoliko sekundi, pošto je brzina rasijedanja najčešće u granicama 2 - 4 km/s.

Proces akumuliranja napona u zoni budućeg žarišta zemljotresa, ili kako se još naziva proces **pripreme glavnog zemljotresa**, često je praćen stvaranjem manjih zemljotresa koji nastaju usljed čestog prisustva lokalnih nehomogenosti u strukturi stijene u zoni žarišta, pri čemu nastaju manji lomovi i dislokacije.

OSNOVI SEIZMIZMA

- MEHANIZAM NASTANKA TEKTONSKIH ZEMLJOTRESA -

U zoni pripreme zemljotresa gotovo redovno se događa i niz tzv. **prethodnih zemljotresa** (ili **for-shock /for-šok/** u anglosaksonskoj literaturi) sa znatno manjim intenzitetom u poređenju sa glavnim zemljotresom.

Takođe, odmah nakon pojave glavnog zemljotresa, u fazi konsolidovanja stijenskih masa i uspostavljanja novog stabilnog stanja u zoni žarišta, počinje da se odvija čitav proces događanja serije manjih **naknadnih zemljotresa** (ili engl. **after-shock /after-šok/**).

U seimološkoj praksi često osmotrena i pojava tzv. **migracije** epicentara zemljotresa u regionu, posebno u sekvenci koja slijedi nakon događanja vrlo snažnih zemljotresa.

U tim slučajevima, distribucija epicentara tokom vremena realizacije serije naknadnih zemljotresa, zahvata široki prostor (i po nekoliko hiljada kvadratnih kilometara).

Tipičan primjer takve seobe epicentara registrovan je i kod Crnogorskog zemljotresa od 15. aprila 1979. godine sa magnitudom 7,0.

Tom prilikom, u toku nešto više od jedne godine, koliko je trajala after-šok sekvenca, bio je seizmički veoma aktivan čitav prostor od Herceg Novog do Ulcinja i približno od lokacije glavnog zemljotresa (na oko 15 km od obale u podmorju Jadrana) pa do Skadarskog jezera i Cetinja.

U tom regionu u okviru te sekvence, registrovano je više hiljada naknadnih zemljotresa, od kojih je iznad magnitude 4 bilo oko 100.

OSNOVI SEIZMIZMA

- SEIZMIČKI TALASI -

Energija koja se stvara u ognjištu zemljotresa širi se na sve strane u obliku **elastičnih talasa**, koje nazivamo **seizmički talasi**. Do Zemljine površine pristižu raznovrsni seizmički talasi, različiti po svojim karakterističnim osobinama prostiranja kroz različite sredine Zemljine kore.

U osnovi, postoje dvije vrste seizmičkih talasa: **zapreminski i površinski**.

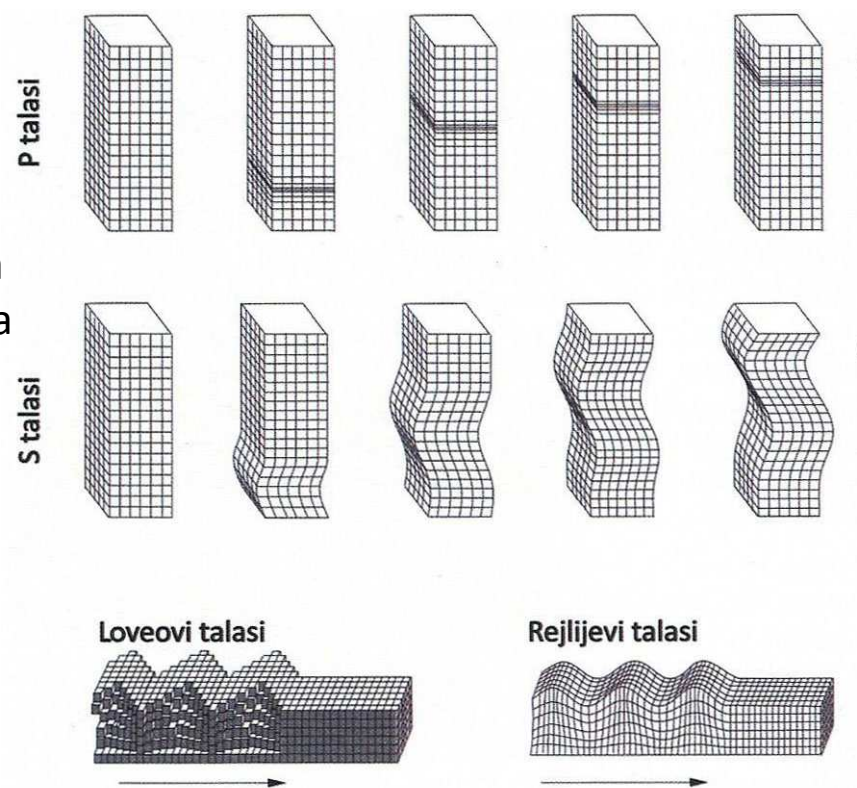
Zapreminski seizmički talasi prostiru se kroz unutrašnjost Zemlje, a površinski seizmički talasi se kreću blizu njene površine.

ZAPREMINSKI SEIZMIČKI TALASI

Razlikujemo dvije vrste zapreminskih seizmičkih talasa: primarne i sekundarne.

Primarni, longitudinalni, kompresioni, P-talasi predstavljaju elastičnu deformaciju sredine (tla) koja se ostvaruje oscilovanjem čestica sredine prenosnika talasa - **u pravcu kretanja seizmičkog talasa** (naizmjeničnim sabijanjem i rastezanjem sredine). Ovi talasi se kratko označavaju sa "P" (zbog najveće brzine kretanja) i nazivaju uzdužnim talasima. Longitudinalni talasi se prostiru kroz čvrste, tečne i gasovite sredine.

Sekundarni, transverzalni, smičući, S-talasi nastaju oscilovanjem mikročestica tla **dominantno u pravcu upravnom na pravac kretanja talasa**. Oni su manje brzine od longitudinalnih (za oko 73 %) i ne prostiru se kroz tečnosti i gasove. Kratko se označavaju sa "S".



SLIKA 9.3 Šematski prikaz različitih seizmičkih talasa

OSNOVI SEIZMIZMA

- SEIZMIČKI TALASI -

POVRŠINSKI TALASI

Talase koji prolaze kroz unutrašnje djelove Zemlje, prate površinski talasi, koji se prostiru u najvišim nivoima Zemljine kore.

Zbog svoje male talasne dužine i velike amplitude, površinski talasi su **najdestruktivniji seizmički talasi**.

Nastaju uglavnom **nakon plitkih zemljotresa**, dok duboki zemljotresi uglavnom ne rezultiraju pojavom ovog tipa talasa.

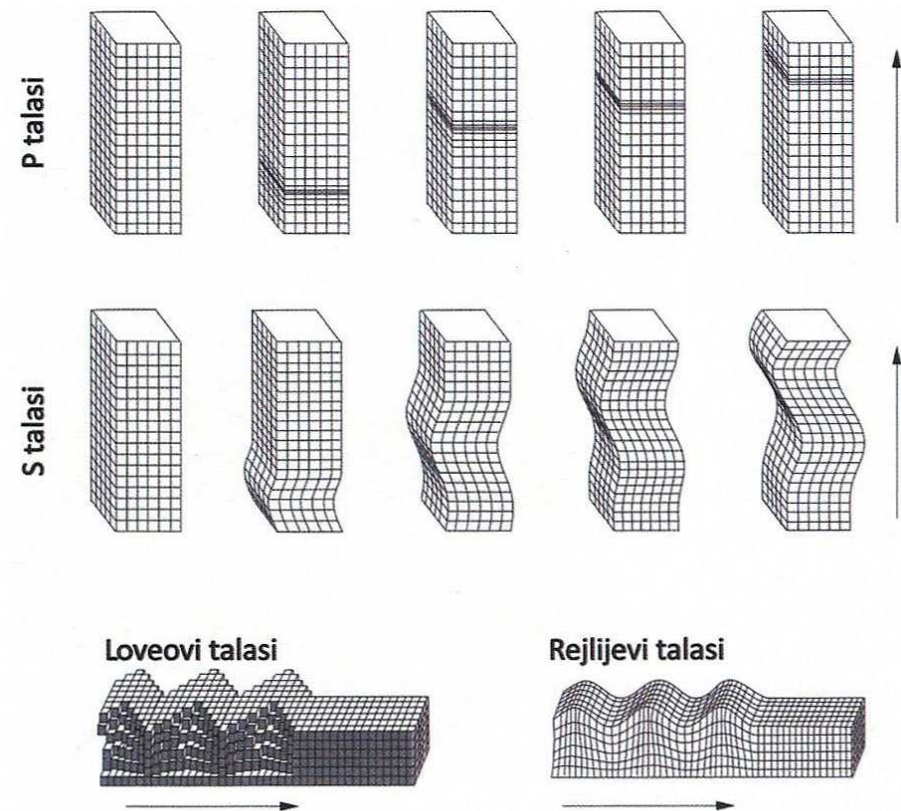
Postoje dva tipa površinskih talasa: **Loveovi i Rejljevi talasi**.

Loveovi talasi su površinski seizmički talasi kod kojih je **kretanje čestica normalno na pravac prostiranja**.

Kretanje se vrši paralelno površini Zemlje i nema vertikalnu komponentu.

Rejljevi talasi su površinski seizmički talasi kod kojih je **kretanje čestica korljajuće**, tj. **eliptično, u pravcu prostiranja talasa**, uz dominantnu vertikalnu i podređenu horizontalnu komponentu kretanja.

Površinski talasi mogu formirati dugačke frontove koji mogu imati prilično razorne efekte na većim udaljenostima od epicentra.



SLIKA 9.3 Šematski prikaz različitih seizmičkih talasa

Izvori: *Osnovi geonauka*, Glavatović, 2005
Opšta geologija. Gerzina i Carević, 2019

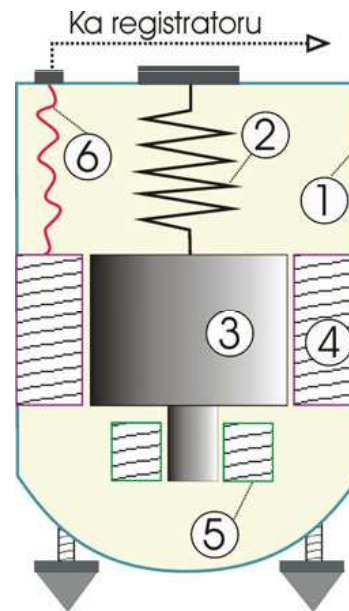
OSNOVI SEIZMIZMA

- SEIZMOMETRIJA, MJERENJE I LOCIRANJE ZEMLJOTRESA-

Prvi pokušaji registrovanja zemljotresa pomoću odgovarajuće aparature, sežu u daleku kinesku prošlost. Konstrukcija prvih seizmoloških instrumenata vremenski je vezana za kraj XIX vijeka, kada je konstruisan prvi tip **seizmografa** – kao uređaja za grafičko registrovanje seizmičkih talasa stvorenih zemljotresom.

Od tada do danas, u Svijetu je razvijen veliki broj raznih vrsta i tipova instrumenata za registrovanje različitih parametara dejstva zemljotresa. Tako se u instrumentalnoj tehnici registrovanja zemljotresa jasno izdvajaju tri osnovna tipa seizmoloških uređaja: **seizmografi**, **akcelerografi** i **seizmoskopi**.

Seizmografi predstavljaju fundamentalne registracione instrumente u seizmološkoj praksi, pomoću kojih se mehanički efekat seizmičkih talasa zemljotresa u tlu, pretvara u elektromagnetski indukovani napon (kod elektromagnetskih tipova seimografa).



Slika 185. Elektromagnetski seizmometar: a) šema vertikalnog seizmometra: (1)-kućište; (2)-čelična opruga; (3)-trajni magnet; (4)-radni kalem; (5)-prigušni (i kalibracioni) kalem; (6)-kabl za odvođenje indukovano napona na pojačavač i registrator signala; b) Realni izgled seizmometra tipa S-13 Teledajn-Džiotek (Teledine-Geotech) u vertikalnom (raskolpljenom) i horizontalnom položaju.

OSNOVI SEIZMIZMA

- SEIZMOMETRIJA, MJERENJE I LOCIRANJE ZEMLJOTRESA-

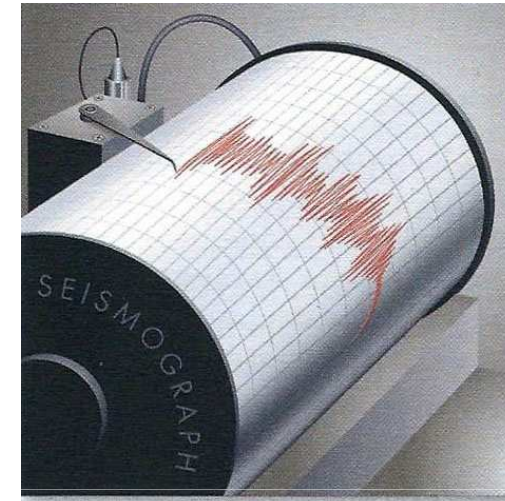
Stvoreni napon se nakon elektronskog pojačanja zatim registruje na odgovarajućem **rekorderu (registratoru)** u vidu ekvivalentnog grafičkog zapisa – **seizmograma** - ili ekvivalentnog magnetskog digitalnog zapisa, koji se koristi za automatsku obradu na računaru.

Zavisno od načina transformisanja mehaničkih vibracija tla u seizmometru, registruje se veličina pomaka tla (pomjeranje) ispod seizmometra ili (što je danas najčešći slučaj) brzina oscilovanja tla.

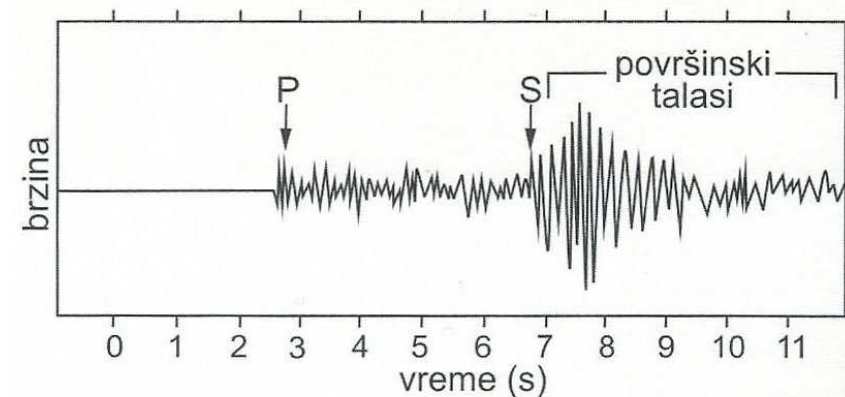
Na osnovu vremena kašnjenja S-talasa izračunava se udaljenost seizmološke stanice od epicentra zemljotresa.

Akcelerografi registruju **ubrzanje oscilovanja tla**, koje su izazvali seizmički talasi.

Seizmoskop je posebno dizajniran seizmološki instrument, namijenjen **registrovanju dinamičkog odgovora** hipotetičkih građevinskih objekata, u uslovima dejstva jakih bliskih zemljotresa.



SLIKA 9.9 Seizmograf



SLIKA 9.10 Seizmogram

OSNOVI SEIZMIZMA

- SEIZMOMETRIJA, MJERENJE I LOCIRANJE ZEMLJOTRESA-

Jedan od najznačajnijih zadataka u obradi seizmoloških podataka je određivanje **prostornih koordinata žarišta zemljotresa** i **hipocentralnog vremena** (momenta generisanja zemljotresa) sa maksimalno mogućom tačnošću.

Jedini raspoloživi podaci za rješenje ovog zadatka predstavljaju **vremena registrovanja seizmičkih faza** na seizmogramima većeg broja seizmoloških stanica, koje su distribuirane na različitim rastojanjima i u različitim pravcima od epicentra.

Za proračun **položaja epicentra** (geografske širine i dužine) i **trenutka nastanka zemljotresa** (u slučaju epicentra to je tzv. **epicentralno vreme**, ili momenta pojave prvih seizmičkih talasa u epicentru), dakle za definisanje ove tri nepoznanice, potrebno je raspolagati podacima registrovanja zemljotresa na najmanje tri seizmološke stanice (pretpostavljajući bar po jedan podatak o nekoj seizmičkoj fazi).

U seizmološkoj praksi se obično raspolaže sa znatno većim brojem podataka, posebno kod jačih zemljotresa, čime se postiže veći kvalitet utvrđenih parametara žarišta.

Za definisanje **dubine žarišta zemljotresa** potreban je bar jedan podatak više, odnosno rezultat registrovanja istog zemljotresa na najmanje 4 seizmološke stanice.

Pri proračunu **dubine hipocentra**, potrebno je da je ispunjen još jedan uslov – da se bar jedna od seizmoloških stanica nalazi na epicentralnom rastojanju koje je istog reda veličine kao dubina hipocentra.

OSNOVI SEIZMIZMA - JAČINA ZEMLJOTRESA-

Zemljotresi nastaju kao posledica oslobađanja energije koja se u stijenama akumulira tokom naprezanja izazvanih tektonskim pokretima u litosferi.

Energija oslobođena tokom zemljotresa se širi u vidu seizmičkih talasa koji dovode do pomjeranja tla na površini Zemlje.

Jačina udarnog talasa zavisice od količine akumulirane anergije u stijenama, odnosno od veličine naprezanja kojima je ona bila izložena, kao i od dužine vremenskog perioda tokom kojeg je trpjela naprezanja.

Jačinu zemljotresa možemo posmatrati na dva načina:

- kao količinu oslobođene energije – ***magnituda*** ili
- kao efekte koje zemljotres izaziva na površini – ***intezitet***.

MAGNITUDA ZEMLJOTRESA

Magnituda (M) je relativna mjera oslobođene energije u hipocentru.

Da bi bilo moguće upoređenje zemljotresa koji se dešavaju širom Zemlje, osmišljene su različite magnitudne skale, koje porede zemljotrese na osnovu parametara koji nijesu lokalno varijabilni.

Prvu magnitudnu skalu, baziranu na seizmičkim podacima, razvio je 1935. godine ***Čarls Rihter***.

OSNOVI SEIZMIZMA

- JAČINA ZEMLJOTRESA-

MAGNITUDA ZEMLJOTRESA

Rihterova magnitudna skala je bazirana na amplitudi seizmičkih talasa zabilježenih na seizmogramu.

Energija oslobođena tokom različitih zemljotresa varira u ogromnim razmjerama, pa su **amplitude seizmičkih talasa** veoma različite.

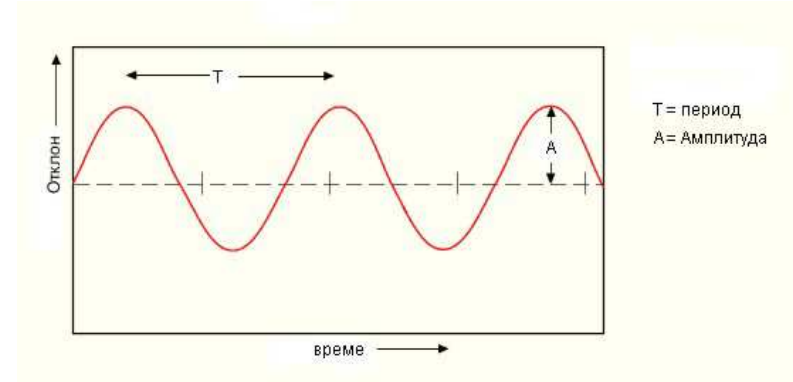
Da bi ove razlike umanjio, Rihter je koristio logaritamsku skalu za izražavanje magnitude.

Svaki naredni stepen Rihterove skale znači deseterostruko povećanje amplitude seizmičkog talasa.

Svaka jedinica Rihterove skale podrazumijeva povećanje energije za oko 32 puta u odnosu na prethodnu jedinicu.

Rihterova skala ima 9 stepeni (iako u stvari nema gornju granicu).

Vremenom se pokazalo da Rihterova skala nije dovoljno precizna pri mjerenju jačine zemljotresa magnitude preko 8, pa su seizmolozi modifikovali originalnu i osmislili nove magnitudne skale.



Amplituda talasa je mjera veličine najvećeg pomjeraja u sredini tokom jednog ciklusa talasa.

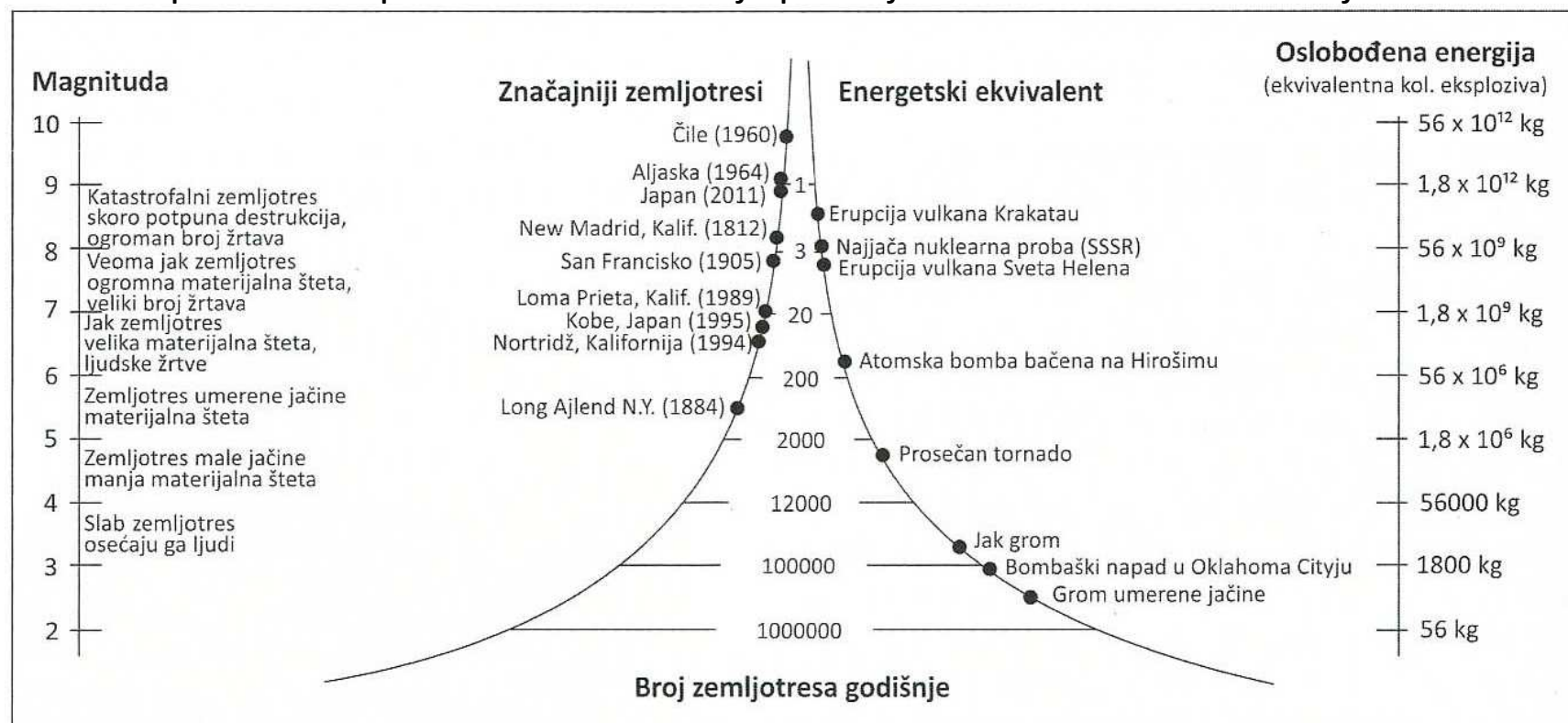
OSNOVI SEIZMIZMA

- JAČINA ZEMLJOTRESA-

MAGNITUDA ZEMLJOTRESA

Danas je u najširoj upotrebi **Skala momentne magnitude**, koja mjeri količinu oslobođene energije na cijeloj površini rasjeda, na osnovu površine rasjedne površi, iznosa kretanja tokom rasjedanja i otpornosti stijene.

Momentna magnituda može se izračunati na osnovu analize seizmograma kao i na osnovu terenskih podataka o parametrima kretanja po rasjedu i karakteristikama stijene.



SLIKA 9.12 Skala momentne magnitude

Izvor: Opšta geologija. Gerzina i Carević, 2019

OSNOVI SEIZMIZMA - JAČINA ZEMLJOTRESA-

INTEZITET ZEMLJOTRESA

Intezitet zemljotresa je stepen površinskih efekata koje on izaziva, odnosno mjera njihove destruktivnosti.

Pravilnost odnosa između stepena mogućih oštećenja na površini i magnitude zemljotresa ne postoji.

I intezitet i magnituda zavise od mnogo faktora koji uključuju **proces rasjedanja** i **način na koji se energija prenosi iz hipocentra do površine Zemlje**.

Bitan faktor koji treba uzeti u obzir je **dubina hipocentra** – duboki zemljotresi su manje destruktivni u odnosu na plitke zemljotrese iste magnitude.

Na površinske efekte zemljotresa bitno utiču **udaljenost od epicentra, geološka građa terena** i **kvalitet građevinskih objekata** u zemljotresom zahvaćenom području.

Intezitet zemljotresa bi generalno trebalo da opada sa udaljenošću od epicentra, ali postoje izuzeci koji su uzrokovani geološkom građom i pojavama kao što je **likvefakcija** (*proces prelaska u tečno stanje vodom zasićenih nekoherentnih sedimenata pod uticajem dinamičkih sila – dolazi do naglog gubitka čvrstoće sedimenata i njihovog ponašanja kao gustih tečnosti*).

Intezitet zemljotresa je kvalitativni parametar njegove jačine, pa su skale inteziteta opisnog karaktera.

Najčešće se koristi modifikovana skala inteziteta koju je osmislio **Đuzepe Merkali** 1902. godine.

OSNOVI SEIZMIZMA

- JAČINA ZEMLJOTRESA-

INTEZITET ZEMLJOTRESA

Merkalijeva skala obuhvata 12 stepeni inteziteta zemljotresa, baziranih na opažanjima i stepenu oštećenja koje zemljotres izaziva.

Radi numeričkog istraživanja površinskih efekata, danas je u upotrebi nekoliko seizmičkih skala.

*Na području prethodne (SFR) Jugoslavije, bile su korišćene dvije podudarne skale: **MCS skala** ili **Merkali – Kankani – Ziberg (Mercalli – Cancani – Sieberg)** i znatno detaljnija **MSK–64 (Medvedev – Sponhauer – Karnik)** ili skala Instituta Fizike Zemlje SSSR, koje su izražene u rasponu od 1-12 podeoka.*

*U Evropskoj uniji, kao i od skoro u Srbiji i Crnoj Gori, koriste se tzv. **EMS-98 skala** (Evropska Makroseizmička Skala iz 1998. godine), takođe sa 12 podeoka.*

*U Sjedinjenim Američkim Državama u primjeni je tzv. **MM skala** (modifikovana Merkalijeva), koja takođe ima 12 podeoka. U Japanu se koristi tzv. japanska skala sa 7 podeoka.*

Izvor: Autorizovana predavanja, Ivanović i Nikolić, 2016/17

Skraćeni oblik skale intenziteta MKS-64 i MCS

STEPEN	OSNOVNI EFEKTI ZEMLJOTRESA	MAKSIMALNO UBRZANJE (%g)
I	Zemljotres registruju samo seizmografi.	< 0,7
II	Reaguju samo vrlo osjetljive osobe u mirovanju.	0,7 – 1,2
III	Zemljotres osjeti više ljudi u unutrašnjosti grada.	1,2 – 2,1
IV	U kućama zemljotres osjeti veći dio stanovnika, a na otvorenom samo pojedinci. Posuđe i prozori zveckaju. Pojedinci se bude iz sna.	2,1 – 3,6
V	Podrhtavanje tla osjete mnogi i na otvorenom prostoru. Predmeti koji slobodno vise – zanjšu se. Kod pojedinaca izaziva manju paniku.	3,6 – 6,0
VI	Potresanje osjete sve osobe i bježe iz kuća. Slike padaju sa zidova. Na slabijim zgradama nastaju manja oštećenja.	6,0 – 10,0
VII	Nastaju rušenja i razaranja u znatne štete na namještaju u stanovima. Oštećenja se javljaju i na kvalitetnijim kućama. Ruše se dimnjaci na kućama, padaju crepovi.	10,0 – 16,3
VIII	Javljaju se oštećenja na oko 25% kuća, neke slabije se ruše. U vlažnom tlu i padinama javljaju se manje pukotine.	16,3 – 26,1
IX	Oko 50% zidanih kuća znatno je oštećeno, mnoge se ruše, a većina je neupotrebljiva za dalje stanovanje.	26,1 – 41,4
X	Teška oštećenja nastaju na oko 75% zgrada, a većina njih se ruši. U tlu nastaju pukotine do nekoliko cm. Sa padina se odronjavaju stijene, stvaraju se velika klizišta u tlu.	41,4 – 64,1
XI	Ruše se sve zidane zgrade. U tlu nastaju široke pukotine iz kojih prodire voda sa pijeskom i muljem. Javlja se veliko odronjavanje.	64,1 – 98,8
XII	Nijedan vještački objekat ne može opstati. Tlo i reljef mijenjaju izgled. Zatrpavaju se jezera, rijeke mijenjaju korita.	> 98,8

OSNOVI SEIZMIZMA

- PRATEĆE POJAVE ZEMJOTRESA I SEIZMIČKE PROGNOZE -

Zvučne pojave – izazvane trenjem blokova u litosferi – **bronditi**, kao i zvučne pojave u atmosferi izazvane prostiranjem P-talasa.

Svjetlosne pojave – izazvane električnim pražnjenjima u atmosferi.

Požari – zbog kidanja električnih vodova, gasnih infrastrukturnih objekata, oslobađanjem zapaljivih gasova iz razlomnih zona u unutrašnjosti Zemlje.

Oslobađanje radioaktivnih materija iz nuklearnih postrojenja.

Geomorfološki efekti – zemljotresi mijenjaju izgled zemljine površine kroz deformaciju reljefa, formiranje klizišta, izazivaju likvefakciju tla, odrone, uticaj na izvore, tokove rijeka...

Cunami talasi – front okenaskih talasa koji najčešće nastaje kao posledica snažnog zemljotresa (mogu nastati i kao posledica vulkanske aktivnosti i velikih odrona).

Zemljotresi su kompleksni i nepredvidivi prirodni fenomeni.

Podaci o zemljotresima i poznavanje geologije omogućavaju izradu karata seizmičkog hazarda.

Na osnovu podataka o karakteru trusnih oblasti, ciklusima pojavljivanja zemljotresa, veličini magnituda, maksimalnim intezitetima i drugim parametrima, moguće je dati **dugoročne prognoze** za određene oblasti.

Kratkoročnu prognozu je izuzetno teško dati, mada postoje brojni pokušaji seizmologa, na osnovu analiza različitih pojava koje prethode zemljotresima.

OSNOVI SEIZMIZMA - SEIZMIČNOST CRNE GORE -

Tokom bliže i dalje istorije, Crna Gora je bila više puta pogođena snažnim i katastrofalnim zemljotresima.

Godine 518., u VI vijeku naše ere Duklja je bila potpuno razorena, zemljotresom intenziteta, kako navodi Jelenko Mihailović, jačine X stepeni makroseizmičkog intenziteta.

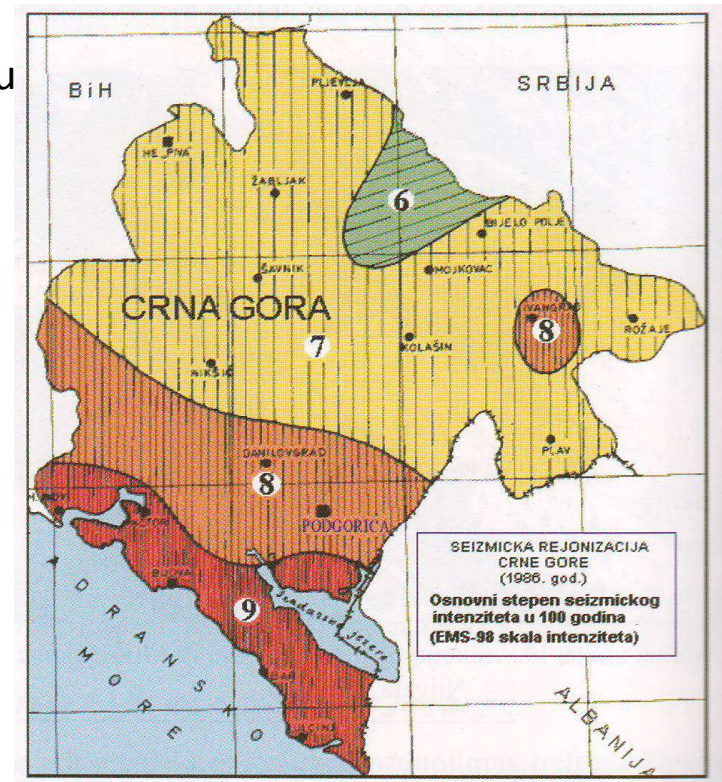
Jugozapad Crne Gore je u brojnim trusnim katastrofama, više puta bio razaran tokom perioda XV-XVII vijeka. Takođe, godine 1905., krajnji jugoistok bio je zahvaćen velikim razaranjima izazvanim skadarskim zemljotresom (sjeverna Albanija).

Poslednji razorni i katastrofalni zemljotres na ovom području dogodio se **15. aprila 1979. godine** sa epicentrom u podmorju Jadrana na oko 15 km od obale – južno od gradova Bar i Ulcinj.

Ovaj zemljotres je odnio ukupno 101 žrtvu u Crnoj Gori i 35 u Albaniji i načinio ogromnu materijalnu štetu, razarajući brojne, kako stare, tako i nove građevinske objekte, kako individualne objekte, tako i velike hotelske kapacitete i privredne resurse na cijelom Crnogorskom primorju.

Zemljotres je primorsku oblast zahvatio sa intenzitetom IX stepeni Merkalijeve (MCS) skale (ili ekvivalentne Evropske makroseizmičke skale), dok je zaleđe primorja bilo pogođeno intenzitetom VIII, a najveći preostali dio Crne Gore – intenzitetom VII stepeni te skale.

Izvor: Autorizovana predavanja, Ivanović i Nikolić, 2016/17



Karta seizmičke rejonizacije Crne Gore, 1986.