Suvremeni endogeni procesi i uloga inženjerske geologije

Plažanin, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

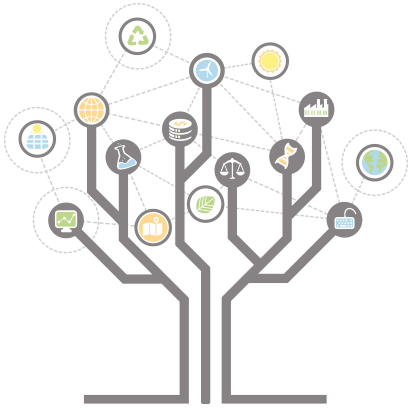
2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:898414

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

FILIP PLAŽANIN

SUVREMENI ENDOGENI PROCESI I ULOGA INŽENJERSKE GEOLOGIJE

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2019

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

FILIP PLAŽANIN

SUVREMENI ENDOGENI PROCESI I ULOGA INŽENJERSKE GEOLOGIJE

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT:

Filip Plažanin

MENTOR:

Doc. dr. sc. Hrvoje Meaški

VARAŽDIN, 2019

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: FILIP PLAŽANIN

Matični broj: 2463 - 2014./2015.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

SUVREMENI ENDOGENI PROCESI I ULOGA INŽENJERSKE GEOLOGIJE

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Endogeni procesi i inženjerska geologija
3. Tektonika ploča
4. Magmatizam; potresi; orogeneza
5. Primjeri, posljedice i predviđanja suvremenih endogenih procesa
6. Zaključak
7. Literatura

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 11.05.2018. Rok predaje: 05.07.2019.

Mentor:
Doc.dr.sc. Hrvoje Meaški

REPUBLIKA HRVATSKA
GEOTEHNIČKI FAKULTET
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
VARAŽDIN

Predsjednik Odbora za nastavu:
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

Suvremeni endogeni procesi i uloga inženjerske geologije

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc.dr.sc Hrvoja Meaškog.**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 04. 07. 2019.

Filip Plažanin

(ime i prezime)

Filip Plažanin

(Vlastoručni potpis)

Ime i prezime: Filip Plažanin

Naslov rada: Suvremeni endogeni procesi i uloga inženjerske geologije

Sažetak

Unutarnji pokreti Zemlje koji utječu na oblikovanje reljefa nazivaju se endogenim procesima. Endogeni procesi pokretani su toplinskom energijom koja se oslobađa prilikom izdizanjem lakših elemenata od težih u unutrašnjosti Zemlje (pomicanje litosfernih ploča), raspadanjem radioaktivnih elemenata te usporavanjem Zemljine rotacije. Glavni uzrok pokretanja litosfernih ploča je magma koja se kreće u Zemljinoj unutrašnjosti. Izravne posljedice kružnog kretanja magme su magmatizam i vulkanizam. Pomicanje litosfernih ploča popraćene su nastajanjem vulkana, potresa i tsunamija. Endogeni procesi odvijaju se kontinuirano te ih je potrebno pomno pratiti kako bi se spriječile ili ublažile moguće materijalne štete te izbjegle ljudske žrtve. Svojim radom inženjerski geolozi i geofizičari predviđaju spomenute procese i pojave, analiziraju područja pogođena potresima i vulkanima kao i ostale popratne pojavama (deformacije terena, blatne i muljne tokove, poplave itd.).

Ključne riječi:

endogeni procesi, vulkanizam, potresi, tektonika ploča, magmatizam, inženjerska geologija

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. ENDOGENI PROCESI I INŽENJERSKA GEOLOGIJA. 2
3. TEKTONIKA PLOČA 5
3.1. KONVERGENTNE GRANICE 7
3.2. DIVERGENTNE GRANICE 7
3.3. Transformni rasjedi 8
4. MAGMATIZAM; POTRESI; OROGENEZA 10
4.1 MAGMATIZAM 10
4.1.1.Klasifikacija magme 11
4.1.2. Vulkan 11
4.1.3. Klasifikacija vulkana 13
4.3. Potresi 14
4.3.1. Subjektivni doživljaj osjećaja jačine potresa 15
4.3.2. Magnituda potresa 16
4.3.3. Intenzitet potresa 17
4.4. Orogeneza 18
5. PRIMJERI, POSLJEDICE I PREDVIĐANJA SUVREMENIH ENDOGENIH PROCESA 19
5.1. POTRESI 19
5.1.1. Primjeri potresa 19
5.1.2. Posljedice potresa 20
5.1.3. Tsunamiji 21
5.1.4. Predviđanje potresa 23
5.1.5. Potresi u Hrvatskoj 25
5.2. VULKAN 26
5.2.1.Primjeri vulkana 26
5.2.2. Posljedice vulkana 28
5.2.3. Praćenje i zaštita od vulkanskih katastrofa u primjeni inženjerske geologije 30
6. ZAKLJUČAK 32
7. LITERATURA 33
POPIS SLIKA 34
POPIS TABLICA 36

1. UVOD

Reljef nastaje međudjelovanjem endogenih (unutarnjih) i egzogenih (vanjskih) sila i procesa. Endogeni i egzogeni procesi odgovorni su za oblikovanje Zemljinog reljefa i formiranje mnogih najvažnijih mineralnih resursa. Oblikovanje reljefa je dinamičan i kontinuiran proces koji nikada ne prestaje. Unutarnje sile pokretane se kruženjem toplinske energije iz vruće unutrašnjosti prema hladnijoj površini procesima koji se nazivaju konvekcijskim strujanjima. Unutarnje sile koje pokreću litosferne (tektonske) ploče, uzrokuju vulkane i potrese te na taj način izravno djeluju na oblikovanje reljefa. Glavni izvor toplinske energije je radioaktivno raspadanje izotopa urana, torija i kalija. Oko 85 % topline koja dospijeva na površinu zemlje dolazi od tog procesa dok ostatak dolazi od stalnog hlađenja Zemlje koji se odvija od njenog nastanka (Tandarić, 2010).

Inženjerska geologija smatra se, uz mehaniku tla i mehaniku stijena, jednom od tri temeljne znanstvene discipline u geotehničkom inženjerstvu. Primjena geoloških podataka, tehnika i principa u istraživanju prirodnog nastanka stijena i tla te podzemnih voda. Iz tog razloga inženjerska geologija danas ima značajnu ulogu pri određivanju utvrđivanju geoloških uvjeta za izvođenje inženjerskih radova i eksploatacija objekata pri čemu je potrebno dobro poznavanje geneze prostora (Ortolan, 2013).

2. ENDOGENI PROCESI I INŽENJERSKA GEOLOGIJA.

Endogeni procesi uzrokovani su endogenim silama. **Magmatizam i tektonika ploča** predstavljaju dva najznačajnija endogena procesa**.** Glavni pokretač endogenih sila je toplinska energija (tzv. konvekcijska strujanja) koja se oslobađa prilikom izdizanja lakših elemenata od težih u unutrašnjosti Zemlje (gravitacijska diferencijacija), raspadanjem radioaktivnih elemenata te usporavanjem Zemljine rotacije (slika 1). Gravitacijska diferencijacija dovela je do raslojavanja Zemlje u geosfere različite specifične gustoće. Na površini se također manifestira u obliku tektonskih pokreta koji oblikuju reljef Zemljine površine (Tandarić, 2010).

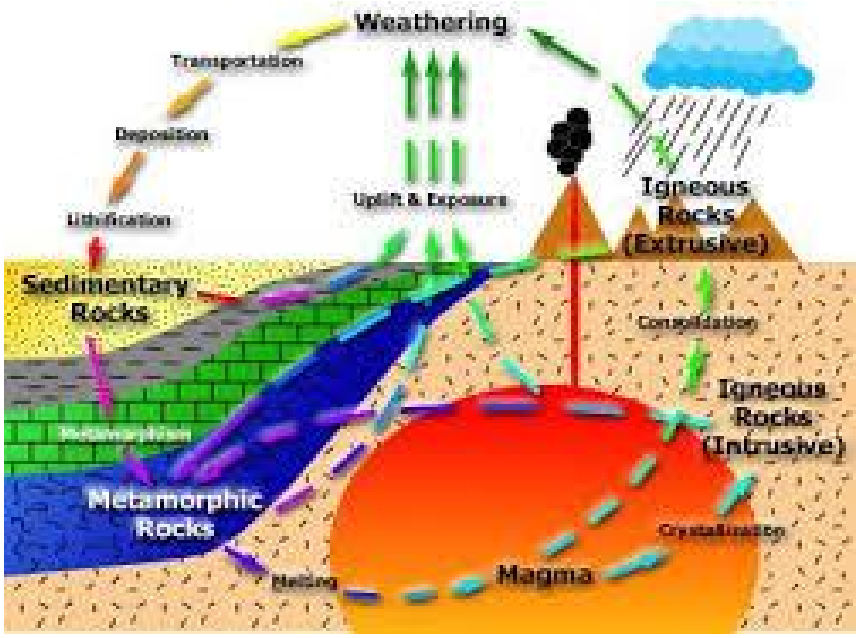
Konvektivne struje nastaju u astenosferi, srednjem Zemljinom plaštu koji se nalazi približno na dubini od 400 do 1000 km te su uzrok vertikalnih i horizontalnih kretanja litosfere (Enciklopedija, 2016).

Litosfera predstavlja stjenovit Zemljin omotač što ga tvore Zemljina kora (granitna ili kontinentalna i bazaltna ili oceanska) i gornji plašt; debljina litosfere od 6 km pod oceanom do 100 km pod kontinentima. Podijeljena je u manje ploče koje se nazivaju litosferne ploče. Proces pomicanja litosfernih (tektonskih) ploča objašnjen je teorijom tektonskih ploča, a njihovo pomicanje popraćeno je nastajanjem vulkana, potresa i tsunamija.

Glavni izvor toplinske energije je radioaktivno raspadanje izotopa urana, torija i kalija. Pretpostavlja se da će taj doprinos topline s vremenom slabiti te će i endogeni procesi početi slabiti. Unutrašnja energija mjeri se geotermalnim stupnjem tj. povećanjem temperature s dubinom. Prosječno, svaka 33 metra temperatura se poveća za 1º C (Tandarić, 2010).

Magmatizam i tektonika ploča su dva usko povezana procesa. Posljedica njihovog djelovanja je formiranje i destrukcija Zemljine kore. Endogene sile uzrokuju procese oblikovanja reljefa kao što su orogeneza, epirogeneza ili eustatički pomaci. **Orogeneza** je oblikovanje planinskih lanaca tipično lučnog ili linearnog oblika pomoću tektonskih procesa pri čemu dolazi do značajnog boranja i rasjedanja. **Epirogeneza** je izdizanje ili spuštanje velikih dijelova zemljine površine bez značajnog boranja ili rasjedanja. **Eustatički** pomaci su promjene morske razine zbog topljenja leda ili zbog promjena oblika i kapaciteta oceanskog bazena.

Inženjerska geologija je znanost koja primjenjuje inženjerske principe rješavanje geoloških problema i građevinskih objekata. Dva polja znanosti koja intenzivno surađuju s geologijom su: građevinarstvo i rudarstvo (Ortolan, 2013).



Slika 1. Endogena dinamika Zemlje.
http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/Strukturni_skladi/Gradiva/MUNUS2/MUNUS2_32Endogenadinamika.pdf Datum pristupa: 25.06.2019.

Inženjeri geologije razumiju fizičko, mehaničko i kemijsko ponašanje geološke građe te su sposobni ustanoviti i protumačiti geološke pojave i procese, uključujući i takva koja mogu utjecati na projekt za vrijeme njegovog trajanja. Oni posjeduju znanja osnovne inženjerske terminologije, razumijevanje inženjerskih zahtijeva za dizajn i konstrukciju geotehničkih građevina te metoda timskog rada i komunikacije s drugim geotehničkim i građevinskim inženjerima.

Geolozi su između ostalog specijalizirani za sljedeće poslove (Ortolan, 2013):

- obučenost za rad na (zahtjevnim i teško dostupnim) terenima
- čitanje geoloških i inženjersko geoloških karata
- rad u računalnim geoinformacijskim sustavima
- određivanje geološke građe terena
- utvrđivanje i monitoring geoloških procesa i pojava
- analiza dostupne geološke i građevinske dokumentacije
- pisanje geotehničkih i geoloških elaborata

Važnost inženjerske geologije je u praćenju (monitoringu) suvremenih endogenih procesa, u razumijevanju inženjerskih zahtijeva za dizajn i konstrukciju geotehničkih građevina, utvrđivanju ugroženosti objekata te utvrđivanju opasnosti za građane određenog prostora. Određene prirodne pojave (npr. potrese, vulkane) čovjek ne može spriječiti, ali uporabom suvremene tehnologije prilikom monitoringom geolozi mogu na vrijeme upozoriti na povećanu opasnost i spriječiti ljudske žrtve i umanjiti materijalne štete. Geolozi moraju pomno pratiti određene znakove vulkanske aktivnosti. Svaka promjena tih aktivnosti (anomalija) može ukazati na nadolazeću erupciju. Neke od značajnih anomalija, odnosno aktivnosti koje prate seizmičnost u blizini vulkana, deformacije tla, promjene u koncentraciji plinova, promjene u kemizmu i nivou podzemnih voda (Slobodna enciklopedija, 2019).

Bitni doprinos inženjerske geologije u boljitku zaštite društva uključuje (Ortolan, 2013):

- sigurnost stambenih, trgovačkih i industrijskih građevina
- nužnu opskrbu energijom i mineralnim resursima
- ublažavanje geoloških slučajeva
- ublažavanje opasnosti izazvanih čovjekovom aktivnošću
- učinkovito funkcioniranje inženjerske infrastrukture
- doprinos održivom okolišu

3. TEKTONIKA PLOČA

Tektonika ploča je geološka teorija koja objašnjava pomicanje zemljine kore velikih razmjera. Razvijanje teorije je postavio Alfred Lothar Wegener (1880 – 1930) prije otprilike 200 milijuna godina postojao jedinstveni kontinent Pangea koji je počeo pucati. Tako je ranih 60 – tih godina 20. st. Teorija o tektonici ploča pokrenula „revoluciju" u prirodnim znanostima. Izravno ili neizravno tektonika ploča ima utjecaje na skoro sve geološke procese, tako i na današnje suvremene procese (Slobodna enciklopedija, 2019).

Građa Zemlje može se podijeliti prema kemijskom sastavu te prema gustoći i težini materijala. Prema kemijskom materijalu Zemlja se dijeli na jezgru, omotač i koru. Prema gustoći materijala Zemlja je građena od vanjske i unutarnje jezgre, unutarnjeg i vanjskog omotača (astenosfere) te površinskog sloja litosfere. Litosfera obuhvaća koru i gornji dio plašta, dok se ispod litosfere nazali astenosfera. Iako u krutom stanju, astenosfera ima relativno nisku viskoznost te se stoga u geološkoj vremenskoj skali može ponašati kao tekućina. Ispod astenosfere se nalazi krući donji plašt, čije je fazno stanje posljedica visokog tlaka (Slobodna enciklopedija, 2019).

Litosfera je razlomljena u tzv. Litosferne ploče (tektonske ploče). Litosferne ploče, zbog razlike u gustoći, plutaju na astenosferi. Najvažnije ploče su (Slobodna enciklopedija, 2019):

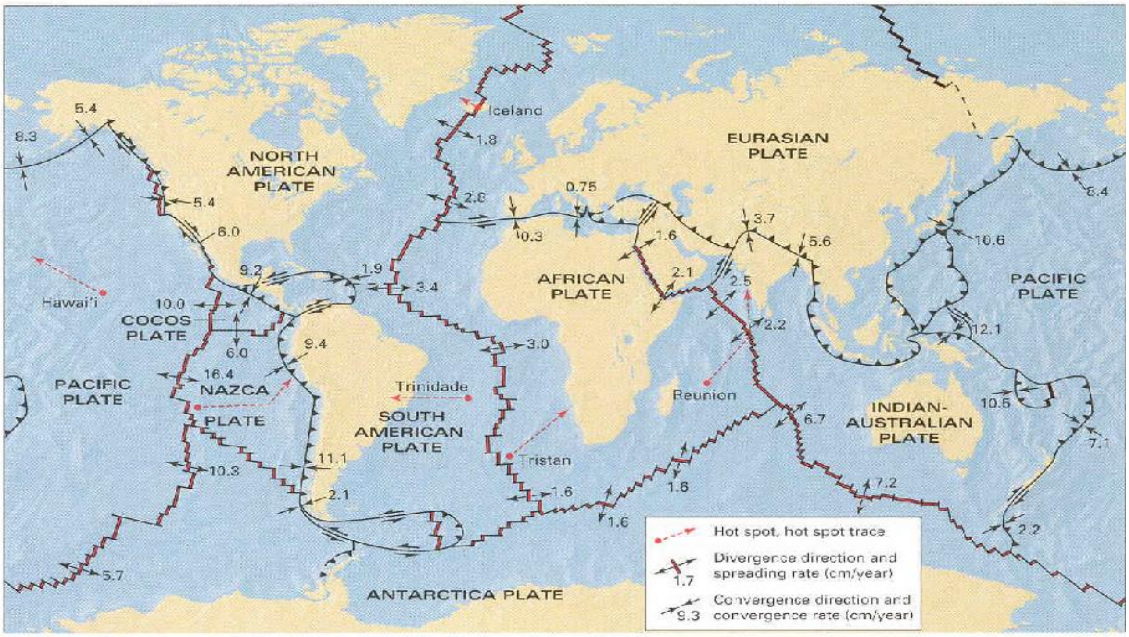
- Afrička ploča, pokriva Afriku (kontinentalna ploča)
- Antarktička ploča, pokriva Antarktiku (kontinentalna ploča)
- Indo-australska ploča, pokriva Australiju te Indiju)kontinentalna ploča)
- Euroazijska ploča pokriva Aziju i Europu (kontinentalna ploča)
- Sjevernoamerička ploča pokriva Sjevernu Ameriku i sjevero-istočni Sibir (kontinentalna ploča)
- Južnoamerička ploča pokriva Južnu Ameriku (kontinentalna ploča)
- Pacifička ploča, pokriva Pacifički ocean (oceanska ploča).

Značajne manje ploče uključuju Arapsku ploču, Karipsku ploču, Juan de Fuca ploču, Nazca ploču, Filipinsku ploču i Scotia ploču (Enciklopedija, 2016).

Brzim napretkom tehnika daljinskog istraživanja pomoću satelitskih mjerenja, tijekom posljednjih 15-ak godina, omogućena su praćenja vertikalnih pomaka odabranih točaka na površini Zemlje s vrlo visokom točnošću reda veličine cm/god. Razvojem novih

postupaka obrade satelitskih snimaka nedavno je razlučivost povećana na red veličine mm/god. Radi se o postupku satelitske radarske interferometrije kojim se na već postojećim satelitskim slikama odabranog područja prati udaljenost unaprijed odabranih permanentnih objekata od satelita. Kao u arhivima međunarodnih agencija postoje potrebni satelitski snimci te je danas moguće kartirati brzine vertikalnih pomaka na nekom području s, do nedavno, nezamislivom točnošću i prostornom gustoćom.

Metoda je našla primjenu pri urbanom i prostornom planiranju jer se brzo i jeftino može dobiti kvalitetan pregled zona izdizanja, spuštanja, odrona, klizišta. Zbog toga je ona već primijenjena u mnogim gradovima diljem Europe. Tako visoka preciznost rezultata mjerenja bez daljnjeg su bitno unaprijedila znanstvena promišljanja i ubrzala razvoj znanstvene misli. Načela tehnologija GPS mjerenja. Satelitskim mjerenjima dnevno su omogućena praćenja niza odabranih točaka na površini zemlje u apsolutnom prostornom koordinatnom sustavu. Tako se mogu pratiti pomaci tektonskih ploča, njihovi kratkotrajni i brzi pomaci uzrokovani naglim oslobađanjima nagomilanog stresa (potresima izazvanim kretanjima na rubovima ploča), progresija tsunami valova koji su posljedica nezaustavljivog prirodnog procesa: pomaci ploča – potresi – tsunami (slika 2).



Slika 2. Smjerovi i stupnjevi pomicanja Zemljinih ploča izračunati na temelju morskih magnetskih anomalija, razdvajaju stijene uzduž transformnih rasjeda i udaljenost otoka u odnosu na vruće točke. http://gfosweb.gfos.hr/portal/images/stories/studij/sveucilisni-preddiplomski/inzenjerska-geologija/inzenjerska-geologija-i-dio.pdf *Datum pristupa: 02.06.2019.*

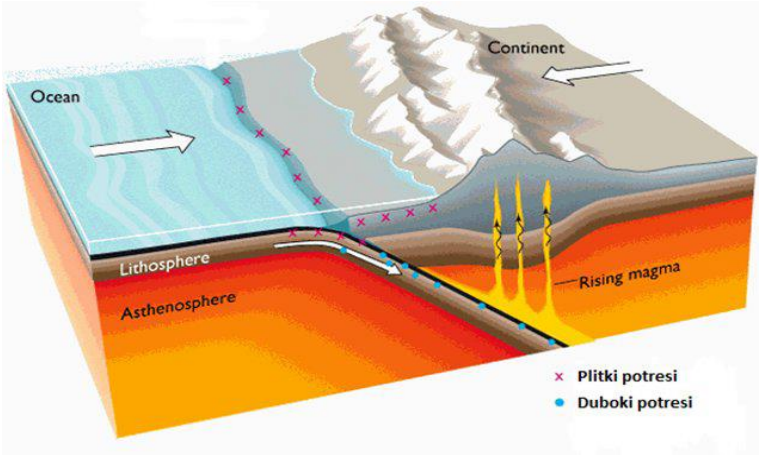
Brzine kretanja ploča mjerimo indirektno preko magnetskih anomalija ili češće direktno radarom ili laserom. Ploče se kreću 1 do 6 cm godišnje i te su brzine uglavnom postojane.

Postoje tri tipa granica ploča, karakteriziranih načinom na koji se ploče pomiču relativno jedna prema drugoj:

- Konvergentne
- Divergentne granice
- Transformni rasjedi

3.1. KONVERGENTNE GRANICE

Granice litosfernih ploča koje se javljaju na mjestu gdje se dvije ploče podvlače jedna pod drugu tvoreći zonu subdukcije (oceanska ploča tone pod kontinentalnu) ili kontinentalne kolizije (sudar dviju kontinentalnih kora). Dubokomorski jarci tipične su pojave u zoni subdukcije. Zbog trenja i zagrijavanja subducirane ploče, gotovo su uvijek povezane s vulkanizmom. Najbolji su primjeri za ove procese Ande u Južnoj Americi te Japanski otočni luk (slika 3).

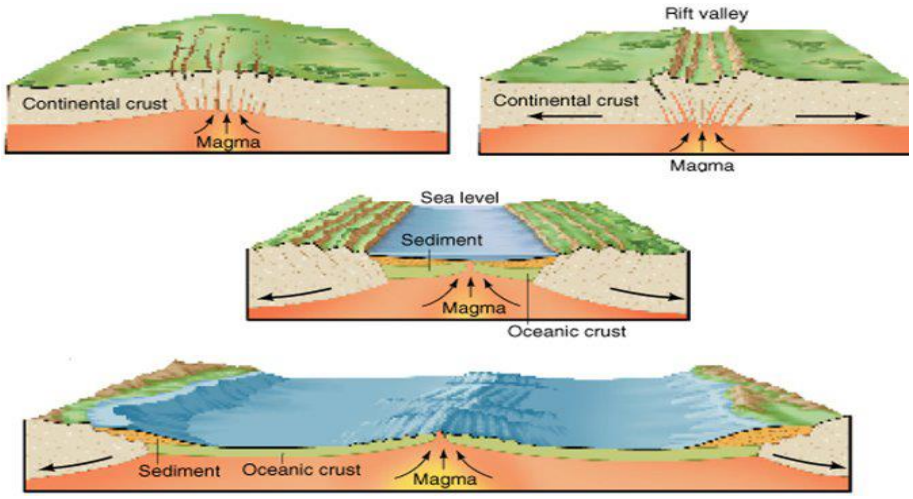


Slika 3. Subdukcija oceanske kore pod kontinentsku koru. (Visual Dictionary Online, 2019)

3.2. DIVERGENTNE GRANICE

Divergentnim granicama tektonskih ploča nazivamo mjesta gdje se dvije litosferne ploče odmiču jedna od druge. Predstavljene su u oceanskoj litosferi sustavom oceanskih hrptova, kao što su Srednjoatlanski greben i Istočnopacifičko uzvišenje, a u

kontinentalnoj litosferi dolinama brazdanja kao što je poznata Istočnoafrička brazda. Divergentne granice mogu stvoriti masivne zone rasjedanja, koje se odlikuju prisustvom normalnih i transkurentnih rasjeda, uslijed ekstenzijskog tektonskog režima (slika 4).



Slika 4. Postanak i razvoj divergentne granice (Visual Dictionary Online, 2019)

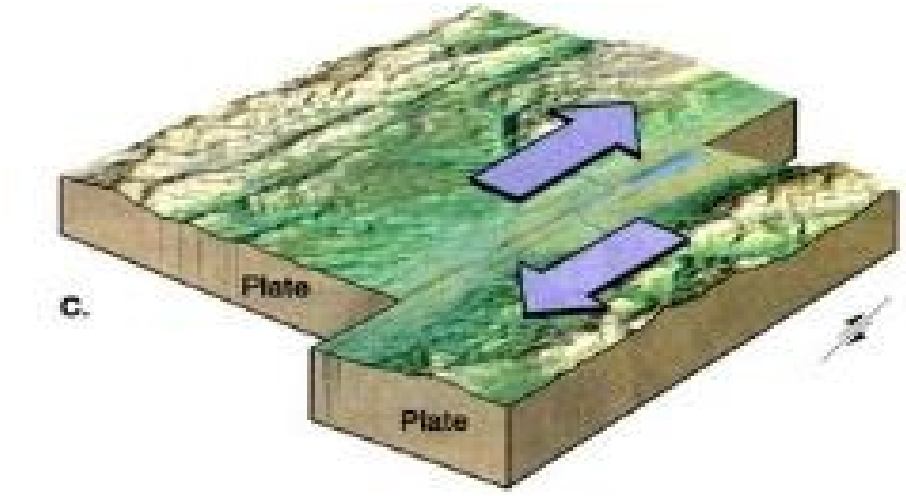
3.3. Transformni rasjedi

Poseban tip transkurentnog rasjeda, poznat još kao i konzervativna granica ploča. Glavno obilježje je izrazito velika vodoravna komponenta pomaka njegovih krila, u usporedbi s pomakom po okomici paraklaze (klizne plohe). Veliko lateralno (odnosno lijevo i desno) pomicanje jedne ploče u odnosu na drugu duž transformnih rasjeda može imati vidljive površinske učinke. Uz to, zbog trenja, ploče ne mogu jednostavno kliziti jedna po drugoj već dolazi do stvaranja potresa. Zbog zakrivljenosti rasjedne plohe u vodoravnoj i okomitoj ravnini dolazi do pritiska u rasjednoj zoni. Kada pritisak u obje ploče dosegne stupanj koji prelazi donju granicu deformacija stijena, akumulirana potencijalna energija oslobađa se u obliku deformacija.

Potresi, vulkanska aktivnost, izdizanje planinskih lanaca te oblikovanje oceanskih jaruga se pojavljuju duž granica ploča. Bočno pomicanje ploča obično se odvija brzinom od 0,66 do 8,50 cm godišnje (Slobodna enciklopedija, 2019).

Osnovna ideja teorije globalne tektonike ploča je da je površina Zemlje podijeljena na nekoliko ploča, a na granicama tih ploča je snažna tektonska aktivnost. Upravo su te

aktivnosti na granicama suština ove teorije. Ta teorija predstavlja osuvremenjenu i dalje razvijenu Wegenerovu hipotezu o plutanju kontinenta. Na razvoj te teorije utjecao je tehničko – tehnološki napredak čovječanstva. Danas se ona naziva i neomobilističkom teorijom. Wegener je tvrdio da se kontinenti kreću plutanjem sila pod utjecajem centrifugalnih i privlačnih sila Sunca i Mjeseca. Dokaze za teoriju je pronalazio u obrisima kontinenata – Atlantske obale Afrike i Južne Amerike se poklapaju (slika 5). Na temelju oblika sastavio je jedan jedinstveni kontinent pod nazivom Pangeu koja će se kasnije razdvojiti na dva kontinenta tzv. Gondwanu i Lauraziju.



Slika 5. Transformni rasjed
www.gweaver.net/techhigh/projects/period1_2/Yellowstone/Images/transform.jpeg *Datum pristupa 19.06.2019.*

4. MAGMATIZAM; POTRESI; OROGENEZA

4.1 MAGMATIZAM

Endogeni procesi vezani za kretanje magme predstavljaju sve procese vezane za kretanje, ekspanziju i prodor magme i plinova iz unutrašnjosti zemlje kroz njenu koru do Zemljine površine. Na svom putu do površine magma se probija kroz pukotine u kori ili si stvara novi put taleći okolne stijene koje su bliže površini pa su niže temperature i manje gustoće. Sama pojava izbijanja magme i drugog materijala na površinu naziva se erupcija. Magmatizam se javlja na kontaktima litosfernih ploča tj. vezan je uz zone širenja i subdukcije. Magmatizam u unutrašnjosti naziva se intruzivni magmatizam ili plutonizam, a karakterizira ga što magma ne dolazi na površinu već se hladi i kristalizira unutar Zemljine kore. S druge strane, magmatizam na površini se zove efuzivni magmatizam ili vulkanizam i karakterizira ga što magma izlazi na površinu Zemlje gdje se hladi i kristalizira (slika 6). Za oblikovanje reljefa Zemlje vulkanizam je mnogo značajniji od plutonizma jer ima veći utjecaj na površinu Zemlje. Prilikom vulkanizma magma ostaje na površni zemlje i stvara novi oblik, a za plutonizam je sasvim suprotno, hladi se i ostaje u zemljinoj kori (Tandarić, 2010).



Slika 6. Magma, daljnjim hlađenjem lave
https://www.google.com/search?q=magma&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjJtvL168riAhXCPOwKHfwoAC0Q_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=57XFuMf433k7jM: *Datum pristupa: 02.06.2019.*

Podjelom magmatizma na intruzivni i efuzivni, možemo podijeliti i strukture koje nastaju u unutrašnjosti odnosno na površini Zemlje. Intruzivne strukture obuhvaćaju dubinske (batolit, lakolit, greda, sklad) i prijelazne oblike (dajk, nek). Efuzivne strukture pak čine

površinski oblici (kupa, sliv, ploča). Temperatura magme može biti od 600 do 1200ºC, a može se hladiti i tisućama godina (Tandarić, 2010).

4.1.1.Klasifikacija magme

Magmu se kvalificira prema kemijskom sastavu, odnosno udjelu silicijevog dioksida na kiselu, neutralnu, bazičnu i ultrabazičnu (tablica 1) te prema izvornosti (genezi). Prema genezi je podijeljena na primarnu i sekundarnu. Primarna magma je izvorna bazična magma, a sekundarna magma je neutralna do kisela magma pretaljivanjem. Primjerice, kada sedimentne ili metamorfne stijene nastale primarnom magmom ulaze u subdukciju, tale se te prolaze kroz kontinentalnu koru pa nastaju sekundarne magme koje su uglavnom kisele (Tandarić, 2010).

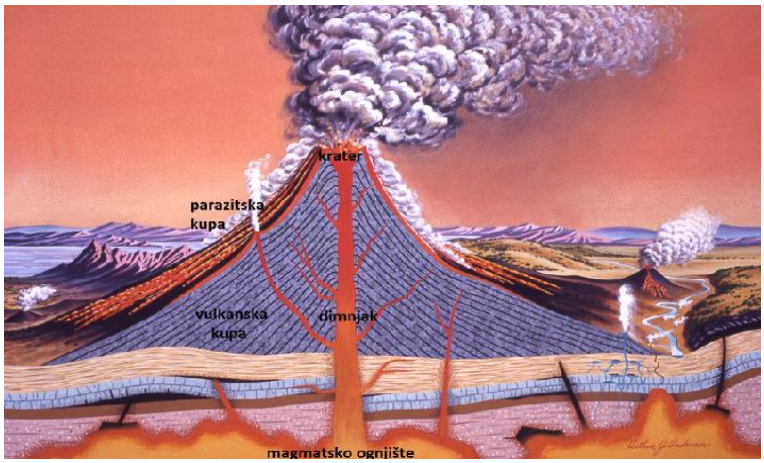
Tablica 1. Klasifikacija magme. (Tandarić, 2010)

Klasifikacija	Silicijev dioksid	Boja	Intruzivne	Efuzivne
Kisela	>62 %	Siva	granit	riolit
Neutralna	52-62 %	Siva ili crna	diorit	andezit
Bazična	45-52 %	Crna	gabro	bazalt
Ultrabazična	< 45 %	Crna	-	peridotit

Uloga inženjerske geologije je da se laboratorijskim mjerenjem i određenim ograničenim terenskim ispitivanjima pokazuje kolika je temperatura erupcije magme. Viskozitet magmi koji primarno ovisi o sastavu magme i njene temperature. Određuje se tip magme, kemijski sastav i sadržaj plinova. Mogućnost predviđanja toka magme, odnosno daljnjim hlađenjem i kretanjem magma postaje lava.

4.1.2. Vulkan

Vulkani su elementarni oblik vulkanskog reljefa. Pod tim pojmom podrazumijevamo stožastu reljefnu strukturu na čijem se vrhu nalazi otvor kroz koji izbija eruptivni materijal od kojeg je taj oblik akumulacijom i oblikovan. Klasični vulkan sastoji se od magmatskog ognjišta, dimnjaka, vulkanskog stožca i kratera, a može imati još i parazitsku, sekundarnu i pseudo vulkansku kupu (slika 7).



Slika 7. Građa vulkana (Visual Dictionary Online, 2019)

Magmatsko ognjište i dimnjak – je prostor gdje se akumulira magma koja dolazi iz unutrašnjosti. Nalazi se na dubini od nekoliko kilometara od nekoliko desetaka kilometara. Put kojim se ona kreće prema površini iz ognjišta naziva se dimnjak ili grotlo. Ono ima oblik vertikalnog kanala koji se penje od magmatskog ognjišta do vrha kupe i kroz njega se penje magma tijekom erupcije. Tijekom razdoblja mirovanja dimnjak je uglavnom ispunjen stvrdnutom magmom, iako vulkani na Havajima ukazuju da magma u njima može ostati tekuća, viskoznom stanju.

Krater – grotlo na vrhu kupe završava ljevkastim, tanjurastim udubljenjem koje zovemo krater. On može imati različite dimenzije i položaj. Po položaju se razlikuju središnji krater koji je karakteristično položen na vrhu kupe, zatim ekscentrično položen krater koji se nalazi koso okrenut na jednu stranu te sekundarni krater koji može biti na boku ili čak u podnožju. Vulkanski krater, koji je posljedica eksplozije ili unutarnjeg kolapsa. Udarni krateri obično imaju podignute rubove i podove koji su niži u visini od okolnog terena. Kreću se od malih, jednostavnih udubljenja u obliku zdjele do velikih, složenih, višestrukih udubljenja.

Vulkanski stožac – efuzivnom akumulacijom lave nastaje vulkanska kupa, karakteristično uzvišenje nastalo nagomilavanjem piroklastičnog materijala i izljevima lave pri erupcijama. Vulkanska kupa ima periklinalnu strukturu slojeva kod koje su slojevi lagano nagnuti na sve strane od kratera prema dolje, pravilno jedan u odnosu na drugi, a nastaje kroz periode vulkanske aktivnosti odvojene periodima mirovanja. Vulkanske kupe mogu doseći ogromne dimenzije. Ako se grotlo vulkana začepi (najčešće

kod kiselih magmi), sa strane glavne vulkanske kupe može nastati parazitska kupa. Ako erupcija raznese vršni dio kupe, kod sljedeće erupcije u krateru može formirati sekundarna kupa. Kod vulkana može doći do pojave da se sa strane magma utiskuje između slojeva i izdiže tvrdu koru iznad sebe, ali pritisak lave nije dovoljno snažan da se probije na površinu pa se formira kupa koju nazivamo pseudo vulkanska kupa.

4.1.3. Klasifikacija vulkana

Vulkani se mogu klasificirati prema nekoliko kriterija od kojih je jedna od najčešćih tip erupcije. Ipak, u terminologiji je uobičajena i podjela na osnovne tipove vulkana koji u obzir uzima više kriterija poput oblika vulkana i kupe, erupcije i eruptivnog materijala te prema geodinamičkom okružju (Tandarić, 2010). Također postoji i podjela vulkana prema udjelu plinova. Takvi vulkani mogu biti sivi vulkani s viskoznom magmom i crveni vulkani s bazaltnom magmom. Prema tipu erupcije u sive vulkane spadaju vulkanski montpeleški i vezuvski tip, a u crvene strombolski, islandski i havajski tip. Vulkani mogu i prelaziti iz jednog tipa erupcije u drugi (tablica 2).

Tablica 2. Osnovne klasifikacije vulkana (Tandarić, 2010)

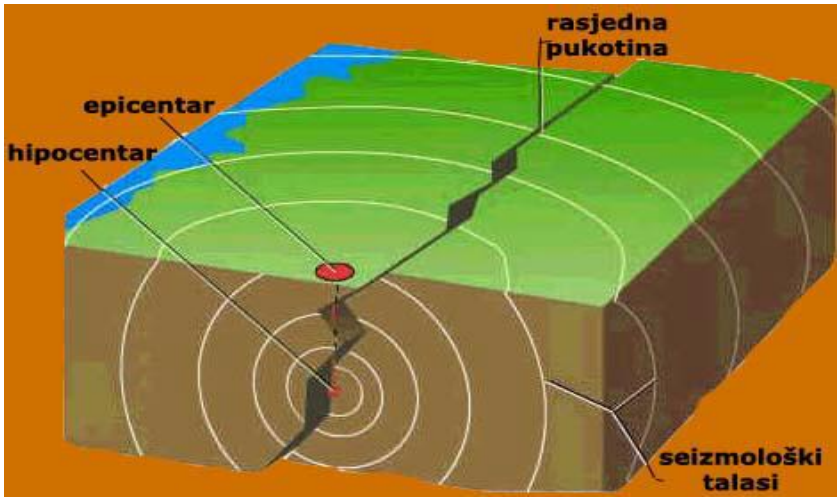
Tipovi vulkana prema tipu erupcije	**Osnovni tipovi vulkana**	**Tipovi vulkana prema geodinamičkom okružju**
Strombolski tip	Pukotinski ili izljevni vulkan	Vulkani otočnih nizova
Vulcanski tip	Štitasti vulkan	Vulkani aktivnih kontinentskih granica
Vezuvski tip	Kompozitni ili stratovulkan	Vulkani vrućih točaka
Montpeleški tip	Doma vulkani	Vulkani srednjooceanskih hrptova
Havajski tip	Cinder i spatter vulkani	Vulkani kontinentskih riftova
Islandski tip	Maar vulkan	-
Bandajsanski tip	Rhyolit caldera vulkanski kompleksi	-

Uloga inženjerske geologije je da se bavi sustavnim proučavanjem vulkana. Jedan je od glavnih ciljeva proučavanja mehanizma vulkanskih erupcija i njihovo potencijalno predviđanje. Obično djeluju u državnim opservatorijima. Znanstvenoj ustanovi u kojoj se sustavno motre određene prirodne pojave, npr. astronomski, seizmološki, meteorološki.

4.3. Potresi

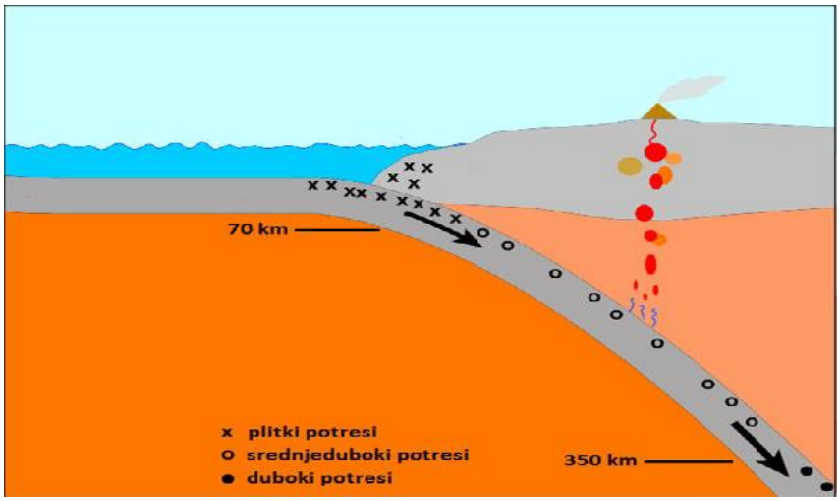
Potres je iznenadna i kratkotrajna vibracija tla uzrokovana urušavanjem stijena, magmatskom aktivnošću ili tektonskim poremećajima u litosferi i dijelom u Zemljinom plaštu (Enciklopedija, 2016).

Hipocentar ili žarište potresa označuje mjesto potresa u Zemljinoj unutrašnjosti, odnosno centar nastajanja Epicentar potresa je mjesto na Zemljinoj površini izravno iznad žarišta potresa te uobičajeno predstavlja točku na Zemljinoj kori na kojoj je intenzitet potresa najveći (slika 8). Potresni ili seizmički val, longitudinalni i transferzalni koji se iz žarišta potresa istodobno širi na sve strane (Slobodna enciklopedija, 2019).



Slika 8. Hipocentar i epicentar
https://www.google.com/search?q=epicentar&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjpwr6TovviAhWi_CoKHZMxAH8Q_AUIECgB&biw=1366&bih=657#imgrc=bKld4iHiOTsokM: *Datum pristupa: 21.06.2019.*

Prema dubini hipocentra potresi se mogu klasificirati kao plitki, srednje duboki i duboki (slika 9). Plitki potresi imaju hipocentar na dubini do 70 km. 85 % oslobođene energije dolazi iz plitkih potresa. Hipocentar srednje dubokih potresa nalazi se na između 70 i 300 km dubine. Oko 12 % oslobođene energije dolazi iz srednjih potresa. Hipocentar dubokih potresa nalazi se na 350 do 800 km dubine. Samo 3 % oslobođene energije dolazi iz dubokih potresa. Razlog što se s dubinom smanjuje broj hipocentara je taj što stijene s dubinom postaju sve više plastične zbog visoke temperature i tlaka pa manje pucaju dok su na površini krute stijene koje i bolje prenose energiju (Tandarić, 2010).



Slika 9. Shema pojave plitkih, srednje dubokih i dubokih potresa (Visual Dictionary Online, 2019)

Intenzitet potresa se mjeri seizmometrom koji radi na principu njihala i detektira seizmičke valove, seizmograf ih bilježi, a njihov ispis se naziva seizmogram. Analizom seizmograma možemo dobiti i dubinu hipocentra.

Snaga potresa danas se uobičajeno određuje:

- Subjektivni doživljaj osjećaja jačine potresa
- Preko magnitude potresa
- Preko intenziteta potresa

4.3.1. Subjektivni doživljaj osjećaja jačine potresa

Velika interesantnost između ljudi, prikupljanje znanja i tehnologije, dolaze do otkrića da se intenzitet potresa može izraziti na više načina (GeoClass, 2009):

- Ljestvica P. B. Egena od 6 stupnjeva (1828.)
- Michelea Stefana de Rossija i Francoisa Alphonsea Forela od 10 stupnjeva (1883.)
- F. Omorija od 7 stupnjeva (1900.)
- Mercallijeva skala (1931.)
- Richterovom skalom i seizmičkim momentom (1930.)

Određuju pojave i promjene koje potresi izazivaju kod ljudi i životinja uz ocjenu veličine štete na objektima te sagledavanje promjena u prirodi kao posljedice potresa.

4.3.2. Magnituda potresa

Stvarnu količinu oslobođene energije u hipocentru jednog potresa određuje magnituda potresa; ona se određuje preko Richterove ljestvice. Ljestvica je osmišljena od strane Charles F. Richtera koji je 1930-ih godina konstruirao brojčanu ljestvicu koja je opisivala relativne veličine potresa u južnoj Kaliforniji. Ljestvica je konstruirana prema kalkulaciji amplituda P i S seizmičkih valova registriranih na seizmografu. Ljestvica je logaritmička. Ovo znači da svako povećanje jedinične vrijednosti na ljestvici odgovara povećanju amplitude seizmičkih valova od deset puta. Isto tako, svako povećanje za jediničnu vrijednost na Richterovoj ljestvici odgovara povećanju oslobođene seizmičke energije za oko 30 puta (GeoClass, 2009).

Richterova skala mjeri snagu potresa računajući oslobođenu energiju. Mjere se maksimalne amplitude valova na seizmografu. Magnituda potresa u toj skali iznosi od 0 do 9: do magnitude 2 potresi se jedva osjete, a iznad magnitude 8 rade ogromne štete. Najjači zabilježeni potres imao je magnitudu 8.6. Richterova skala je logaritamska što znači da razlika između dva cijela broja označava povećanje maksimalne amplitude vala za 10 put (Slobodna enciklopedija, 2019).

Seizmički moment ili moment magnitude detektira se na terenu. Taj se mjerni način veže uz uzrok nastanka potresa, a mjere se intenzitet vala i veličina rupture duž rasjeda. Moment može biti veći od 9. magnitude. Obično potresi imaju sličnu vrijednost u magnitudi seizmičkog momenta i Richterove skale. Reljef je značajan modifikator potresa. Izravno utječe na širenje potresnih valova. Opasnost za neku građevinu ovisi o njenom odnosu prema okolnim reljefnim oblicima. Tako je građevina na brdu u većoj opasnosti jer se valovi odbijaju i kumuliraju pa su na vrhu jači nego u dolini. Podloga također utječe na potrese, čvršće stijene puno bolje prenose seizmičke valove nego primjerice pijesak (Tandarić, 2010).

Seizmologija se bavi proučavanjem potresa i njihovih popratnih pojava. Rezultati seizmoloških istraživanja primjenjuju se u građevinarstvu, urbanom planiranju i u istraživanjima nafte i prirodnog plina. Stručni rad u seizmologiji uključuje bilježenje potresa, njihovo lociranje i katalogiziranje, razmjenu podataka s međunarodnim institucijama, makroseizmičku obradu jačih potresa. Znanstvenih istraživanja obuhvaćaju proučavanje pojedinosti procesa rasjedanja u žarištu potresa, modeliranje rasprostiranja elastičnih valova kroz Zemlju te određivanje građe njezine unutrašnjosti, proučavanje

djelovanja potresnih valova na građevine te procjenu seizmičkih sila koje će na objekt djelovati u budućnosti (Enciklopedija, 2016).

4.3.3. Intenzitet potresa

Intenzitet potresa je opisna veličina rušilačkih djelovanja na površini Zemlje. Modificirana Mercallijeva skala iz 1931. godine (Tandarić, 2010) mjeri posljedice potresa za ljude i građevine. Izražava se u stupnjevima koji se označavaju rimskim brojevima: potresi I., II., III., stupnja su slabi, potresi IV., V., VI., stupnja su srednje jaki, a potresi VII., VIII., IX., X. stupnja su jaki potresi dok su iznad X. stupnja katastrofalni potresi. Procjene ovom skalom su često neobjektivne. Na temelju Mercallijeve skale izrađuju se karte izoseista, linija koja povezuje mjesta istog intenziteta potresa.

Seizmograf je mjerni instrument kojim se mjere i bilježe pomaci tla tijekom potresa. Glavni dio je njihalo, koje služi kao osjetilo pomaka tla i koje zbog tromosti nastoji održati stanje mirovanja za potresa, dok se kućište slobodno giba te se bilježi razlika njihova međusobnog položaja (slika 10).



Slika 10. Seizmograf
https://www.google.com/search?q=seizmograf&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi33I2x7sriAhWMyqQKHdZHB_MQ_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=4PhJ9h9qyn59GM:
Datum pristupa:02.06.2019.

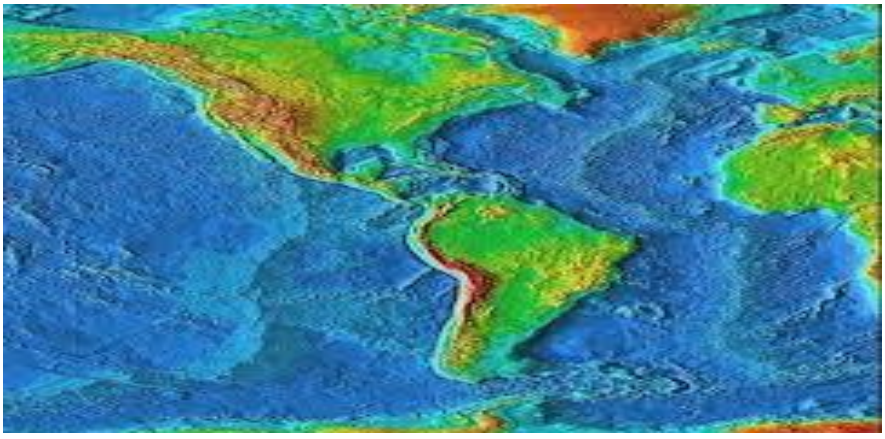
Uloga inženjerske geologije ovisi o sastavu stijena, karakteristikama. Prilikom potresa stijene poput vapnenca imaju čvršću strukturu i bolje podnose podrhtavanja, dok fliš ima slabiju i više je podložan razaranju. Vođenjem tih podataka lakše je predvidjeti posljedicu potresa.

4.4. Orogeneza

Orogeneza je proces nastajanja gorskih lanaca u Zemljinoj kori. Izravna je posljedica tektonike ploča i subdukcije (Tandarić, 2010).

Glavna je značajka orogeneze nabiranje i rasjedanje, regionalni metamorfizam i smještanje granita, koje se u pravilu događa u dubljim dijelovima orogenetskoga pojasa. Orogeneza je trajala nekoliko desetaka milijuna godina, pa je razumljivo da orogenetski periodi pokazuju nekoliko maksimuma izraženih u različitim dijelovima orogenetskoga pojasa (Enciklopedija, 2016). Razlikuju se dva osnovna tipa:

- **kordiljerski tip orogeneze** – prema planinskom lancu koji se proteže uz zapadnu obalu Sjeverne i Južne Amerike – kordiljeri Južne Amerike su Ande, (slika 11).
- **kolizijski tip orogeneze** – sraz dvaju kontinenta ili kontinenta i otočnog lupa, npr. Himalaja, (slika 12).



Slika 11. Kordiljerski tip orogeneze
www.profesorenlinea.cl/imagengeografia/america002.jpg Datum pristupa:19.06.2019.



Slika 12. Kolizijski tip orogeneze
http://www.cliffshade.com/colorado/images/himalaya.gif Datum pristupa: 19.06.2019.

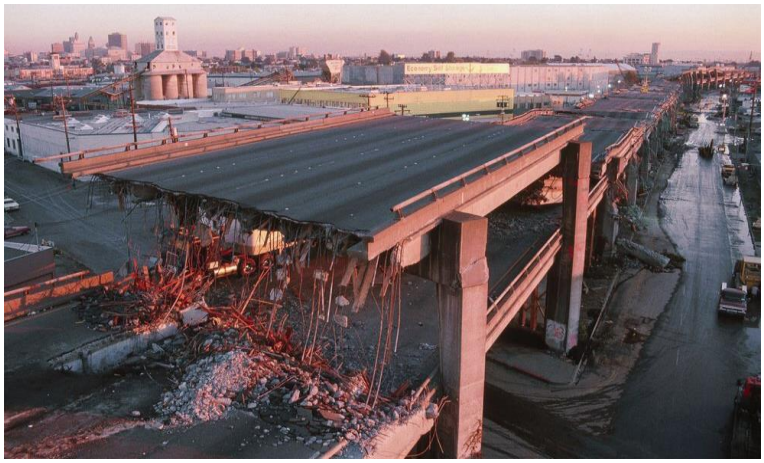
5. PRIMJERI, POSLJEDICE I PREDVIĐANJA SUVREMENIH ENDOGENIH PROCESA

5.1. POTRESI

5.1.1. Primjeri potresa

Potres uzrokuje promjenu tokova podzemne vode, nivoa podzemne vode koje stvaraju poplave, smjer tečenja rijeka, presušivanje izvora, pukotine u tlu, odroni i pokretanje klizišta, oštećenja plinskih i vodnih cjevovoda, požari.

Potres Loma Prieta iz 1989. dogodio se u Sjevernoj Kaliforniji. Snage 6,9 po Richteru odgovoran je za 63 smrtna slučaja i 3.757 ozljeda. Došlo je do pomicanja tla. Velike vibracije, trešnja, podrhtavanje kao i štete na objektima (slika 13).



Slika 13. Loma Prieta 1989.
https://www.pinterest.com/pin/199706564706925464/ *Datum pristupa: 21.06.2019.*

Potres u Niigati 1964. snage 7,6 po Richteru. Epicentar se nalazio 50 kilometara sjeverno od grada Niigate. Potres je uzrokovao likvefakciju. Vodom se saturira tlo ili sediment. Može se dogoditi nekoliko minuta nakon potresa. Svi objekti pogođeni u toj lokaciji plutaju, odnosno tonu (slika 14).



Slika 14. Niigata 1964.
https://en.wikipedia.org/wiki/1964_Niigata_earthquake *Datum pristupa: 21.06.2019.*

Potres u San Franciscu 1906. pogodio je obalu Sjeverne Kalifornije snage 7.9 po Richteru. Razarajući požari ubrzo su izbili u gradu i trajali su nekoliko dana. Kao rezultat toga do 3000 ljudi je poginulo i oko 80 % grada je uništeno. Glavni epicentar bio je na moru, oko 3,2 km od samog grada (slika 15).



Slika 15. San Francisco 1906.
https://www.almanac.com/content/remembering-1906-san-francisco-earthquake Datum pristupa: 21.06.2019.

5.1.2. Posljedice potresa

Svake godine desi se nekoliko tisuća potresa. Većina od njih su vrlo slabi, odnosno njihova detekcija je moguća samo sofisticiranim tehničkim instrumentima. Samo nekoliko desetina njih (na godišnjoj razini) su dovoljno jaki da budu primijećeni od strane čovjeka (GeoClass, 2009).

Posljedice potresa su ljudske žrtve, materijalna šteta, sekundarne posljedice u gradu često opasnije od samog potresa, a to su: požari, uništavanje vodovoda i plinskih instalacija, pucanje kanalizacije. Prirodne pojave kao posljedica potresa također mogu izazvati goleme ljudske žrtve i materijalnu štetu. Najveće takve posljedice su tsunamiji koji se javljaju kod submarinskih potresa, tj. potresa na dnu mora ili oceana. Danas se od potresa štitimo izrađujući karte rizika, načinom gradnje, edukacijom stanovništva i planiranom evakuacijom. Unatoč tome, godišnje od potresa pogine oko 15 000 ljudi.



Slika 16. Potres u Čileu 1960.
https://www.google.com/search?q=potres+u+%C4%8Dileu+1960&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjOwJ-Y8MriAhXJL1AKHVj-BNQQ_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=gL4DsdC94h2wrM: *Datum pristupa: 02.06.2019.*

Najjači potres zabilježen u ljudskoj povijesti pogodio je 1960. godine **grad Valdiviju** u **Čileu.** Potres je bio jačine 9,5 po Richteru i odnio je oko 6000 tisuća života. Tisuće su ranjeni, a dva milijuna ljudi je ostalo bez doma. Epicentar ovog smrtonosnog potresa bio je nekih 570 kilometara južno od glavnog grada Santiaga. Rascjep na tlu koji se dogodio kao posljedica potresa bio je dugačak čak 1000 kilometara. Potres takve snage uzrokovao je tsunamije u Čileu, Japanu, Filipinima i Novom Zelandu (slika 16).

5.1.3. Tsunamiji

Velike katastrofe potresa su Tsunami. Iznenadna pomicanja oceanskog dna gore – dolje uslijed podmorskih potresa. Dužina vala je oko 160 km i brzina 700 km/h. Približavajući se obali, oni se usporavaju te se uzdižu ovisno o smanjenju dubine mora. Tsunami u **Indijskom oceanu** 2004. nastao je kao posljedica podmorskog Sumatransko –

Andamanskog potresa. Usmrtio je 275.000 ljudi i razorio obalu nanijevši velike štete. Snage 9,15 po Richteru (slika 17).

Za pokretanje tsunamija važan je mehanizam potresa, odnosno vertikalno kretanje krila rasjeda (skok), pa je ispravnije reći kako su potresi i tsunamiji rezultat istog fizičkog uzroka. Potresi koji pokreću tsunamije nastaju na rasjedima koji imaju skok od nekoliko metara (normalni ili reversni).

Sekundarni učinci tsunamija (Marjanac, 2013):

- oštećenja koja nastaju uslijed predmeta koje nosi voda
- erozija obale povratnim valom, potkopavanje temelja
- zagađenje mora i kopna izlivenim kemikalijama, gorivom, otpadom
- požari uslijed oštećenih plinskih i električnih instalacija
- erozija tla
- uništavanje prometnica
- prekid opskrbe električnom energijom •u
- ništenje komunalne infrastrukture
- gospodarski i ekonomski kolaps

Tsunami Warning System (TWS) u Pacifiku 1965 godine pod vodstvom IOC-a i američkog regionalnog centra PTWC-a smještenog u Honolulu na Havajima. Centar je bio u mogućnosti upozoriti na nadolazeći potencijalno razarajući tsunami i informirati o periodu dolaska udarnog vala na razne lokacije. Tadašnjem funkcioniranju TWS-a i poboljšanju rada pridonijeli su centri iz Čile-a, Francuske, Japana, USA-a te Ruske Federacije. Danas, gotovo svi pacifički otoci imaju seizmičke službe za nadgledanje i predviđanje, među kojima je najuspješnija već navedena ona na Havajima. Iste godine IOC je osnovao ICG/ITSU koji se je sastajao svake dvije godine u svrhu koordiniranja aktivnosti i poboljšanja sustava. No, u slučaju posljednjeg tsunamija to nije imalo koristi, jer su uglavnom sve države južne Azije izuzetno siromašne i nemaju *warning system* (Slobodna enciklopedija, 2019).



Slika 17. Tsunami Indian Ocean 2004.
https://en.wikipedia.org/wiki/2004_Indian_Ocean_earthquake_and_tsunami *Datum pristupa: 21.06.2019.*

Tsunami visine 10 m, a koji je putovao brzinom od 800 km/h razlio se duž **Japanske obale**, ubivši pri tom više od 20 000 ljudi. Uzrokovan je potresom magnitude 9.0, a što je po jačini četvrti po redu potres koji je ikad zabilježen. Približno 452 000 ljudi je smješteno u prihvatilišta (slika 18).



Slika 18. Obala Sjevernog Pacifika, Japan
https://www.livescience.com/39110-japan-2011-earthquake-tsunami-facts.html *Datum pristupa: 25.06.2019.*

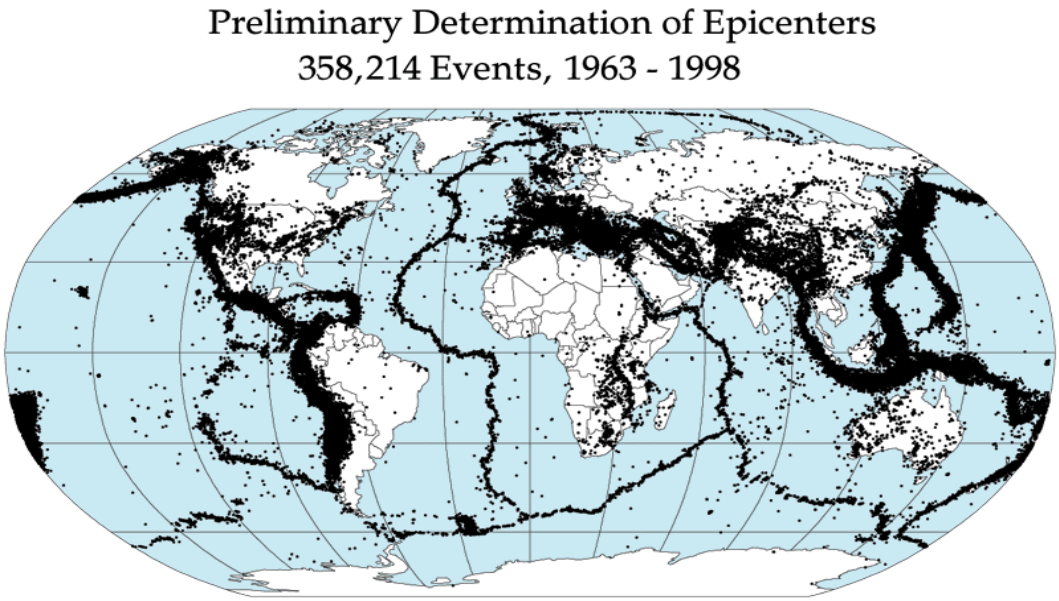
5.1.4. Predviđanje potresa

Postoje dugoročna i kratkoročna predviđanja potresa. Dugoročna predviđanja predviđaju potrese koji će se desiti narednih godina ili čak desetine godina unaprijed. Ova vrsta predviđanja uzima u obzir tektonske i geološke karakteristike zone za koje se vrši

predviđanje. Najčešće je ovo predviđanje učinkovito duž margina tektonskih ploča, gdje u relativno pravilnim vremenskim intervalima dolazi do trusnih pokreta.

Kako bi se eventualno spriječile ljudske žrtve i materijalna šteta, potrebno je predvidjeti mjesto, vrijeme i magnitudu budućeg potresa. Postoje određene zakonitosti o mjestu nastanka potresa pa nije teško predvidjeti grube lokacije. Karakterističan potres je onaj veliki potres koji se događa svakih 30 – 40 godina, (Tandarić, 2010), a između dva takva karakteristična potresa je razdoblje nazvano povratnim periodom. Unutar litosfernih ploča potresi su rijetki, ali vrlo razorni jer pogađaju područja nepripremljena na potrese.

Metode predviđanja potresa obuhvaćaju više aktivnosti. Prvo je predviđanje prosječnih vremenskih razmaka između pojedinih potresa određene jačine na pojedinim segmentima rasjeda, zatim izračunavanje vrijednosti pomaka duž rasjeda za vrijeme prethodnog potresa i prosječnih godišnjih pomaka duž rasjeda. Time se zapravo računa koliko je vremena potrebno da se akumulira dovoljno energije za pomak duž određenog segmenta rasjeda pod pretpostavkom da će za sljedeći potres biti potrebna jednaka količina energije kao i za prethodni.



Slika 19. Karta s epicentrima potresa *zabilježenima od 1963. do 1998.* *https://hr.wikipedia.org/wiki/Potres#/media/Datoteka:Quake_epicenters_1963-98.png Datum pristupa: 21.06.2019.*

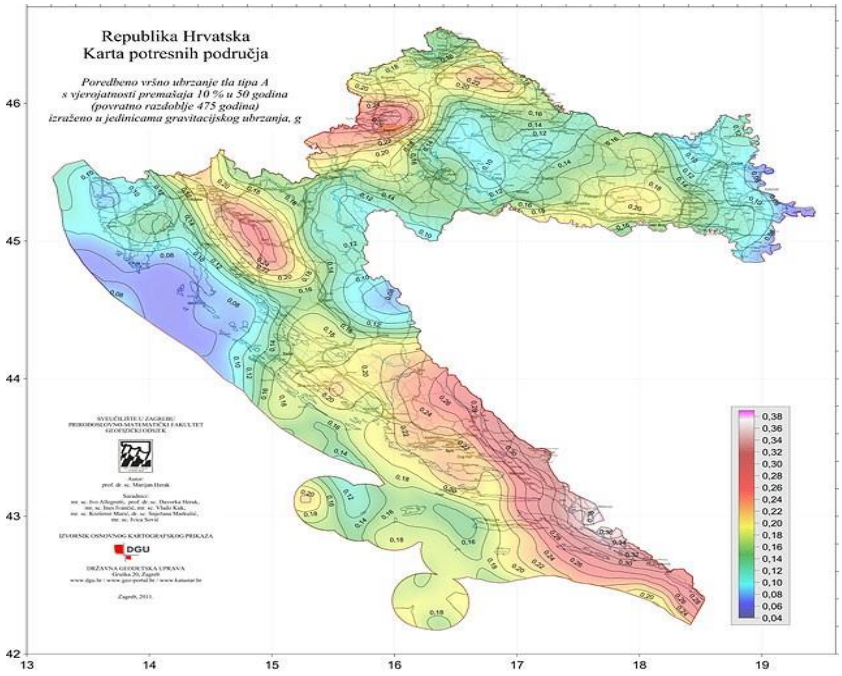
Potom, izračunavanje povijesnih potresa, tj. progresije potresa duž rasjeda i određivanje seizmičkih praznina na temelju čega znamo koliko je godina potrebno da se nakupi energija te praćenje predseizmičkih pojava. Seizmičke praznine su područja gdje potresa

nije bilo jako dugo, a vjerojatno se u njima akumulira energija pa možemo očekivati budući potres u tom području.

Cirkumpacifičko područje, pojas koji opisuje Tihi ocean u kojem su česti potresi, oko 80 % se oslobađa ukupne seizmičke energije. Mediteransko – transazijsko područje, pojas Sredozemlja, Mala Azija, Kavkaz, Iran, Pamir, Himalaja, Burma, oko 15 % oslobađa se ukupne seizmičke energije. Navedena dva područja su najaktivnija seizmička područja na Zemlji (slika 19).

5.1.5. Potresi u Hrvatskoj

Geofizički zavod pri Prirodoslovno - matematičkom fakultetu uz suradnju Hrvatskog zavoda za norme izradili su kartu potresnih područja Republike Hrvatske.



Slika 20. Karta potresnih područja Republike Hrvatske.
https://www.google.com/search?q=republika+hrvatska+karta+potresnih+podru%C4%8Dja&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjglbHqs4XjAhXllosKHX7LDgoQ_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=4u0jIiqsrUZHJM: *Datum pristupa: 25.06.2019*

Karte je izradio Marijan Herak sa suradnicima s Geofizičkog odsjeka PMF-a u Zagrebu, na temelju analize podataka o više od 50.000 potresa u Hrvatskoj i susjednim područjima u razdoblju (slika 20). Nakon višegodišnjeg napora te provedene procedure prihvaćanja europske norme Eurokod-8 koja regulira projektiranje zgrada otpornih na potrese, objavljene su karte potresnih područja koje prikazuju "seizmički hazard".

Potres u Dubrovniku 1667. godine je jedan od najjačih potresa koji su pogodili neko područje današnje Hrvatske. Potres je porušio gotovo cijeli grad. Stradalo je oko 3.000 ljudi, što je polovina tadašnjeg stanovništva grada.

Potres u Zagrebu 1880., poznat i kao Veliki potres u Zagrebu, bio je jačine 8 stupnjeva Mercallijeve ljestvice, odnosno 6,3 stupnja po Richteru, s epicentrom na području Medvednice. Razorio je brojne zagrebačke zgrade, mnoštvo stanovništva pobjeglo je ili se iselilo u Beč, Graz, Maribor, Celje, Ljubljanu i Trst, dvoje ljudi je poginulo (litograf Stanić i bankovni službenik Lavoslav Smetana), a 29 ih je teško ozlijeđeno (Slobodna enciklopedija, 2019).

5.2. VULKAN

5.2.1.Primjeri vulkana

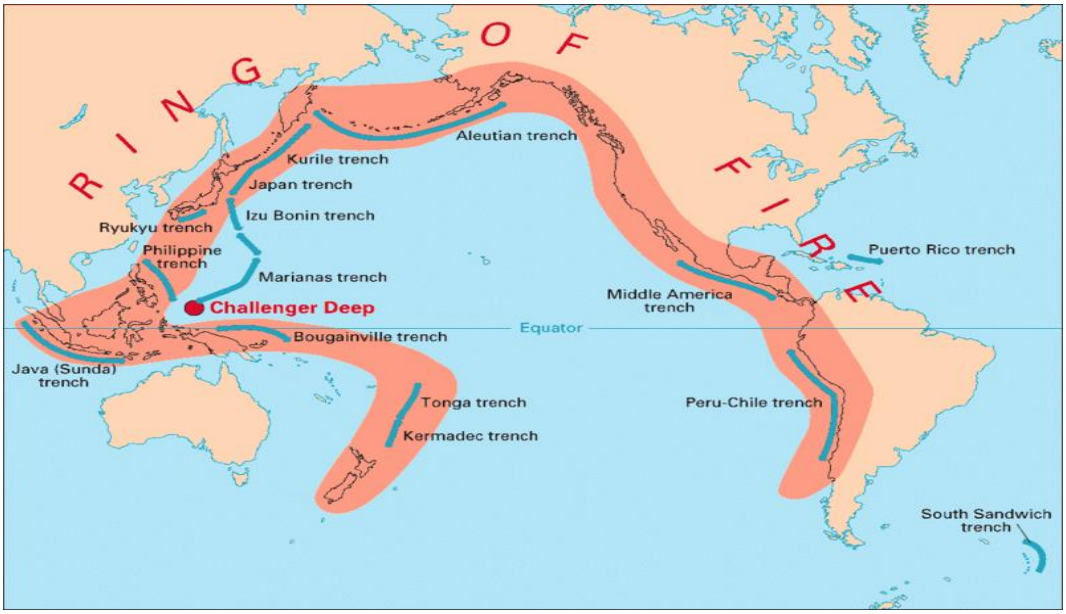
Jedan od vrlo zanimljiv vulkana je upravo Nyiragongo u Kongu Specifičan je po tome što se njegov sastav lave nije promijenio od nastanka Zemlje i nije slična niti jednoj drugoj lavi na svijetu. Otkriven je davne 1880.godine, a od tada je vulkan stalno aktivan. Zadnja vulkanska aktivnost dogodila se 2010. godine (slika 21).



Slika 21. Nyiragongo u Kongu
https://www.wish.hr/top-7-najaktivnijih-vulkana-svijeta/ Datum pristupa: 26.06.2019.

Pacifički vatreni prsten misli se na pojas vulkana koji okružuje Tihi ocean. Tu se nalazi 40 % svih aktivnih vulkana koju uz to, imaju ogromnu eksplozivnu snagu. Taj pojas živih vulkanskih aktivnosti obuhvaća gotovo cijelu pacifičku tektonsku ploču. Duž njenih

rubova uslijed tektonike ploča dolazi do subdukcije koje stvaraju slaba područja u litosferi koja pogoduju izlasku tekuće magme (slika 22).



Slika 22. Pacifički vatreni prsten
https://hr.wikipedia.org/wiki/Pacifi%C4%8Dki_vatreni_prsten#/media/Datoteka:Pacific_Ring_of_Fire.png Datum pristupa: 21.06.2019.

Vezuv se nalazi u Napuljskom zaljevu, Italija, oko 9 km istočno od Napulja i u neposrednoj blizini obale. Jedan je od nekoliko vulkana koji zajedno kreiraju Kampanijsko vulkansko područje. Sastoji se od velike vulkanske kupe, djelomično okružene stepenastim okvirom.



Slika 23. Vezuv gleda od ruševina Pompeja
https://bs.wikipedia.org/wiki/Vezuv Datum pristupa: 26.6.2019.

Najpoznatiji po svojoj erupciji 79. godine pr. Kr. Što je vodilo ka uništenju Rimskih gradova (slika 23). Erupcija je izbacila oblake kamenja, vulkanskog pepela i para do

visine od 22 km, lave i smrvljenog vulkanskog kamena u količini od 1,5 miliona tona po sekundi. Vezuv je imao erupcije mnogo puta od tada (Slobodna enciklopedija, 2019).

Prvi na listi aktivnih vulkana je poznati Kilauea vulkan, jedan od pet vulkana poznatog Havajskog otočja (slika 24). Karakterističan je po svojim čestim izbacivanjima lave što ga čini jednim od najzanimljivijih vulkana za znanstvenike. Najsnažnija erupcija dotičnog vulkana bila je 1959. godine koja je uništila nekoliko gradova i raselila lokalno stanovništvo. Bitno je napomenuti da lava uvijek konstantno izlazi i samo je pitanje vremena kada će se dogoditi još veća tragedija.



Slika 24. Kilauea vulkan
https://www.wish.hr/top-7-najaktivnijih-vulkana-svijeta/ *Datum pristupa: 25.06.2019.*

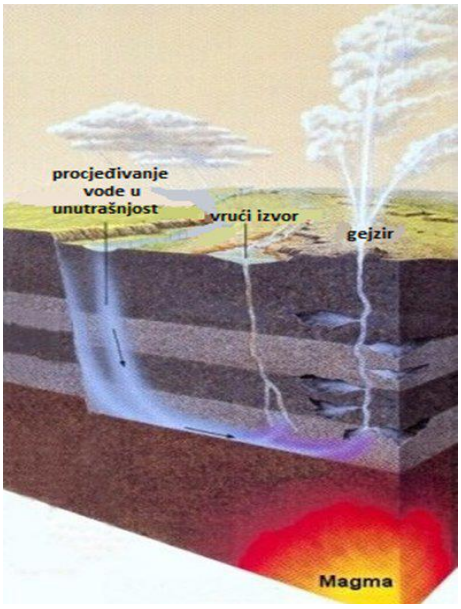
5.2.2. Posljedice vulkana

U zonama vulkanizma nalazimo i negativne popratne pojave koje su često izolirane od erupcije, ali izazivaju materijalne štete i žrtve. Nazivamo ih rizicima i oni obuhvaćaju vruće vulkanske oblake, plinove i piroklastični materijal, piroklastični tok, vulkanski pepeo, lahare, klizišta, tsunamije, kisele kiše, tok lave (slika 25).



Slika 25. Posljedice nakon erupcije vulkana.
https://www.google.com/search?q=posljedice+vulkana&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiPucbo8sriAhVKDOwKHUVXCbsQ_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=tLK2W-6RYiuPUM Datum pristupa: 25.06.2019.

Najčešće popratne magmatske pojave su gejziri i vrući izvori. Voda u njima potječe s površine. Padinska voda prodire u podzemlje i ako se tamo nalaze užarene stijene ili magma, voda se zagrijava i djelomično pretvara u vodenu paru. Pritom otapa minerale iz stijena koji će se kasnije isparavanjem istaložiti na površini. Ako pukotinska struktura podzemlja omogućava razvijenu podzemnu cirkulaciju, nastat će vrući izvor u kojima voda stalno jednolično pritječe kao i u klasičnim izvorima. Voda se velikom snagom izdiže prema površini kroz vrlo uske prolaze i na površinskom otvoru nastaje mlaz vode koji šikće uvis u obliku kipućeg vodoskoka. Takva pojava mlazova vode uvis naziva se gejzir (Tandarić, 2010).



Slika 26. Shema vrućeg izvora i gejzira (Visual Dictionary Online, 2019)

Fumarole su vulkanski izvori plinova. Plin, naime, izlazi prije, za vrijeme i nakon vulkanske erupcije (slika 27). Pri višim temperaturama javljaju se suhe ili dehidrirane fumarole s manje od 10 % vodene pare (Tandarić, 2010), ali bogate vodikom, sumporovim dioksidom, a pri manjim temperaturama su kisele fumarole bogate vodenom parom, vodikom, sumporovim dioksidom, sumporovodikom, klorovodikom i ugljičnim monoksidom (Tandarić, 2010).

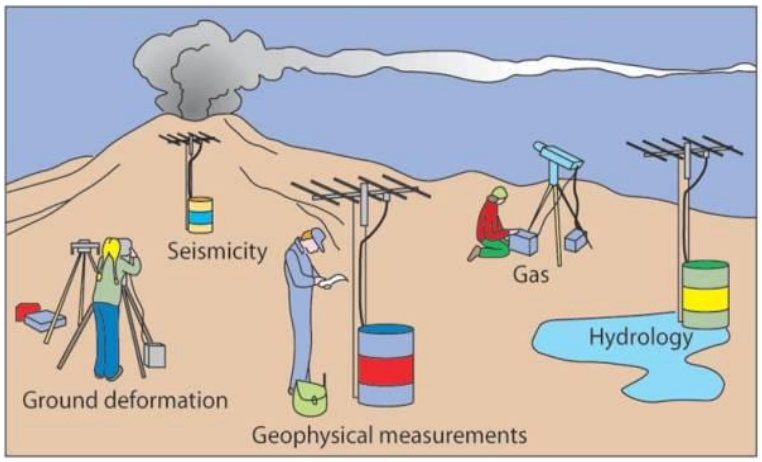


Slika 27. Fumarole
https://www.google.com/search?q=fumarole&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiPsczkqIbjAhVrwosKHaOjDxMQ_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=bDPQ8DJ5TMfDfM:
Datum pristupa: 26.06.2019.

5.2.3. Praćenje i zaštita od vulkanskih katastrofa u primjeni inženjerske geologije

Praćenje vulkanske aktivnosti naziva se monitoring vulkana i obuhvaća istraživanja za otkrivanje vulkanskih erupcija. Obuhvaća više načina praćenja aktivnosti. Klinometrom se mjere nagibi padina vulkana budući da pri erupciji bubre. GPS-om se mjere deformacije i napuhivanje. Seizmometar mjeri male potrese koje uzrokuje magma koja se kreće iz magmatskog ognjišta prema površini lomeći pritom stijene. Povećana seizmička aktivnost je često pouzdana najava erupcije kao što je i iznenadni prestanak bilo kakvih pokreta u vulkanskom području. Moguće je ispitati i sastav plinova i to na daljinu za što nam služi apsorpcijski infracrveni spektrometar. Na temelju svih tih načina motrenja vulkanske aktivnosti može se predvidjeti kada će erupcija početi i kada će prestati. Mogu se predvidjeti sati i mjeseci prije, ali se ipak ne zna točan trenutak. Obrana od vulkanske aktivnosti obuhvaća evakuaciju stanovništva koja može biti privremena ili trajna, skretanje ili zaustavljanje tokova lave gradnjom zapreka od betona, no skretanje je bolje jer zaustavljanje je samo privremeno, hlađenje tokova lave te zatvaranje odnosno otvaranje pomoću bombardiranja otvora. Efikasna zaštita od lahara je isušivanje jezera u

krateru odakle se lahari opskrbljuju vodom za bujice. Naučnici koristeći instrumente, prate određene znakove vulkanske aktivnosti. Svaka promjena tih aktivnosti može ukazati na nadolazeću erupciju. Neke od najznačajnijih aktivnosti koje se prate: Seizmičnost u blizini vulkana, deformacije tla, promjene u koncentraciji plinova, promjene u nivou podzemnih voda (slika 28).



Slika 28. Tehnike monitoringa vulkana
https://geoclass.wordpress.com/2010/10/14/predvidanje-vulkanske-erupcije/ Datum pristupa: 21.06.2019.

6. ZAKLJUČAK

Suvremeni endogeni procesi se u današnje vrijeme pojavljuju svakodnevno. Pojavljuju se potresi velikog intenziteta i maloga. Oslobađaju ogromnu količinu energije, a za posljedicu imaju snažno oblikovanje reljefa u obliku boranja, rasjedanja, potresa i vulkanizma. Oblikovanje površine na Zemljinoj kori. Ovi događaji ekstremno utječu na stanovništvo. Najvažniji procesi su magmatizam i tektonika. Magma, postupak pretvaranja procesom hlađenja u lavu. Tektonika ploča koja neprekidno vrši proces kretanja litosfernih ploča. Kretanjem dolazi do orogeneze koja je proces gorskih lanaca u Zemljinoj kori. Sve su to pojave koje se u današnje vrijeme ne mogu izbjeći, ali predviđanjem mjesta i vremena eventualne aktivacije endogenih procesa umanjile bi ljudske žrtve i materijalne štete.

Inženjeri geologije razumiju fizičko, mehaničko i kemijsko ponašanje geološke građe te su sposobni ustanoviti i protumačiti geološke pojave i procese, uključujući i takva koja mogu utjecati na projekt za vrijeme njegovog trajanja. Važnost je u praćenju (monitoringu) suvremenih endogenih procesa za utvrđivanje opasnosti za okoliš i zdravlja ljudi. Prikupljanjem informacija, kemijskim analizama, izlaženjem na teren pridonosi inženjer geolog. Njihov rad je vrlo koristan, daju sve potrebne parametre kako bi problem kasnije bio lakše rješiv. Koriste razne uređaje i visoku tehnologiju radi bolje preciznosti i točnosti. Ukoliko inženjer geolog precijeni svoje mogućnosti u izvršenju svoga posla može doći do posljedica velikih katastrofa.

S time definiramo da su povezanosti između suvremenih endogenih procesa i uloge inženjerske geologije jako važni čimbenici u smanjivanju, upozoravanju, analiziranju prirodnih unutrašnjih procesa.

7. LITERATURA

Enciklopedija, H. (2016). *Hrvatska enciklopedija.* Dohvaćeno iz Leksikografski zavod Miroslav Krleža: http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=49792

GeoClass. (2009). Dohvaćeno iz GeoClass: https://geoclass.wordpress.com/2009/09/01/mjerenje-potresa/

Hrvoje Meaški. (2015). *Materijali s predavanja iz inženjerske geologije u ak. godini 2015/2016.* Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.

Marjanac, T. (2013). *Geological Hazards.* Dohvaćeno iz Geological Hazards: https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/3_TSUNAMIJI_%281._dio%29.pdf

Ortolan, Ž. (09. 12 2013). *Prvi geotehnički okrugli stol HGD.* Dohvaćeno iz Uloga inženjerske geologije u geotehnici: http://www.hgd-cgs.hr/wp-content/uploads/2014/04/PRVI-OKRUGLI-STOL-HGD-UVOD-ORTOLAN.pdf

Slobodna enciklopedija. (2019). Dohvaćeno iz enciklopedija: https://hr.wikipedia.org/wiki/Tektonika_plo%C4%8Da#Osnovni_principi

Tandarić. (2010). *Opća Geomorfologija.* Zagreb: Geomorfologija.

Visual Dictionary Online. (2019). Dohvaćeno iz Visual Dictionary Online: visual.merriam-webster.com

WEB IZVORI:

Inženjerska Geologija I dio. http://gfosweb.gfos.hr/portal/images/stories/studij/sveucilisni-preddiplomski/inzenjerska-geologija/inzenjerska-geologija-i-dio.pdf Datum pristupa: 25.05.2019.

Inženjerska geologija wikipedia https://sh.wikipedia.org/wiki/In%C5%BEenjerska_geologija Datum pristupa: 25.05.2019.

Inženjerska geologija III b dio http://gfosweb.gfos.hr/portal/images/stories/studij/sveucilisni-preddiplomski/inzenjerska-geologija/inzenjerska-geologija-iii-b-dio.pdf Datum pristupa: 02.06.2019.

Popis slika

Slika 1. Endogena dinamika Zemlje. 3
Slika 2. Smjerovi i stupnjevi pomicanja Zemljinih ploča izračunati na temelju morskih magnetskih anomalija, razdvajaju stijene uzduž transformnih rasjeda i udaljenost otoka u odnosu na vruće točke. http://gfosweb.gfos.hr/portal/images/stories/studij/sveucilisni-preddiplomski/inzenjerska-geologija/inzenjerska-geologija-i-dio.pdf Datum pristupa: 02.06.2019. 6
Slika 3. Subdukcija oceanske kore pod kontinentsku koru. (Visual Dictionary Online, 2019) 7
Slika 4. Postanak i razvoj divergentne granice (Visual Dictionary Online, 2019). 8
Slika 5. Transformni rasjed 9
Slika 6. Magma, daljnjim hlađenjem lave 10
Slika 7. Građa vulkana (Visual Dictionary Online, 2019) 12
Slika 8. Hipocentar i epicentar https://www.google.com/search?q=epicentar&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjpwr6TovviAhWi_CoKHZMxAH8Q_AUIECgB&biw=1366&bih=657#imgrc=bKld4iHiOTsokM: Datum pristupa: 21.06.2019. 14
Slika 9. Shema pojave plitkih, srednje dubokih i dubokih potresa (Visual Dictionary Online, 2019) 15
Slika 10. Seizmograf https://www.google.com/search?q=seizmograf&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi33I2x7sriAhWMyqQKHdZHB_MQ_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=4PhJ9h9qyn59GM: Datum pristupa:02.06.2019. 17
Slika 11. Kordiljerski tip orogeneze 18
Slika 12. Kolizijski tip orogeneze 18
Slika 13. Loma Prieta 1989. 19
Slika 14. Niigata 1964. 20
Slika 15. San Francisco 1906. 20
Slika 16. Potres u Čileu 1960. https://www.google.com/search?q=potres+u+%C4%8Dileu+1960&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjOwJ-Y8MriAhXJL1AKHVj-BNQQ_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=gL4DsdC94h2wrM: Datum pristupa: 02.06.2019. 21
Slika 17. Tsunami Indian Ocean 2004. https://en.wikipedia.org/wiki/2004_Indian_Ocean_earthquake_and_tsunami Datum pristupa: 21.06.2019. 23
Slika 18. Obala Sjevernog Pacifika, Japan 23
Slika 19. Karta s epicentrima potresa zabilježenima od 1963. do 1998. https://hr.wikipedia.org/wiki/Potres#/media/Datoteka:Quake_epicenters_1963-98.png Datum pristupa: 21.06.2019. 24
Slika 20. Karta potresnih područja Republike Hrvatske. https://www.google.com/search?q=republika+hrvatska+karta+potresnih+podru%C4%8Dja&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjglbHqs4XjAhXllosKHX7LDgoQ_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=4u0jIiqsrUZHJM: Datum pristupa: 25.06.2019 25
Slika 21. Nyiragongo u Kongu 26
Slika 22. Pacifički vatreni prsten 27
Slika 23. Vezuv gleda od ruševina Pompeja 27
Slika 24. Kilauea vulkan 28

Slika 25. Posljedice nakon erupcije vulkana. https://www.google.com/search?q=posljedice+vulkana&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiPucbo8sriAhVKDOwKHUVXCbsQ_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=tLK2W-6RYiuPUM Datum pristupa: 25.06.2019. 29
Slika 26. Shema vrućeg izvora i gejzira (Visual Dictionary Online, 2019) 29
Slika 27. Fumarole https://www.google.com/search?q=fumarole&rlz=1C1GCEA_enHR762HR762&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiPsczkqIbjAhVrwosKHaOjDxMQ_AUIECgB&biw=1366&bih=608#imgrc=bDPQ8DJ5TMfDfM: Datum pristupa: 26.06.2019. 30
Slika 28. Tehnike monitoringa vulkana 31

Popis tablica

Tablica 1. Klasifikacija magme. (Tandarić, 2010)..... 11
Tablica 2. Osnovne klasifikacije vulkana (Tandarić, 2010)..... 13