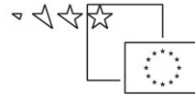




KONZORCIJ ŠOLSKIH CENTROV



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



*Naložba v vašo prihodnost*  
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA  
Evropski socialni sklad

*Naslov učne enote (teme)*

# ENDOGENA DINAMIKA ZEMLJE

*Izobraževalni program*

## Geotehnik

*Ime modula*

# Endogena dinamika Zemlje – M3

*Naslov učnih tem ali kompetenc, ki jih obravnava učno gradivo*

**Endogena in eksogena dinamika Zemlje**  
**Endogeni procesi**

## ENDOGENA DINAMIKA ZEMLJE

### POVZETEK

Delovanje Zemlje bi lahko primerjali z delovanjem organizma. Ves čas delujejo procesi, ki se med sabo prepletajo. Pravimo jim endogeni in eksogeni procesi. Endogeni procesi imajo izvor energije v Zemlji.

**Ključne besede:** endogeni procesi, eksogeni procesi, tektonika plošč, konvergenca, divergenca, zmik, deformacije, vulkanizem, potres, seizmika, tektonika

**Avtorji:** Tadej Vodusek, Mateja Klemenčič

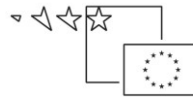
Recenzent: Uroš Herlec

**Lektor:** Uroš Herlec

**Datum:** junij, 2009



To delo je ponujeno pod Creative Commons Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Deljenje pod enakimi pogoji 2.5 Slovenija licenco.



## ***PREDSTAVITEV CILJEV ENOTE***

Endogeni procesi imajo izvor energije v Zemlji. Med nje prištevamo tektonsko in ognjeniško dejavnost. Posledica dejavnosti so razne geomorfološke oblike, s katerimi se boš srečal skozi učno gradivo.

## ***UČNA SITUACIJA (praktični del):***

### **ZEMELJSKI PROCESI**

Naštej nekaj endogenih procesov, ki misliš, da vplivajo na oblikovanje zemeljskega površja!

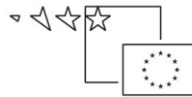
---

---

---

### **TEKTONIKA PLOŠČ**

Na svetovnem spletu poišči, kaj je potovanje kontinentov!



## POTOVANJE KONTINETOV

Kaj misliš, kako je potovanje kontinentov vplivalo na razvoj živega sveta (rastlinstvo in živalstvo) ter kakšni so dokazi za to!

---

---

---

---

## TEKTONIKA PLOŠČ

Na svetovnem spletu poišči in razloži ter skiciraj pomena:

- KONVERGENCA

---

---

---

---

- DIVERGENCA

---

---

---

---

## GEOLOŠKE STRUKTURE

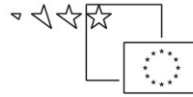
Ali si že kdaj v kakšni steni v naravi ali v rudniku opazil razpoko, prelom ali gubo? Zapiši glavne značilnosti posameznih struktur!

---

---

---

## VULKANIZEM



Razmisli kje na svetu prevladujejo vulkani, kje so ta območja?

---

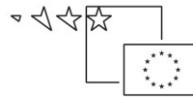
---

## VULKANIZEM

V preteklosti se je pojavljal smrekovski vulkanizem. Ker Smrekovec nima tipičnega vulkanskega stožca, se je lava izlivala ob prelomu, Smrekovškem prelomu. Razmisli, kako bi lahko danes sklepali na potek Smrekovškega preloma in kaj lahko potrjuje vulkansko aktivnost!

---

---



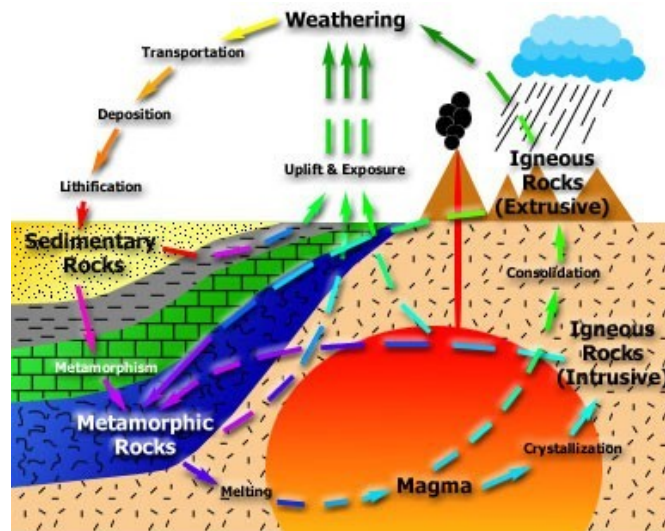
## ENDOGENA IN EKSOGENA DINAMIKA

Površje Zemlje je rezultat delovanja številnih geoloških procesov, kateri so delovali v zemeljski zgodovini in delujejo še danes. Te geološke procese imenujemo skupek endogenih in eksogenih procesov, ki so posledica obstoja vira energije. Običajno gre za toplotno energijo ali pa energijo, ki je akumulirana.

Med endogene procese prištevamo tektonsko in ognjeniško aktivnost, med eksogene procese pa delovanje preperevanja ter delovanje voda in vetrov. Veda, ki se ukvarja z dokončnim preoblikovanjem morfoloških oblik se imenuje geomorfologija.



Endogeni,  
eksogeni  
procesi



Slika: Geološki cikel ([http://www.earth.rochester.edu/ees119/fig1\\_5.jpg](http://www.earth.rochester.edu/ees119/fig1_5.jpg))



## ENDOGENI PROCESI

Med endogene procese prištevamo vse procese, kateri imajo izvor v zemeljski skorji. V širšem smislu so to tektonika plošč, posledica delovanja notranjih sil – prelomi, gube, potresi, delovanje vulkanov in postvulkanski pojavi.

### TEKTONIKA PLOŠČ

Leta 1915 je Alfred Wegener napisal teorijo o potovanju kontinentov. Teorija je danes vsestransko sprejeta. V tej teoriji zunanji del zemlje tvori litosfera in notranji del astenosfera. Litosfero predstavlja skorja, ki jo tvorijo kisik, silicij, aluminij, železo itd. Astenosfera pa je segreta, viskozna snov, na kateri 'plavajo' osnovne plošče. Te plošče so Evrazijska plošča, Severno ameriška plošča, Pacifiška plošča, Južno ameriška plošča, Nazca plošča, Antartična plošča, Afriška plošča, Arabska plošča, Filipinska plošča, Avstralska plošča, Karibska plošča, plošča Scotia in plošča Juan de Fuca. Te plošče so sestavljene iz manjših, mikroplošč. Ena izmed takšnih je tudi Jadranska plošča, na področju katere se nahaja večji del slovenskega ozemlja.

Alfred Wegener je v svoji teoriji predpostavil, da je v začetku obstajal kontinent, imenovan Pangea. Ta je pred približno 200 mio let razpadel na severno ležečo Lavrazijo in južno ležečo Gondvano, med njima pa se je razprostrl ocean Tetida ali Tetis. Pozneje se je Lavrazija razdelila na Severno Ameriko, Grenlandijo in Evrazijo, Gondvana pa na Južno Ameriko, Afriko, Avstralijo in Antarktiko ter več manjših kontinentov med katerimi je tudi podcelina Indija.

Pred 120 milijoni let je bila Indija še mnogo bliže Afriki kot tedanji Aziji. Vendar pa se je proti njej premikala in se z njo, pred približno 50 milijoni let združila na območju Tibeta. Pri tem je prišlo do gorotvornosti ali orogeneze in nastanka Himalaje, obenem pa je umaknilo morje Tetis. Indijska plošča z debelo litosfersko skorjo je deloma potonila v astenosfero in tako ustvarila visoko planoto Tibet. Pojavu pravimo podirvanje, vendar pa je prišlo pri nastanku Himalaje tudi do narivanja, saj plošča ni potonila v celoti in se je nato del, ki ni potonil začel narivati na nasprotni ležeče obale Azije. Pri tem je začela rasti Himalaja, ki so jo nato preoblikovale številne reke in ledeniki. Himalaja je razmeroma mlado gorovje katerega gorotvornost še traja.

Velik pomen med spremembami podnebja Zemlje je bila odcepitev Južne Amerike v obdobju oligocena, pred približno 30 mio let. Z odpiranjem Drakeovega preliva je izginila zapora, ki je preprečevala vdor hladnih voda Južnega oceana v tople tropske vode. Zaradi mešanja je nastal cirkumpolarni tok. Antartika je postala hladna celina, ki je vklenila ogromne količine zaloga vode. Povprečne temperature so se spustile za približno 10 stopinj Celzija, podobno pa je bilo tudi s svetovnim ozračjem.



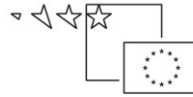
Kaj je tektonika plošč?



KONZORCIJ ŠOLSkih CENTROV



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT

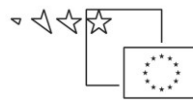


*Naložba v vašo prihodnost*  
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA  
Evropski socialni sklad

Pred približno 15 mio let, ko je Nova Gvineja začela trkati ob Azijo in so se pričela dvigovanja gorstev, se je Južna Amerika spojila s Severno Ameriko preko panamske ožine. S tem je bilo prekinjeno kroženje tople oceanske skorje, ki je pripomoglo k nastanku Arktike.

V geološki prihodnosti se bo s Himalajo najverjetneje zgodilo podobno kot z današnjimi evropskimi sredogorji iz mlajšega paleozoika ali Kaledonidi Norveške iz starejšega paleozoika, katerih gorotvorni procesi so že zdavnaj končani, erozija pa je pustila le ostanke teh nekdanjih visokih gorstev.

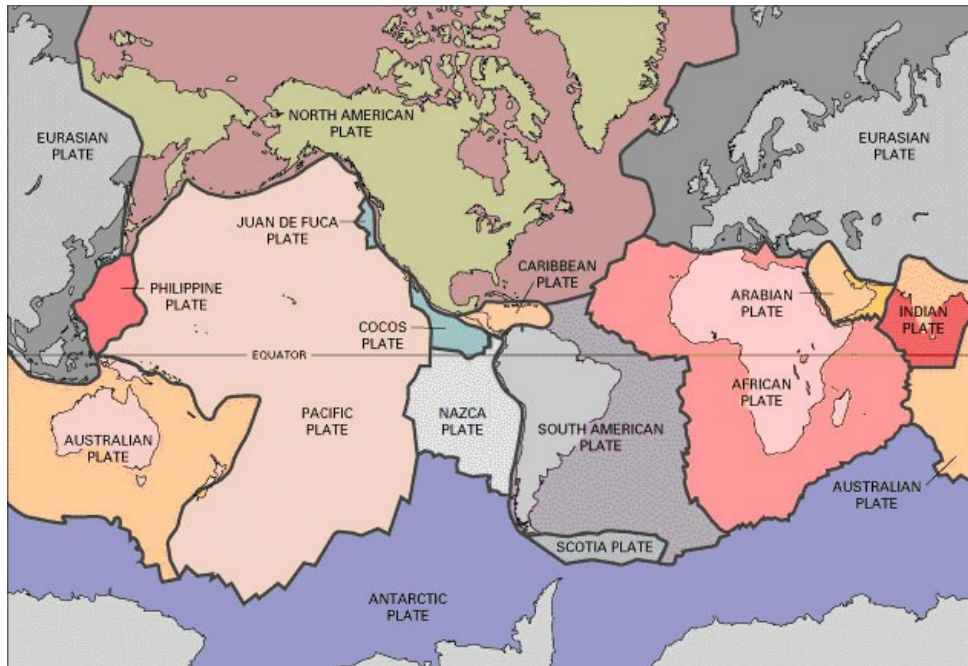




Plošče, ki danes plavajo na astenosferi, so lahko med seboj v različnih načinih, in sicer:  
konvergenca  
divergenca  
zmikanje



Medsebojni  
odnos  
tektonskih  
plošč



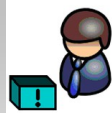
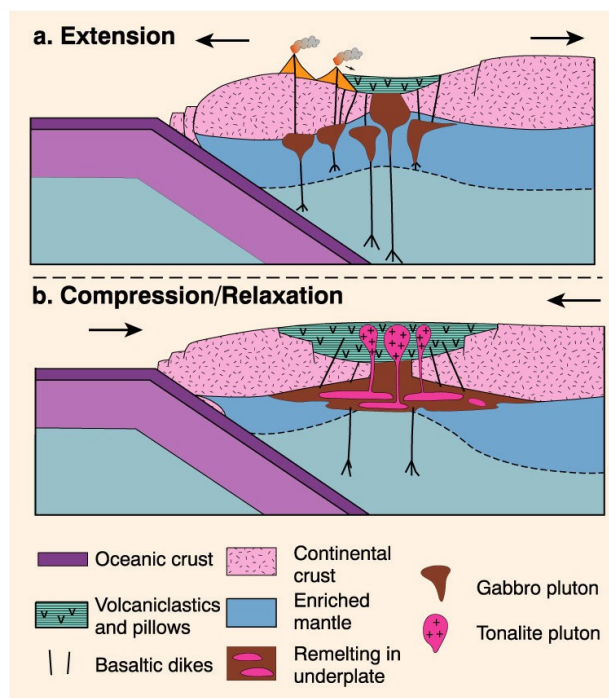
Slika: Tektonske plošče

(<http://mrsstedward.pbworks.com/f/1219971606/tectonic-plates.jpg>)

## KONVERGENCA

Konvergentna prelomnica je stik dveh litosferskih plošč, ki se premikata ena k drugi. Ločimo dva tipa konvergence, in sicer kolizijo in subdukcijsko. O koliziji govorimo takrat, ko litosferski plošči trčita ena v drugo, o subdukcijsko pa takrat, ko ena izmed plošč tone pod drugo. Posledica konvergence so vulkani in potresi.

S procesom konvergence so nastala t.i. alpidiska gorstva. Alpidiska gorstva imenujemo niz gorovij, ki se potekajo od Pirinejskega in Apeninskega polotoka prek Alp, Karpatov, Dinarskega gorstva, Balkana, Turčije, Irana, Tibeta in Himalaje in še naprej proti vzhodu Azije. Alpidi so se nagubali v času alpidiske gorotvornosti ali orogeneze, ki se je začela v poznem mezozoiku pred približno 80 milijoni let, višek pa je dosegla pred 20 milijoni let v terciarju.



Konvergenca  
tektonskih  
plošč

Slika: Subdukcijska cona

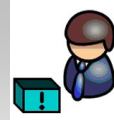
(<http://www.geol.lsu.edu/henry/Geology3041/lectures/17ContinentalArcs/SubductionCompression.jpg>)

Posledice kolizije se nahajajo tudi na območju Slovenije, točneje gre za smrekovski vulkanizem. Smrekovski vulkanizem je deloval v terciarnih obdobjih oligocenu in miocenu. Nastal je zaradi podiranja in kasnejše kolizije oceanske evropske in kontinentalne afriške plošče. Pri tem sta se tektonski plošči drobili v manjše, njuno gibanje pa se je uravnavalo vzdolž globokih prelomnih con. Prihajalo je do vulkanskega delovanja, v morskih bazenih so se kopičile usedline (sedimenti), ki so ob dvigovanju postajale kopno in danes gradijo naše doline in gore. Osrednja prelomna cona, ki, širše gledano

geotektonski enoti Dinaride in Alpidi, se imenuje periadriatski lineament in poteka ob severnem vznožju Smrekovškega pogorja. Ob periadriatskem lineamentu izdajajo globočnine (tonalit, granodiorit) podobne starosti, kot so smrekovške predornine.

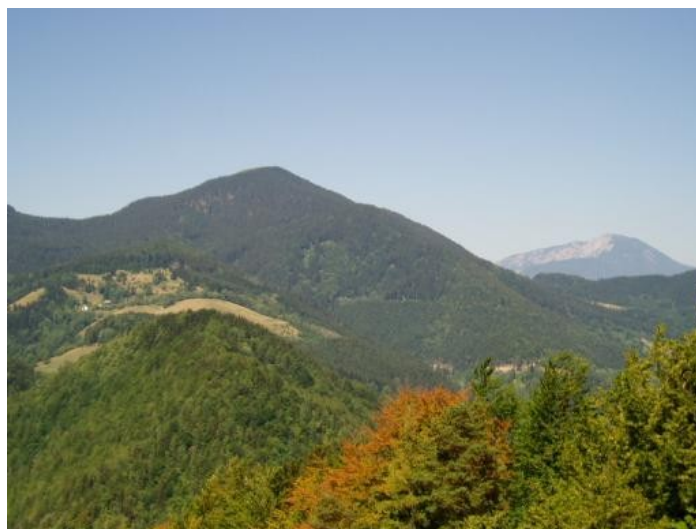
Vulkanizem je potekal v morskem okolju. Sestava magme se je med vulkanskim delovanjem spreminjala. V zgodnjem obdobju je prevladovala neeksplozivna vulkanska dejavnost, tokovi lave so se zaradi hitrega ohlajanja ob stiku z morskovo vodo drobili v večje ali manjše ostrorobe delce (klaste), proces imenujemo avtobrečizacija. V kasnejšem obdobju je prevladovalo eksplozivno vulkansko delovanje. Vulkanski prah, pepel in lave, ki so se usedali na strmih pobočjih podmorskega grebena, so predstavljale nestabilno nakopičeno gradivo, ki je povzročalo proženje plazov. Z njimi so nastale na Smrekovškem pogorju močno razširjene usedline sprijetih podmorskih plazov (vulkanoklastični turbiditi).

Pas vulkanskega delovanja naj bi bil dolg od 80 do 100 km, s središčem severno od današnjih Julijcev. Zaradi kasnejših tektonskih premikanj je ozemlje, kjer se kažejo sledovi smrekovškega vulkanizma, raztrgano in dvignjeno na kopno. Nadaljevanje vulkanskega območja sega proti jugovzhodu, vse do Rogaške Slatine in verjetno tudi pod Dravinjske gorice in Ptujsko polje.



Smrekovski vulkanizem

Med smrekovškimi predorninami sta najbolj značilna andezit in njegov tuf, katera najdemo med morskimi drobnozrnatimi sedimentnimi kamninami – glinavci, meljevci in laporji. Andezit sestoji iz vulkanskega stekla ter vtrošnikov in drobnih igličastih kristalov plagioklazov in piroksenov. Tuf najpogosteje najdemo v plasteh različnih debelin, z oddaljevanjem od vulkanskega izvora pa se v njem večja tudi delež gline in melja, tako da nastanejo tufiti, ki jih laično imenujemo tudi »nečisti tufi«.



Slika: Pogled na Smrekovec

([http://www.pzs.si/obvestila/04junij/november/obvestila\\_pzs\\_datoteke/image019.jpg](http://www.pzs.si/obvestila/04junij/november/obvestila_pzs_datoteke/image019.jpg))



KONZORCIJ ŠOLSKIH CENTROV



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



*Naložba v vašo prihodnost*

OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA  
Evropski socialni sklad

## DIVERGENCA

Divergentna prelomnica poteka ob robu dveh litosferskih plošč, ki se ena od druge odmikata. Ob tem prihaja do večjih odprtín, skozi katere bruha magma, ta pa s svojim nalaganjem ustvarja gorske (večinoma oceanske) hrbte. To so večinoma neeksplozivni ognjeniki, ki z bazaltno lavo polnijo prostor med obema ploščama. Večina jih bruha pod morsko gladino, izjema pa so rezultati ognjeniške aktivnosti na Islandiji (tudi ti ognjeniki so bili nekoč potopljeni) ter v Vzhodni Afriki. Med drugim je posledica takšne ognjeniške akumulacije magme otočje Galapagos.



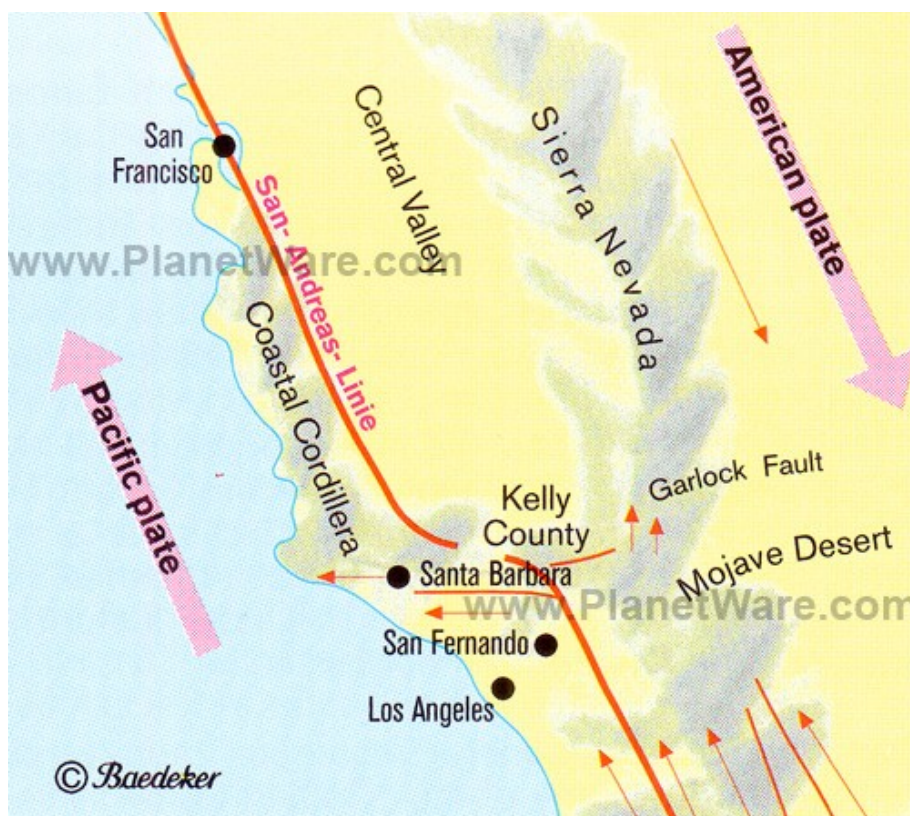
Divergenca

## ZMIK

Zmična prelomnica poteka ob robu dveh litosferskih plošč, ki se ena ob drugi zmikata. Posledica zмикanja je trenje ob robovih plošč, ki vpliva na razvoj močnih potresov. Primer takšnega zmika je prelom Sv. Andreja v ZDA. Prelom je dolg 1287 km.



Zmik



Slika: Prelom Sv. Andreja (<http://www.planetware.com/i/map/US/san-andreas-fault-map.jpg>)



KONZORCIJ ŠOLSKIH CENTROV



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



*Naložba v vašo prihodnost*

OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA  
Evropski socialni sklad

## ELASTIČNE, PLASTIČNE DEFORMACIJE

Kamnine, ki pod vplivom usmerjenega pritiska prelomijo, so krhke. Obnašajo se elastično, ker ne spremenijo prostornine ali oblike, ampak se, ko pritiska ni več, povrnejo v prejšnjo obliko. Tiste, ki spremenijo obliko ali prostornino, pa se obnašajo plastično. Prve se pod vplivom usmerjenega pritiska prelomijo, druge pa se nagubajo ali spremenijo obliko in prostornino.

PLASTIČNE DEFORMACIJE - kamnine so plastične globlje od 100 km, v primernih pogojih tudi med 20 in 200 km globine. Plastična deformacija je GUBANJE.

ELASTIČNE DEFORMACIJE - kamnine so krhke, zaradi delovanja tektonskih sil se prelomijo. Kamnine so elastične predvsem v zgornjih 20 km Zemljine skorje. Nastajajo PRELOMI in RAZPOKE.

Gube predstavljajo plastične deformacije kamnin. Počasno in dolgotrajno stiskanje ozemlja, ki ga povzroča primikanje dveh tektonski plošč, povzroči gubanje prej vodoravnih sedimentih skladovnic.

Pogosto pa na terenu ne vidimo cele gube, ampak le plasti, ki so pod določenim kotom. To nam vedno pove, da je bila kamnina nagubana, tudi če gube v celoti ne vidimo, saj so nedeformirane sedimentne kamnine vedno vodoravne ali skoraj vodoravne. Večina gub je namreč delno erodiranih, nekatere pa imajo tako velik razpon, da jih lahko razpoznamo le iz geoloških kart ali aerofotoposnetkov. Lahko pa jih prepoznamo s pomočjo **smeri in vpadov plasti**, ki jih vidimo na terenu ali razberemo iz geoloških kart. To sta zelo pomembna podatka, ki ju izmerimo za vsako plast posebej, nato pa vrišemo v geološko karto.

Smer plasti je smer, ki jo predstavlja presek med plastjo in namišljeno vodoravno ravnino. Praktično je smer plasti tista, v kateri lahko plast na površju sledimo. Vpad plasti pa je vedno pravokoten na smer plasti in predstavlja kot med namišljeno vodoravno ravnino in nagnjenostjo plasti. Poleg kota nagnjenosti označimo tudi smer vpada plasti, saj lahko plast z določeno smerjo vpada v dve smeri. Na primer, plast s smerjo sever-jug lahko vpada proti vzhodu ali zahodu.

Smer in vpad plasti merimo z **geološkim kompasom**.

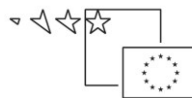




KONZORCIJ ŠOLSKIH CENTROV



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT

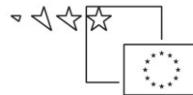


*Naložba v vašo prihodnost*

OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA  
Evropski socialni sklad

Slika: Geološki kompas



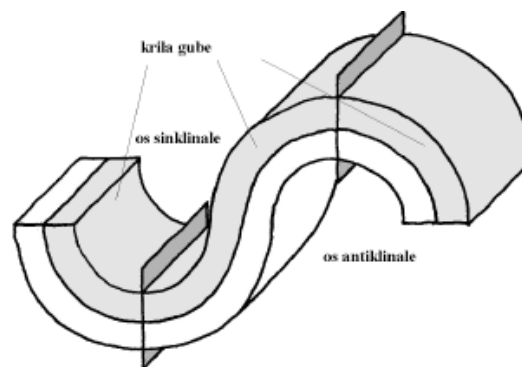


Geološki kompas, imenovan tudi Bruntonov kompas, se razlikuje od ostalih kompasov tako, da ima dodatno opremo s pomočjo katere izmerimo smer in vpad plasti. Magnetna igla se prosto vrti na navpični osi in je vedno usmerjena proti severu. Krog, v katerem se giblje magnetna igla, je razdeljen na 360 stopinj z ničlo proti severu, zato lahko smer plasti določimo v stopinjah od severa. Dodatna naprava imenovana klinometer pa omogoča merjenje vpada plasti, ki se giblje od 0 (vodoravne plasti) do 90 stopinj (navpične plasti).

Na terenu izmerimo smer in kot ter smer vpada izdankov različnih plasti. Dobljene podatke vrišemo v geološko karto. Za označevanje smeri in vpada plasti uporabljamo tri različne znake. Za plasti, ki vpadajo pod kotom večjim od 0 in manjšim od 90 stopinj, uporabljamo znak, ki je sestavljen iz daljše črtice v smeri plasti in krajše črtice v smeri vpada. Smer vpada je vedno pravokotna na smer plasti, nastane znak podoben črki T z vodoravno črtico, ki je dvakrat daljša od navpične. Kot vpada označimo s številko, ki se nahaja med obema črtama. Vodoravne plasti označimo s križem v krogu, navpične pa s križom podobnim znakom.

Ko raziščemo nek teren, narišemo geološko karto, na kateri označimo razprostranjenost posameznih plasti. Zabeležimo pa tudi smer in vpad plasti, vedno na tistem mestu, kjer smo ga izmerili. Iz razporeditev teh znakov na geološki karti lahko ugotovimo za kakšne gube gre. Iz teh podatkov lahko narišemo tudi navpične prereze skozi raziskani teren, ki jih imenujemo geološki preseki.

Gube delimo na **antiklinale** in **sinklinale**. Antiklinala je izbočena guba, sinklinala pa vbočena. Skozi vrh antiklinale, ki ga imenujemo tudi hrbet ali teme, in dno sinklinale, lahko potegnemo namišljeno osno ploskev. Presek med osno ploskvijo in površino gube pa imenujemo **os gube**. Os deli gubo na dve **krili**. Osrednji del vsake gube imenujemo **jedro gube**. V zaporedju več gub, se antiklinale in sinklinale izmenjujejo, po dve sosednji pa si delita po eno krilo, ki ga imenujemo osrednje krilo. Pri antiklinali vpadajo kamninski skladi od osi navzven, pri sinklinali pa navznoter.



Slika: Guba (<http://stari.bf.uni-lj.si/cpvo/geologija/image2.gif>)

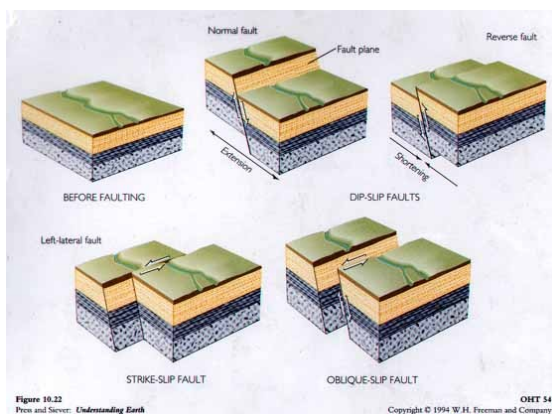
Na Zemljinem površju so antiklinale navadno erodirane na sredini, sinklinale pa na krilih. Osne doline sinklinal so lahko zasute z mlajšimi sedimenti. Tako antiklinale niso vedno

grebeni, sinklinale pa ne vedno doline. Le iz starosti in vpadov plasti lahko razberemo ali gre za antiklinalo ali za sinklinalo. Če izdanjajo najstarejše plasti vzdolž osi, plasti pa vpadajo od osi navzven, je erodirana guba antiklinala. Pri erodirani sinklinali pa vpadajo plasti proti osi, kjer izdanjajo najmlajše plasti. Na geoloških kartah označujemo osi gub s črto v smeri osi, ki ima na obeh straneh po en enakostranični trikotnik. Pri sinklinali sta trikotnika obrnjena z vrhom proti črti, pri antiklinali pa stran od nje. Znaka sta rdeče barve.

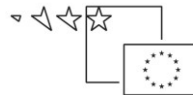
Gube niso vedno vodoravne, ampak so lahko tudi vpadajoče, kar pomeni, da njihove osi niso vodoravne, ampak **vpadajo pod določenim kotom**. Če je taka vpadajoča guba erodirana, plasti na površju niso ravne in vzporedne z osjo, ampak izdanjajo obliki črke V. Pri nagnjeni erodirani antiklinali so izdanki v obliki črke V obrnjeni z zaprtim delom v smeri vpada antiklinale, pri sinklinali pa z odprtim. Ločimo pa jih tudi s pomočjo starosti kamnin. Pri sinklinali so znotraj plasti v obliki črke V mlajše kamnine, pri antiklinali pa starejše. Osi nagnjenih gub označujemo s podobnimi znaki kot osi vodoravnih, le da ima središčna črta puščico v smeri vpada.

Poleg nagnjenih gub poznamo tudi strukture, ki nimajo osi, ampak le osno točko. To so tako imenovane **dome**, izbočene krožne gube, in **tektonske kadunje**, vbočene krožne gube. Pri erodirani domi vpadajo plasti od osrednje točke navzven, najstarejši skladi pa so v jedru. Pri erodirani sinklinali pa vpadajo plasti proti osni točki, kjer se nahajajo najmlajše plasti. Dome in kadunje niso vedno krožne, ampak so lahko raztegnjenih eliptičnih oblik. Gube pa so le redko tako simetrične kot na zgornjih slikah. Lahko so asimetrične, prevrnjene ali celo prelomljene. Lahko so enostavne ali sestavljene. Enostavne gube imajo po eno sinklinalo in eno antiklinalo. Sestavljene pa obsegajo več enostavnih gub. Sestavljene gube velikih dimenzij, ki so izbočene, imenujemo antiklinoriji, vbočene pa sinklinoriji.

Krhke deformacije kamnin so razpoke in prelomi. Nastajajo tako pri stiskanju kot tudi pri raztezanju kamninskih skladov. Če se blok kamnine na katerikoli strani **razpoke** premakne, nastane **prelom**. Večina kamnin, na katere je deloval usmerjeni pritisk, je vsaj nekoliko razpokana.



Slika: Različni tipi prelomov  
([http://www.geo.wvu.edu/~jtoro/Petroleum/petroleum\\_figs/review2/traps/faults.jpg](http://www.geo.wvu.edu/~jtoro/Petroleum/petroleum_figs/review2/traps/faults.jpg))



Razpoke v kamninah lahko nastajajo tudi iz vzrokov, ki niso povezani s tektoniko. Tak primer so razpoke, ki nastanejo pri stebrastem krojenju bazalta. Vroč bazalt je popolnoma trden pri temperaturah okrog 1200 stopinj Celzija. Ko se ohlajanje nadaljuje, se kamnina krči, nastanejo stebri, med njimi pa razpoke. Razpoke pa nastajajo tudi s fizikalnim preperevanjem kamnin. Teh razpok seveda ne štejemo med tektonske razpoke.

V mnogih kamninah pa najdemo sistem ali več sistemov vzporednih razpok nastalih zaradi usmerjenega pritiska, ki je deloval na kamnino. Te lahko kažejo na naravo usmerjenega pritiska, ki je deloval na kamnino. Dva pravokotna vzporedna sistema razpok kažeta na stiskanje. Noben od njiju ni vzporeden s smerjo stiskanja, ampak sta oba pod kotom približno 45 stopinj na smer stiskanja. Pri gubanju pa lahko nastane v manj odpornih kamninah sistem razpok, ki so vzporedne z osjo gube. Raztegovanje kamnine povzroči nastanek enega sistema razpok, ki je pravokoten na smer raztega. Kot vidimo na sliki, lahko tudi bočni pritiski lahko povzročijo nastanek razpok zaradi raztegovanja izbočenega dela gube.

Razpoke v kamninah zmanjšajo njihovo trdnost, saj lahko kamninski bloki zdrsnejo vzdolž razpok, če jih nepravilno obremenimo. Zato so natančne raziskave razpokanosti in trdnosti kamnin pomembne pri načrtovanju gradnje velikih objektov kot so visoke zgradbe, useki ob avtocestah, jezovi in rezervoarji vode.

Razpoke nastale zaradi tektonskih sil lahko zapolnijo minerali iz raztopin, ki pronicajo skozi. Če pronicajo skozi hidrotermalne raztopine, se lahko v njih odložijo zlato in drugi rudni minerali. Take razpoke lahko predstavljajo pomembna najdišča mineralnih surovin.

Tudi prelomi predstavljajo krhke deformacije kamnin. Navadno so to razpoke večjega obsega, vzdolž katerih se oba kamninska bloka premikata eden mimo drugega. Dolge so lahko tudi več sto ali tisoč kilometrov (npr., zmični prelomi kot so prelom Sv. Andreja, severno anatolijski prelom in prelom Tančeng - Luijang). Skupni zamik preloma lahko znaša le nekaj cm, lahko pa sta bloka zamaknjena za več sto kilometrov. Bloka lahko zvezno drsita eden mimo drugega, lahko pa se premikata občasno in sunkovito. V drugem primeru se vzdolž preloma nabira potencialna energija, ki se, ko preseže trenje vzdolž preloma, spremeni v kinetično in povzroči potres. Zamik, ki nastane med enim potresom, le redko preseže 15 m.

Prelomi so sestavljeni iz večje razpoke imenovane **prelomna ploskev** in dveh **kril**, kamninskih blokov na obeh straneh preloma. Krili preloma se lahko zamakneta na različne načine. Eno krilo lahko drsi mimo drugega v vodoravni smeri, ali pa se eno dvigne, drugo pa spusti. Zamiki so torej vodoravni in navpični. Možen pa je tudi zamik v obeh smereh naenkrat. Če je zamik vodoraven, drsita krili vzdolž preloma, ki je navpičen. To so **zmični prelomi**.

Navpični premiki povzročijo, da se eno krilo spusti, drugo pa dvigne. Prelom je poševen, krili pa ločimo na **krovninsko** in **talninsko** krilo. Krovno krilo se nahaja nad prelomom, talno pa pod njim. Izraza izvirata iz rudarskega besednjaka. Če bi namreč skozi prelom izkopal rudarski rov, bi izkopal tla rova v talno krilo, strop pa v krovno krilo.

Glede na to, katero krilo se spusti, katero pa dvigne, ločimo dve vrsti prelomov, **normalne** in **reverzne**. Normalni prelom nastane, če se spusti krovno krilo, reverzni pa takrat, ko se krovno krilo dvigne. Smer premika lahko ugotovimo iz zamika plasti na obeh straneh preloma. Normalni prelomi nastanejo pri raztegotovanju ozemlja, reverzni pa pri bočnih pritiskih oz. krčenju ozemlja.

Raztegotovanje ozemlja lahko povzroči nastanek številnih normalnih prelomov vzdolž katerih se spustijo talna krila. Nastane zaporedje **tektonskih dolin** in **grad**. Uporabljata se tudi nemški besedi **graben** in **horst**. Graben je tektonska dolina, horst pa gruda. Na ta način nastanejo premočrtne gorske verige, ki se izmenjujejo z dolinami, tako nastala pogorja pa imenujemo grudasta pogorja. Primer najdemo na območju Basin and Range v zahodnem delu S. Amerike.

Močni pritiski pri nastajanju gorovij povzročajo nastanek zelo položnih reverzних prelomov imenovanih **narivi**. Njihov nastanek je povezan s pritiski pri nastajanju gorovij. Veliki bloki kamnin so lahko narinjeni tudi več sto kilometrov daleč. Navadno so starejše kamnine narinjene na mlajše. Do narivov pride tudi pri trku dveh celinskih plošč, ko se zgornja (krovno krilo) navadno podrine vsaj nekaj sto kilometrov nad spodnjo (talno krilo). Tudi slovensko ozemlje je sestavljeno iz številnih narivov, od katerih omenimo le zelo opazni nariv Trnovske planote na Vipavsko dolino.

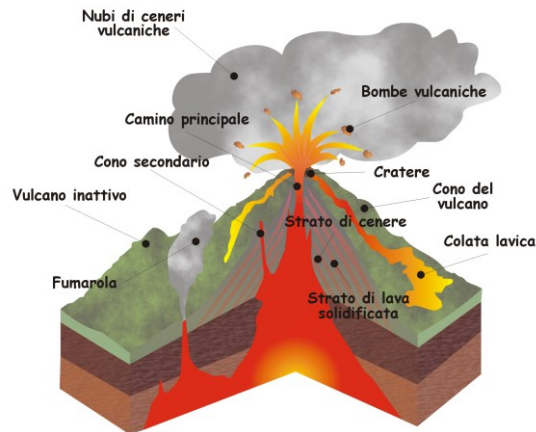
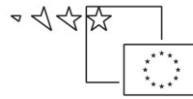
Če je narinjeno krilo deloma erodirano, lahko nastane **tektonsko okno**, skozi katerega je razgaljeno talno krilo. Kadar pa je krovno krilo erodirano do take mere, da ostanejo le še osamljeni deli, govorimo o **tektonskih krpah**.

## VULKANIZEM

Je posledica razmikanj ali trkov litosferskih plošč, kjer prihaja do deformacij, prelamljanja litosferskih plošč in izhajanja magme. V primeru, da imamo prodiranje magme na zemeljsko površino proces imenujemo vulkanizem, v primeru da ne prihaja do predora, pa proces imenujemo magmatizem.

*Vulkan* (ognjenik) je področje kjer iz notranjosti zemlje na površje prihaja razbeljena lava, kosi strjene lave ali pepel skupaj z vročim plinom. *Lava* je vroča raztaljena kamnina, ki izteka iz vulkanskega žrela ali skozi razpoke na površje. Dokler se vroča raztaljena kamnina nahaja globoko v notranjosti pod zemeljsko skorjo se imenuje *magma*. Nastaja najverjetneje nekje v globini med 70 in 45 km pod površjem. Ob ugodnih pogojih, predvsem ob robovih sredoceanskih hrbtov, kjer se razmikajo oceanske plošče, magma počasi prodira navzgor proti zemeljski površini. Če doseže površje v območju oceanov, se ob izlitju v razpokah ali podmorskih vulkanih hitro ohladi in strdi ter tako skoraj neprekinjeno tvori novo skorjo. Večinoma pa se magma kopiči v jamah pod vulkani, ki jih imenujemo magmatsko ognjišče.





Slika: Deli vulkana

([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e4/Spaccato\\_vulcano\\_ita.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e4/Spaccato_vulcano_ita.png))

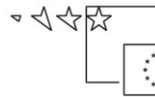
Velik srednjeoceanski hrbet je srednjeatlantski greben, ki poteka na severu od Islandije po dnu Atlantskega oceana na jug do južne Afrike. Nadaljuje se v greben, ki poteka po Indijskem oceanu, mimo južnih obal Avstralije, kjer preide v tihoceanski greben. Za Atlantski greben je značilno, da po sredini grebena poteka globok jarek. Na kopnem je najlepše primer takšnega jarka na Islandiji in sicer razpoka Skaftar, ki je nastala leta 1783 in je dolga 27 km. Na Islandiji se Atlantski greben začne, zato je to tudi edini predel, kjer lahko grebene in razpoke opazujemo na kopnem.

Vse tektonske plošče se nenehno premikajo, različna je le hitrost s katero se premikajo. Premik letno lahko znaša od 1 cm - 18 cm. Na obrobju plošč, ki sestavljajo dno Tihega oceana je razporejeno največ vulkanov. Danes je na svetu 516 aktivnih vulkanov. Večina od teh je razporejena od Aljaske in Aleutskih otokov, preko ozemlja Kamčatke in Japonske in naprej do Indijskega polotoka, preko Indonezije do Havajskega otočja ter preko Čila do Srednje Amerike, to je v velikem loku okrog Tihega oceana.

Nekateri vulkani pa niso nastali ob robovih današnjih litosferskih plošč, temveč se nahajajo nad tako imenovanimi vročimi točkami. Vroče točke so naključni razporejene, geologi pa domnevajo, da se nahajajo nad robovi nekdanjih plošč. Razpoke med nekdanjimi ploščami delujejo kot kanali za magmo, ki prodira na površje. Največja vulkana na Zemlji, ki sta nastala nad vročimi točkami sta vulkana Mauna Lae in Kilauea na Havajih.

Značilen je tudi nastanek otoka nad vročo točko, ki je bila pod Indijo pred 30 milijoni let. V obdobju 30 milijonov let se je vroča točka premaknila za 4000 km in ob izbruhu vulkana nad njo je nastal otok Reunion v Indijskem oceanu.

Za delujoči ognjenik štejemo vsakega, ki je bruhal vsaj enkrat v zgodovinskem času. Letno bruha med 20 in 30 ognjenikov. Večkrat pa se zgodi, da prične bruhati vulkan, ki ga smatramo za mirujočega. Najbolj znan takšen izbruh je iz leta 1973, ko je nepričakovano oživel vulkan Helgafel na Islandiji.



Slika: Evropski vulkani

V okolici mnogih vulkanov, ki so bili aktivni v daljni preteklosti so nastala velika mesta. Tako je prestolnica Škotske Edinburgh nastal na ozemlju kjer je bil ognjenik pred 325 milijoni let, kot tudi Montreal, kjer je bil ognjenik še mnogo prej.

Visoka gorstva nastajajo tudi kot posledica vulkanske aktivnosti. Muana Loa na Havajih je – merjeno od dna oceana – visok kar 10 203 m in je tako najvišja gora na Zemlji. Več kot polovico tega vulkana je pod morsko gladino. Še pomembnejša vulkanska gorstva, kot so posamezni vulkanski stožci, so oceanski hrbti, podmorske gorske verige, vzdolž katerih poteka večina vulkanske dejavnosti na Zemlji. Oceanski hrbti se dvigajo tudi več kot 4000 m nad oceansko dno, ponekod, na primer na Islandiji, se dvignejo tudi nad morsko gladino. Močni vulkanski pojavi so tudi nad conami podrivanja, to je na stikih oceanske in kontinentalne litosfere. Tak primer so Andi, ki kar precej svoje mase dolgujejo vulkanskim kamninam.

Vulkani se ob izbruhih ne le večajo in dvigujejo, temveč se lahko vulkan ob močnem izbruhu delno ali povsem uniči. Pri izbruhu vulkana Sv. Helena v severozahodnem delu ZDA 1980 je odletel v zrak večji del pobočja vulkana. Ob eksploziji vulkana Krakatau (velikokrat napačno imenovan krakatoa) 1883 je odletel v zrak celoten vulkanski stožec.

Okoli 6% vulkanizma poteka na oceanskem dnu proč od robov plošč. Velika večina podmorskih vulkanskih vzpetin ne doseže oceanske gladine, a nekatere se dvigujejo tudi več tisoč metrov nad gladino oceanov. Več kot 10 000 oceanskih vzpetin vulkanskega nastanka je samo v Tihem oceanu. Večina takih vulkanov ni aktivnih. Nekateri so zgrajeni podobno kot vulkani na celinah, magma pri njih prihaja iz astenosfere. Drugi dobivajo magmo iz večjih globin – to so vulkani nad vročimi točkami v plašču.

Najpogostejša vrsta vulkanizma na morskem dnu in tudi nasploh je razpoklinski vulkanizem na oceanskih hrbtih. Poleg tega k oceanskemu vulkanizmu prištevamo tudi vulkanizem na otočnih lokih nad conami podrivanja.

Kjer bruha vulkan pod morsko gladino, lahko nastane vulkanski otok. Nastanek otokov je pogosto povezan s premiki litosferskih plošč, saj vulkanski otoki nastajajo tako na



oceanskih hrbtih (na primer Islandija) kot tudi nad conami podrivanja (na primer Japonska). Nekateri drugi vulkanski otoki (na primer Havaji) se lahko pojavljajo tudi daleč stran od stikov med litosferskimi ploščami.

Islandija, ki leži nad Atlantskim oceanskim hrbtom, je največji vulkanski otok na mestih, kjer se oceanska skorja razteza. Okoli 103.000 km<sup>2</sup> velika Islandija je začela nastajati pred 20 milijoni let – tako stare so najstarejše kamnine na otoku. Tudi danes še raste, se povečuje, saj z vulkansko aktivnostjo, katere os poteka od jugozahoda proti severovzhodu, nastaja vedno nov vulkanski material. Večina vulkanske aktivnosti na Islandiji ima značaj mirnega razpoklinskega vulkanizma, pri katerem iz razpok v Zemljini skorji prihajajo na površje velike količine lave, ki se strjuje v bazalt. Prav tako so na Islandiji poznani močnejši vulkanski izbruhi, pomembni za nastanek otokov. Leta 1963, na primer, je izbruhnil podmorski vulkan nekoliko južneje od Islandije. V nekaj tednih sta lava in vulkanski pepel zgradila na morskem dnu majhen vulkanski otok Surtsey.

## Oblike vulkanov

Obstajajo tri glavne oblike vulkanov na celinah. Najbolj preprost je *strm stožec* – stratovulkan ali pastnati, zgrajen iz plasti vulkanskega pepela, ki so se nalagale ob zaporednih izbruhih. Znan je primer vulkana Paricutin v Mehiki, ki je začel bruhati 1943 in je v desetih letih zgradil 460 m visok vulkanski stožec.

Redki so vulkani, ki bruhamo samo pepel. Običajno so pri posameznih vulkanih izmenjujejo izbruhi pepela in lave. Posledica tega je vulkanski stožec, sestavljen iz pepela in lave (*vulkan s sestavljenim stožcem*). Primeri takih vulkanov so Vezuv, Etna in Stromboli v Italiji ter Fudžijama na Japonskem.

Kjer vulkani bruhamo lavo v izobilju in so izbruhi pogosti, običajno skozi celo vrsto kaminov, tam nastajajo vulkani v obliki *velikih ščitov*. Tak vulkan ima položnejša pobočja, njegov obseg je na desetine kilometrov, zgrajen iz kamnin, ki so nastale ob nešteti izbruhih. Ti vulkani so pogosto v gorskih verigah nad conami podrivanja (na primer v Andih), tak je tudi vulkan Mauna Loa na Havajih.

Na vrhu vulkana je običajno krater, ki nastane pri pogrezanju trdne lave nazaj v vulkanski kamin. Pri posameznih zelo močnih izbruhih, ki jih spremljajo silovite eksplozije, in včasih, ko se velike količine lave pogreznejo nazaj v vulkanski kamin, nastanejo ogromne udorine, imenovane kaldera.

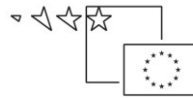
Vulkani glede na način izbruha

*Pri izbruhih iz razpok* lava teče na površje skozi zemeljske razpoke in je najbolj bogata z železom in magnezijem, zato je tudi najbolj tekoča.

*Havajski tipi vulkana* so zelo ploščati, lava je nekoliko manj tekoča, kot pri izlivih iz razpok. Pri tej vrsti vulkanov nikoli ne pride do eksplozije, redkeje pa se lava nabira v vulkanskem žrelu, kjer nastaja jezero. Ko se žrelo napolni z lavo ta počasi teče čez rob po



Vrste vulkanov



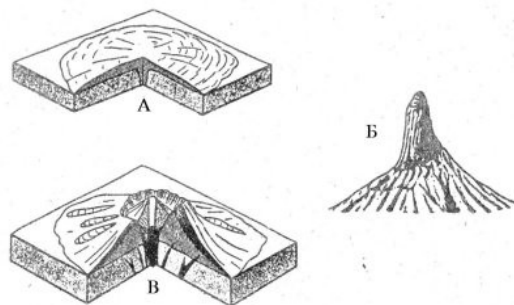
pobočjih vulkana in se strjuje. Takšen izbruh pogosto spremljajo tudi do 300 m visoki curki lave.

*Pri strombolijskem tipu* vulkana prihaja do izbruhov z izlitjem kot tudi z izlivanjem z eksplozijo. Pri izlitjih lepljiva lava teče počasi po pobočjih ter se ohlaja, s tem pa gradi vulkanska pobočja. Najbolj znani vulkani, ki so nastali z atrombolskim izlitjem lave so: Stromboli, Vezuv in Fudžijama. Pri eksploziji strombolski vulkani bruhajo žarečo kamnino različnih oblik in velikosti. Največje imenujemo vulkanske bombe. Takšen izbruh spremlja tudi velika količina pepela.

*Vulkani ognjeniške vrste* silovito bruhajo trdno lavo. Lepljiva lava in kamnine iz vulkanskega dimnika se zdrobijo v prah, ta mešanica pepela se dvigne tudi več kilometrov visoko. Takšen je bil junija 1991 izbruh vulkana Pinatube na Filipinih.

Pri *vulkanskih vrstah Pelee* lava zaradi prevelike lepljivosti ne more teči in zato oblikuje na vrhu kupolo, ki zamaši dimnik. Plini, ki se nabirajo v vulkanu povzročijo močno eksplozijo, ki vržejo nastalo kupolo visoko v zrak. Zaradi močne eksplozije pa mnogokrat na pobočjih nastanejo razpoke. Po vulkanskih pobočjih se vali mešanica strnjene magme, pepela in žgocih plinov. To mešanico imenujemo žareči plazovi ali piroklastični oblak. Takšen je bil leta 1902 izbruh vulkana Mont Pelee, prav tako pa so takšni izbruhi značilni za vulkan Sv. Helena v Kaskadskem gorovju.

*Pri plinijskem tipu vulkana* je izbruh plina dolgotrajen in pri njem sega oblak pepela zelo visoko. Pri izbruhu vulkana Augustine na Aljaski je segal oblak pepela do višine 11 km. Zračni tokovi pa pepel ki pada na kopno in v morje raznesejo okoli in okoli Zemlje.



Slika: Nekateri tipi vulkanov

([http://images.google.si/imgres?imgurl=http://www.znanje.org/i/i21/01iv08/01iv0801m/vulkan\\_8.jpg&imgrefurl=http://www.znanje.org/i/i21/01iv08/01iv0801m/4\\_1.htm&usq=\\_\\_3eUODVF207y12i6UbBsbVi4UdOw=&h=250&w=434&sz=21&hl=sl&start=18&um=1&tbnid=BjOCWIDXE6oWFM:&tbnh=73&tbnw=126&prev=/images%3Fq%3Dtipi%2Bvulkanov%26hl%3Dsl%26sa%3DN%26um%3D1](http://images.google.si/imgres?imgurl=http://www.znanje.org/i/i21/01iv08/01iv0801m/vulkan_8.jpg&imgrefurl=http://www.znanje.org/i/i21/01iv08/01iv0801m/4_1.htm&usq=__3eUODVF207y12i6UbBsbVi4UdOw=&h=250&w=434&sz=21&hl=sl&start=18&um=1&tbnid=BjOCWIDXE6oWFM:&tbnh=73&tbnw=126&prev=/images%3Fq%3Dtipi%2Bvulkanov%26hl%3Dsl%26sa%3DN%26um%3D1))

## POSTVULKANSKI POJAVI



Še v času po ugasnitvi vulkanov, prihajajo na površje vodne pare in plini. Med postvulkanske pojave prištevamo pojave: fumarole, solfatare, mofete in gejzire.

Fumarole so razpoke, ob katerih prihaja do izparevanja plinov, izvora ob pojamajočem vulkanu. Ločimo nizko in visokotemperaturne fumarole. Nizkotemperaturne izparevajo vodno paro ter plinasto ogljikovo kislino. Visokotemperaturne pa izparevajo vodno paro, ogljikov dioksid, žveplovodik, ogljikov monoksid, dušik, vodik itd. Temperatura fumarol znaša od 250 do 1000°C.

Solfatare in mofete so podobne fumarolam. Solfatare predstavljajo izvor vodnih par, žveplovodika, ogljikovega dioksida. Ime so dobile po žveplu. Temperatura plinov izhajajočih iz solfatar je med 90 in 250 °C. Mofete predstavljajo izvor ogljikovega dioksida, temperatura plinov pa dosega do 90 °C.

Gejziri so najzanimivejši postvulkanski pojavi. So vreli vodometi oz. izbruhi vroče vode in pare, ki si sledijo v določenem časovnem zaporedju. Eni brizgajo vodno paro vsakih nekaj mesecev, drugi večkrat na uro. Nekateri najbolj znani brizgnejo v zrak več deset metrov visok curek vrele vode in pare.

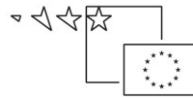
Vroča kamnina pod površjem segreje vodo v podzemni shrambi do vretja. Tlak požene v curku vodo proti površju. Ko se shramba zopet napolni, se voda segreje in izbruh se ponovi. Tako gejzir deluje v presledkih.

Območje, kjer je danes veliko postvulkanskih pojavov je narodni park Yellowstone v ZDA. Leta 1872 so Yellowstone proglasili za prvi narodni park v ZDA. Prvotno je bil Yellowstone dom Indijancev. Ti so trgovali z orodjem in orožjem, ki so ju izdelovali iz obsidijana (vulkanska kamnina). Zime v Yellowstonu so mrzle, zato so se indijanska plemena pozimi umaknila v toplejše kraje.

Park se nahaja v severozahodnem delu države Wyoming, na meji z Montano, na 2.600 m visoki planoti. To planoto obkroža skalno gorovje s svojimi vrhovi, ki segajo od 3.300 do 4.600 m visoko. Skozi park poteka celinsko razvodje. Tako se reka Yellowstone izliva v reko Misuri, ta pa v reko Misisipi, ki konča svojo pot v Mehiškem zalivu. Posebna zanimivost parka je Jezero dveh oceanov, ki je dobilo tako ime zaradi svoje specifičnosti: kadar ima jezero zelo visoko vodo se odteka na dve strani, proti Mehiškem zalivu in proti Tihemu oceanu. Ob normalno visoki vodi se odteka samo proti Tihemu oceanu.



Postvulkanski pojavi



Yellowstone

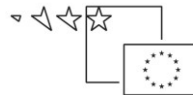
Slika: Pojav iz Yellowstoneškega parka  
([http://image04.webshots.com/4/8/54/28/54385428ALVKDu\\_ph.jpg](http://image04.webshots.com/4/8/54/28/54385428ALVKDu_ph.jpg))

Yellowstonska pokrajina je povezana z ognjeniškiimi dogodki iz geološke preteklosti. Vsa Yellowstonska pokrajina leži v ogromnem vulkanskem kraterju, imenovanim kaldera. Tak krater nastane z združitvijo večih manjših kraterjev in periodične vulkanske dejavnosti. Na koncu se je vse skupaj pogreznilo in nastala je planota kateri meje so natančno lahko določili šele s stelitskimi posnetki.

Za Yellowstonski narodni park je značilna hidrotermalna dejavnost, kamor uvrščamo gejzire, vrelce, blatne vrelce. Okoli 62% vseh znanih gejzirjev na svetu je v Yellowstonu, ostali so na Islandiji, Novi Zelandiji in Indoneziji. Gejzir deluje na principu stalnega vira vode in podzemnih rogov, ki delujejo kot nekakšne cevi, ko pa se nabere dovolj pritiska voda brizgne na plano. Vroča voda prinaša na površje raztopljeno kremenico, ki se izloča ob ustju gejzirjev. Včasih kremenica zatesni kakšnega od rogov in narava gejzirja se popolnoma spremeni. Najbolj predvidljiv gejzir v parku je Old Faithful, saj so njegovi izbruhi natančno določeni, toda presledki med njimi niso povsem enakomerni, kot misli večina ljudi. Toda čuvaji lahko kljub temu dokaj natančno napovejo naslednji izbruh. Povprečen čas med izbruhi je 64 minut.

Za to območje značilna reka Yellowstone. Tudi ona ima svoj kanjon, ki pa ni tako velik kot je kanjon reke Kolorado. Je pa ravno tako slikovit in zanimiv. Stene kanjona so vklesane v riolitne kamnine in tufe. Zaradi intenzivnega preperevanja pod vplivom tople vode pa so te kamnine dobile značilno rumeno barvo, po kateri je dobila ime reka in celotno območje parka. Najbolj spektakularen del kanjona je pri Spodnjem slapu, ki pada preko 100 m visoke skalne police, nastale zaradi razlik v trdoti preperelih in nepreperelih kamnin.

V Yellowstonu najdemo tudi okamenele gozdove. Nekatera drevesa še vedno stojijo, nekatera pa imajo ohranjene še celo koreninske sisteme. Glede na vrsto, so strokovnjaki določili, da gre za orehe, magnolije, kostanj, hrast, javor idr. Podnebje je bilo včasih bolj toplo in vlažno, kot je danes na Floridi.



Leta 1988 je Yellowstone zajel požar. Uničil je velik del gozda in spremenil ekologijo narave. Erozijska je postala bolj intenzivna, vodni tokovi so postali bolj blatni in hudourniške narave. Zgorelo je tretjino yellowstonskega parka. Zato si narava prizadeva, da bi bila narava prepuščena sama sebi. Rekreativne dejavnosti in taborjenje danes uprava dovoljuje pod pogojem, da ljudje ne motijo oklice in ji tudi ne škodujejo.

Postvulkanski pojavi imajo danes velik pomen pri proizvodnji različnih vrst energije. Zemlja hrani v svoji notranjosti ogromno količino toplote, katero lahko na različne načine koristno uporabimo kot vir energije, za pretvorbo v drugo obliko energije. Povsod pa je medij za prenos energije voda. Ponekod že sama izvira iz globin, drugje pa jo moramo črpati iz predhodno narejenih vrtin. Če tla niso porozna, pa moramo vodo celo vračati v globino, da zagotovimo kroženje le te.

Geotermalna energija je toplota, ki nastaja in je shranjena v notranjosti Zemlje. Izkoriščamo jo lahko neposredno z zajemom toplih vodnih ali parnih vrelov oziroma s hlajenjem vročih kamenin.

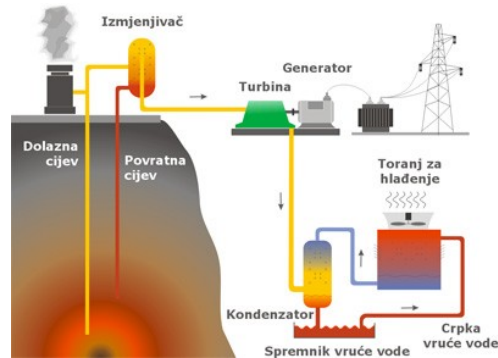
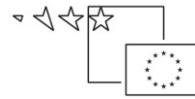
Temperatura termalne vode pogojuje možnost uporabe geotermalne energije. Ločimo visokotemperaturne in nizkotemperaturne geotermalne vire. Pri prvih je temperatura vode nad 150°C in jih izrabljamo za proizvodnjo elektrike, pri drugih pa je temperatura vode pod 150°C in jih izrabljamo neposredno za ogrevanje.

Eden od načinov izkoriščanja tega obnovljivega vira energije je pretvorba toplote v električno energijo z izgradnjo geotermalnih elektrarn, kjer je to možno. Vemo namreč, da se temperatura notranjosti vrhnjega sloja Zemlje glede na lokacijo zelo spreminja in da so globoke vrtine tehnološko zelo zahtevne.

Zemlja je neomejen stalen vir toplote. Za izrabo sta možni dve tehnologiji: izraba obstoječih termalnih vrelov ali črpanje toplote (iz vročih, nepropustnih skal) iz globin. Prvi način je že dobro uveljavljen, drugi je na stopnji raziskav.

Čeprav prihaja voda oziroma para ponekod po naravni poti na površino, so za veliko porabo potrebne vrtine do 3000 m globine. Parametri pare oziroma vode so: 200 do 300°C pri tlaku do 30 barov. Od vrelov vodijo do 1 m premera veliki cevovodi nekaj km daleč do elektrarne. Para prihaja večkrat iz različnih vrtin, zato jo porabljajo v več stopnjah v kaskadah. Običajno je možno uporabiti paro neposredno. Edini večji motor, ki je potreben, je črpalka za hladilno vodo. Zaradi nizkega tlaka je termični izkoristek majhen (10-15 %), so pa na razpolago velike količine odpadne toplote.

Geotermalna  
energija



Slika: Izraba geotermalne energije (<http://www.hrote.hr/hrote/Images/GeotermalnaEnergija4.jpg>)

Toploto iz vrelcev pri nižjih temperaturah je mogoče uporabiti za centralno ogrevanje ali v kmetijstvu.

Čeprav se je geotermalna energija že stoletja uporabljala v kopališčih in za ostale majhne porabnike, se je šele v tem stoletju začelo večje izkoriščanje geotermalne energije. Električno energijo so iz geotermalne energije prvič proizvedli leta 1904 v kraju Larderello v Italiji, kjer se je leta 1913 začela tudi proizvodnja električne energije za industrijske potrebe. Geotermalna energija je bila prvič uporabljena za ogrevanje mestnega območja mesta Reykjavíka na Islandiji v letu 1930. Od takrat je uporaba geotermalne energije skoraj neprestano naraščala, v zadnjih 40 letih pa je doživela strm vzpon, tako pri izkoriščanju geotermalne energije za proizvodnjo električne energije, kakor tudi pri neposredni uporabi geotermalne toplote (na primer za ogrevanje hiš ali pa za industrijske procese). Ponekod se izvaja tudi sočasna izraba električne energije in toplote, kar je ekonomsko upravičeno.

## POTRESI

Potres označujemo kot kakršnokoli tresenje zemeljskega površja. Potres je lahko posledica tektonike plošč, izbruha vulkana, padca meteorita, podora kamninskih mas. Umetni povzročitelji potresov so eksplozije. Na podlagi izvora potrese delimo v potrese tektonskega izvora, vulkanske potrese, udorne potrese in umetne potrese.

Veda, ki se ukvarja s potresi se imenuje seizmologija. Naprave, s katerimi se merijo potresi, se imenujejo seizmografi. Seizmografi beležijo več vrst seizmičnih valov, in sicer:

P – primarne seizmične valove

P valovi so kompresijski ali depresijski valovi, ki se širijo v različnih medijih. Nastanejo kot posledica spremembe prostornine volumna medija. Zanje je značilno, da nihajo v vse smeri in jih uvrščamo med longitudinalne valove. Podobne značilnosti ima zvočno valovanje.

S – sekundarne seizmične valove

S valovi nastanejo kot posledica reakcije medija na spremembo oblike oz. prostornine. Zanje je značilno, da se ne širijo v tekočih ali plinastih medijih. Delci nihajo pravokotno na smer potovanja valov in so počanejši od P valov. Imajo značaj transferzalnega valovanja.

L – površinski seizmični valovi

L valovi nastanejo na stiku dveh različnih medijev (npr. tekoč – plinast, trden – plinast). V primerjavi z S ali P valovi so bistveno počasnejši in amplituda se hitro zmanjšuje z globino in oddaljenostjo od epicentra, kjer potres naredi največjo škodo.

Potres nastane v trenutku, ko se v žarišču ali hipocentru del potencialne energije elastičnih napetosti spremeni v kinetično energijo elastičnih nihajev. To nihanje se širi v obliki primarnih (longitudinalnih) valov kot reakcija snovi na spremembo prostornine in sekundarnih (transverzalnih) valov kot reakcija snovi na spremembo oblike ter polariziranih elastičnih valov ob diskontinuitetah.

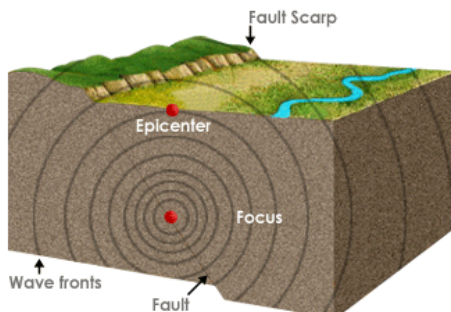
Valovi se po fizikalnih zakonih odbijajo (reflektirajo), lomijo (refraktirajo), uklanjajo (difraktirajo) in interferirajo med seboj. V Zemlji se gibljejo kot prostorski valovi in po Zemljini površini kot površinski valovi. Potresni valovi se začno širiti z majhnega prostora (volumna), v katerem se v zelo kratkem času sprosti ogromna energija. Ta prostor se največkrat poistoveti s "točko" – to je tista točka, ob kateri je prišlo do primarnega loma kamnin. Rušenje ob prelomu se nato širi od te začetne točke naprej s prelomno hitrostjo, ki je približno enaka hitrosti transverzalnih valov. Toda vsaka točka preloma je izvor vseh treh vrst prostorskih oziroma površinskih valov.



Seizmologija



## The Epicenter



Slika: Potres

([http://images.google.si/imgres?imgurl=http://stloe.most.go.th/html/lo\\_index/LOcanada5/504/images/eng/1\\_1.gif&imgrefurl=http://stloe.most.go.th/html/lo\\_index/LOcanada5/504/1\\_en.htm&usq=\\_G1KzeJfqpa-7A-](http://images.google.si/imgres?imgurl=http://stloe.most.go.th/html/lo_index/LOcanada5/504/images/eng/1_1.gif&imgrefurl=http://stloe.most.go.th/html/lo_index/LOcanada5/504/1_en.htm&usq=_G1KzeJfqpa-7A-)

Ph7CakI81obSg=&h=350&w=350&sz=315&hl=sl&start=3&um=1&tbnid=eLQX\_aJmC13HcM:&tbnh=120&tbnw=120&prev=/images%3Fq%3Deartquake%26hl%3Dsl%26um%3D1)

Glede na globino žarišča ločimo plitve potrese (globina go 60 km), sredjegloboke potrese (globina 60 – 300 km) in zelo globoke potrese (300 – 720 km). Globine potresnih žarišč na območju Slovenije so omejene z debelino skorje, saj so globoka žarišča zelo redka. Večina žarišč nastane v globinah med 5 in 15 km. Razdelili smo jih v tri intervale od 0 do 5 km, od 5 do 10 km in od 10 do 15 km. Šibki potresi ( $M < 3,0$ ) nastajajo predvsem v globini od 0 do 10 km, kar priča o dejavnosti plitvih seizmogenih prelomov. Žarišča močnejših potresov ( $M > 5,0$ ) pa nastajajo v globini med 10 in 15 km, kar je na meji med epidermalnim in krystalnim delom Zemljine skorje, kjer t.i. lomne deformacije prehajajo v duktilne.

Jakost potresa se izraža s pomočjo energije magnitude potresa. Magnituda je velikostna stopnja potresa. Izračunamo jo iz instrumentalnega zapisa nihanja tal. Koncept potresne magnitude je vpeljal leta 1935 Charles Francis Richter. Richterjeva magnituda je veljala za izbrano območje Kalifornije in za določeno vrsto seizmografov. Od tedaj je formulacija doživela precej sprememb in popravkov. Danes obstaja več različnih magnitud, kot so na primer:

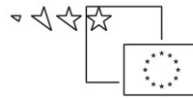
- lokalna magnituda, ki je določena iz zapisa potresa z nadžariščem oddaljenim manj kot 100 km od potresne opazovalnice
- površinska magnituda, ki je določena iz navpične komponente dolgo periodnega površinskega valovanja, ki se razvije pri potresih, katerih žarišče ni bilo globlje od 50 km
- telesna magnituda, ki je določena iz največjega odklona na zapisu navpične komponente telesnega valovanja v prvih 20 sekundah po prihodu vzdolžnega telesnega valovanja.
- navorna magnituda, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom



KONZORCIJ ŠOLSKIH CENTROV

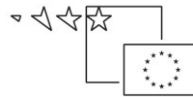


REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



*Naložba v vašo prihodnost*  
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA  
Evropski socialni sklad

- makroseizmična magnituda, ki je ocenjena iz makroseizmičnega polja.



Magnituda se v laični javnosti pogostokrat poenostavijo v izraz Richterjeva magnituda. Magnituda je navadno podana na desetinko natančno (npr. 5.7). Zaradi različnih razlogov (kompleksni žariščni mehanizem, različne metodologije pri izračunu magnitude) lahko vrednost magnitude, ki jo izračunajo različne institucije za isti potres, odstopa tudi za nekaj desetink. Obstajajo empirične formule, ki povezujejo magnitudo z energijo. Natančnejše relacije so opisane v strokovni literaturi, lahko pa ocenimo, da porast magnitude za eno enoto pomeni približno tridesetkratno povečanje sproščene energije potresa (npr. ob potresu z magnitudo 6 se sprosti energija enaka energiji približno 30 potresov magnitude 5, približno 900 potresov magnitude 4 ali približno 27000 potresov magnitude 3). Dosedaj najmočnejši instrumentalno zabeleženi potres je imel navorno magnitudo 9,5 - od tod tudi napačno mnenje, da ima magnitudna lestvica devet stopenj. Magnituda ni omejena niti navzdol niti navzgor.

Za prebivalce je pomembnejši podatek intenziteta potresa. To je mera za učinke potresa, ki je odvisna od njegove energije, epicentralne razdalje in geoloških razmer. Gre za subjektivno mero, ki fizikalno ni definirana. Predvsem ugotavljamo učinke potresa na predmete, ljudi, zgradbe in naravo. V svetu je v uporabi več intenzitetnih lestvic. Najdlje je bila v uporabi 12-stopenjska MCS lestvica, ki jo je v začetku stoletja predlagal Mercalli, kasneje pa sta jo dopolnila še Cancani in Sieberg. V končni obliki je prvič izšla leta 1912. Te lestvice, ki je bila v uporabi najdlje se je prijelo ime Mercallijeva lestvica. Leta 1964 so Medvedev, Sponheuer in Karnik predstavili novo 12-stopenjsko lestvico MSK, ki je bila kasneje večkrat dopolnjena in je do nedavnega veljala tudi pri nas. Razlika med obema je le v nekaterih količinskih opredelitvah, ki pa za širšo javnost niso pomembne. Razvoj znanosti, predvsem pa tragične izkušnje ob poružitvah armirano betonskih konstrukcij, je zahteval uveljavitev nove lestvice in tako je v zadnjem času nastala 12-stopenjska evropska potresna lestvica EMS (European Macroseismic Scale). Osnutek je nastal leta 1992 na evropski seizmološki komisiji, potem pa so jo strokovnjaki dopolnjevali.

Na Upravi RS za geofiziko smo jo začeli uporabljati leta 1995. Nova lestvica upošteva nove načine gradnje, nove materiale, ki jih uporabljajo v gradbeništvu in natančneje določa učinke potresov na visoke zgradbe. Z novo lestvico so odpravljene nelinearnosti med posameznimi stopnjami, predvsem med šesto in sedmo. Lahko rečemo, da ni namenjena samo seizmologom, ampak tudi gradbenikom. Opis posameznih stopenj je podoben kot pri MCS in MSK lestvici. Intenziteta je ponavadi največja v epicentru ali nadžarišču potresa in se zmanjšuje z oddaljenostjo. Po določitvi intenzitet seizmologi za posamezna območja narišemo izoseiste, to so krivulje, ki povezujejo točke z enakimi intenzitetami na površini potresnega območja.

Ozemlje Slovenije spada po številu in moči potresov med aktivnejša območja, saj leži na potresno dejavnem južnem robu Evrazijske geotektonske plošče, na severozahodnem robu sredozemsko-himalajskega seizmičnega pasu, ki je eden od potresno najaktivnejših na Zemlji. Na majhnem slovenskem prostoru se stikajo tri regionalne geotektonske enote: na severu in zahodu Alpe, na južnem, jugozahodnem in osrednjem delu Dinaridi in na severovzhodu Panonski bazen. Razlogi za nastajanje številnih šibkih, pa tudi močnih potresov so v zapleteni geološki in tektonski zgradbi našega ozemlja, ki leži na manjši Jadranski plošči, stisnjeni med Afriško na jugu in Evrazijsko na severu. Jadranska plošča se vrti v nasprotni smeri urinega kazalca, kar povzroča predvsem na severni in vzhodni strani različna premikanja. Južna in zahodna Slovenija ležita na severnem delu plošče, ki je

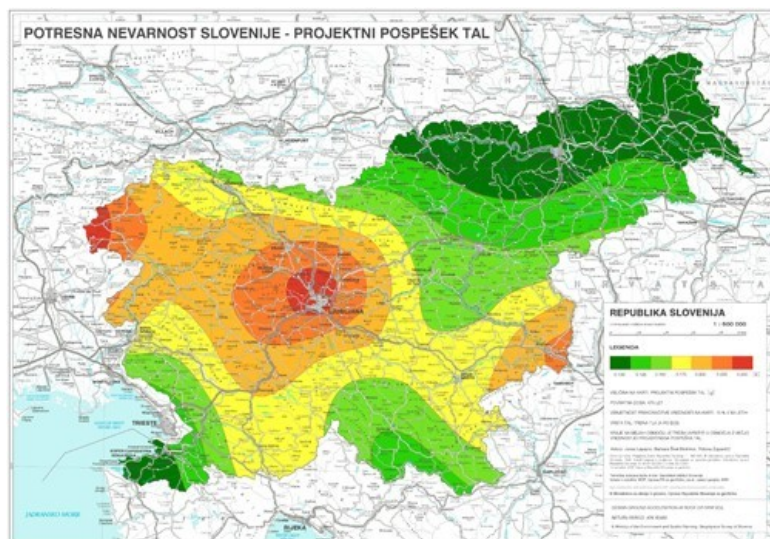


Jakost potresa



zelo deformiran in narinjen na osrednji, manj deformiran del plošče. Zaradi premikanj v različnih smereh prihaja med njimi do napetosti, ki so lahko vzrok za nastanek potresov. Premikanja plošč povzročajo na ozemlju Slovenije napetosti v smeri sever-jug, ki se sprošča v potresih ob prelomih severozahod-jugovzhod (dinarska smer) in severovzhod-jugozahod (prečnodinarska smer), ter ob narivnih strukturah, ki potekajo v smeri vzhod-zahod.

Iz zgodovinskih virov in v novejšem obdobju iz rednega beleženja in spremljanja potresnih pojavov lahko vidimo, da je bilo v preteklosti na naših tleh več kot 60 rušilnih potresov. Poleg gmotne škode so zahtevali tudi številna človeška življenja. Potresno najbolj nevarna območja v Sloveniji so poleg ljubljanskega, kjer se je v preteklosti sprostil največ potresne energije, še idrijsko, tolminsko in krško-brežiško. Potresna žarišča nastajajo na celotnem ozemlju Slovenije, najmanj jih je na skrajnem severovzhodnem delu. Samo v 20. stoletju je nastalo pri nas več kot 20 potresov, katerih največja intenziteta je bila ali je presegla VII. stopnjo po EMS, kar pomeni, da so povzročali večjo ali manjšo gmotno škodo.

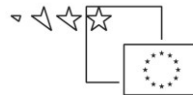


Slika: Karta potresne ogroženosti Slovenije  
([http://www.zurnal24.si/export/sites/z24/\\_data/images/slovenija/karta\\_potres1\\_arso.jpg\\_1263901871.jpg](http://www.zurnal24.si/export/sites/z24/_data/images/slovenija/karta_potres1_arso.jpg_1263901871.jpg))

V primeru, da je hipocenter potresa oceansko dno, se zaradi valovanja, ko dosežejo vodno površje ustvari tsunami. Tsunami je navaden gravitacijski vodni val (kot ga poznamo z obale), le da ima zelo veliko valovno dolžino (lahko je vse do 500 km). Amplituda na odprtem morju je majhna. Če smo na ladji, daleč od obale, tsunamija sploh ne opazimo, saj je videti kot hitrejša plima. Pri valovni dolžini 200 km je njegova časovna perioda dobrih 15 minut.



Pri gravitacijskem vodnem valu na globoki vodi se deli vode na



površini krožno gibljejo, ko gredo v globino, pa to gibanje zamira (krožnice, po katerih se gibljejo deli vode, imajo vse manjše polmere)-sega nekako do take globine, kot je valovna dolžina.

Valovna dolžina tsunamija je mnogo večja od globine oceana, zato smo pri tsunamiju v režimu gravitacijskega valovanja na plitvi vodi. Zanj je značilno, da od zgoraj omenjenega kroženja delov vode ostane praktično le horizontalna komponenta hitrosti (zelo sploščena elipsa), ki je po vsej globini enaka (mejna plast ob dnu, v kateri hitrost pade na nič, je zanemarljiva). Opravka imamo torej z veliko kinetično energijo, povsem drugače kot pri vodnih valovih s kratko valovno dolžino, kakršnih smo vajeni s poletnih počitnic, ki segajo le nekaj metrov v globino. Hitrost širjenja valovanja na plitvi vodi je koren iz produkta gravitacijskega pospeška in globine, kar v 4 km globokem oceanu pomeni okrog 700 km/h. Opozoriti velja, da je to hitrost širjenja valovanja in ne hitrost vode. Hitrost vode pri amplitudi 0.5 m v 4 km globokem oceanu znaša le okrog 2.5 cm/s.

Ker je valovna dolžina tako velika, valovanje praktično ne izgublja energije. Zato tsunami praktično vso energijo, ki mu jo je podelil potres, ponese prek velikih razdalj. Tsunami tudi nima znatne disperzije (pojav, pri katerem je hitrost širjenja valovanja odvisna od valovne dolžine), ki bi raztegnila ob potresu nastali valovni sunek in tako zmanjšala njegovo energijsko gostoto.

Ko se val približuje obali, kjer je globina vse manjša, njegova amplituda narašča. Energija tsunamija se namreč približno ohranja, masa vode, ki se giblje, pa je zaradi plitvejšega morja vse manjša. Presežna energija se naloži v dvigovanje gladine in v hitrejše gibanje vode proti obali. To je moč razlagati tudi s tem, da se hitrost valovanja na plitvejši vodi zmanjšuje. Ker se energijski tok, ki ga nosi valovanje, približno ohranja, se mora povečati njegova amplituda. Pojav je povsem enak kot pri običajnih valovih, na katerih surfajo, le da je energija neprimerno večja.

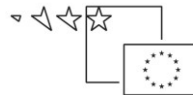
Kakršnokoli je že precej zapleteno dogajanje ob obali, pomembno je, da se praktično vsa energija, ki jo je potres podelil vodi, sprosti ob obalah. Tsunami pač predstavlja žal zelo učinkovit mehanizem, kako to energijo prenesti prek velikih razdalj. Zato so najbolj ranljive obale, katerih se dno počasi dviga.

Ali veš:

da je najmočnejši potres bil leta 1960 v državi Čile in je imel magnitudo 9,5

da je leta 1998 na velikonočno nedeljo Posočje prizadel potres z močjo 5,6 stopnje po Rihterjevi lestvici

- da je leta 2004 JZ del Azije zajel potres z močjo 9. stopnje po Richterjevi lestvici in žariščem ob obali indonezijskega otoka Sumatra sprožil ogromne popotresne valove, ki so zahtevali 230.000 življenj v 12 državah. Več deset metrov visoki popotresni valovi, ki so se premikali po oceanu s hitrostjo več kot 500 kilometrov na uro, so se v roku nekaj ur razširili vse do afriške obale, v vodo pometli cele vasi



v Indoneziji in na Šrilanki, potopili turistična letovišča in ribiške vasi na Tajskem ter uničili več tisoč domov v Indiji.

- Da je 6. aprila. 2009 osrednji del Italije zajel potres 6,3 stopnje po Richterju. Umrlo je preko 150 ljudi. Poškodovanih je bilo na stotine stavb.
- Da potresov ni mogoče napovedovati



## PONOVIMO

Kaj je endogena in kaj eksogena dinamika?

Kateri procesi so endogeni?

Kaj je tektonika plošč?

Zakaj uporabljamo geološki kompas?

Kaj so gube?

Kaj so razpoke?

Kaj so prelomi?

Kaj so vulkani?

Kako nastane tsunami?

Opiši Yellowstone!