

Franica Laus, mag. prim. educ.
Osnovna škola Smokvica
Smokvica 166, Smokvica
lausfrancaa@gmail.com

dr. sc. Nikola Glamuzina, red. prof.
Sveučilište u Splitu, Filozofski fakultet
Poljička cesta 35, Split
Nikola.Glamuzina@ffst.hr
ORCID identifikator: 0009-0007-4318-3870

UZROCI I MEHANIZAM NASTANKA POTRESA U HRVATSKOJ U SUVREMENOM RAZDOBLJU – ODGOJNO-OBRAZOVNA PERSPEKTIVA

Sažetak:

Potresi spadaju u najrazornije i najgore prirodne katastrofe na Zemlji. Upravo su zbog svoga izrazito negativnoga učinka predmet opsežnih znanstvenih istraživanja širom svijeta, a oblikovana je i posebna grana geofizike koja proučava potrese – seizmologija. Tijekom zadnja dva stoljeća, zahvaljujući sveopćem znanstvenom napretku, geoznanstvenici su došli do revolucionarnih spoznaja o građi, sastavu i dinamici naše planete, a s tim povezanim i uzrocima te samom mehanizmu postanka potresa. Te spoznaje imaju ogromno značenje s gledišta zaštite objekata i ljudi od elementarnih nepogoda. Danas je postanak potresa objašnjen na zadovoljavajući način neomobilističkom teorijom, zasnovanom na teorijskom konceptu tektonike ploča. Veliki doprinos proučavanju potresa pridodala je i hrvatska znanost djelom Andrija Mohorovičića, geofizičara svjetskoga glasa. Njegov rad, kao i ostalih hrvatskih seizmologa, proizlazi iz činjenice da se znatni dijelovi hrvatskoga teritorija nalaze na seizmički aktivnom području. Zbog toga je tijekom prošlosti na hrvatskom teritoriju zabilježeno više razornih potresa, a velika je vjerojatnost da će se dogoditi i u budućnosti. Oni su posljedica kretanja afričke tektonske ploče (i jadranske mikroploče, smještene u njenom rubnom dijelu), prema euroazijskoj tektonskoj ploči. Upravo zbog sudaranja tih tektonskih ploča dolazi do oslobađanja velike količine energije u litosferi, a ta se energija manifestira u obliku potresa. Iako je suvremena znanost uspjela spoznati mehanizam postanka potresa, geografsko pružanje potresnih zona u svijetu, kao i razinu potresnosti pojedinih dijelova svijeta, još uvijek nije moguće predvidjeti trenutak u kojem će doći do potresa. Zbog toga se istraživanja, potpomognuta današnjim fascinantnim znanstvenim razvojem i tehničko-tehnološkim napretkom, nastavljaju nesmanjenim intenzitetom. U ovom su radu predstavljene najvažnije spoznaje o najrazornijim potresima u Hrvatskoj u suvremenom razdoblju, kao i o samom mehanizmu postanka potresa na hrvatskom teritoriju. Također su analizirane i različite spoznaje o glavnim potresnim zonama u Hrvatskoj. Pritom je analizirana i zastupljenost spoznaja o potresima u gradivu namijenjenom učenicima u osnovnim školama s naglaskom na potrese na teritoriju Hrvatske.

Ključne riječi: *seizmizam, tektonika, Zemlja*

UVOD

Potresi spadaju u prirodne pojave koje imaju isključivo negativnu dimenziju za ljudsko društvo. Riječ je o povremenoj pojavi na čije razorne posljedice suvremeni čovjek, bez obzira na temeljita znanstvena istraživanja, još uvijek nije uspio iznaći zadovoljavajući odgovor. Ljudski se rod s potresima susretao već od samih začetaka evolucije pa su se, usporedo s osvitom prvih civilizacija, pojavile i prve interpretacije mehanizama postanka potresa. Drevni su Grci još u antici vjerovali da su potresi povezani sa srdžbom boga mora Posejdon, koji bi potrese izazivao udarajući trozupcem o tlo. Hinduistička je mitologija pojavu potresa pripisivala slonu i kornjači koji na svojim leđima nose svijet, dok su velike monoteističke religije potrese (pogotovo one katastrofalnih razmjera) pripisivale Božjem gnjevju koji je posljedica čovjekovih vjersko-etičkih devijacija.

S pojavom moderne znanosti od 19. st. tumačenje mehanizma postanka potresa prelazi u domenu čovjekove racionalnosti. Iako su danas poznati mnogi elementi nastanka potresa, kao i djelomično učinkoviti načini smanjenja njihova negativnoga učinka (ponajprije putem odgovarajućega načina gradnje), znanost još uvijek ne može predvidjeti trenutak pojave potresa. Međutim, unatoč čitavom akumuliranom znanju i spoznajama o mehanizmu postanka i uzrocima potresa još uvijek su se zadržala tradicionalna tumačenja koja uzroke potresa traže u drugim prirodnim pojavama kao što su npr. suše, poplave ili globalne klimatske promjene. Riječ je o raznim neznanstvenim i pseudoznanstvenim „teorijama“ koje svoje pristaše imaju u širokim krugovima prosječno i ispodprosječno obrazovane populacije, a koje se brzo šire zahvaljujući suvremenoj digitalnoj tehnologiji (razne web-stranice, internetske platforme, društveni mediji).

U ovome su radu prezentirane suvremene znanstvene spoznaje o mehanizmu postanka i uzrocima potresa s globalnoga i nacionalnoga aspekta. Za Hrvatsku je to iznimno važna tema, posebno u posljednje vrijeme kada se dogodilo nekoliko iznimno jakih potresa s razornim posljedicama. U nekim dijelovima svijeta potresi se javljaju rjeđe, dok se s druge strane, u nekim dijelovima svijeta oni javljaju neprestano. Zašto je to tako? Koji je glavni razlog njihova javljanja i kako djeluje sam mehanizam njihova postanka? Što uzrokuje potrese na području Hrvatske i koje su glavne potresne zone na hrvatskom teritoriju?

Odgovori na navedena pitanja, kao i analiza suvremenih spoznaja o uzrocima potresa, također su promotreni sa stajališta kurikula po kojima se izvodi nastava iz prirodoslovnih predmeta u osnovnim školama u Hrvatskoj. Upravo je jedan od ciljeva ovoga rada prezentiranje sadržaja koji mogu poslužiti za produbljanje općenitoga znanja o potresima. Pritom je posebno težište stavljeno na analizu uzroka i mehanizma nastanka potresa u Hrvatskoj, analizu najvećih potresa na području današnje Hrvatske u povijesnom razdoblju te na izdvajanje suvremenih potresnih zona na hrvatskom teritoriju.

Cilj rada je pružanje pregleda uzroka i mehanizma postanka potresa na teritoriju Hrvatske koristeći se relevantnom znanstvenom literaturom. Pritom je ponajprije korištena metoda kompilacije u kombinaciji s drugim znanstvenim metodama: metodom analize i sinteze, indukcije i dedukcije, apstrakcije i konkretizacije te genetičkom metodom.

ANALIZA KURIKULA PRIRODE I DRUŠTVA I GEOGRAFIJE PO PITANJU POTRESA

S osnovnim znanstvenim spoznajama o potresima učenici u osnovnoj školi se susreću tijekom obrađivanja gradiva iz predmeta *Priroda i društvo* (u nižim razredima) te ponovno u sklopu predmeta *Geografija* (u višim razredima).

Iako se potresi u razrednoj nastavi rijetko spominju, za hrvatsko su društvo oni iznimno bitna tema koju bi svaki učenik koji pohađa razrednu nastavu trebao poznavati u mjeri prilagođenoj njihovom uzrastu. U pojedinim nastavnim jedinicama *Prirode i društva* učenike se upoznaje s odgovornim ponašanjem u kritičnim situacijama, telefonskim brojevima koje je potrebno koristiti u slučaju opasnosti te znakom za izlaz iz škole i drugih objekata u slučaju opasnosti. Nažalost, nastavna jedinica koja učenike razredne nastave upoznaje s pojmom potresa, sigurnim postupcima za vrijeme potresa te planom evakuacije ne postoji, a bila bi od velikog značaja. Učenicima je najzabavniji način učenja onaj kroz igru gdje bi mogli kroz vježbu organizirane evakuacije u školi naučiti kako sigurno napustiti prostoriju, kuću, zgradu ili neki drugi objekt u kojem se eventualno zateknu tijekom potresa. Naravno, učenike je potrebno informirati da sigurna evakuacija nije uvijek izvediva te da u tim situacijama u kojima je svaki trenutak bitan treba pronaći adekvatno mjesto u prostoriji gdje će biti sigurni te ih detaljnije upoznati sa time koja su to prikladna mjesta. Postoje raznorazni mitovi i zablude o potresima koje bi učenike dodatno zainteresirali za samu temu potresa o kojima bi se moglo raspravljati na *Satu razrednika* ili *satu Prirode i društva*.

Potresi se kroz osnovnoškolsko obrazovanje spominju najvećim dijelom u nastavnom predmetu *Geografija* gdje se učenici već u petom razredu osnovne škole upoznaju sa samim nastankom potresa, postupcima i ponašanjem pri potresu te mijenjanju reljefa pod utjecajem unutarnjih (endogenih) i vanjskih (egzogenih) procesa oblikovanja reljefa na Zemlji. S druge strane, učenici se u istom razredu iz nastavnoga predmeta *Priroda* upoznavaju s prirodnim pojavama kojima je svojstvena velika energija kao što su jaki vjetrovi, munje, potresi, erupcije vulkana, požari.

Ponovno se u osmome razredu osnovne škole iz nastavnog predmeta *Geografija* učenici detaljnije upoznaju s tipom granica litosfernih ploča, područjima čestih potresa i velikih erupcija na Zemlji.

Iako je riječ o vrlo korisnim i zanimljivim informacijama, od velikog bi značaja bilo kada bi se pažnja preusmjerila i na samu Republiku Hrvatsku gdje bi se učenike detaljnije upoznao s najvećim potresima na hrvatskom teritoriju u prošlosti, uzrocima i mehanizmu postanka potresa u Hrvatskoj, kao i najaktivnijim seizmičkim područjima na prostoru Republike Hrvatske. Plan evakuacije nužno bi bilo organizirati i provoditi svake nastavne godine kao i informacije kako se ponašati, što učiniti i gdje se skriti da se ostane na sigurnom mjestu te koji telefonski broj pozvati u slučaju opasnosti.

Zbog toga su autori ovoga rada nastojali dati pregled suvremenih spoznanja o općenitim pitanjima postanka potresa te posebno o potresima u Hrvatskoj. Budući da je za razumijevanje mehanizma postanka potresa potrebno razumijeti i osnovne pojmove i građi i sastavu Zemlje, kao i tektonici (s naglaskom na tektoniku litosfernih ploča), u rad su uključene i suvremene spoznaje iz tih područja.

GRAĐA I SASTAV ZEMLJE

Istraživanja pokazuju da se potresi događaju često i to kao posljedica unutrašnje dinamike našega planeta, a kao ilustracija mogu se uzeti podaci iz kataloga seizmografa iz 2020.: prema njima te je godine diljem svijeta zabilježeno oko 350 000 potresa (od toga više od 200 000 potresa magnitude manje od 2,0) (Tkalčić, 2022).

Većina potresa na Zemlji traje manje od jedne minute. Potres je jedna od najgorih prirodnih katastrofa koja se ne može predvidjeti. Danas raste zanimanje za istraživanje potresa te se njima bavi veliki broj znanstvenika širom svijeta. Za razumijevanje mehanizma postanka potresa, mora se razumjeti građa Zemlje.

Naša se planeta oblikovala iz užarene mase prije približno 4,5 mlrd godina. Postupnim hlađenjem površine nastali su dijelovi kore koji su se s vremenom spojili i povećavali. Na taj su se način izdvojili kontinenti i oceani (Oluić, 2015).

Znanstvenici su utvrdili da Zemlja ima lupinastu (zonalnu) građu te da se sastoji od tri dijela: jezgre, plašta i kore.

Najdublju lupinu s temperaturom do oko 5000°C predstavlja jezgra koja se dijeli na unutrašnji i vanjski dio, a sastavljena je pretežno od željeza i nikla (Herak, 1990). Pretpostavlja se da se zbog visoke temperature, ali i zbog porasta tlaka s dubinom, vanjska jezgra nalazi u tekućem, a unutarnja u krutom stanju (Oluić, 2015).

Poviše jezgre nalazi se plašt koji ju obavija, a dijeli se na donji (seže od granice s vanjskom jezgrom do dubine od 1000 km), srednji (od granice s donjim plaštom do dubine od oko 400 km) i gornji plašt (Herak, 1990).

Površinski dio tvori kora, prosječne debljine od 40 km u području kontinenata te od 10 do 12 km ispod oceana. Kontinentski tip kore još se naziva i granitna kora po glavnoj stijeni od koje je izgrađena, dok od elemenata prevladavaju silicij i aluminij. Oceanski tip kore izgrađen je pretežno bazalta te od silicija i magnezija (Herak, 1990).

Zemljina kora i gornji dio plašta zajedno tvore *litosferu* (naziva se i *tektosfera*), stjenovitu cjelinu izloženu tektonskim promjenama izazvanim dinamikom srednjega plašta. Naime, srednji je plašt u površinskom dijelu u polurastaljenom stanju (Herak, 1990) te se u njemu stvaraju konvekcijske struje upravo zbog polutekućeg stanja koje mu daje plastična svojstva, kao i zbog razlika u temperaturi između gornjega i donjega dijela (Oluić 2015).

Na različitim dubinama u Zemljinoj unutrašnjosti nalaze se plohe diskontinuiteta (isprekidanosti) koje ujedno predstavljaju i granice između pojedinih zona (lupina). One su istovremeno i granice izrazitoga mijenjanja brzine širenja potresnih valova u Zemljinoj unutrašnjosti. Wiechert-Oldham-Gutenbergov diskontinuitet nalazi se na dubini od 2 900 km te čini granicu između donjeg plašta i vanjske jezgre (Herak, 1990). Na dubini od 30 do 40 km nalazi se Mohorovičićev

diskontinuitet (Moho-diskontinuitet¹) koji predstavlja granicu između lakše kore i težega i gušćega plašta. To je ploha na kojoj dolazi do nagle promjene fizičkih veličina, a neke od njih su gustoća, tlak i brzina seizmičkih (potresnih) valova (brzina seizmičkih valova je veća u području ispod Moho-diskontinuiteta).

TEKTONIKA

Danas se velika važnost pridaje tektonici pri proučavanju potresnosti nekog terena jer je poznato da su potresi ponajprije rezultat tektonskih pokreta u unutrašnjosti Zemlje. Sama je tektonika zapravo grana geologije koja proučava prostorno oblikovanje i odnose između strukturnih jedinica litosfere. Ti su odnosi rezultat djelovanja endogenih (unutarnjih) sila koje djeluju u unutrašnjosti Zemlje, a od kojih je najvažnija toplinska energija. Ona se oslobađa prilikom izdizanja lakših elemenata u unutrašnjosti Zemlje, usporavanjem Zemljine rotacije te raspadanjem radioaktivnih elemenata (Župan et al., 2019).

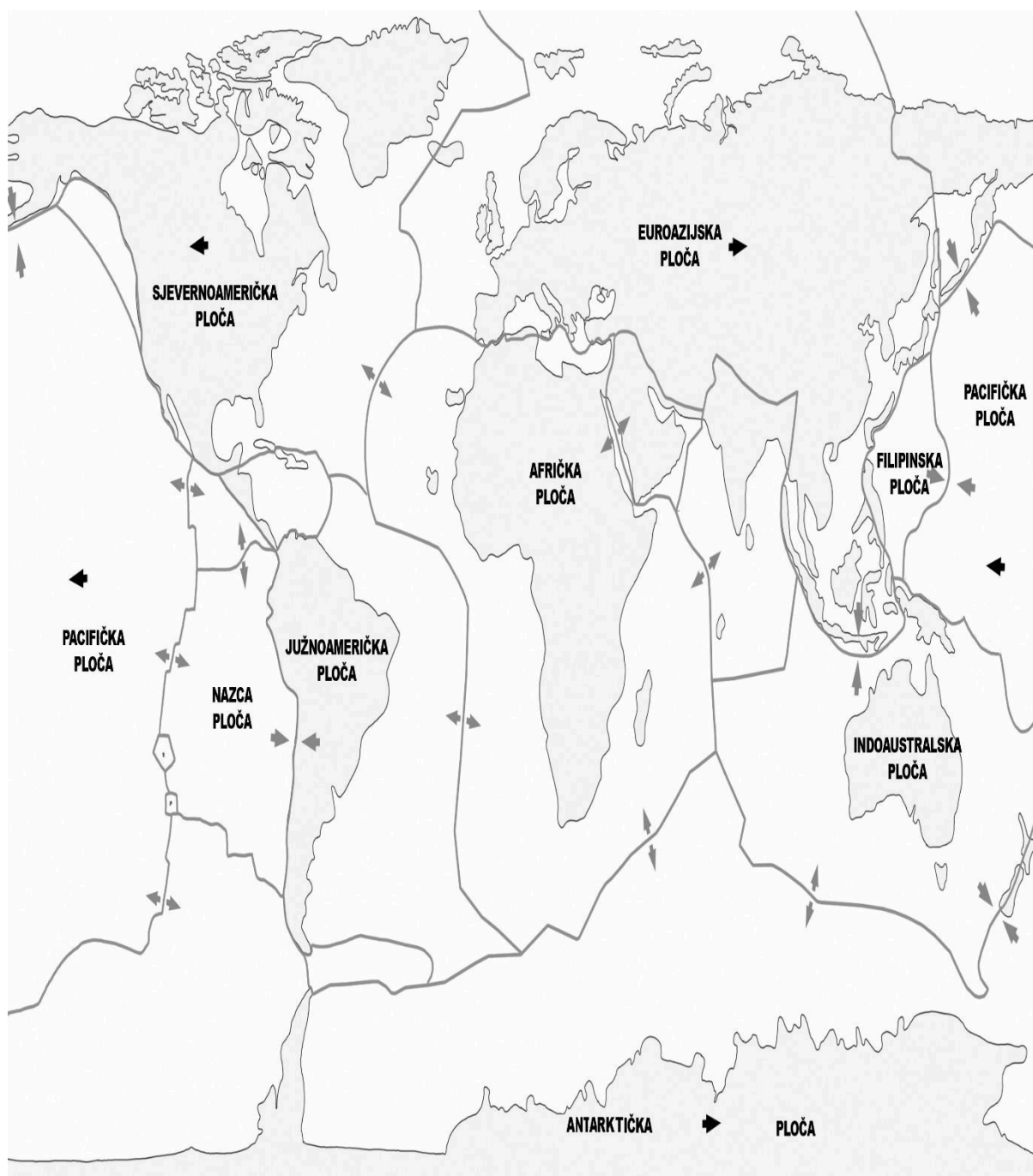
Znanstvena teorija koja se temelji na tumačenju i opisivanju kretanja velikih dijelova litosfere naziva se tektonika ploča. Modelsko je rješenje kretanja tektonskih ploča (od čega dolazi izraz *mobilitička teorija*) 1912. iznio njemački geofizičar Alfred Wegener. On je smatrao da se površina Zemlje sastoji od oceanskih i kontinentalnih ploča koje se kreću po plastičnoj podlozi. Wegenerova je teorija naišla na brojne kritike, pa je mobilitička teorija pobijana u narednim desetljećima. Ipak, nju je 1962. nadopunio američki geolog Harry Hess oblikovanjem *neomobilitičke* teorije o tektonici ploča, danas univerzalno prihvaćene. Prema toj se teoriji litosfera, odnosno Zemljin gornji sloj, sastoji od sedam većih i znatnoga broja manjih fragmenata koji se nazivaju tektonske ploče. One su u stalnom gibanju zbog topline u Zemljinoj unutrašnjosti. Prema tome, Zemljina je kora raspuknuta na veće i manje tektonske ploče, odijeljene regionalnim dislokacijama. Ploče se kreću različitim brzinama i u raznim smjerovima, međusobno se približavajući ili udaljavajući. U prosjeku brzina kretanja ploča iznosi 2,5 cm godišnje te se na taj način postupno kontinenti spajaju i razdvajaju. Kada dođe do sudara ploča, nastaju veliki planinski lanci (Oluić, 2015).

Postoji sedam velikih tektonskih ploča, različitih dimenzija i oblika: afrička, antarktička, euroazijska, indijsko-australska, južnoamerička, pacifička i sjevernoamerička (*slika 1*). Veličina tektonskih ploča se s vremenom mijenja: ovisno o količini dodavanja magme se povećavaju, a procesom podvlačenja (subdukcijom) se smanjuju. Tektonske su ploče u stalnom pokretu, pri čemu se oblikuju tri tipa granica među njima: divergentne (uslijed udaljavanja ploča), konvergentne (zbog približavanja), te translacijske (prilikom premještanja jedne ploče uz drugu) (*slika 2.*) (Oluić, 2015).

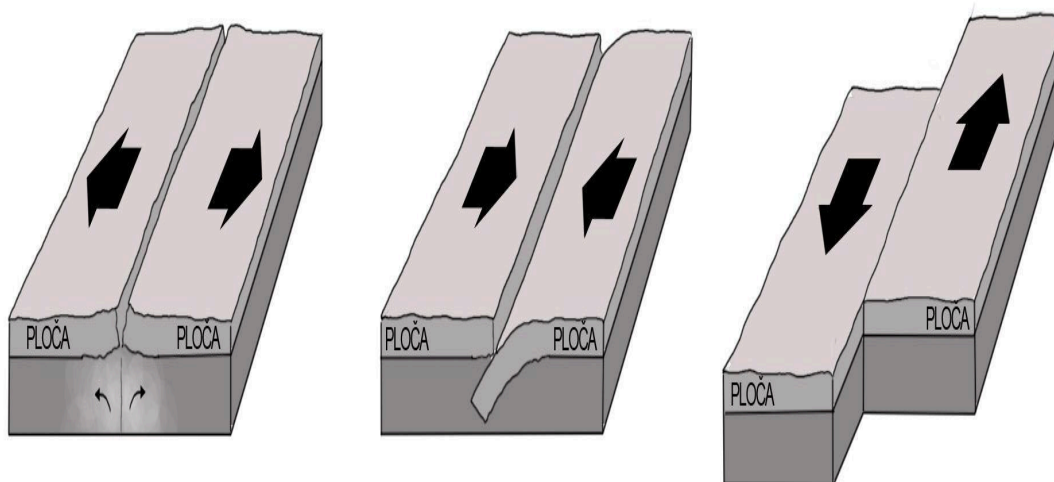
Prilikom razmicanja ploča nastaju riftovi ili brazde: tada u područjima napetosti u Zemljinom plaštu tektonske ploče nadjačavaju otpor stijenskih kora te dolazi do pucanja i rastezanja oceanske kore. Kod konvergentnih granica može doći do subdukcije (podvlačenja) jedne tektonske ploče pod drugu ili do kolizije (sudaranja). Do subdukcije dolazi kada se oceanska kora podvlači pod drugu oceansku koru ili pod kontinentsku koru, dok do kolizije dolazi prilikom sudaranja dvije kontinentske ploče. Pritom se oblikuju otočni vulkanski nizovi (kod subdukcije) ili ulančano gorje (u slučaju kolizije). Kod translacije dolazi do horizontalnih smicanja dviju ploča koje se najčešće kreću paralelno u suprotnim smjerovima. Tektonska su kretanja u unutrašnjosti Zemlje intenzivna na rubovima velikih tektonskih ploča jer tu dolazi do najvećih poremećaja u Zemljinoj kori. Pritom se oslobađa velika količina energije te se kao posljedica toga pojavljuju potresi (u rjeđim slučajevima dolazi i do vulkanskih erupcija) (Oluić, 2015).

No, nije nužno da se potresi pojavljuju samo na rubnim dijelovima ploča. Također se mogu pojavljivati i unutar samih ploča, utiskivanjem žitke magme u oslabljene dijelove ploča tj. na mjestima velikih pukotina koje nazivamo rasjedi. U tim se slučajevima potresi pojavljuju uzduž velikih rasjeda ili na sjecištima rasjeda različite orijentacije (Oluić, 2015). Uzduž rasjeda pokretljivost terena je veća pa je, samim time, u tom pravcu jače i djelovanje potresa. Inače, rasjedi se na terenu najčešće pojavljuju u skupinama koje se nazivaju *sustavi rasjeda*, a zapravo su rezultat tektonskih poremećaja većih (u pravilu regionalnih) dimenzija (Herak, 1990).

¹ Nazvan je po hrvatskom geofizičaru Andriji Mohorovičiću koji je prvi ustanovio postojanje nagloga prijelaza između kore i plašta.



Slika 1. Geografski razmještaj velikih tektonskih ploča i smjerovi kretanja (izvor: Herak, 1990)



Slika 2. Tri načina kretanja tektonskih ploča: divergencija, konvergencija i translacija (izvor: Herak, 1990)

POTRESI – MEHANIZAM POSTANKA

Proučavanjem potresa bavi se *seizmologija*, grana geofizike koja definira potres kao kratkotrajno gibanje tla uzrokovano poremećajima i pokretima u Zemljinoj kori i litosferi. Ti pokreti nastaju zbog nagloga i neočekivanoga oslobađanja energije u litosferi koja stvara seizmičke valove (Humski et al., 2021). Potresi mogu varirati od onih slabijih koji se ne mogu ni osjetiti do onih koji svojom jačinom izazivaju velika razaranja. Njih se ne može predvidjeti niti zaustaviti, a razina štete prouzročena potresom ovisi o dubini na kojoj on nastaje. Potresi se na površini Zemlje manifestiraju urušavanjem, pomicanjem ili potresanjem tla, kratko traju te imaju nagli i silovit početak.

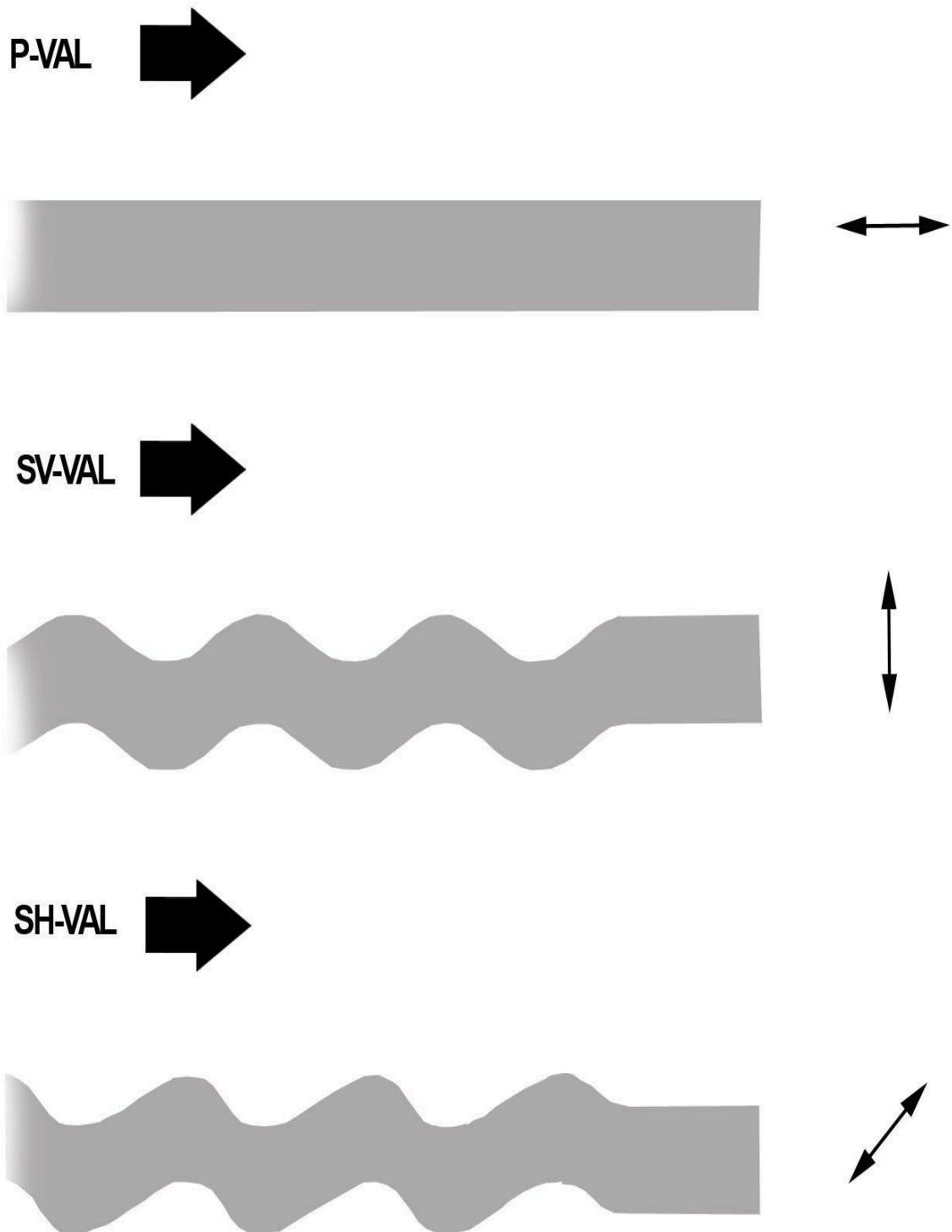
Napravu koja automatski otkriva i bilježi jačinu, smjer i trajanje potresa nazivamo seizmograf, a zapis koji seizmograf stvara naziva se seizmogram.

Potresi nastaju u Zemljinoj unutrašnjosti, u točki koju nazivamo *hipocentar* (žarište, fokus). S druge strane, *epicentar* je točka na površini Zemlje u kojoj se potres najjače osjeti. Hipocentri se nalaze na dubini do više od 700 km. Kod plitkih je potresa hipocentar između Mohorovičićeva diskontinuiteta i površine Zemlje, a u suprotnom je slučaju dubokofokalan (Obradović i Šarko, 2021).

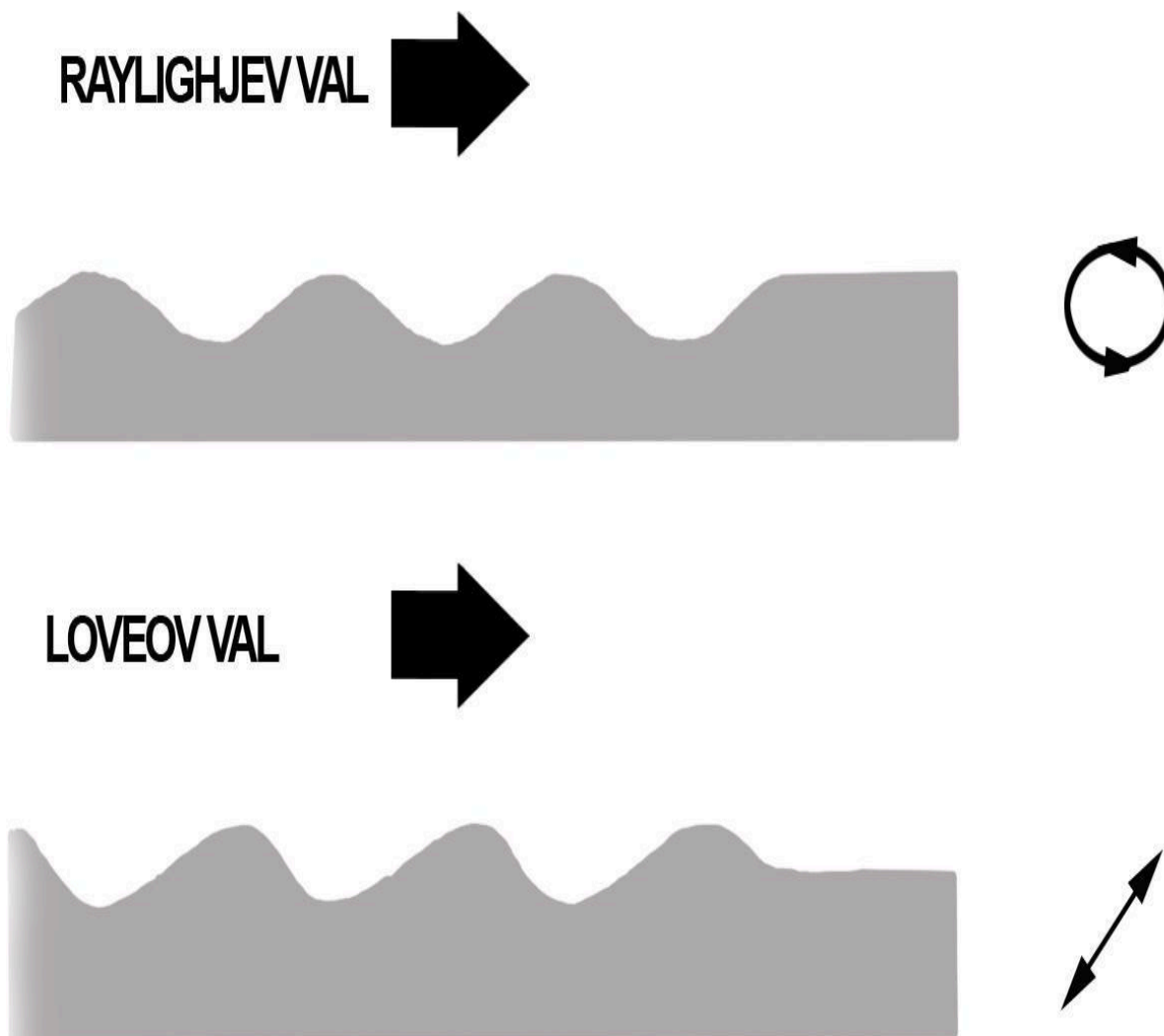
Iz hipocentra se potresni valovi šire na sve strane. Možemo razlikovati dvije skupine potresnih valova, ovisno o brzini i načinu širenja. Riječ je *prostornim* valovima, koji nastaju u hipocentru i kreću se na sve strane u Zemljinoj unutrašnjosti, te o *površinskim* valovima (kreću se površinom Zemlje, a nastaju međudjelovanjem prostornih valova).

Prostorni se valovi nadalje dijele na longitudinalne i transverzalne. Longitudinalni ili primarni valovi (P-valovi) se šire najbrže te titraju u pravcu svojega širenja. Izazivaju stezanje i rastezanje tvari kroz koje prolaze te imaju mogućnost širenja kroz čvrstu, tekuću i plinovitu tvar. Transverzalni ili sekundarni valovi (S-valovi) se šire samo kroz čvrstu tvar te im je titranje okomito na pravac širenja energije (Herak, 1990). Razlikujemo dva tipa transverzalnih valova: SH-valovi (polarizirani u horizontalnoj ravnini) i SV-valovi (polarizirani u vertikalnoj ravnini) (*slika 3*).

Površinski ili dugi valovi (L-valovi) su najsporiji, kružnog su širenja, a sastoje se od dvije komponente: jedne koja vibrira kružno (Rayleighjevi valovi), a druga vodoravno (Loveov valovi) (Ros Kozarić, 2020). Rayleighjev valovi (nazvani po britanskom matematičaru i fizičaru lordu Rayleighu, koji ih je prvi proučio i opisao) imaju horizontalnu i vertikalnu dimenziju, a prilikom gibanja opisuju elipsu. Loveovi valovi (otkrio ih je britanski matematičar Augustus Edward Hough Love) su brži, a imaju samo horizontalnu komponentu (*slika 4*).



Slika 3. Shematski prikaz longitudinalnih (primarnih) i transverzalnih (sekundarnih) valova (izvor: Seizmološki pojmovnik - Geofizički odsjek, unizg.hr)



Slika 4. Shematski prikaz površinskih (dugih) valova (izvor: Seizmološki pojmovnik - Geofizički odsjek, unizg.hr)

Potresni valovi šire se različitim brzinama kroz stijene, ovisno o njihovoj čvrstoći: što je stijena čvršća, potresni se valovi šire brže. Mjera za energiju potresa, oslobođenu u obliku elastičnih valova, a koja se određuje pomoću seizmograma naziva se magnituda (Obradović i Šarko, 2021). Magnituda se mjeri u Richterovoj skali², dok se intenzitet izražava Mercalli-Cancani-Siebergovom ljestvicom³ (MCS). Dakle, magnituda po Richteru prikazuje amplitudu, odnosno količinu energije

² Nju je oblikovao američki znanstvenik Charles Francis Richter, a budući da mu je pritom glavni suradnik bio američki seizmolog njemačkoga porijekla Beno Gutenberg, također se naziva i Gutenberg-Richter ljestvicom.

³ Formulirao ju je talijanski vulkanolog Giuseppe Mercalli 1883. kao ljestvicu od šest stupnjeva koju je 1902. proširio na deset stupnjeva. Njegov sunarodnjak geofizičar Adolfo Cancani ju je 1904. proširio na današnjih 12 stupnjeva. Konačno ju je dopunio 1912. i 1923. njemački geofizičar August Heinrich Sieberg.

oslobođene u hipocentru (*tablica 1*), dok je MCS ljestvica opisna i govori o učinku potresa na površini Zemlje (*tablica 2*)⁴ (Ros Kozarić, 2020).

Tablica 1.

Magnituda potresa po Richterovoj ljestvici s učincima (izvor: Kozarić, 2020., str. 9)

MAGNITUDA POTRESA	OPIS POTRESA	UČINCI
< 2	Mikropotres	Ne osjete se.
2,0 – 2,9	Manji	Općenito se ne osjete, ali ih bilježe seizmografi.
3,0 – 3,9	Manji	Često se osjete, ali rijetko uzrokuju štete.
4,0 – 4,9	Lagani	Pokućstvo se trese, čuju se zvukovi trešnje. Znatnija oštećenja su malobrojna.
5,0 – 5,9	Umjereni	Uzrokuju štetu na slabijim građevinama u ruralnim područjima, moguća manja šteta na modernim zgradama.
6,0 – 6,9	Jaki	Mogu izazvati štetu u naseljenim područjima i do 160 km od epicentra.
7,0 – 7,9	Veliki	Uzrokuju ozbiljnu štetu na velikom području.
8,0 – 8,9	Razorni	Mogu izazvati golemu štetu i do 1000 km od epicentra.
9,0 – 9,9	Epski	Uništavaju većinu objekata u krugu od nekoliko tisuća kilometara.

Tablica 2.

Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) ljestvica intenziteta potresa (izvor: Kozarić, 2020., str. 10)

1.	Nezamjetljiv potres	Bilježe ga samo seizmografi.
2.	Vrlo lagan potres	U višim katovima zgrada osjete ga senzibilni ljudi.
3.	Lagan potres	Podrhtavanje tla kao pri prolazu automobila. U unutrašnjosti zgrada osjeti ga više ljudi.
4.	Umjeren potres	U zgradama ga osjeti više ljudi, a na otvorenom samo pojedinci. Budi neke spavače. Trese vrata i pokućstvo. Prozori, staklenina i posude zveče kao pri prolasku kamiona.
5.	Prilično jak potres	Osjeti ga više ljudi na otvorenom prostoru. Budi spavače, pojedinci bježe iz kuća. Njišu se predmeti koji slobodno vise, zaustavljaju se ure njihalice.
6.	Jak potres	Ljudi bježe iz zgrada. Sa zidova padaju slike, ruše se predmeti, razbija se posuđe, pomiče ili prevrće pokućstvo. Zvone manja crkvena zvona. Lagano se oštećuju pojedine dobro građene kuće.
7.	Vrlo jak potres	Crijepovi se lome i klišu s krova, ruše se dimnjaci. Oštećuje se pokućstvo u zgradama. Ruše se slabije građene zgrade, a na jačima ostaju oštećenja.
8.	Razoran potres	Znatno oštećuje 25 % zgrada. Pojedine se kuće ruše do temelja, a velik ih je broj neprikladan za stanovanje. U tlu nastaju pukotine, a na padinama klizišta.
9.	Pustošni potres	Oštećuje 50 % zgrada. Mnoge se zgrade ruše, a većina ih je neupotrebljiva. U tlu se javljaju velike pukotine, a na padinama klizišta i odroni.
10.	Uništavajući potres	Teško oštećuje 75 % zgrada. Velik broj dobro građenih kuća ruši se do temelja. Ruše se mostovi, pucaju brane, savijaju željezničke tračnice, oštećuju putovi. Pukotine u tlu široke su nekoliko decimetara. Urušavaju se špilje, pojavljuju se podzemne vode.
11.	Katastrofalan potres	Gotovo sve zgrade ruše se do temelja. Iz širokih pukotina u tlu izbija podzemna voda noseći mulj i pijesak. Tlo se odronjava, stijene se otkidaju i ruše.
12.	Veliki katastrofalan potres	Sve što je izgrađeno ljudskom rukom ruši se do temelja. Reljef mijenja izgled. Zatrjavaju se jezera. Rijeke mijenjaju korito.

⁴ Osim MCS u svijetu se koriste i druge opisne ljestvice: CWASIS (na Tajvanu), EMS-98 (u Europi), JMA Shindo (u Japanu), Liedu (u Kini), MSK-64 (u Indiji, Izraelu, Kazahstanu i Rusiji) i PEIS (na Filipinima), dok se u Hong Kongu, Indoneziji i SAD-u koriste zasebne modifikacije MCS ljestvice.

PODJELA POTRESA

S obzirom na postanak razlikujemo tri tipa potresa: tektonski (na njih otpada 90 % svih potresa koji se dogode na godišnjoj razini), vulkanski (7 %) i urušni (3 %).

Tektonski su potresi najčešći i mogu biti najrazorniji. Nastaju uslijed tektonskih pokreta u litosferi uz rasjedne pukotine i na granicama tektonskih ploča te zahvaćaju golemo područja (Ros Kozarić, 2020). Uzrokuju ih naprezanja u Zemljinoj kori, a pojavljuju se kada naprezanja prijeđu granicu elastičnosti materije (Humski et al., 2021). Tada dolazi do nagloga oslobađanja akumulirane energije, odnosno dio potencijalne energije se pretvara u kinetičku energiju elastičnih titraja koji uzrokuju potrese (Obradović i Šarko 2021).

Vulkanski potresi uzrokovani su kretanjem magme prema površini Zemlje i lokalnoga su učinka jer se samo mali dio ukupne energije pretvori u mehaničku energiju seizmičkih valova (Humski et al., 2021). Osim za vrijeme vulkanskih erupcija, vulkanski potresi nastaju i nakon njih, a obično su vrlo jaki (Obradović i Šarko, 2021).

Urušni su potresi izazvani udarcem urušenih svodova i bočnih zidova u podzemnim šupljinama (Pevac, 2021). Javlja se prilikom razaranja šupljina u Zemljinoj kori koje nastaju djelovanjem vode na topive stijene⁵ (Humski et al., 2021). Vrlo su rijetki te im je hipocentar vrlo blizu površine Zemlje. Oslobodena energija im je mala pa samim time i jakost (Pevac, 2001).

ZNAČAJNIJI POTRESI U HRVATSKOJ

Suvremene spoznaje o potresima u Hrvatskoj tijekom prošlosti temelje se na raznim povijesnim izvorima. Pritom treba imati na umu slabu očuvanost, ograničenost i selektivnost takvih zapisa koji bilježe ponajprije velike potrese razornih posljedica.

Seizmologija se u Hrvatskoj počela razvijati nakon velikoga potresa u Zagrebu 1880., kada je pri Jugoslavenskoj akademiji znanosti i umjetnosti (današnja Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti) osnovan Potresni odbor. Ubrzani će razvoj seizmologija u Hrvatskoj doživjeti djelovanjem Andrije Mohorovičića koji je stekao međunarodni ugled u proučavanju potresa te se s pravom smatra utemeljiteljem suvremene seizmologije u Hrvatskoj. Upravo je Mohorovičić 1906. osnovao zagrebačku seizmološku postaju koja i danas ima ključnu ulogu na hrvatskom prostoru (Herak, 1990). Osnovni su podaci o poznatim potresima na današnjem teritoriju Hrvatske pohranjeni u Hrvatskom katalogu potresa (Hearak i Markušić, 1996).

Prvi poznati potres katastrofalnih razmjera, zabilježen unutar današnjih granica Hrvatske, zbio se u IV. stoljeću (361.), kada je uništen grad Cissa na otoku Pagu⁶. Taj je potres bio intenziteta od oko X stupnjeva MSC ljestvice, baš kao i sljedeći veliki potres koji se zbio 1667. na području južne Dalmacije te o kojem postoji više povijesnih izvora (Nola et al., 2013). Naime, 6. travnja 1667., najvjerojatnije u 8:45 sati, Dubrovnik i okolicu pogodio je pustošan potres koji se osjetio do Genovskoga zaljeva, zapadnojadranske obale (i u samoj Veneciji), preko Albanije sve do Smirne (Mala Azija) i Istanbula. U potresu su znatno oštećeni dijelovi grada te okolna područja (Gruž, Rijeka Dubrovačka, Mokošica, Rožat, otoci Koločep i Lopud). Točan broj ranjenih i poginulih nije poznat, a procjenjuje se na oko 2 200 ljudi.

U razdoblju od 16. do 20. stoljeća zabilježeno je čak dvadesetak jačih potresa na širem regionalnom području Zagreba koji su prouzročili veću štetu. O većini tih potresa postoje samo oskudni opisi te iz toga razloga nije moguće ni procijeniti jačinu potresa niti procijeniti položaj epicentra. Najstariji dokumentirani potres u Zagrebu dogodio se 26. ožujka 1502., a tom se prilikom urušio toranj crkve sv. Marka. Najvažniji među njima zasigurno je potres koji se dogodio 9. studenoga 1880. u 7:33 sati, jačine od oko IX stupnjeva MCS s epicentrom na područje Medvednice (Humski et al., 2021). Tom je prilikom razoren veliki dio grada, a izgubljena su i dva ljudska života. Prema

⁵ Urušni su potresi karakteristički za krška područja svijeta, pa tako i Hrvatske.

⁶ Grad je bio smješten blizu današnjega naselja Caska, na sjeverozapadnoj obali Paškoga zaljeva.

zapisima iz toga razdoblja, tlo je na zagrebačkom području, nakon glavnoga potresa, povremeno podrhtavalo još šest mjeseci (Simović, 2000)⁷.

Krajem 19. st., 2. srpnja 1898., u 5:17 sati dogodio se jaki potres na području Sinjskoga polja. On se najjače osjetio u ruralnim naseljima, iz kojih je stanovništvo u to doba dana već napustilo svoje domove zbog rada na poljoprivrednim posjedima. Ipak su smrtno stradale tri odrasle žene i tri djeteta (kako govore izvori iz toga vremena), a pojedine su kuće bile potpuno srušene ili znatno oštećene: oko deset tisuća ljudi ostalo je bez doma. U pojedinim je bunarima nestalo vode, dok se u naselju Vedrine pojavio novi izvor. U prvom je tjednu nakon potresa zabilježeno više od 120 naknadnih podrhtavanja tla (https://www.pmf.unizg.hr/geof/popularizacija_geofizike/crtice_iz_povijesti).

Jaki potres od VIII stupnjeva MCS ljestvice dogodio se 17. prosinca 1905. s epicentrom na području Medvednice te je prouzročio mnogo štete u Zagrebu, ali ovaj put bez ljudskih žrtava. Narednoga mjeseca, 2. siječnja 1906., registriran je još jedan potres s epicentrom na Medvednici, jačine VIII stupnja MCS ljestvice; i toga su puta zabilježene velike štete bez ljudskih žrtava. Već 1909., 8. listopada, dogodio se potres jačine od VII – IX stupnjeva MCS ljestvice s epicentrom u dolini rijeke Kupe te se osjetio jače i u Zagrebu (urušili su se brojni dimnjaci te popucali zidovi na zgradama⁸) (Simović, 2000).

Na Kvarneru je područje Vinodola iskusilo nekoliko vrlo snažnih potresa, od kojih se ističe onaj od 12. ožujka 1916. (u 4:23 sati), intenziteta VIII stupnjeva MCS ljestvice, i magnitude od 5,8 stupnjeva. Epicentar se nalazio desetak kilometara istočno od Novoga Vinodolskoga. Nakon toga snažnoga potresa, uslijedio je niz slabijih naknadnih podrhtavanja tla. Dana 14. srpnja 1916. u 21:27 sati, uslijedio je vrlo jak potres intenziteta od VII stupnjeva MCS ljestvice, magnitude 5,4 s epicentrom 12 km sjeverozapadno od prethodnoga potresa. Zabilježena je znatna materijalna šteta na kućama i infrastrukturi (vodovodne cijevi i ceste), a potres se osjetio na cijelom Kvarneru, u Istri, Karlovcu, Zagrebu i susjednoj Sloveniji.

Između 1922. i 1924., Baranja je bila seizmički najaktivniji dio Hrvatske s potresima jačine od VII-VIII stupnjeva MCS (Humski et al., 2021).

Dana 7. siječnja 1962. zabilježen je potres u 11:03 sati magnitude 5,9 po Richteru na području Makarske. Došlo je do pucanja obale u Makarskoj u dužini od oko 700 m te je oštećen veliki broj objekata. U predstojećem su razdoblju od 7. do 22. siječnja seizmografi u Zagrebu zabilježili čak 58 potresa s epicentrima na širem makaranskom području, a štete na objektima prijavljene su i na područjima Imotskoga, Ploča i Čapljinje te u obalnom pojasu sve do Dubrovnika s otocima Lastovom, Korčulom, Hvarom i poluotokom Pelješcem. Najveće su štete nanosene u zoni južno od Makarske, a potres je odnio i jednu ljudsku žrtvu. Već 11. siječnja u 6:05 sati, Makarsko je primorje zatresao drugi jaki potres magnitude 6,1 koji je odnio još jedan ljudski život (Hrstić, 2012).

Dana 5. rujna 1996. potres intenziteta IX stupnjeva pogodio je Ston. U tom su potresu teško oštećene kuće u staroj gradskoj jezgri iz 14. stoljeća, a velike su štete zabilježene i u susjednom Dubrovačkom primorju. Nakon glavnoga potresa uslijedila je serija naknadnih koja je trajala više od dvije godine (https://www.pmf.unizg.hr/geof/popularizacija_geofizike/crtice_iz_povijesti).

U rano nedjeljno jutro 22. ožujka 2020. Zagreb je pogodio najsnažniji potres u posljednjih 140 godina, magnitude 5,5 po Richteru. Utvrđeno je da se hipocentar nalazio sedam kilometara sjeverno od središta Zagreba, u naselju Markuševac, na dubini od deset kilometara. Nakon što je u 6:24 sati stanovnike Zagreba probudio glavni udar, samo pola sata kasnije, u 7:01 sati uslijedio je novi potres jačine 5,0 stupnjeva po Richteru. U narednih 24 sata, na području je grada Zagreba zabilježeno 57 potresa jačih od 2,0 po Richteru. Seizmološka je služba objavila da je do 1. lipnja zabilježeno čak 613 potresa magnitude iznad 1,3 po Richteru, te 1037 potresa magnituda niže od 1,3 (Humski et al., 2021). Iako potres magnitude od 5,5 po Richterovoj ljestvici spada u kategoriju umjerenih, podaci o procjeni oštećenja građevina pokazuju razornost potresa. Najveće su štete bile na području gradskih četvrti Maksimir, Gornja Dubrava, Gornji grad, Medveščak te Donji grad. Sjeverni dijelovi grada Zagreba pretrpjeli su najviše štete, dok su južne i zapadne četvrti znatno manje stradale. S obzirom da

⁷ Veliki potres zatekao je u Zagrebu i pisca Augusta Šenou. Upravo se tom prilikom, sudjelujući u obnovi tijekom jesenskih i zimskih dana, Šenoa teško razbolio te se nije oporavio do svoje smrti naredne godine.

⁸ Upravo je izučavanjem toga potresa Andrija Mohorovičić odredio pružanje plohe diskonuiteta, koja nosi njegovo ime.

je epicentar prvog, najjačega potresa, bio kod naselja Markuševac, takvi rezultati su i očekivani⁹. Osim stambenih objekata u potresu su stradale i mnoge javne građevine starije gradnje: Klinički bolnički centar Rebro, Klinika za ženske bolesti i porode u Petrovoj ulici, Klinika za traumatologiju u Draškovićevoj ulici, KBC sestre Milosrdnice, Zagrebačka katedrala, bazilika Srca Isusova u Palmotićevoj, zgrada Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, glavna zgrada Pravnoga fakulteta, Muzej za umjetnost i obrt, Arheološki muzej te zgrada Hrvatskoga narodnoga kazališta (Humski et al., 2021).

Dana 29. prosinca 2020. u 12:19 sati, potres magnitude 6,4 prema Richteru pogodio je Sisačko-moslavačku županiju. Epicentar je bio 3 km jugozapadno od Petrinje. Potres se, osim u cijeloj Hrvatskoj osjetio i u dijelovima Bosne i Hercegovine, Austrije, Crne Gore, Italije, Češke, Mađarske, Slovenije, Rumunjske, Slovačke, Srbije i Njemačke (Humski et al., 2021). Terenskom je analizom utvrđeno i pomicanje terena zahvaćenoga potresom: najveći je ustanovljen na području Petrinje i to sa srednjim vrijednostima pomaka od 45 cm u smjeru jugoistoka, dok srednja vrijednost pomaka za Glinu iznosi 10 cm u smjeru sjeverozapada te 10 cm u smjeru istoka za područje Siska. Uočen je i visinski pomak od 10 cm za područje grada Gline. Zabilježena je golema materijalna šteta na području Petrinje, Gline i Siska. Oštećenih stambenih objekata bilo je čak oko 38 000 (Ros Kozarić, 2020), a razlog tako velikoga broja leži u tome što je većina zgrada bila građena od nearmiranih zidova i opeka koje su s vremenom izgubile svojstva (Humski et al., 2021). Potres je odnio i sedam ljudskih života, a tlo je nastavilo podrhtavati.

Važno je naglasiti da potres na Banovini i onaj u Zagrebu, iako su se dogodili iste godine na relativno malom području, nisu izravno povezani jer se ta dva područja ne nalaze na istim rasjednim zonama. Prema jednoj interpretaciji uzrok nastanka potresa na Banovini bio je aktivacija dva međusobno okomita vertikalna rasjeda. Naime, u zoni kontakta Dinarida i Panonskog bazena nalazi se rasjed smjera pružanja sjeverozapad – jugoistok, koji prolazi Pokupljem, a dužina puknuća rasjeda iznosi 25 km. Potres se dogodio na rasjedu, ali je uzrok nastanka potresa daleko od Petrinje. Naime, već spomenuta Jadranska mikroploča se podvlači pod Euroazijsku litosfernu ploču te time uzrokuje sve tektonske pokrete na području zemalja s izlazom na Jadransko more. Posljedica toga je rasjedanje koje je dovelo do pucanja stijena, a time i do oslobađanja velike količine energije (Ros Kozarić, 2020). Ipak, druga je interpretacija utemeljena na većini ostalih istraživanja koja pokazuju da se radi o jednom sustavu rasjeda s prevladavajućim desnim horizontalnim pomakom koji je doveo do pojave potresa. Ti su rasjedi u vrijeme potresa na Banovini nastali unutar zone glavnog pomaka već postojeće aktivne Petrinjske rasjedne zone. Cijeli je taj mehanizam posljedica gibanja Jadranske mikroploče prema Euroazijskoj tektonskoj ploči (Bočić, 2021).

SEIZMIČKA AKTIVNOST NA PODRUČJU HRVATSKE

Područje Republike Hrvatske smješteno je u dijelu Sredozemlja koje je tektonski i seizmički aktivno zbog kretanja afričke ploče prema euroazijskoj. Do njihovoga kontakta dolazi na području Sredozemnoga mora. Upravo zbog njihova sudaranja nastale su planine na području južne, jugoistočne i srednje Europe. Vulkani koji se nalaze na zapadnoj obali Italije također su rezultat toga istoga sudaranja (Humski et al., 2021). Na mjestima dodira tih dviju ploča postoje manje tektonske ploče: jedna od njih je Jadranska mikroploča koju pojedini znanstvenici smatraju neovisnom od afričke i euroazijske ploče. U ovom trenutku nisu sasvim poznate točne dimenzije Jadranske mikroploče. Moguće je da obuhvaća Jadranski bazen, sjeverozapadni dio Jonskoga mora i nizinu rijeke Po, dok s druge strane postoji tumačenje da obuhvaća i alpsko, dinarsko i apeninsko gorje. (Oluić, 2015). S druge je strane poznato da se Jadranska mikroploča pomiče pa se s obje njene strane nalazi materijal koji je pod velikom napetošću, zbog čega dolazi do povremenoga oslobađanja energije u obliku potresa (Handy et al., 2019; Herak et al., 2016).

O toj seizmičkoj aktivnosti govore i potresi zabilježeni u jadranskom podmorju. Njihove uzroke treba tražiti upravo u gibanju Jadranske mikroploče prema sjeveru, odnosno euroazijskoj ploči. Također je bitna i njena istodobna rotacija, u smjeru obrnutom od smjera kazaljke na satu, oko točke u

⁹ Ne treba zanemariti ni činjenicu da u sjevernom dijelu grada prevladavaju građevine iz 19. i prve polovice 20. st., od kojih mnoge nemaju konstrukcije koje mogu izdržati jače potrese, za razliku od građevina koje su građene u drugoj polovici 20. i početkom 21. st. u drugim dijelovima grada.

zapadnim Alpama brzinom od 0.5 do 4.5 mm/god, zbog čega se zapadnojadranska obala postupno približava istočnojadranskoj. Bitno je naglasiti kako među znanstvenicima nema konsenzusa o dinamici kretanja Jadranske mikroploče, međutim, sva istraživanja ukazuju da su ti pokreti intenzivni (Oluić, 2015). Podvlačenje (subdukcija) Jadranske mikroploče pod Euroazijsku ploču najintenzivnija je u području Dinarida. Subdukcija rezultira lomljenjem upravo ispod Dinarida, što nadalje ima dramatičan učinak na južni dio Jadranske mikroploče uz usmjeravanje subdukcijskoga djelovanja na područje spoja Dinarida i Helenida (tj. pindsko-šarskom gorju). Riječ je o dugotrajnom procesu koji je započeo na prijezu iz eocena u oligocen¹⁰ (Handy et al., 2019).

Potresi koji se događaju unutar Jadranske mikroploče ukazuju na kompleksnost njene strukture. Najveća je seizmička aktivnost registrirana 1930-ih (magnituda 5,6 – 5,9 po Richteru) i 1980-ih (magnituda 5,0 – 5,3) godina. U međuvremenu je (1962.) zabilježen potres magnituda 6,1 u podmorju kod Makarske. Nova je serija potresa uočena 2003. kod otoka Jabuke: 150 manjih potresa je prethodilo glavnome, a zatim je uslijedilo više od 4 600 naknadnih slabijih potresa (Console et al., 1993; Herak et al., 2005).

Na hrvatskom se području, zajedno sa susjednim zemljama, razlikuje više seizmotektonskih zona. Skoko i Prelogović Hrvatsku dijele u pet seizmotektonskih zona: južni i zapadni rub Panonske nizine, unutrašnjost, izdignute dijelove Dinarida te područje Jadrana (Skoko i Prelogović 1989). S druge strane, Markušić i Herak teritorij Hrvatske, zajedno s bližim okolnim područjima, dijele u čak 17 zona (*slika 5*): (1) Crna Gora-sjeverozapadna Albanija, (2) Dubrovnik, (3) Ston-Metković, (4) Južni Jadran, (5) Dalmacija, (6) Dinara, (7) Zadar, (8) Vinodol, (9) Rijeka, (10) Bela Krajina, (11) Zagreb, (12) Pokuplje, (13) Varaždin, (14) Podravina, (15) Baranja, (16) Dilj gora, (17) Banja Luka (Markušić i Herak 1999).

Svaka od navedenih 17 zona obilježena je određenim stupnjem seizmičke aktivnosti te rasjedima tj. sustavima rasjeda koji imaju regionalne dimenzije pa stoga zalaze i u područja koja pripadaju susjednim državama. Ta je situacija najizraženija u suženim priobalnim područjima u Dalmaciji gdje se duž rasjeda, koji se pružaju na teritoriju susjedne Crne Gore te Bosne i Hercegovine, pojavljuju potresi koji imaju razorne posljedice i na hrvatskom teritoriju. Slična je situacija i na području sjevernoga Kvarnera i Gorskoga kotara, kao i u Podravini i zoni Pokuplje-Banovina. Duž pojedinih rasjeda, koji su dokazani u navedenim područjima, povremeno dolazi do potresa koji ostavljaju ozbiljne posljedice u Hrvatskoj. Posebno se ističe zona broj 1 (Crna Gora – sjeverozapadna Albanija) gdje se duž rasjeda na skadarskom području javljaju potresi jačine od čak 9 do 10 stupnjeva MCS ljestvice. Rasjedi u zonama 9 (Rijeka) ponajprije se pružaju na području susjedne Slovenije, a duž njih se bilježene potresi koji na hrvatskom području također dosežu jačinu od 9 do 10 stupnjeva MCS ljestvice. U zoni 10 (Bela Krajina) potresi jačine do 9 stupnjeva MCS ljestvice se najčešće javljaju duž rasjeda koji se pruža od Bihaća prema Črnomelj u Sloveniji. Banjalučki se rasjed u zoni 17 u potpunosti pruža u sjeverozapadnoj Bosni, a zbog potresa koji dosežu 8 stupnjeva MCS ljestvice može imati značajne reperkusije u pograničnim dijelovima Hrvatske, ponajprije na Banovini i u Pokuplju.

Na području Hrvatske, s obzirom na dubinu hipocentra, svi potresi ulaze u skupinu plitkih potresa. Divergentni, konvergentni i horizontalni pomaci na našem se području događaju kroz dugo vremensko razdoblje. Kretanje ploča događa se još uvijek i time se javlja aktivnost određenih linija rasjeda, dok su, s druge strane, druge linije rasjeda i dalje neaktivne (Humski et al., 2021).

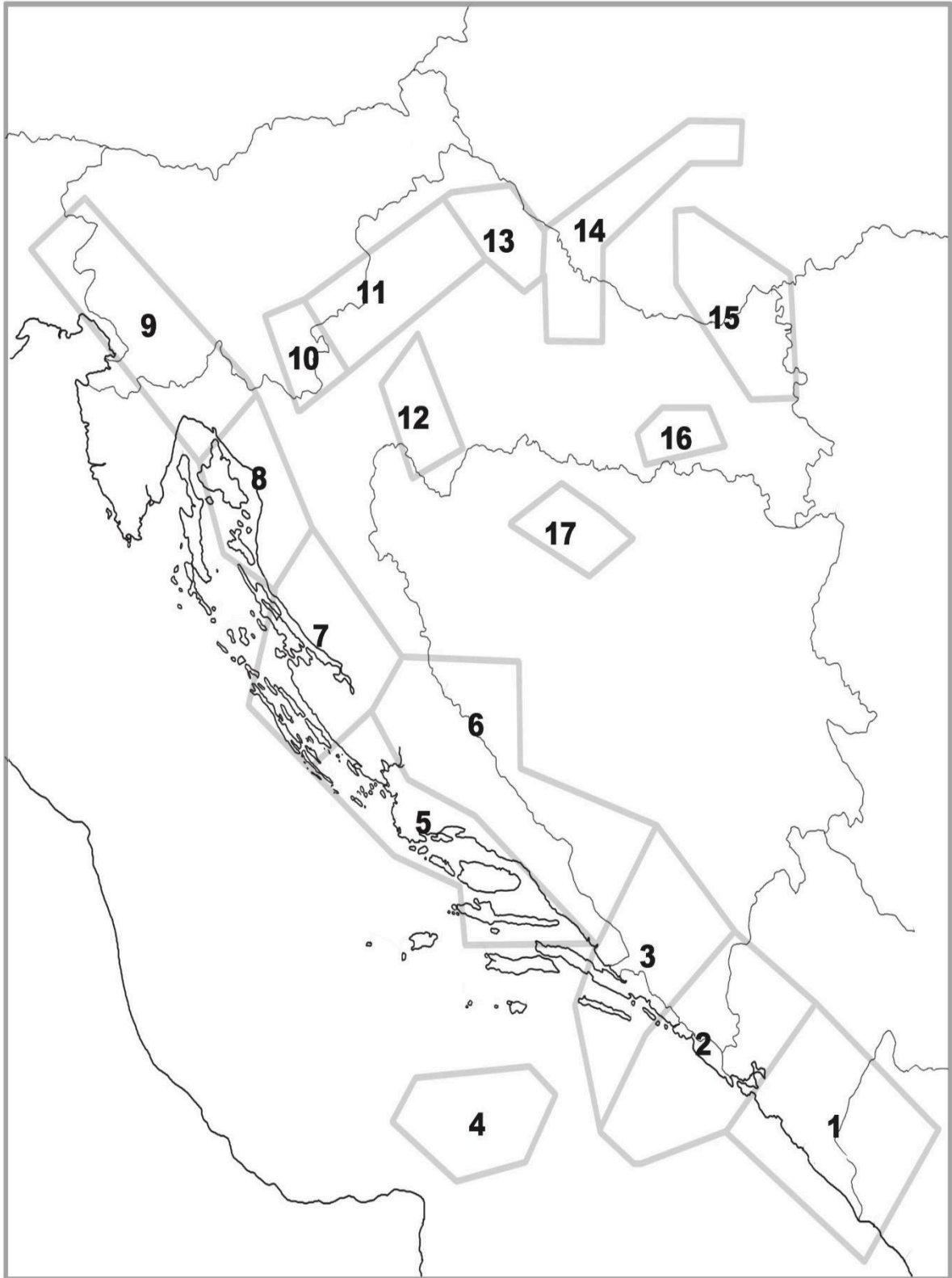
Ipak se može izdvojiti nekoliko zona veće seizmičke aktivnosti. Jedna od njih nalazi se u priobalnome dijelu od slovensko-hrvatske granice do područja južno od Dubrovnika. Od slovenske granice zapadno od Karlovca preko Žumberka i Medvednice do Bilogore proteže se druga zona. Zona od Pokuplja prema sjeverozapadnoj Bosni (Banja Luka) seizmički je također aktivna. Manje su aktivna seizmička područja slavonskih gora (Psunj, Papuk, Krndija, Dilj).

Najslabiji su seizmički aktivni središnji i istočni dijelovi Hrvatske, iako je 1884. zabilježen potres u okolici Đakova, a 1964. i na području zapadne Slavonije. Sjeverozapadni dio Hrvatske seizmički se može definirati kao umjereno aktivan s rijetkim pojavama jačih potresa dok je, s druge strane, južna Dalmacija seizmički najugroženiji dio Hrvatske. Tektonski aktivnom području pripadaju i Medvednica te šira okolica Zagreba (Humski et al., 2021).

¹⁰ Riječ je o geološkim epohama koje, zajedno s paleocenom, tvore geološko razdoblje paleogena koje je počelo prije 65 milijuna godina, a završilo prije 23 milijuna godina. Oligocen predstavlja zadnje razdoblje paleogena.

Državna uprava za zaštitu i spašavanje Republike Hrvatske procjenjuje kako postoji velika opasnost od potresa VIII. i IX. stupnja MCS na 36,42 % površine hrvatskoga teritorija gdje živi gotovo dvije trećine hrvatskoga stanovništva (2,7 milijuna ljudi prema popisu iz 2021.). S druge strane, opasnost od potresa VII. stupnja MSC postoji na više od polovine nacionalnoga teritorija (56,22 %), na kojem živi nešto više od trećine stanovništva (1,5 milijuna) (Nola et al., 2013).

Zagrebačka urbana regija je područje najveće populacijske koncentracije u Hrvatskoj, a zbog dominantno guste izgradnje, moguće su katastrofalne posljedice u slučaju razornih potresa. Stoga se tektonska aktivnost na zagrebačkom području posebno prati. Prema sadašnjim spoznajama, tektonska je aktivnost na području Zagreba uvjetovana pokretima u regionalnom strukturnom sklopu. Unutar njega vrlo važnu ulogu ima Jadranska mikroploča koja uzrokuje jaku kompresiju u zoni Alpa i sjevernoga dijela Dinarida. Ta se aktivnost znatno osjeti duž zagrebačkoga rasjeda koji presijeca područje grada Zagreba. Zagrebački se rasjed sastoji od niza manjih rasjeda, kao što je rasjed na liniji Kerestinec – Ilica – Maksimir – Sesvete i onaj u zoni Podsused – Markuševac – Kašina – Zelina. Seizmički je najaktivniji dio zagrebačkoga rasjeda na području Medvednice, između Markuševca i Moravča, u duljini od oko 20 km (Gusić et al., 2016).



Slika 5. Seizmogene zone u Hrvatskoj i okolnim područjima (izvor: Markušić i Herak, 1999).
ZAKLJUČAK

Glavni uzroci mehanizma potresa su pokreti tektonskih ploča koje tvore litosferu, odnosno Zemljin gornji sloj, a prouzročeni su konvekcijskim strujanjem materije u Zemljinom plaštu. Na mjestima kontakta tektonskih ploča oblikuju se granice na kojima se, uslijed tektonskih pokreta, oslobađa velika količina energije. Ta se energija na površini Zemlje manifestira u obliku potresa. Potresi se također mogu pojaviti i unutar samih ploča, a izazvani su utiskivanjem magme u njihove oslabljene dijelove.

Republika Hrvatska nalazi se na području koje je tektonski i seizmički aktivno zbog kretanja afričke ploče i jadranske mikroploče prema euroazijskoj tektonskoj ploči. Iako seizmologija zasad ne može predvidjeti trenutak u kojem će doći do potresa, poznate su seizmički aktivne zone na Zemlji. Hrvatska je smještena na jednom od aktivnih zona, pa se u budućnosti mogu očekivati jaki potresi na teritoriju Republike Hrvatske, upravo zbog kontinuiranoga kretanja afričke ploče i jadranske mikroploče u smjeru sjevera. S obzirom na dubinu hipocentra, svi se dosadašnji potresi na području Hrvatske svrstavaju u skupinu plitkih potresa, što znači da je dio Europe u kojem živimo pošteđen potresa izrazite snage i razornosti. Ipak, cijeli teritorij Hrvatske nije seizmički jednako aktivan: najveća se seizmička aktivnost bilježi u zapadnom dinarskom pojasu (s izuzetkom Istre) i u jadranskom podmorju, a najslabija u istočnom ravničarskom dijelu zemlje. Riječ je pretežno o tektonskim potresima, a u krškom području dolazi i do slabih urušnih potresa.

Hrvatska je smještena na seizmički iznimno aktivnom području tj. na kontaktu afričke i euroazijske tektonske ploče, na kojem je aktivna jadranska mikroploča. Zbog toga potresi nisu rijetka i nepoznata pojava na najvećem dijelu nacionalnoga teritorija. Upravo bi se iz toga razloga već na osnovnoškolskoj razini učenike moglo upoznati s uzrocima i mehanizmom postanka potresa u Hrvatskoj i susjednim zemljama, te dati kronološki pregled najrazornijih potresa u prošlosti. Pritom je potrebno zadržati širi pristup analize osnovnih pojmova o građi i sastavu Zemlje i globalnoj tektonici ploča.

LITERATURA

- Bočić, N. (2021). Structural-geomorphological aspects of the Petrinja earthquake M6.2 (Croatia) - preliminary considerations. *Hrvatski geografski glasnik*, 83(1), 5-24.
- Console, R., Di Giovambattista, R., Favali, P., Presgrave, B. W. I Smriglio, G. (1993). Seismicity of the Adriatic microplate. *Tectonophysics*, 218(4), 343-354.
[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90323-C](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90323-C)
- Gusić, D., Landeka, J., Lukić, A., Prša, M. i Vidić, I. (2016). Seizmička aktivnost na području Republike Hrvatske. *Ekscentar*, 19, 84-90.
<https://hrcak.srce.hr/226845>.
- Handy, M. R., Giese, J., Schmid, S. M., Pleuger, J., Spakman, W., Onuzi, K., Ustaszewski, K. (2019). Coupled crust-mantle response to slab tearing, bending, and rollback along the Dinaride-Hellenide orogen. *Tectonics*, 38, 1–26.
<https://doi:10.1029/2019TC005524>
- Herak, M., Herak, D., Tomljenović, B. (2016). Seismicity and Neotectonics in the Greater Zagreb Area. U: Decker, K. (ur.), *Fact Finding Workshop on the Active Tectonics of the Krško Region, Technical Workshop, Klagenfurt/Celovec, Austria* (str. 16–20). Ministerium für Lebenswertes Oesterreich.
- Herak, D., Herak, M., Prelogović, E., Markušić, S. i Markulin, Ž. (2005). Jabuka island (central Adriatic Sea) earthquakes of 2003. *Tectonophysics*, 398(3-4), 167-180.
<https://doi:10.1016/j.tecto.2005.01.007>
- Herak, M. (1990). *Geologija: postanak, tektonika i dinamika Zemlje, razvojni put Zemlje i života, geološka građa kontinenata i oceana*. Školska knjiga.
- Herak, M., Markušić, S. (1996). Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1908-1992. *Terra Nova*, 8(1), 86-94.
<https://doi:10.1111/j.1365-3121.1996.tb00728.x>
- Hrstić, I. (2012). Zbivanja na Makarskom primorju tijekom i nakon potresa 1962. godine. U M. Mustapić i I. Hrstić (ur.), *Makarsko primorje danas: Makarsko primorje do kraja Drugog Tsvjetskog rata do 2011*. (str. 277-298). Institut društvenih znanosti Ivo Pilar.

- Humski, J., Franulović, K., Križić, M. i Kujundžić-Lujan, A. (2021). Potresi u Hrvatskoj. *Ekscentar*, 22, 56-72.
<https://hrcak.srce.hr/file/386541>
- Kurikulum nastavnog predmeta Geografija za osnovne škole i gimnazije (2019). Ministarstvo znanosti i obrazovanja
[Kurikulum nastavnog predmeta Geografija za osnovne škole i gimnazije.pdf \(gov.hr\)](#)
- Kurikulum nastavnog predmeta Priroda i društvo za osnovne škole i gimnazije (2019). Ministarstvo znanosti i obrazovanja
[Kurikulum nastavnog predmeta Priroda i društvo za osnovne škole.pdf \(gov.hr\)](#)
- Kurikulum nastavnog predmeta Priroda za osnovne škole i gimnazije (2019). Ministarstvo znanosti i obrazovanja
[Kurikulum nastavnog predmeta Priroda za osnovne škole.pdf \(gov.hr\)](#)
- Markušić, S. i Herak, M. (1999). Seismic zoning of Croatia. *Natural Hazards*, 18, 269-285.
<https://doi.org/10.1023/A:1026484815539>
- Nola, I. A., Doko Jelinić, J., Žuškin, E. i Kratochvil, M. (2013). Potresi – povijesni pregled, okolišni i zdravstveni učinci i mjere zdravstvene skrbi. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 64(2), 327-337.
<https://doi.org/10.2478/10004-1254-64-2013-2304>
- Obradović, M. i Šarko, D. (2021.). Potres. *Bjelovarski učitelj: časopis za odgoj i obrazovanje*, 26(1-3), 194-196.
<https://hrcak.srce.hr/file/395297>
- Olujić, M. (2015). *Potresi - uzroci nastanka i posljedice s posebnim osvrtom na Hrvatsku i susjedna područja*. Prosvjeta – Geostat.
- Pevec, E. (2001). Potresi. *Ekscentar*, 4, 72-75.
<https://hrcak.srce.hr/file/145596>
- Ros Kozarić, M. (2020.). Potresi na Banovini. *Geografski horizont*, 66 (2), 7-20.
<https://hrcak.srce.hr/254274>
- Simović, V. (2000), Potresi na zagrebačkom području. *Građevinar*, 52(11.), 637-645.
<https://hrcak.srce.hr/13067>
- Skoko, D. I Prelogović, E. (1989). Geološki i seizmološki podaci potrebni za određivanje maksimalnih magnituda potresa. *Geološki vjesnik*, 42, 287-299
https://geoloski-vjesnik.hgi-cgs.hr/wp-content/uploads/2022/07/1989_Skoko-Prelogovic_957.pdf
- Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek (2024). *Crtice iz (geofizičke) povijesti*. Pristupljeno 3. travnja 2024.
https://www.pmf.unizg.hr/geof/popularizacija_geofizike/crtice_iz_povijesti
- Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek. (2021). *Povijesni potresi i tsunamiji u Jadranskom moru*. Pristupljeno 3. travnja 2024.
https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/o_potresima?@=1mbwk#news_97576
- Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek (2024). *Crtice iz (geofizičke) povijesti*. Pristupljeno 3. travnja 2024.
[Seizmološki pojmovnik - Geofizički odsjek \(unizg.hr\)](#)
- Tkalčić, H. (2022). *Potresi – divovi koji se ponekad bude*. Naklada Ljevak.
- Župan, R., Frangeš, S., Šantek, D. i Baričević, V. (2019). Analiza i kritički osvrt prikaza stjenovitih područja na kartama. *Geodetski list* 73(96) br. 3, 277-298.
<https://hrcak.srce.hr/227004>