Predviđanje potresa na temelju abnormalnog ponašanja životinja

Bertinovec, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

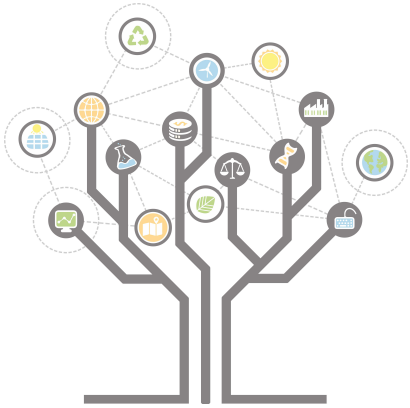
2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:273481

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

FILIP BERTINOVEC

PREDVIĐANJE POTRESA NA TEMELJU ABNORMALNOG PONAŠANJA ŽIVOTINJA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2021.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva

za 16.07.2021. u 9 sa

Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred ispitnim povjerenstvom u Varaždinu

Varaždin, 02.07.2021.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

izv. prof. dr. sc. Sanja Kovač

Članovi povjerenstva

1) Doc. dr. sc. Mario Gazdek
2) Doc. dr. sc. Davor Stanko
3) Mirna Andadar, pred.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

PREDVIĐANJE POTRESA NA TEMELJU ABNORMALNOG PONAŠANJA ŽIVOTINJA

KANDIDAT:
FILIP BERTINOVEC

MENTOR:
Doc. dr. sc. Mario Gazdek

DRUGI MENTOR:
Doc. dr. sc. Davor Stanko

VARAŽDIN, 2021.

Sveučilište u Zagrebu
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: FILIP BERTINOVEC

Matični broj: 2524 - 2015./2016.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

PREDVIĐANJE POTRESA NA TEMELJU ABNORMALNOG PONAŠANJA ŽIVOTINJA

Rad treba sadržati:
1. Uvod
2. Potresi
3. Promjene kao predznaci potresa
4. Abnormalno ponašanje životinja prije potresa
5. Zaključak
6. Popis literature
7. Popis slika
8. Popis tablica

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

Zadatak zadan: 25.06.2020. Rok predaje: 02.07.2021.

Mentor:	Drugi mentor/komentor:	Predsjednik Odbora za nastavu:
Doc.dr.sc. Mario Gazdek	Doc.dr.sc. Davor Stanko	Izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač

REPUBLIKA HRVATSKA
GEOTEHNIČKI FAKULTET
VARAŽDIN
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

STUDIJ INŽENJERSTVA OKOLIŠA

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

PREDVIĐANJE POTRESA NA TEMELJU ABNORMALNOG PONAŠANJA ŽIVOTINJA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc. dr. sc. Maria Gazdeka i pod komentorstvom doc. dr. sc. Davora Stanka. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 17.6.2021.

FILIP BERTINOVEC
(Ime i prezime)

(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

PREDVIĐANJE POTRESA NA TEMELJU ABNORMALNOG PONAŠANJA ŽIVOTINJA

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 17.6.2021.

DOC. DR. SC. MARIO GAZDEK
(Mentor)

Mgazdek
(Vlastoručni potpis)

Ime i prezime: **FILIP BERTINOVEC**

Naslov rada: PREDVIĐANJE POTRESA NA TEMELJU ABNORMALNOG PONAŠANJA ŽIVOTINJA

Sažetak

Potresi su nepredvidive prirodne pojave uzrokovane velikim otpuštanjem energije, praćene kratkotrajnim i dugotrajnim podrhtavanjima tla. Nepredvidiva oslobođena energija može uzrokovati veliku materijalnu štetu i ljudske žrtve. Suvremeni istraživači nastoje razviti modele prepoznavanja predznaka potresa da bi se umanjile njegove posljedice. Kroz povijest su zabilježeni mnogi primjeri abnormalnog ponašanja životinja prije potresa. Smatra se da životinje osjećaju promjene u tlu prije potresa te da se njihovo ponašanje može koristiti za prepoznavanje predznaka potresa koji se očituju kao varijacije stresnog, električnog i magnetnog polja. „Mehanizam“ pomoću kojeg životinje percipiraju navedene varijacije nije dovoljno istražen. Jedan od potencijalnih modela predviđanja predznaka potresa je razvoj umjetnih biološko-tehničkih (Bio-Tech) senzorskih sustava, koji rade na principu životinjskih receptora.

Ključne riječi: Abnormalno ponašanje životinja, predznaci potresa, predviđanje potresa i životinjska osjetila.

Name and Surname: FILIP BERTINOVEC

Title: EARTHQUAKE PREDICTION BASED ON ABNORMAL ANIMAL BEHAVIOR

Abstract

Earthquakes are unpredictable natural phenomena caused by huge release of energy, which is accompanied by short-term ground vibrations. Unpredictable release of energy can cause extensive material damage and human casualties. Modern researchers are trying to develop models which can help recognize early signs of earthquakes in order to minimize their consequences. Throughout history, there have been a lot of reports on abnormal animal behaviour prior to earthquakes. It is thought that animals can feel the disturbances in soil before an earthquake and that their behaviour can be used to recognize the signs of an earthquake before it hits, such as variations in stress, magnetic and electric fields. The "mechanism" by which animals perceive these variations has not been researched enough. One of the potential models for predicting earthquake signs is the development of artificial biological-technical (Bio-Tech) marker sensor systems, which are based the principle of animal receptors.

Key words: Abnormal animal behavior, earthquake precursor, earthquake prediction and animal receptors.

SADRŽAJ

1. Uvod 1
2. Potresi 3
   2.1. Tektonika ploča 3
   2.2. Nastanak potresa 7
   Seizmološki parametri potresa 8
   2.3. Mjerenja i zapisi potresa 10
   2.4. Seizmički valovi 11
3. Promjene kao predznaci potresa 14
   3.1. Zvuk kao predznak potresa 15
   3.2. Varijacije Zemljinog električnog polja 19
   3.3. Varijacije Zemljinog elektromagnetskog polja 22
4. Abnormalno ponašanje životinja prije potresa 26
   4.1. Povijest abnormalnog ponašanja životinja prije potresa 29
   4.2. Životinjska osjetila 32
   4.3. Evolucijski razvoj sustava za detekciju predznaka potresa 37
   4.4. Senzori 39
5. Zaključak 42
6. Literatura 43
7. Popis slika 49
8. Popis tablica 51

1. Uvod

Potresi su prirodne pojave čije su bitne značajke - kratkotrajne (podrhtavanja) vibracije tla (10-30 s), uzrokovane velikim otpuštanjem energije. Energija oslobođena potresima magnitude veće od 4,5 po Richteru može poprimiti velike razmjere. Nepredvidiva (po vremenu, lokaciji i iznosu) oslobođena energija može uzrokovati veliku materijalnu štetu i ljudske žrtve. Predviđanje pojave potresa je oduvijek bila civilizacijska intencija. Iako nije moguće predvidjeti pojavu potresa, suvremeni istraživači nastoje razviti modele kojima bi se prepoznali indikatori (predznaci) događaja većih magnituda. Neizbježan je zahtjev i prijeka potreba današnje civilizacije: naučiti živjeti s potresima.

Pojavi otpuštanja veće količine energije potresa prethode određene fizičke i kemijske promjene u tlu, koje istraživači nazivaju prethodnicima potresa (prekursori potresa). U predznake potresa se ubrajaju mnoge i različite pojave: slabe vibracije tla izazvane nailaskom P valova, potresna svjetla, povećane emisije plinova, promjene kemijskog sastava, oscilacije razine podzemnih voda te promjene u električnim i elektromagnetskim poljima.

Kroz povijest su zabilježeni mnogi anegdotalni i retrospektivni događaji i usmene predaje o neobičnom ponašanju životinja prije potresa. Neočekivano ponašanje životinja, izvan njihovog ustaljenog ponašanja u njihovu okolišu, se naziva abnormalno ponašanje. Smatra se da su životinje evolucijom razvile senzorske sustave - dobra osjetila, odnosno receptore za ravnotežu, sluh, dodir, njuh okus, vid, toplinski vid te elektroreceptore i magnetoreceptore kojima mogu detektirati predznake (signale) potresa koji dolazi. Takav senzorski sustav prilikom razornih potresa omogućava jedinkama preživljavanje i smanjuje smrtnost neke vrste, o čemu govore nepotvrđeni povijesni zapisi (anegdote). Broj životinjskih žrtava koje uzrokuje potres uvijek je manji od broja ljudskih žrtava. S obzirom na velik broj zapisa, može se zaključiti da životinje zaista osjete i pokazuju reakcije na predznake potresa (interakcija fizikalnog procesa i osjetila). Ipak, još uvijek nije istraženo na koji ih način detektiraju te što ih pokreće na promjenu ponašanja.

Danas znanstvenici diljem svijeta, posebice u Italiji, Japanu i SAD-u, istražuju principe detekcije senzorskih sustava kod životinja i „mehanizme“ koji uzrokuju abnormalno ponašanje prije potresa.

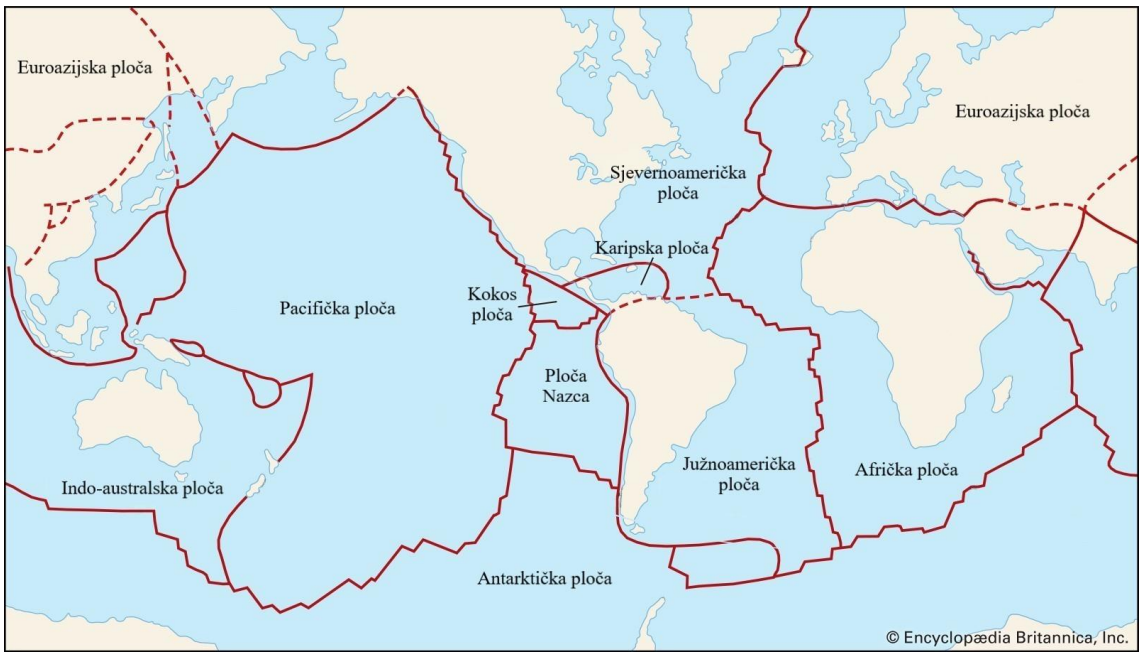
U ovom se radu daje pregled pretpostavki i rezultata aktualnih istraživanja o predznacima potresa i abnormalnom ponašanju životinja. Cilj rada je povezati pojedine životinjske receptore s određenim predznacima potresa koji uzrokuju bihevioralne promjene prije potresa te ukazati na daljnje pravce istraživanja radi razvoja umjetnih bio/bioloških receptora.

2. Potresi

Potresi su kratkotrajne vibracije Zemljine kore koje na površini litosfere mogu izazvati katastrofalne posljedice (Šestanović, 1997). Vibracije nastaju prolaskom seizmičkih valova kroz Zemljinu stijensku masu. Uzrok seizmičkim valovima je trenutno otpuštanje mehaničke energije „uskladištene“ u kori. Otpuštanje se obično događa prilikom loma i podvlačenja stijenske mase jedne pod drugu (Bolt, 1998). Najviše potresa nastaje u tektonski aktivnim područjima, odnosno na granicama tektonskih ploča. Godišnje se zabilježi približno 500 000 potresa diljem svijeta. Oko 100 000 potresa otpada na one koje osjete ljudi, od čega njih 100-tinjak uzrokuje štetu (Mott, 2003). Stoga se potrese može shvatiti kao normalne, svakodnevne prirodne pojave. Također se može reći da je Zemlja stalno aktivna, da nikada ne miruje, već je „živa i diše“.

2.1. Tektonika ploča

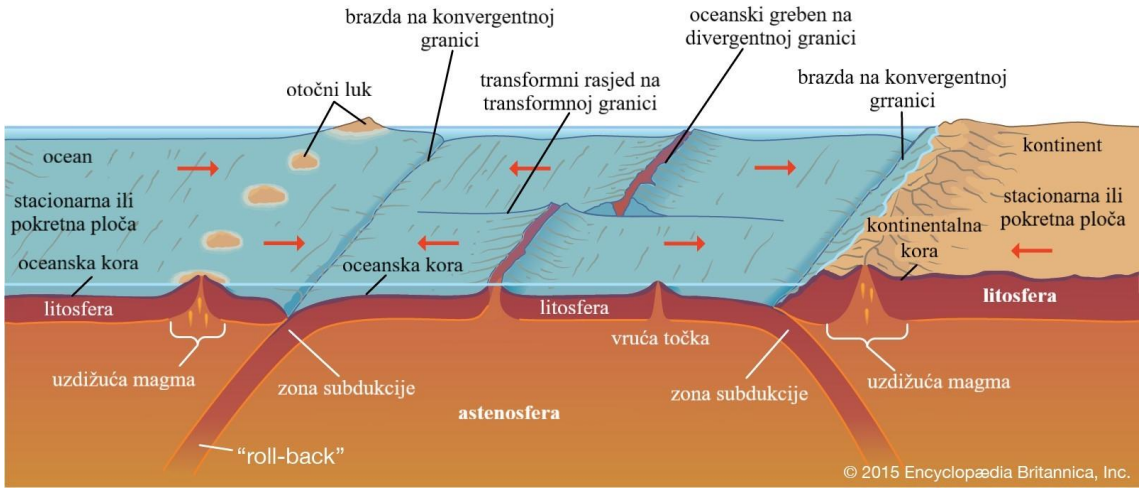
Sredinom 60-ih godina prošloga stoljeća postavljena je teorija tektonike ploča. Prema njoj, litosfera je sastavljena od sedam velikih i većeg broja manjih ploča (Slika 1.), koje leže i pomiču se po astenosferi (Burg, 2017). Uzrok kretanja litosfernih ploča je prijenos toplinske energije iz unutrašnjosti Zemlje prema njezinoj površini. Temperatura u Zemljinoj jezgri iznosi približno 5000 °C. Prema zakonu o prijenosu energije, rastaljeni stijenski materijal izdiže se iz unutrašnjosti Zemlje. Takav materijal se hladi pri površini, a zbog veće gustoće ponovo tone, odnosno vraća se prema unutrašnjosti zemlje. Ovakav način prijenosa toplinske energije naziva se konvekcijsko strujanje, a „tijelo“ koje se giba od unutrašnjosti prema površini i povratak u unutrašnjost se naziva konvekcijska ćelija (GeoClass, 2009). Litosferne ploče se pomiču duž međusobnih granica. S obzirom na smjer pomicanja litosfernih ploča, granice se dijele na divergentne, konvergentne i transformne rasjede (Slika 2.).



Slika 1. Prikaz tektonskih ploča (Murphy, 2020)

Divergentne granice su mjesta gdje se litosferne ploče međusobno udaljavaju (Ocean Exploration, 2012). Obilježja takvih zona su hrptovi i uzvišenja na dnu oceana, a nastaju izdizanjem magme bazaltnog sastava pri stvaranju nove oceanske kore (National Geographic Society, 2020) . Također, za te su zone svojstveni potresi plitkih žarišta (Šestanović, 1997).

Za razliku od divergentnih granica, konvergentne granice su mjesta gdje dolazi do približavanja litosfernih ploča. Paralelno s konvergentnim granicama često dolazi do formiranja vulkanskih lanaca (Ocean Exploration, 2012). Konvergentne granice nazivaju se i zone subdukcije, a dijele se na duboke ili B-subdukcije i plitke ili A-subdukcije (Šestanović, 1997). U zonama B-subdukcije uz rubove kontinenata dolazi do podvlačenja oceanske kore pod kontinentalnu koru. Taj proces prati izražena vulkanska aktivnost izbacivanja magme andezitskog sastava i potresi plitkog, srednje dubokog i dubokog žarišta. Zone A-subdukcije se nalaze na kontinentalnoj kori. Zbog krutosti kontinentalne kore ne dolazi do većih podvlačenja litosfernih ploča. Ovaj proces nije stalan, već je promjenjiv zbog jakog trenja u dubljim dijelovima kontinentalne kore i povremeno se ponavlja. Proces može pratiti vulkanska aktivnost kiselog sastava i pojava plitkih i srednje dubokih žarišta. Rezultati ovakvih procesa najčešće su oceanske brazde i planinski lanci (USGS, 2014).



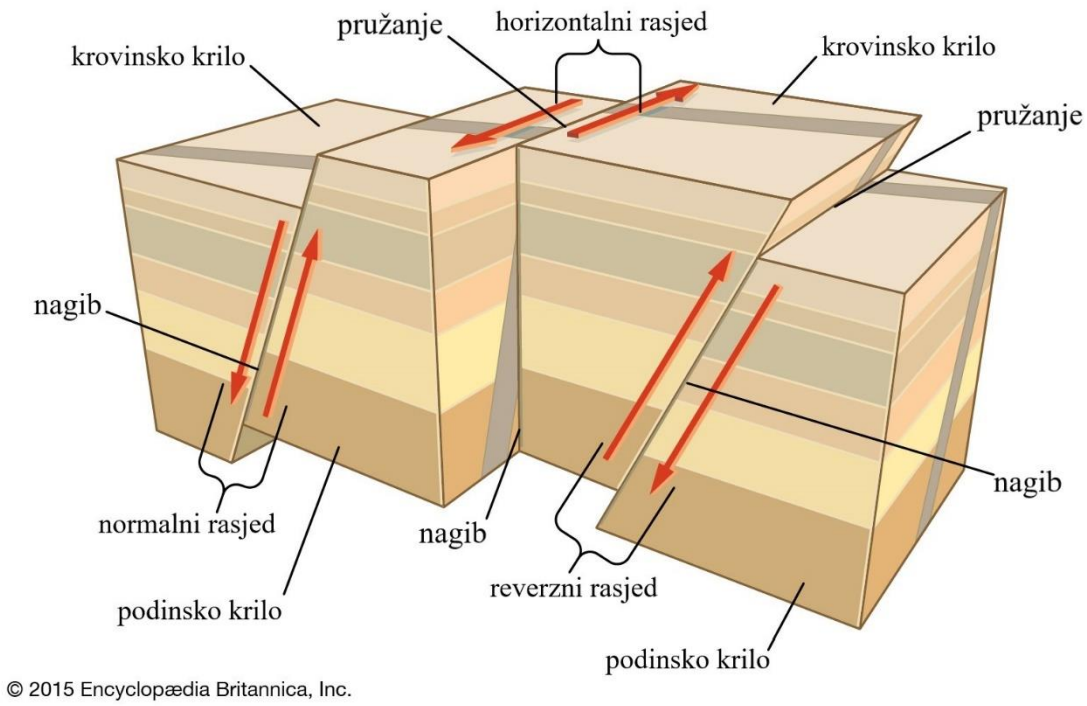
Slika 2. Prikaz stvaranja i razaranja kore prema Teoriji tektonike ploča.

Postoje tri vrste granica ploča - divergentne, konvergentne i transformne (Murphy, 2020)

Transformne granice su one duž kojih se litosferne ploče pomiču horizontalno, odnosno klize jedan uz drugu te ne dolazi do nastanka nove kore ni do uništavanja stare (Ocean Exploration, 2012). Takve se granice nazivaju transformnim rasjedima (USGS, 2014). Za te granice svojstveni su duboki rasjedi s horizontalnim pomacima, a nastaju naglim prestankom pomaka po pružanju ili promjenom oblika i smjera pomaka. Većina transformnih rasjeda se nalazi u oceanskim bazenima, a žarišta potresa koje uzrokuju su plitka. Tek manji broj rasjeda se nalazi na kopnu.

Rasjedi se svrstavaju u osnovne strukturne jedinice litosfere. Oni predstavljaju diskontinuitete u stijenskoj masi i nastaju na mjestima gdje dolazi do relativnih pomaka i loma pod utjecajem gravitacije, ekspanzije ili kompresije (Kos-Modor i Jurkin, 2004). Takvi pomaci mogu biti uzrok dugotrajnom postupnom klizanju, naglim pomacima i lomu stijenskih masa po rasjednoj plohi koja se naziva paraklaza. U trenutku kada naprezanja prijeđu posmičnu čvrstoću dolazi do naglih pomaka ili loma stijenskih masa pa se oslobađa velika količina energije i nastaje potres. Potres se može pojaviti samo na aktivnim rasjedima (Sibson, 2002 navedeno u Markuš, 2011). Rasjed čine dva zasebna stijenska bloka koja se nazivaju krila rasjeda. Krilo koje se nalazi ispod diskontinuiteta naziva se podinsko, a ono koje se nalazi iznad je krovinsko krilo. S obzirom na smjer kretanja krila uzduž diskontinuiteta, rasjedi se dijele na normalne, reverzne i horizontalne (Slika 3.) (USGS, 2021). Kod normalnih rasjeda dolazi do spuštanja

krovinskog krila u odnosu na podinsko, pri čemu se povećava zijev diskontinuiteta (razdvajanje krila). Kod reverznih rasjeda, obrnuto normalnim rasjedima, dolazi do izdizanja krovinskog krila i spuštanja podinskog, a pri tome se smanjuje zijev (krila se približavaju) (Kos-Modor i Jurkin, 2004). Paralelan pomak s pružanjem diskontinuiteta u horizontalnoj ravnini specifičan je za horizontalne rasjede. Horizontalni rasjedi se dijele na lijeve i desne, ovisno o smjeru pomaka promatranog krila u odnosu na ravninu vertikalno položenu na rasjednu površinu (USGS, 2021).



Slika 3. Podjela rasjeda (Rafferty, 2020)

2.2. Nastanak potresa

Prema nastanku, potresi se dijele sukladno oslobođenoj energiji koja može biti energija elastičnih deformacija (tektonski potres), hidrodinamička energija (vulkanski potres) te gravitacijska potencijalna energija (urušni potresi). Od sve ukupnog broja potresa na Zemlji, 90% potresa su tektonski potresi, 7% su vulkanski i 3% su urušni potresi (Šestanović, 1997).

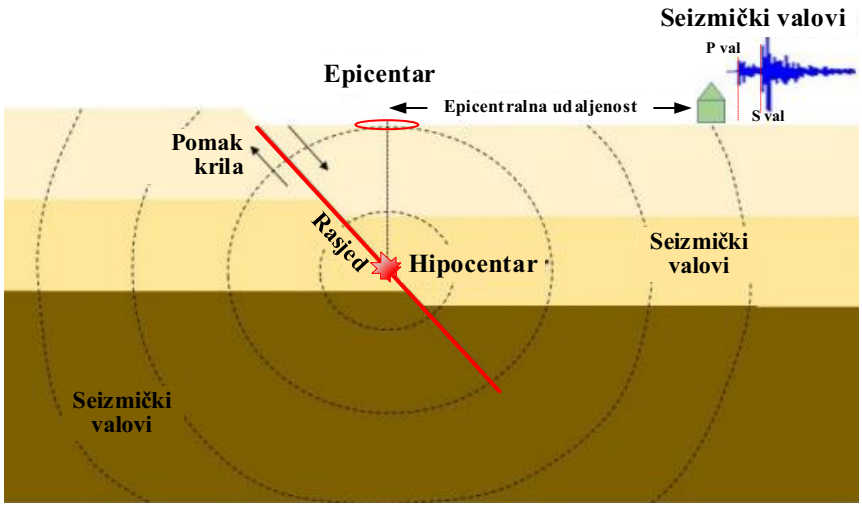
Tektonski potresi su posljedica akumulacije elastičnog naprezanja u Zemljinoj kori tijekom duljeg vremena. Pomicanjem tektonskih ploča akumuliraju se velike sile i naprezanja, sve do trenutka kada elastična potencijalna energija prijeđe granicu elastičnosti stijenske mase. Tom prilikom dolazi do naglog oslobađanja akumulirane energije, čiji je rezultat nastanak potresa (Markuš, 2011). Veza između energije elastične deformacije i nastanka potresa postavljena je teorijom elastičnog odskoka-odziva (engl. Elastic-rebound theory), koju je donio američki geolog H. F. Reid (Bolt, 1998).

Vulkanski potresi su izravno povezani s vulkanskom aktivnošću, a akumulirana energija dijelom je energija elastičnih deformacija, a dijelom je termokemijska energija. Energija elastične deformacije se oslobađa naglim pomacima stijenske mase vezane uz vulkan (Bolt, 1998), a termokemijska energija se oslobađa iz magme prilikom njenog izbijanja na površinu Zemlje (Markuš, 2011). Potresi ovog tipa ne oslobađaju veliku seizmičku energiju, jer se većina energije troši na izdizanje magme na površinu, dok se tek manji dio energije pretvara u mehaničku energiju elastičnih valova (Markuš, 2011).

Urušni potresi nastaju oslobođenjem gravitacijske potencijalne energije, prilikom urušavanja potpovršinskih objekata, prirodnih (speleološki objekti) ili umjetnih (podzemne prostorije i rudnici). Česti uzrok urušavanja je djelovanje vode na stijene koje su topive u vodi (Markuš, 2011) ili poddimenzionirani zaštitni zidovi i stupovi. Prilikom urušavanja ne oslobađa se velika količina energije, ali to ne umanjuje mogućnost uzrokovanja velike materijalne štete i gubitke ljudskih života.

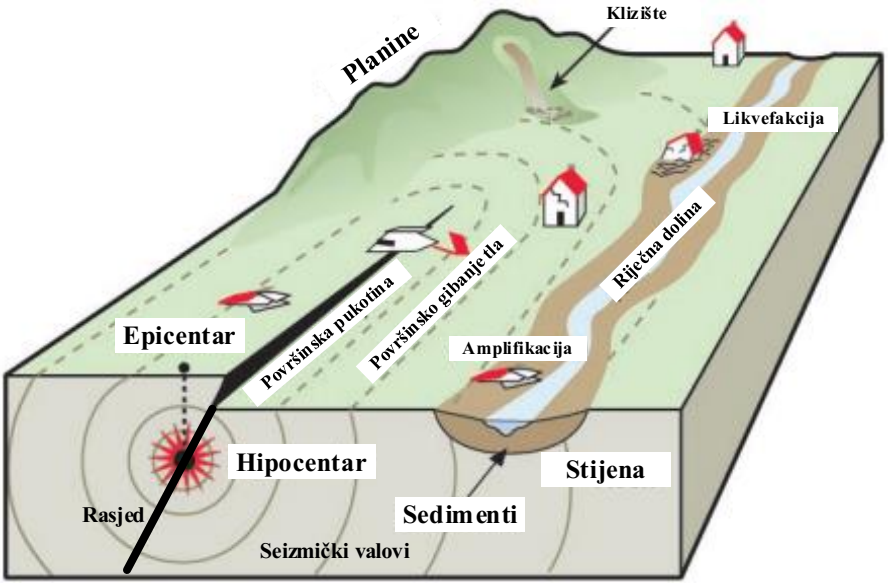
Seizmološki parametri potresa

Mjesto nastanka potresa u litosferi, gdje se oslobađa maksimalna količina seizmičke energije na rasjedu, naziva se žarište potresa (Slika 4.) (GeoClass, 2009). Vertikalna projekcija žarišta na površinu Zemlje je epicentar potresa, a vertikalna udaljenost između žarišta i epicentra naziva se dubina žarišta (Slika 4.) (Markuš, 2011). Prema dubini žarišta potresi se dijele na plitke i duboke. Potresi plitkih žarišta su slabi potresi, a nastaju u područjima oceanskih hrptova i transformnih rasjeda. Potresi dubokih žarišta su jaki potresi i nastaju u subdukcijskim zonama (Šestanović, 1997). Epicentar potresa može se odrediti pomoću tri ili više seizmoloških postaja koje ne leže na istom pravcu, iz vremena kašnjenja S valova u odnosu na P valove.



Slika 4. Opis nastanka potresa pri pomaku dva bloka duž rasjeda (Kentucky Geological Survey, 2018)

Osnovni parametri seizmološki parametri potresa (hipocentar, epicentar, epicentralna udaljenost, seizmički valovi) (Kentucky Geological Survey, 2018).



Slika 5. Seizmičke opasnosti koje izaziva potres (Kentucky Geological Survey, 2018)

Također, epicentar potresa, dubina žarišta i epicentralni intenzitet mogu se odrediti iz karte izoseista, linija koje spajaju mjesta jednakog intenziteta (Lončar i Dasović, 2020). Intenzitet je mjera podrhtavanja (vibracija) tla na određenom području, čiji iznos najviše ovisi o udaljenosti od rasjedne plohe (USGS, 2021). Osim o udaljenosti od žarišta potresa, intenzitet djelovanja na konstrukciju (objekt) ovisi o jakosti potresa u izvoru, lokalnim svojstvima tla te načinu gradnje pogođenih objekata. U počecima određivanja jakosti, odnosno veličine potresa, intenzitet potresa je predstavljao subjektivno viđenje posljedica ponašanja objekata i promjena u krajoliku za vrijeme podrhtavanja Zemlje. Na temelju ljestvice intenziteta, jakost potres se označava stupnjevima intenziteta. Prvu opisanu ljestvicu dao je Pignatoro 1783. godine, a do danas ih je u uporabi bilo trideset osam. U uporabi je danas ostalo svega četiri: Mercalli-Cancani-Siebergova ljestvica (MCS), modificirana Marcallijeva ljestvica (MM), japanska ljestvica i Medvedev-Sponheuer-Karnikova ljestvica (MSK-64) (Šestanović, 1997).

Za razliku od intenziteta koji ima više vrijednosti za svaki potres, magnituda potresa je jedinstvena mjera potresa, te predstavlja jačinu potresa u žarištu opisanu oslobođenom seizmičkom energijom (USGS, 2021). Magnituda potresa se temelji na mjerenju najveće amplitude pomaka tla, koju uzrokuje seizmički val, opažene na nekoj seizmičkoj postaji pomoću instrumenata, jer amplituda vala odražava energiju oslobođenu u žarištu (Lončar i

Dasović, 2020). Dio oslobođene energije trenjem prelazi u toplinu, a dio prelazi u mehaničku energiju seizmičkih valova. Magnitudu, odnosno lokalnu magnitudu, i magnitudnu ljestvicu definirao je Charles F. Richter 1935. godine, te se po njemu ljestvica naziva i Richterovom ljestvicom. Lokalna magnituda se određuje kao dekadski logaritam maksimalne amplitude u odnosu na standardni potres (USGS, 2021). S obzirom da lokalna magnituda ne opisuje dobro jako velike i udaljene potrese, definirane su magnituda prostornih (P i S) valova i magnituda površinskih valova (R i L). Danas, kao najbolja mjera, u uporabi je magnituda seizmičkog momenta koja je razmjerna umnošku površine rasjeda na kojoj je došlo do pomaka krila i veličine samog pomaka rasjeda (USGS, 2021).

2.3. Mjerenja i zapisi potresa

Seizmograf je mjerni instrument pomoću kojeg se mjere i bilježe pomaci tla, smjer i vrijeme trajanja gibanja. Pomake uzrokuju potresi, eksplozije i ostale seizmičke aktivnosti tla. Glavni dijelovi mehaničkog seizmografa su njihalo i kućište. Njihalo služi kao osjetilo pomaka tla, koje zbog inercije za vrijeme potresa nastoji zadržati stanje mirovanja, dok se kućište slobodno giba. Mehanički seizmograf bilježi razliku položaja između njihala i kućišta (USGS, 2021). Danas su u upotrebi elektromagnetski seizmografi, kod kojih se njihalo sa zavojnicom giba u stalnom magnetskom polju unutar kućišta (Hrvatska enciklopedija, 2021). Prilikom gibanja njihala u polju, inducira se napon, a električni signal se pohranjuje na memorijsku jedinicu (Rodriguez, 2020). Radi potpune rekonstrukcije gibanja tla seizmografi istodobno bilježe tri međusobno okomite komponente pomaka tla.

Seizmogram je zapis gibanja tla tijekom potresa u vremenu (vrijeme-pomak graf). Na apscisi se bilježi vrijeme u sekundama, a na ordinati pomak tla, obično u milimetrima (USGS, 2021). Kada nema očitanja potresa, na seizmogramu je vidljiva ravna crta ili male krivulje uzrokovane lokalnim smetnjama ili šumovima. Na seizmogramima su vidljive glavne vrste seizmičkih valova i njihove mnogobrojne modifikacije, koje na seizmološku postaju stižu nakon loma, odbijanja i konverzije na diskontinuitetima u Zemljinoj unutrašnjosti. Vremena nailazaka pojedinih vrsta valova omogućavaju precizno određivanje položaja žarišta kao i uvid u građu dijela Zemlje kroz koji su se valovi rasprostirali. Nekada su se seizmogrami ispisivali na

začađenom papiru, tintom na papiru ili u obliku fotozapisa, a danas se zapisuju u digitalnom obliku (Slika).

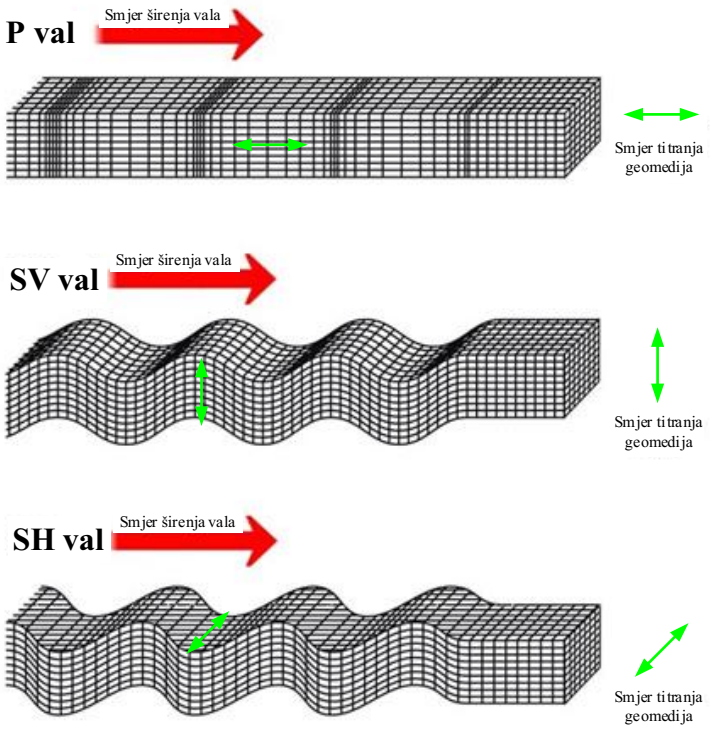
2.4. Seizmički valovi

Seizmički valovi su mehanički valovi koji se šire od svojeg izvora, žarišta, kroz Zemljinu stijensku masu u svim smjerovima. Brzina širenja seizmičkih valova ovisi o elastičnosti i gustoći stijenske mase kroz koji se valovi šire, a prigušenje valova osim o mediju ovisi i o njihovoj valnoj duljini. Potresima nastaju četiri tipa mehaničkih valova (Encyclopedia Britannica , 2012). Dva vala su prostorna, jer putuju kroz čitavu Zemljinu unutrašnjost, dok su druga dva vala površinska, jer se šire samo Zemljinom kamenom korom (Geofizički odsjek, 2020). Prostorni valovi dijele se na primarne P i sekundarne S valove, a površinski valovi dijele se na Loveove R i Rayleighove R valove. Površinski valovi nastaju interakcijom prostornih valova na površini, granici geomedija i zraka.

Primarni P valovi (Slika 6.) su longitudinalni, kompresijski seizmički valovi, ujedno i najbrži seizmički valovi te prvi stižu do seizmoloških postaja (Encyclopedia Britannica, 2012). Fazna brzina P valova prilikom širenja kroz površinske stijene je varijabilna, ovisno o vrsti, dubini i diskontinuiranosti stijenske mase. U astenosferi brzina P vala je oko 6 km/s, a u blizini Zemljine jezgre je oko 14 km/s. Brzina P valova ovisi o gustoći i modulima elastičnosti geomedija. Očekuje se njeno povećanje s porastom dubine (Šestanović, 1997). S obzirom da čestice titraju u smjeru rasprostiranja P vala, uzrokuju kompresiju i ekspanziju sredstva kroz koji se šire. Također, bitno svojstvo P valova je mogućnost njihova širenja kroz čvrste, tekuće i plinovite medije (Perkins, 2018).

Sekundarni ili S valovi (Slika 6.) su transverzalni, posmični valovi kod kojih čestice titraju okomito na smjer rasprostiranja, te su sporiji (prosječno za oko 1,7 puta) u odnosu na P valove (Šestanović, 1997). Prosječna fazna brzina S valova u astenosferi iznosi oko 3,4 km/s, a u dubini, blizu granice s jezgrom iznosi oko 7,2 km/s. S valovi uzrokuju smicanje (posmik) dijelova medija kroz koji se šire (Geofizički odsjek, 2020). S obzirom na geometrijsku orijentaciju titranja čestica, S valovi se dijele na SH i SV valove. SH valovi su transverzalni S valovi polarizirani u horizontalnoj ravnini, a SV valovi su transverzalni S valovi polarizirani u

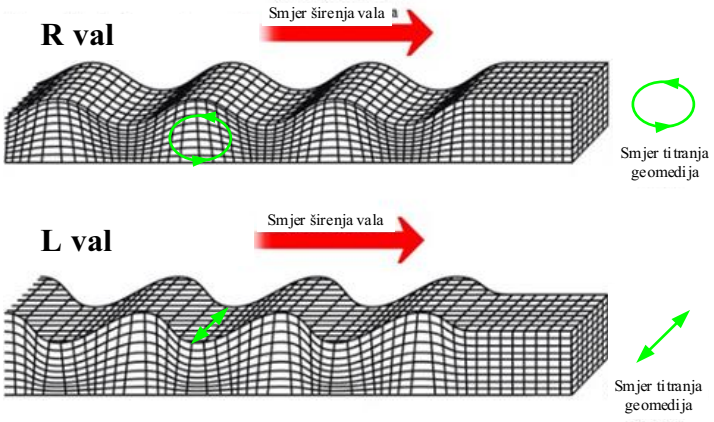
vertikalnoj ravnini u odnosu na smjer rasprostiranja valova (Dondurur, 2018). S valovi se ne mogu širiti kroz tekućine i plinove, već samo kroz čvrste medije (Perkins, 2018).



Slika 6. Vrste i način širenja prostornih valova (Geofizički odsjek, 2020)

Rayleighovi ili R valovi (Slika 7.) su složeni longitudinalni P i transverzalni S valovi. Prilikom širenja R valova čestice geomedija titraju eliptičnom putanjom (Geofizički odsjek, 2020), poput valova na morskoj površini. U odnosu na L valove, R valovi postižu manju brzinu (Science learning hub, 2007). Zbog svoje male fazne brzine, ali velike amplitude, R valovi mogu biti vrlo destruktivni. Širenjem R valova nastaje i zvuk, u seizmologiji poznat pod nazivom „Ground roll“ (Dondurur, 2018).

Loveovi ili L valovi (Slika 7.) su transverzalni S valovi, ali prilikom njihovog širenja čestice geomedija titraju u polariziranoj horizontalnoj ravnini u odnosu na smjer rasprostiranja vala, slično kao kod SH valova (Dondurur, 2018).



Slika 7. Vrste i način širenja površinskih valova (Geofizički odsjek, 2020)

3. Promjene kao predznaci potresa

Fizičke i kemijske promjene u tlu koje prethode otpuštanju velike količine seizmičke energije nazivaju se prethodnicima potresa (prekursori). U prethodnike spadaju brojne pojave i procesi kao što su: slabe vibracije tla izazvane nailaskom P valova, potresna svjetla, povećane emisije plinova, promjene vlažnosti tla, promjene kemijskog sastava podzemnih voda, oscilacije razine podzemnih voda te promjene u električnim i elektromagnetskim poljima.

Istraživači diljem svijeta provode različita istraživanja kako bi utvrdili moguću vezu između pojava promjena u geomediju i same pojave potresa. Da bi se predznaci potresa mogli koristiti kao indikatori nadolazećih potresa, njihove vrijednosti moraju biti mjerljive. Pojedine promjene u tlu, kao što su emisije radona ili promjena vlažnosti, nisu nužno izazvane seizmičkom aktivnošću pa se zbog toga teže identificiraju kao indikatori (predznaci) potresa. Primjerice, razinu promjene vlažnosti tla nije moguće koristiti kao indikator pojave potresa u seizmički aktivnim područjima s učestalim oborinama. Također, pojedine pojave su indirektni predznaci potresa, kao što su to emisije radona koje mogu uzrokovati promjenu električnog polja. Zbog raznih utjecaja na dnevne varijacije pojedinih pojava koje mogu indicirati pojavu potresa, kao što je promjena spektra mikroseizmičkih valova prije i poslije potresa, istraživači su promatrali zapise nekoliko referentnih dana (u većem razdoblju prije i poslije potresa) te ih uzeli kao polazište za usporedbu, radi lakše identifikacije varijacija na zapisima stvarnih događaja potresa (Sović, Šariri i Živčić, 2013). Također, prilikom istraživanja varijacija električnog polja, snimke (zapisi) za vrijeme kišnih dana, nisu uzeti u obzir zbog vremenskog utjecaja na varijacije polja.

U ovom poglavlju prikazuju se promjene zvuka te električnog i geomagnentog polja kao predznaci potresa kroz provedena istraživanja. S obzirom da se ne zna točan proces generiranja njihovih varijacija uzrokovanih seizmičkom aktivnošću, u poglavlju se prikazuju mjerenja i rezultati istraživanja te dani predlošci njihovih istraživača.

3.1. Zvuk kao predznak potresa

Zvuk je mehanički val koji nastaje periodičnim titranjem, odnosno vibriranjem izvora zvuka (Hrvatska enciklopedija, 2021). Vibriranjem izvora u neposrednoj okolici mijenja se tlak medija, te poremećaj tlaka prenosi vibracije na susjedne čestice medija i tako dolazi do širenja zvuka. Zvuk kao predznak potresa je fizikalna promjena u tlu te se ona opisuje kao promjena spektra mikroseizmičkih kompresijskih (P) valova prije potresa. Smatra se da promjene mikroseizmičkih zvukova sadrže informacije o procesima u izvoru potresa te bi se mogle koristiti za identifikaciju indikatora predznaka koji se javljaju blizu izvora u kratkom vremenu prije stvarne pojave potresa (Sović, Šariri i Živčić, 2013).

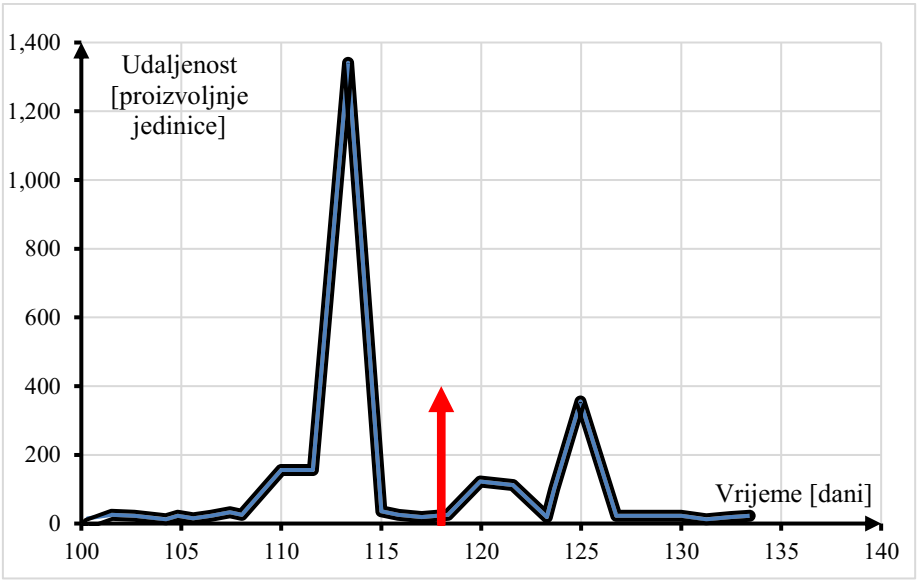
Već od ranije istraživači su pokušali pomoću dijelova spektra mikroseizmičkih zvukova, visokih i niskih frekvencija, definirati predznake potresa. Niske frekvencije mikroseizmičkih zvukova su se koristile za identifikaciju fraktalnih dimenzija rasjeda (Lyubushin, 2009 navedeno u Sović, Šariri i Živčić, 2013). Smatra se da se pomoću te metode 2011. previdio nadolazak Tohoku potresa magnitude 9,0 po Richteru. U Bugarskoj 7. prosinca 1986. prije potresa magnitude 5,7 po Richteru zapažena je kratkotrajna modulacija mikroseizmičkih valova, koja je bila generirana morskim valovima (Leavy, 1992 navedeno u Sović, Šariri i Živčić, 2013). Predloženo je da uzrok infleksiji može biti naprezanje oko lokalnih litosfernih ploča.

Kao predznak potresa interpretiran je i seizmički puls. Seizmički puls identificiran je u seizmičkom zvuku snimljenom prije potresa na Kamčatki 5. prosinca 1997. magnitude 7,7 po Richteru i potresa na Shakalinu 27. svibnja 1995. (Sobolev i Lyubushin, 2006 navedeno u Sović, Šariri i Živčić, 2013). Pulsovi su uobičajeno asimetrične pulsirajuće vibracije u trajanju nekoliko minuta i odvajaju se vremenskim intervalima i od nekoliko desetaka minuta (Sović, Šariri i Živčić, 2013). Istraživači su zaključili da bi uzrok pojave pulsa mogli biti neelastični pokreti uzduž rasjeda u žarištu nadolazećeg potresa.

Prije pojave tektonskih potresa pripremni procesi generiraju mikroseizmičke zvukove niskih frekvencija u rasponu od 2-25 [Hz]. Posljedica generiranja takvih zvukova očituje se u promjeni spektra mikroseizmičkih zvukova. Promjene niskofrekventnih dijelova spektra mikrozeimičkih zvukova mogle bi biti rezultat akustičnih emisija tijekom pripremnog procesa u području žarišta potresa. Akustične emisije bi mogle biti produkt neujednačenog nastajanja i rasta pukotina.

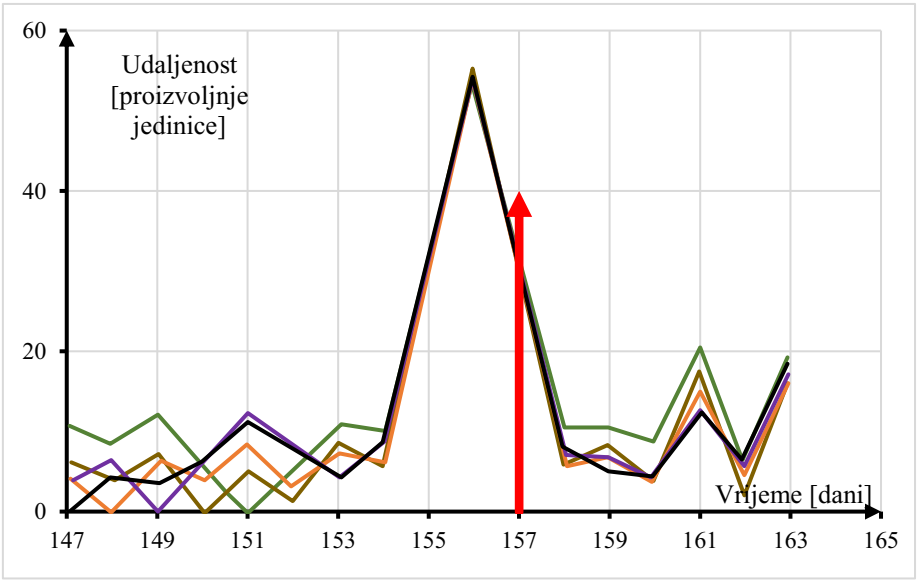
Također, akustične emisije mogle bi biti uzrokovane rastućim brojem seizmičkih pred-udara (engl. foreshocks) koje prati inverzni Omorijev zakon, ali su preslabi da bi bili zabilježeni na seizmografu i da bi bili locirani kao individualni efekti. Omorijev zakon kaže da se učestalost seizmičkih pulsova (udara) u nekoj seriji potresa smanjuje s vremenom (Kagan, 2011). Osim niskih frekvencija mikroseizmičkih zvukova, formiranjem preliminarnih pukotina generiraju se i visoke frekvencije mikroseizmičkih zvukova. Primjerice, prije slabih lokalnih potresa u Gharmu zabilježeni su zvučni pulsovi u rasponu od 200-1000 [Hz] (Hill et al., 1976 navedeno u Buskirk, 1981). Također, prije potresa zabilježeni su akustični zvukovi u rasponu od 500-5000 [Hz] u bunarima na dubinama između 300-1100 [m] u području Kalifornije i Južne Karoline (Teng et al., 1979 navedeno u Buskirk, 1981).

S obzirom da svaka varijacija zvuka mijenja njegov spektar, dovoljno je mjeriti samo promjene u spektru. Na seizmološkim postajama Banja Luka, Kijevo i Čačvina 2011. provedeno je istraživanje, prilikom kojeg su se mjerile promjene spektra visokih frekvencija mikroseizmičkih valova (Slika 8., 9. i 10.) (Sović, Šariri i Živčić, 2013). Radi lakše usporedbe spektra mikroseizmičkih valova, spektar se promatrao kao dvodimenzionalni objekt u predloženoj analizi slike momenata (engl. image moment analysis). Istraživanje je bilo ograničeno na plitke potrese čija je maksimalna udaljenost od seizmološke postaje 15 [km] zato što stijene oslabljuju (prigušuju) prolaz valova visokih frekvencija. Za usporedbu su se koristile dnevne 30-minutne snimke seizmičkih valova uzrokovanih ljudskom aktivnošću i aktivnostima u okolišu (engl. seismic ambient noise). Interval snimanja je bio između 16 i 21 dan, radi izbjegavanja sezonskih varijacija. Niskofrekventni dijelovi spektra se nisu koristili u istraživanju, jer njihova vrijednost većinom ovisi o vremenskim uvjetima, plimi, oseci i morskim valovima. Mjerenja su pokazala veliki pomak reprezentativnih točaka referentnog spektra i spektara zabilježenih dva dana prije potresa (Slika 8., 9. i 10.) (deformacija slike seizmičkog momenta). Rezultati su pokazali da za razliku od drugih spektara, spektar mikroseizmičkih valova se značajno mijenja u vremenskom intervalu dan do dva prije potresa (Sović, Šariri i Živčić, 2013).



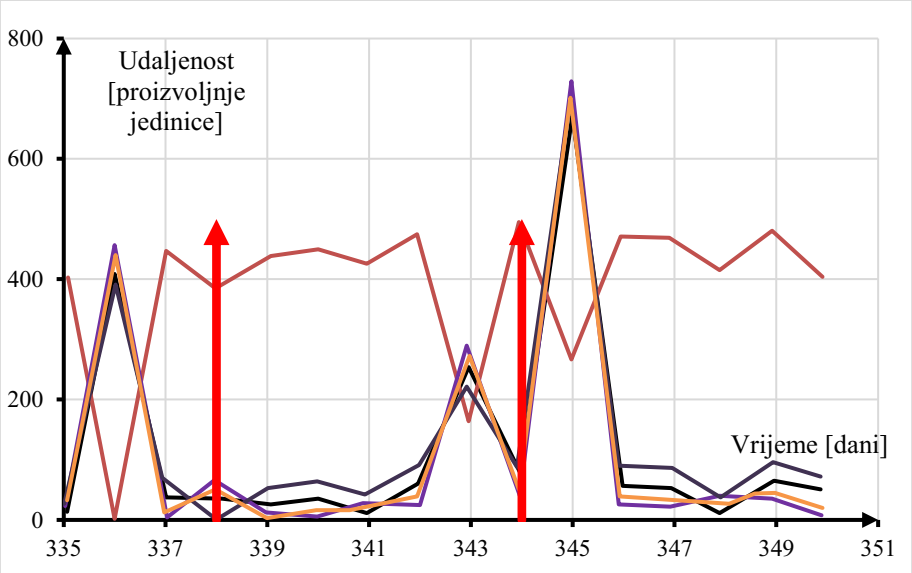
Slika 8. Prikaz „deformacija“ slika seizmičkih momenata (Sović, Šariri i Živčić, 2013)

Mjerna postaja Banja Luka u razdoblju od 18. travnja do 8. svibnja 2011. Vertikalna strelica označava pojavu potresa.



Slika 9. Prikaz „deformacija“ slika seizmičkih momenata (Sović, Šariri i Živčić, 2013)

Mjerna postaja Kijevo u razdoblju od 7. lipnja do 23. srpnja 2011. Vertikalna crvena strelica označava pojavu potresa.



Slika 10. Prikaz „deformacija“ slika seizmičkih momenata (Sović, Šariri i Živčić, 2013)

Mjerna postaja Čačvina u razdoblju od 1. prosinca do 16. prosinca 2011. Vertikalnae crvene strelice označava pojavu potresa.

Pojedini zvukovi koji nastaju prije potresa nisu direktna posljedica popuštanja naprezanja u Zemljinoj kori, već nastaju kao slijed procesa pokrenutih povećanjem naprezanja.

Prilikom pomicanja Zemljine kore dolazi do promjena u ionosferi koje utječu na fluktuaciju ukupnog sadržaja (količine) elektrona (Garstang i Kelley, 2017). Ta se fluktuacija (engl. Slant Total Electron Content, STEC) mjeri se pomoću dvije frekvencije koje se transmitiraju GPS satelitima prema Zemljinoj površini. Vremenska razlika kašnjenja jednog signala u odnosu na drugi je direktno proporcionalna količini elektrona između satelita i tla. Vidljive (mjerljive) promjene ukupnog sadržaja elektrona uzrokovane su stvaranjem električnih polja koja generiraju pomaci Zemljine kore, a prethode potresima te se bilježe GPS postajama na Zemlji. Takvi signali se usmjeravaju Zemljinim magnetskim poljem, a putuju brzinom svijetlosti u ionosferu. U ionosferi se pomaci kore manifestiraju u obliku fluktuacije (kolebanja) ukupnog sadržaja elektrona. Pri dolasku na Zemljinu površinu signali nemaju oblik ni prirodu zvučnih valova, ali uzrokuju vibracije metala, stakla i drugih površina (Garstang i Kelley, 2017). Vibracije koje nastaju procesom elektrofonije generiraju čujne zvukove u rasponu frekvencija

između 20 i 20 000 [Hz]. Elektrofonija je proces nastanka zvuka uzrokovan vibracijama niskofrekventnih elektromagnetskih valova na površinama elektrovodljivih objekata.

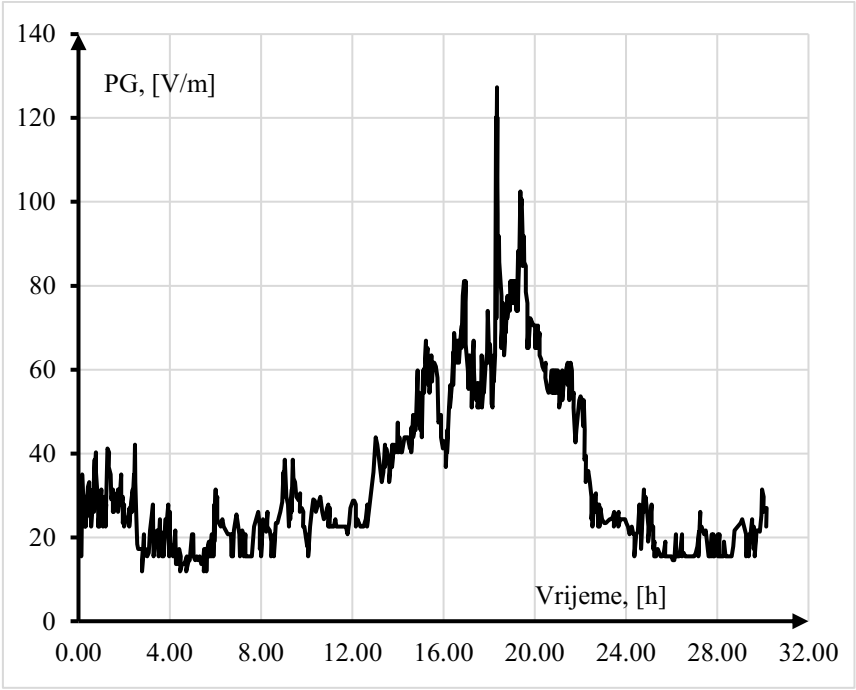
3.2. Varijacije Zemljinog električnog polja

Mnogi istraživači smatraju da su promjene električnog polja Zemlje predznaci potresa. Primjerice, zabilježene su nagle promjene u epicentralnom području, nekoliko dana prije pojave potresa magnitude 6,0 po Richteru 1968. na Kamčatki. Zabilježene promjene horizontalne komponente električnog polja iznosile su više od $3 \cdot 10^{-4}$ [V/m], dok dnevne varijacije električnog polja u tom području nisu prelazile više od $6 \cdot 10^{-5}$ [V/m] (Fedotov et al., 1977 navedeno u Buskirk, 1981). Većina promjena električnog polja pojavila se u vremenskom intervalu između 0-8 sati prije potresa. U Kini su 1975. zabilježene promjene električnog potencijala koje su prethodile razornom potresu u Haichengu magnitude 7,3 po Richteru. Na udaljenosti 25 [km] od epicentra potresa, zabilježene su postepene promjene od $3 \cdot 10^{-3}$ [V/m] u vremenskom intervalu od mjesec dana prije potresa. Nagli pad je zabilježen neposredno prije potresa, a nakon potresa promjene potencijala bile su manje od $5 \cdot 10^{-4}$ [V/m] (Rayleigh et al., 1977 navedeno u Buskirk, 1981). U blizini Pekinga provedeno je kontinuirano istraživanje u trajanju od 20 godina prilikom kojeg se promatralo kvazi-statičko električno polje. Istraživanje je pokazalo da su promjene električnog polja imale negativan oblik krivulje s amplitudom do 500 [V/m], i širinom od nekoliko minuta do deset sati (Hao, Tang i Li, 1998 navedeno u Smirnov, 2019). Promjene su se zbivale 2 do 40 dana prije potresa magnituda većih od 5,0 po Richteru te se njihova odsutnost podudarala sa seizmičkim mirovanjem. Trajanje i amplituda promjena električnog polja bili su proporcionalni s magnitudom potresa (Hao, Tang i Li, 1998 navedeno u Smirnov, 2019).

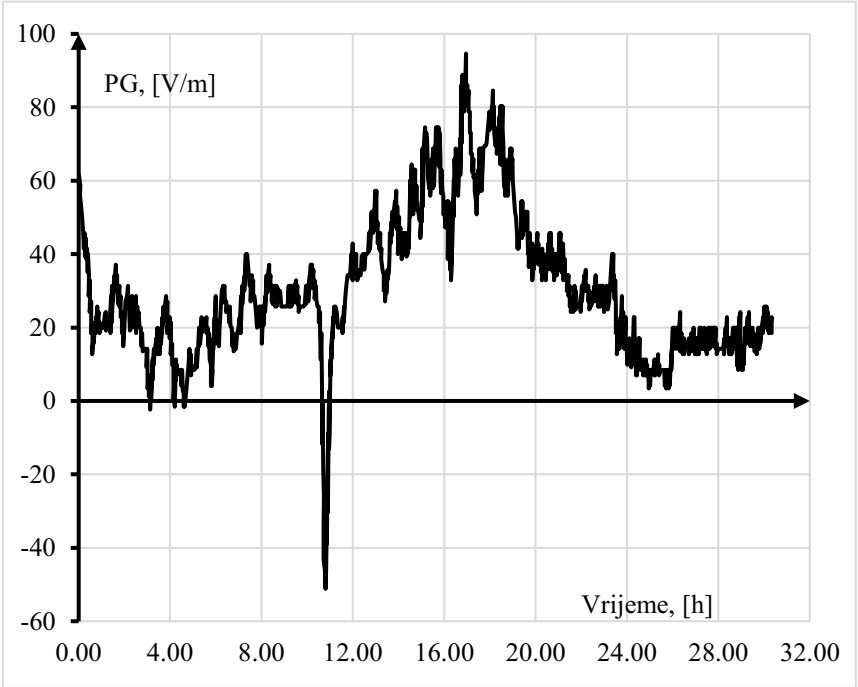
Ionosfera je pozitivno nabijena, a tlo je električki negativno nabijeno. Prilikom „lijepog“ vremena, gradijent električnog potencijala atmosfere u blizini Zemljine površine iznosi 100 [V/m] (Smirnov, 2019). Negativna vrijednost gradijenta za „lijepog“ vremena, u odsutnosti kišnih oblaka i magnetskih oluja, smatra se anomalijom. Kao uzrok negativnog gradijenta prepoznaju se emisije radioaktivnih plinova iz površinskih slojeva tla. Smatra se da je ionizacija zraka, uzrokovana emisijama radona u atmosferu prije potresa, glavni izvor anomalija, odnosno promjena električnog polja (Pulinets et al., 1997 navedeno u Smirnov, 2019). Porast električnog

napona u zraku blizu površine, zbog emisije radona ili iona emitiranih iz naprezanjima opterećenih stijena, konzistentan s redukcijom gradijenta električnog (Pierce, 1976 navedeno u Smirnov, 2019). Emisije radona uzrokuju formiranje „long-living“ ionske komplekse suprotnih naboja u površinskom sloju atmosfere. Pod utjecajem prirodnog atmosferskog električnog polja, tok pozitivnih iona teži k Zemljinoj površini radi rekombinacije. Zbog njihove slabe mobilnosti, na površini se formira prostorni sloj pozitivnih iona. Prilikom stvaranja takvog sloja negativni ioni se pomiču vertikalno prema gore. Takvim procesom u blizini tla nastaje elektrodni sloj zajedno s lokalnim električnim slojem te dolazi do oslabljenja prirodnog atmosferskog električnog polja (Smirnov, 2019).

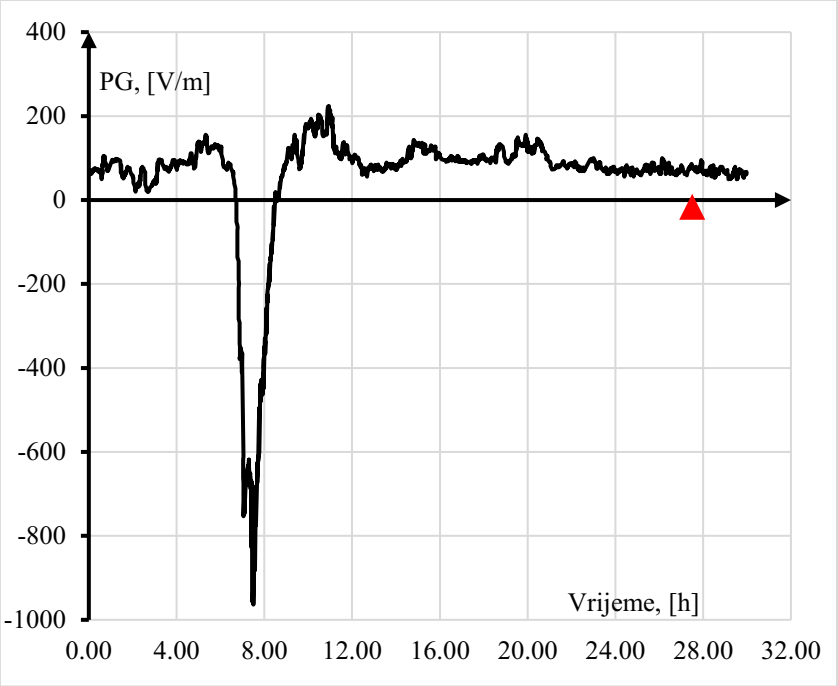
Provedeno je istraživanje u kojem se pokušalo procijeniti učinkovitost promjena električnog polja, uzrokovanih emisijama radona, kao predznaka potresa (Smirnov, 2019). Ispitivanja su provedena na području Kamčatke u razdoblju između 1. siječnja 1997. i 31. prosinca 2002. Za ispitivanje i statističku obradu koristili su se samo podaci prikupljeni za „lijepog“ vremena. Prilikom istraživanja mjeren je iznos gradijenta električnog potencijala u vremenu (Slika 11., 12. i 13.). Tijekom istraživanja zabilježene su 103 anomalijske promjene. U 37 slučaja, nakon pojave anomalija zabilježena je pojava potresa u intervalu između 1-24 sata od njene pojave. Sveukupno je zabilježeno 409 seizmičkih događaja (jedan ili više potresa lokalne magnitude manje od 4,0 po Richteru) u 2189 dana (vremenskih jednakih intervala). Rezultati su pokazali da učinkovitost ove metode iznosi 10% za bilo koje vremenske prigode (Smirnov, 2019).



Slika 11. Prikaz specifične dnevne varijacije gradijenta jakosti električnog polja za „lijepog“ vremena bez anomalija (Smirnov, 2019)



Slika 12. Prikaz dnevne varijacije gradijenta jakosti električnog polja za „kišnog“ vremena bez anomalija (Smirnov, 2019)



Slika 13. Prikaz gradijenta jakosti električnog polja za „lijepog“ vremena uz prisutnost anomalija pozitivnog gradijenta (Smirnov, 2019)

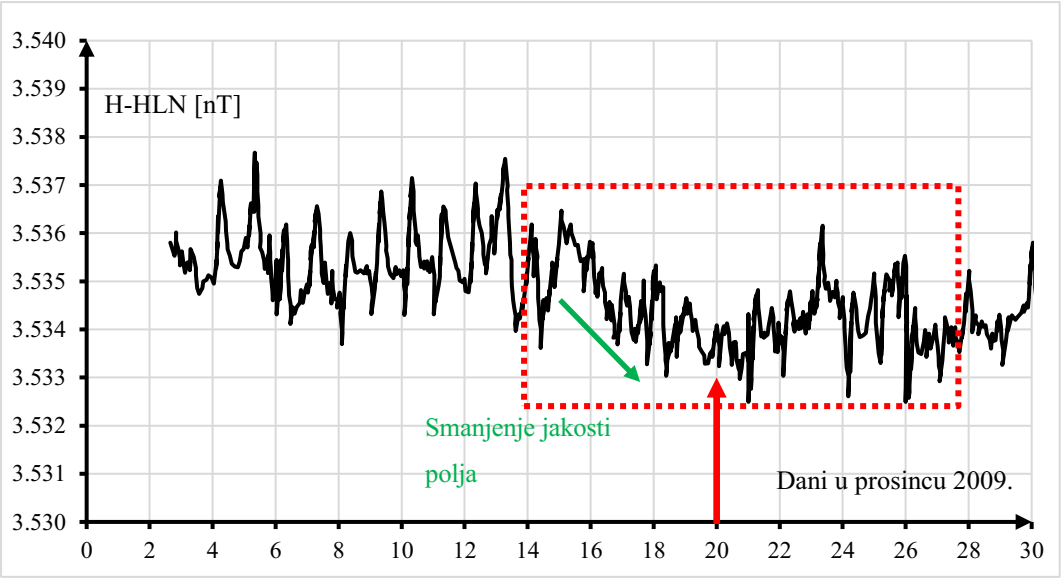
Vertikalna strelica označava pojavu potresa

3.3. Varijacije Zemljinog elektromagnetskog polja

Brojna istraživanja su pokazala da se elektromagnetska zračenja kao predznaci potresa pojavljuju u širokom spektru frekvencija, od nekoliko Hz do nekoliko MHz (Hayakawa i Fujinawa, 1994 navedeno u Joshi at al., 2017). Pred-potresne anomalije se često bilježe na mjernim postajama u blizini epicentra potresa (Hattori, 2004 navedeno u Joshi at al., 2017). Smatra se da su geomagnetske anomalije uzrokovane tokom inducirane struje u rasjednom području tijekom pripremnog razdoblja potresa (Merzer i Klemperer, 1997 navedeno u Joshi at al., 2017). Jakost ukupnog geomagnentog polja Zemlje na njenoj površini nije konstanta, već postoji nekoliko uzroka koji utječu na varijacije njegovog intenziteta (Takala et al., 2011). U odnosu na Zemljinu površinu, izvori varijacija mogu biti vanjski i unutarnji. Vanjski izvori varijacija su solarni vjetar i magnetosfera, a unutarnji izvori varijacija su procesi inducirane i zaostale magnetizacije unutar Zemljine litosfere (Mandea i Purucker, 2005 navedeno u Takala et al., 2011). Tijekom tektonskih procesa, promjene mehaničkih svojstva litosfere uzrokovane

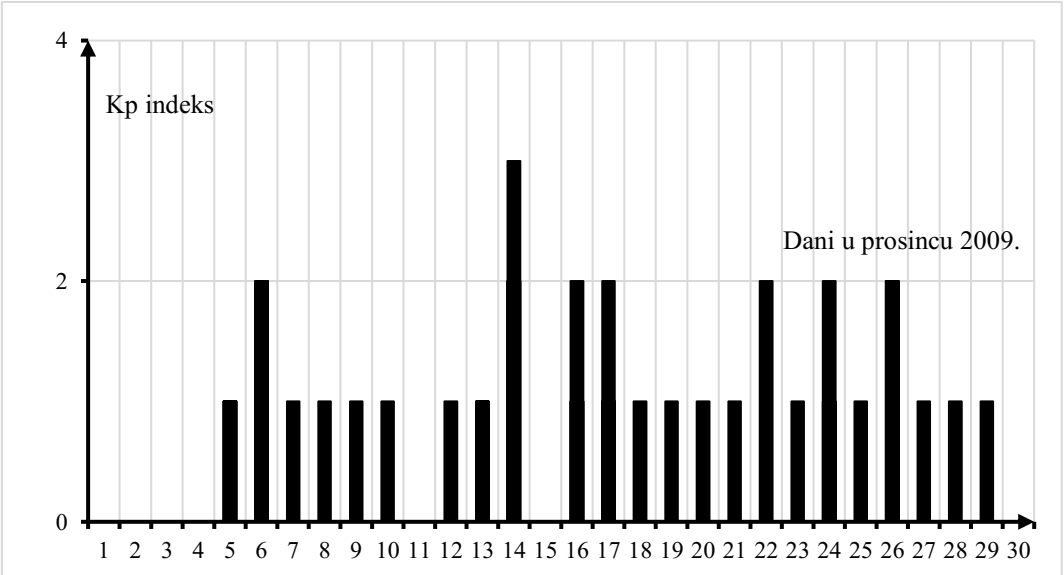
naprezanjima mogu generirati geomagnetske varijacije Zemljine kore. Osim s udaljenosti od epicentra potresa, amplituda tih anomalija može biti u korelaciji s magnitudom potresa (Hattori, 2004 navedeno u Takala et al., 2011).

Skupina istraživača ispitivala je poveznicu između geomagnetskih anomalija i seizmičkih aktivnosti. Za istraživanje su se koristili geomagnetski podaci snimljeni na postaji Hualien, da bi se utvrdila poveznica geomagnetskih anomalija i Tajvanskog potresa magnitude 6,4 po Richteru koji se dogodio 19. prosinca 2009 (Takala et al., 2011). Geomagnetski podaci su prikupljani pomoću fluxgate magnetometra, koji može mjeriti geomagnetske fluktuacije malih amplituda. Pomoću tri senzora, postavljenih uzduž triju ortoganlnih osi, takav magnetometar mjeri tri prostorne komponente geomagnetskog polja: H – u pravcu sjever-jug, D – u pravcu istok-zapad i vertikalnu Z komponentu polja. Vrijednost H-komponente uspoređena je s vrijednostima Dst i Kp indeksa. Dst indeks je indeks magnetske aktivnosti izveden iz (satnih) vrijednosti varijacija horizontalnog magnetskog polja na zemljopisnim širinama blizu ekvatora (engl. electrojet, NOAA, 2010). Kp indeks je srednja standardizirana vrijednost K indeksa s 13 geomagnetskih postaja između 44 i 60 [°] sjeverne ili južne zemljopisne širine, koja prikazuje magnetsku aktivnost u intervalu od 3 sata, u odnosu na pretpostavljenu krivulju „mirnog“ dana (NOAA, 2010). Tjedan dana prije pojave potresa zabilježen je abnormalan pad vrijednosti H-komponente (Slika 14.), dok za Dst i Kp indekse nije bilo zabilježenih abnormalnih varijacija vrijednosti (Slika 15. i 16.). Usporedba podataka pokazuje kako promatrane fluktuacije H-komponente nisu imale vanjski izvor, već unutarnji seizmički izvor.

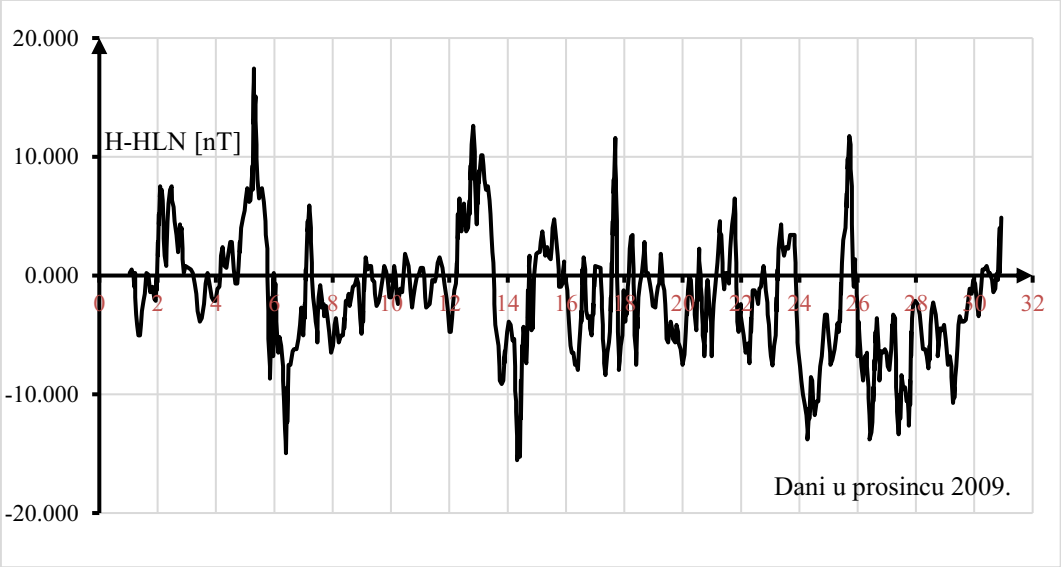


Slika 14. Prikaz abnormalne varijacije H-komponente geomagnetnog polja (crveni pravokutnik), prije i poslije pojave potresa (Takala et al., 2011)

Varijacija H-komponente ukazuje da je izvor promjena geomagnetnog polja unutarnji izvor. Crvena strelica označava pojavu potresa.



Slika 15. Prikaz vrijednosti Kp indeksa koja pokazuje odsutnost vanjskih izvora varijacija geomagnetnog polja za vrijeme pojave potresa (Takala et al., 2011)



Slika 16. Prikaz vrijednosti DST indeksa koja pokazuje odsutnost vanjskih izvora varijacija geomagnetnog polja za vrijeme pojave potresa (Takala et al., 2011)

Osim fluktuacija komponenta geomagnentog polja, zabilježene su anomalijske emisije elektromagnetskih signala ultra-niskih frekvencija . Za objašnjenje njihovih pojava predloženo je nekoliko mehanizama koji ih generiraju. Prvi mogući mehanizam je takozvani piezo-magnetni efekt, prilikom kojeg se stvara sekundarno magnetsko polje zbog promjene magnetizacije stijena prilikom promjena naprezanja (Hayakawa, et al., 1996 navedeno u Takala et al., 2011). Drugi mogući mehanizam je proces mikro-frakturiranja koji se javlja zbog otpuštanja naboja na stijenkama mikro-fraktura odnosno pukotina (Molchanov i Hayakawa, 1995 navedeno u Takala et al., 2011). Treći mogući mehanizam je elektrokinetički efekt koji se javlja uslijed difuzije vode kroz stijene opterećene naprezanjima ili toka podzemnih voda u rasjednim zonama (Fitterman, 1979 navedeno u Takala et al., 2011). Također je predloženo objašnjenje da uzrok generiranju elektromagnetskih signala ultra-niskih frekvencija može biti formiranje visoko (električki) provodljivog sloja uzduž rasjedne zone (Merzer i Klemperer, 1997 navedeno u Takala et al., 2011).

4. Abnormalno ponašanje životinja prije potresa

Abnormalnim ponašanjem se smatra svako ponašanje životinja koje je drugačije u naravi od onog ponašanja koje je promatrano u divljini (Lutz, Williams i Sharp, 2013). Abnormalno ponašanje nije nužno suprotno normalnom ponašanju, već se normalno od abnormalnog može teško odvojiti. Takvo ponašanje se javlja kod životinja u zatočeništvu, kućnih ljubimaca, domaćih životinja u proizvodnom okruženju i divljih životinja u zoološkom vrtu te kod životinja u divljini (Vivjora, 2017).

Kod životinja u zatočeništvu do pojave abnormalnog ponašanja najčešće dolazi zbog nepoštivanja dobrobiti životinja koja se zasniva na načelu „pet sloboda“: sloboda od žeđi, gladi ili pothranjenosti, sloboda od toplinske ili fizičke nelagode, sloboda od boli, ozljede ili bolesti, sloboda od straha ili nesreće, sloboda izražavanja normalnog ponašanja (Škrivanek, 2016). Također, uzrok pojavi abnormalnog ponašanja kod životinja u zatočeništvu može biti ograničeni životni prostor. Takvo ponašanje kod životinja u zatočeništvu naziva se i stereotipnim ponašanjem. Abnormalno ponašanje se očituje ponavljanjem jednih te istih radnji koje nemaju nekakvu određenu funkciju (Waring, 2003 navedeno u Mišanec, 2014). Specifični oblici takvog ponašanja kod domaćih životinja u proizvodnji, primjerice kod konja su: njihanje, griženje samog sebe, ritanje po štali, gutanje zraka, kopanje i grebanje po podu itd. (Mišanec, 2014). Kod krava primjeri takvog ponašanja su: isisavanje vlastitog vimena, opiranje mužnji, sustezanje mlijeka, neprestano ritanje te uvrtanje jezika (Vivjora, 2017). Kod svinja, osim njuškanja trbuha, jedno od specifičnih abnormalnih ponašanja je kanibalizam koji se očituje griženjem repova i ušiju među svinjama te ubijanjem vlastite prasadi nakon rođenja (Škrivanek, 2016).

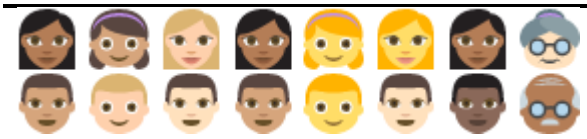
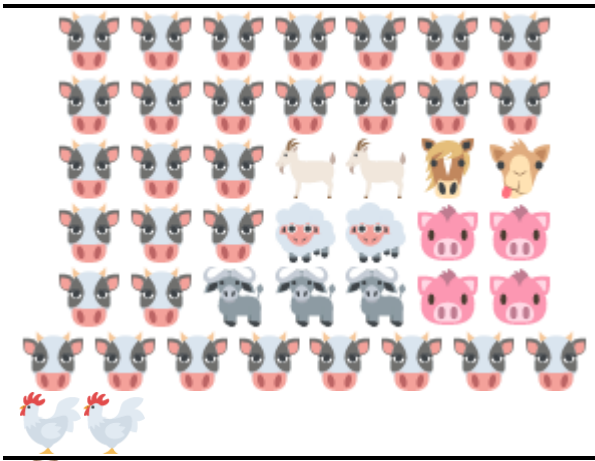
Abnormalno ponašanje kod životinja u divljini najčešće je vezano uz neku naglu promjenu u njihovom životnom okruženju, primjerice uz pojavu potresa. Za abnormalno ponašanje životinja prije potresa moglo bi se reći da je neuobičajeno ponašanje, jer ono je zapravo normalna reakcija životinja na takvu vrstu pojava. Čovjek kao promatrač nema priliku vidjeti takvo ponašanje pa ga onda opisuje kao abnormalno. Takvo ponašanje životinja može se javiti u različitom vremenu prije potresa. Neke životinje pokazuju abnormalno ponašanje neposredno prije potresa, dok ga neke životinje pokazuju tjednima prije potresa. Osim različitog vremena, različite skupine životinja pokazuju različite znakove abnormalnog ponašanja. Unutar jedne

životinjske vrste, svaka jedinka može pokazati različito ponašanje ovisno o njezinoj starosti, spolu i zdravstvenom stanju (Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014).

Na različito ponašanje unutar jedne vrste također utječe geografski položaj i seizmička aktivnost područja. Primjerice, kod kućnih ljubimaca je primijećena pojava straha prema vlasnicima, agresivno ponašanje, neuobičajeno glasanje, povećana aktivnost kretanja te bježanje iz domova. Postavljena je teza da neposredno prije pojave potresa kućni ljubimci, psi i mačke bježe iz svojih domova pa su znanstvenici pokušali utvrditi korelaciju između povećanog broja oglasa za izgubljene/nestale životinje i pojave potresa (Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014).

Domaće životinje koje čine 43-45% „mokre biomase“ (Slika 17.) i najbrojnija su skupina životinja koje pokazuju abnormalno ponašanje. Kućni ljubimci i domaće životinje prije potresa pokazuju strah prema vlasnicima te agresivno i uznemireno ponašanje. Također, zabilježeni su brojni pokušaji bježanja i oslobađanja iz zatočeništva na farmama, napuštanje ugroženog i odlazak na sigurnije područje.

Za razliku od kućnih ljubimaca i domaćih životinja, divlje životinje su pokazale gubitak straha od ljudi, a njihovo ponašanje se opisuje kao zbunjeno i dezorijentirano (Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014). Postoje primjeri da su se divlje životinje prije potresa pojavile u naseljenim područjima te kako su prilazile ljudima bez imalo straha. Neke životinje, poput štakora, moglo se s lakoćom uhvatiti rukom, bez opiranja same životinje što je veoma neobično i neprirodno. Očito da su ljudi bili daleko manja prijetnja od one predstojeće.

	Svi ljudi 16/100
	Svi kućni ljubimci 1/100
	Sve životinje iz uzgoja za agrikulturne i industrijske potrebe 45/100
	Svi divlji sisavci 1/100
Sav preostali život	37/100

Slika 17. Raspodjela mokre biomase. Jedna naljepnica = 25 Mt žive vage. Biomasa je mjerilo raširenosti vrste (uzima se u obzir broj jedinki i veličina prosječne jedinke)

4.1. Povijest abnormalnog ponašanja životinja prije potresa

Prvi zapisi o abnormalnom ponašanju životinja nastali su 373. godine pr. n. e. u antičkoj Grčkoj (Mott, 2003). Povjesničari su zabilježili kako su razne životinje uključujući lasice, štakore i zmije, napustile područje starogrčkg grada Helicea nekoliko dana prije razornog potresa.

Brojni primjeri abnormalnog ponašanja zabilježeni su kroz povijest. Stare civilizacije poput Japana i Kine, svjedočile su mnogim snažnim potresima i životinjskom ponašanju koje se nastojalo međusobno povezati (Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014). Povezanost potresa i životinjskog ponašanja može se vidjeti u folklornoj predaji. Prema Japanskoj mitologiji za nastanak potresa bio je odgovoran divovski som Namazu (Cartwright, 2017). Vjerovalo se da biće koje živi ispod Zemlje plivajući kroz podzemna mora i rijeke uzrokuje snažne potrese. Postoje brojni primjeri kada je neuobičajeno ponašanje somova primijećeno neposredno prije potresa. Dan prije velikog Edo potresa 1855. godine, primijećeno je da somovi iskaču iz jezera površinu (Musha, 1957 navedeno u Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014). Nekoliko dana prije Kanto potresa 1923. godine, u centru Tokija somovi su uskakivali tamošnjim stanovnicima u košare za pranje rublja. A samo dan prije potresa u jezeru, također u centru grada, primijećeno je da somovi perajama glasno pljuskaju po površini vode (Deshpande, 1986). U eksperimentalnom centru za ribarstvo u Tokiju promatrala se skupina somova od 10 jedinki u razdoblju od prosinca 1977. godine do srpnja 1978. godine u svrhu predviđanja potresa. Somovi su pokazivali povećanu aktivnost u noćima prije potresa. Prosječna aktivnost je bila 5 do 6 krugova u bazenu, dok bi se u noći prije povećala 10 puta (60-ak krugova) (Deshpande, 1986).

Abnormalno ponašanje životinja uzeto je u obzir 1975. godine kada su kineski seizmolozi vjerovali da će snažan potres pogoditi područje grada Haichenga. Potres jačine 7,3 magnitude po Richteru uslijedio je 4. veljače 1975. godine. Nekoliko dana do dan prije potresa mnoge su divlje i domaće životinje pokazale znakove abnormalnog ponašanja (Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014). No jedno od zanimljivijih pojava svakako je bio prekid hibernacije kod zmija. U prosincu 1974. i siječnju 1975. godine, u vremenskom razdoblju od oko mjesec i pol dana prije potresa primijećeno je da zmije napuštaju svoja podzemna staništa i izlaze na smrznuto tlo (Deshpande, 1986). S obzirom da je tada prosječna temperatura bila ispod nule, zmije su ugibale od hladnoće. Pronađeno je oko 100 jedinki zmija, što je činilo mali dio populacije zmija

južnog dijela pokrajine Liaoning, ali i dalje je bilo teško objasniti takvo ponašanje (Wang et al., 2006).

Abnormalno ponašanje životinja ne mora biti sucidalno, već je to posljedica nagona za preživljavanjem. Dan poslije Božića, 26. prosinca 2004. godine tsunami uzrokovan potresom u Indijskom oceanu odnio je prema procjeni oko 230 000 ljudskih života (Roos, 2018). Potres magnitude 9,0 po Richteru dogodio se 160 km sjeverozapadno od obale Sumatre. Slonovi u Phuketu na Tajlandu i u Nacionalnom parku Yala na Šri Lanci, udaljeni više od 1000 km od Sumatre, prije dolaska tsunamija sklonili su se na povišene predjele (Garstang i Kelley, 2017). Ni jedan slon nije stradao niti je bio ozlijeđen. Osim kod slonova, abnormalno ponašanje bilo je zapaženo koda pasa, flaminga i životinja u zoološkom vrtu (Mott, 2005). Prije dolaska cunamija psi su odbijali izaći iz kuća. Jata flaminga su napustila svoja mjesta parenja i sklonila su se na viša područja. Životinje u zoološkom vrtu su se sklonile u svoje nastambe koje nisu htjele napustiti. Plaža pogođena tsunamijem se rasprostire na površini od 1300 km^2 i dio je Nacionalnog parka Yala. Dom je raznolikom životinjskom svijetu uključujući slonove, leoparde i preko 130 vrsta ptica. Osoblje parka na plaži je pronašlo samo stradale jedinke bivola (Mott, 2005), što upućuje da se većina životinja sklonila pred tsunamijem na vrijeme.

Navedenim primjerima abnormalnog ponašanja zajednička je činjenica da je ono uočeno i povezano s potresima tek post festum. Američka biologinja Rachel Grant 2009. godine istraživala je koloniju žaba krastača, vrste *Bufo bufo,* za vrijeme parenja (Grant et al., 2011). Istraživanje je provodila u malom jezeru San Ruffino u Italiji nedaleko od grada L'Aquila, odnosno 74 km sjeverno od epicentra potresa koji je uslijedio. Pet dana prije potresa magnitude 5,0 po Richteru, 96% promatrane populacije krastača napustilo je mjesto parenja, što je bilo veoma neobičan događaj (Tributsch, 2013). Nakon svih seizmičkih događaja i nakon posljednjih post-šokova, krastače su se vratile u jezero.

Zanimljivo je spomenuti događa novijeg datuma na području Hrvatske. Zabilježeno je abnormalno ponašanje mačaka neposredno prije Zagrebačkog potresa 22. ožujka 2020. magnitude 5,5 po Richteru (Markušić et al., 2020). Nekoliko sekundi prije samog potresa, nadzorna kamera na zgradi Medicinskog fakulteta u Zagrebu, snimila je nekoliko mačaka kako istrčavaju iz zgrade na otvoreno dvorište (Slika 18.)(Jutarnji.hr, 2020).



Slika 18. Izrezak snimke kamere Medicinskog fakulteta u Zagrebu. Crvenim kružnicama označeni su obrisi životinja (mačaka) u trku (Jutarnji.hr, 2020)

4.2. Životinjska osjetila

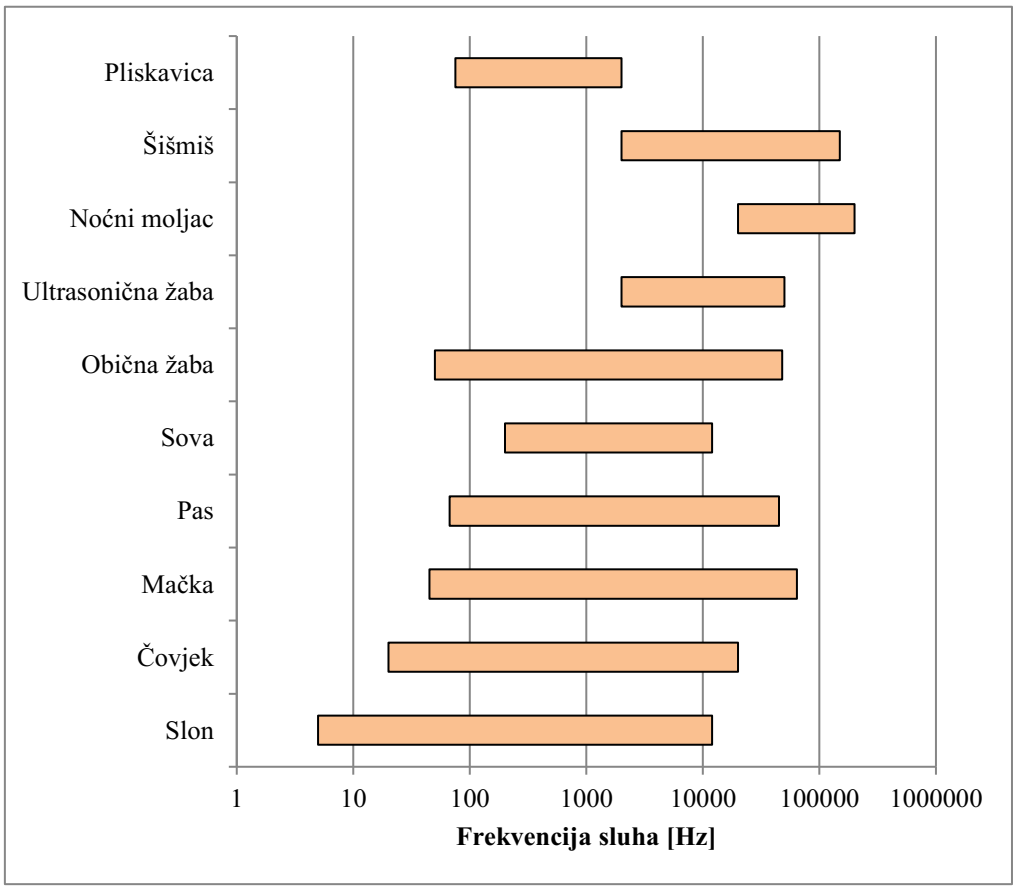
Životinje imaju (evolucijsku) sposobnost prilagodbe na okoliš i nagon za preživljavanje u njemu. U tome im pomažu njihova dobro razvijena osjetila, odnosno receptori. Pomoću receptora za ravnotežu, sluh, dodir, njuh, okus, vid, toplinski vid te elektroreceptora i magnetoreceptora, životinje detektiraju signale izvan raspona ljudskih osjetila. Primjerice, rakovi imaju dlačice na nogama koje im omogućuju detekciju morskih struja i vibracija, dok ribe imaju razvijene osjetilne receptore za detekciju promjene hidrostatskog tlaka (Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014). Slonovi koriste infrazvukove u području manjem od 20 [Hz] za komunikaciju na daljinu. Komunikacija je vrlo važna za njihovu reprodukciju i izbjegavanje predatora. Za razliku od slonova, šišmiši koriste ultrazvukove u rasponu 2-200 [kHz] (Garstang i Kelley, 2017). Za usporedbu, ljudsko čujno područje nalazi se u rasponu između 20 i 20 000 [Hz] (Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014).

Proučavanje „mehanizama“ životinjskih osjetila omogućava čovjeku uvid u životinjsko „doživljavanje“ svijeta i razumijevanje njihovog ponašanja (Burnett, 2011). Također, takva istraživanja mogu otvoriti nove poglede na događaje u prirodi, primjerice detekcijom signala u infra i ultra područjima, kao što to može pseći njuh koji je 1 000 000 puta osjetljiviji od ljudskog (Olender et al, 2004 navedeno u Burnett, 2011).

Osim detekcije signala koji nisu u rasponu ljudskih osjetila, životinje mogu detektirati i one signale za koje ne postoje ili nisu razvijeni receptori kod čovjeka, primjerice receptori za detekciju električnog i magnetskog polja (Burnett, 2011). Primjerice, ono što čovjeku predstavlja mir i tišinu za životinje može biti serija zvukova kojoj varira kvaliteta, jakost i razina jakosti. Mnoge životinje mogu detektirati vibracije u njihovom okolišu koristeći se razvijenim strukturama (bio-sustavima) za njihovu detekciju (Burnett, 2011). Najčešći organ za detekciju vibracija kod životinja je uho. Osim uha, kod životinja i ljudi drugi organ za detekciju vibracija je koža. Kod životinja, osjet dodira je daleko izraženiji nego kod ljudi. Životinjska koža, dlaka i stopala vrlo efikasno prenose vibracije iz okoline. Mnoge životinje mogu proizvoditi/detektirati zvukove velikog raspona frekvencija, od zvukova u infrazvučnom području do zvukova u ultrazvučnom području (Slika 19.), biotičkog i abiotičkog izvora (Garstang i Kelley, 2017). U biotičke izvore spadaju međusobni utjecaji živih bića u

ekosustavu, a u abiotičke spadaju svi kemijski i fizički segmenti ekosustava koji utječu na živa bića (Azevedo et al., 2015).

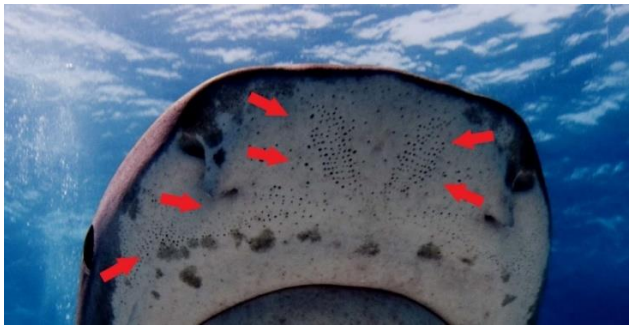
Infrazvukovi se nalaze u niskofrekventnom području do 20 [Hz], a mogu prijeći velike udaljenosti kroz tlo i zrak pa omogućavaju primjerice krdu slonova povezanost i na udaljenostima od nekoliko desetaka kilometara (McComb et al. 2003 navedeno u Burnett, 2011). Ultrazvukovi se nalaze u području frekvencija većih od 20 [kHz]. Kitovi, glodavci, šišmiši, žabe i insekti su neke od životinjskih vrsta koje koriste ultrazvuk u različite svrhe, uključujući komunikaciju, izbjegavanje predatora i eholokaciju.



Slika 19. Raspon frekvencije sluha (Burnett, 2011)

Sposobnost za odziv na električne podražaje imaju sve stanice. Ipak samo kralježnjaci posjeduju specijalizirane senzorske sustave za pretvaranje prostornog električnog polja iz okoline u akcijske potencijale (promjena transmembranskog potencijala stanice kao odziv na

depolarizciju) (?). Pomoću senzorskih stanica i organa za detekciju električnog polja pretvaraju se električni potencijali u informacije koje se preko živčanih vlakana prenose u središnji živčani sustav (Albert i Crampton, 2005). Osim sposobnosti detekcije električnih polja, poznato je da određene vrste riba pomoću specijaliziranih električnih organa mogu generirati vlastita koordinirana električna polja. Sposobnost životinja pomoću koje detektiraju električna polja i stvaraju „električnu sliku“ žive i nežive prirode oko sebe naziva se elektrorecepcija (Crampton, 2019). Za elektrorecepciju zaduženi su elektreceptorni organi (Slika 20.) koji se dijele prema obliku na ampularne i gomoljaste. Tok električne struje zahtjeva provodljiv mediji, stoga su sve vrste koje posjeduju sposobnost elektrorecepcije vodene, uz iznimku jednootvora (sisavci koji ležu jaja) koji posjeduju elektroreceptore na njušci. Elektrorecepcija se dijeli na pasivnu i aktivnu. Životinje koje posjeduju sposobnost pasivne elektrorecepcije ne generiraju vlastito električno polje, već pomoću ampularnih receptora detektiraju niskofrekventne, općenito slabe, električne signale emitirane iz neživih izvora ili živog tkiva (Albert i Crampton, 2005). Ampularni organi hrskavičnjača (morskih pasa i raža) najosjetljiviji su na frekvencije između 1 i 8 [Hz] (Montgomery, 1984 navedeno u Albert i Crampton, 2005). Za razliku od pasivne, aktivna elektrorecepcija je sposobnost kod koje „električne“ ribe generiraju vlastita električna polja iz vlastitih organa (Lissmann, 1951 navedeno u Albert i Crampton, 2005). Tako generirana polja su slaba električna polja, manja od 1 [V], a električne ribe ih koriste za lov, obranu, orijentaciju i komunikaciju.



Slika 20. Elektroreceptori na njušci morskog psa (Science learning hub, 2011)

Crvene strelice označuju elektroreceptore.

Mnoge životinje imaju sposobnost detekcije magnetskog polja radi određivanja smjera, visine i pozicije u prostoru. Takva sposobnost životinjama omogućuje navigaciju u prostoru i naziva se magnetorecepcija. Receptori zaduženi za magnetorecepciju su magnetorecepori (). Provedena su mnoga istraživanja, no istraživači još uvijek ne mogu sa sigurnošću objasniti na koji način magnetoreceptori funkcioniraju (Basta, 2012). Za razliku od većine senzorskih receptora, magnetoreceptori ne moraju biti na površini tijela životinja, već se mogu nalaziti bilo gdje u tijelu, zato što magnetsko polje slobodno prolazi kroz biološko tkivo (Johnsen i Lohmann, 2008). Istraživači smatraju da su magnetoreceptori vrlo mali i raspršeni po cijelom volumenu organa/tkiva ili se proces transdukcije javlja kao niz kemijskih reakcija, što znači da organi ili strukture namijenjene detekciji magnetskih polja ne moraju nužno postojati (Lohmann, 2010 navedeno u Basta, 2012). (Transdukcija: u fiziološkom smislu znači pretvaranje fizikalne energije podražaja u živčanu aktivnost u procesu nastanka osjeta.)



Slika 21. Shematski prikaz superparamagnetske sferule izgrađene od nanokristala magnetita vezan za staničnu membranu (Fleissner et al., 2003, 2007 navedeno u Kishkinev i Chernetsov, 2015)

Do sada uvjerljivi prikaz magnetoreceptora pronađen je kod raznih fitoplanktona i bakterija (Johnsen i Lohmann, 2008). Magnetotaktičke bakterije (Slika 21.) su mikroorganizmi sa sposobnošću poravnanja smjera kretanja s silnicama geomagnetskog polja te su ujedno prvi organizmi kod kojih je potvrđen utjecaj magnetskog polja (Bellova i Acosta-Avalos, 2015). U svojim organelima magnetotaktičke bakterije sadrže biomineralizirane magnetne minerale - magnetosome. Tipični minerali za magnetosome su magnetit (Fe_3O_4) i greigit (Fe_3S_4) (Bazylinski i Frankel, 2004 navedeno u Bellova i Acosta-Avalos, 2015). Magnetosomi u citoplazmi tvore lanac koji bakterijama dodjeljuje magnetski moment zaslužan za njihovu orijentaciju i navigaciju. Prilikom izlaganja oscilacijama jakog magnetskog polja (više od 10^5 μT, 50 do 60 Hz), kod 50% populacije magnetotaktičkih bakterija zabilježene su inverzije smjera magnetskog momenta (Blakemore, Frankel i Kalmijn, 1980 navedeno u Bellova i Acosta-Avalos, 2015). Osim magnetorecepicije, kod životinja je primijećena i pojava magnetskog poravnavanja. To je pojava prilikom koje životinje svoja tijela poravnavaju prema geomagnetskom polju (Begall, Malkemper i Němec, 2012). Istraživači su primijetili da u blizini električnog dalekovoda, koji generira izmjenično magnetsko polje, dolazi do nepravilnosti magnetskog poravnanja kod krava i jelena (Burda et al., 2009 navedeno u Bellova i Acosta-Avalos, 2015).



Slika 22. Prikaz magnetorecpetora kod magnetotaktičke bakterije (Johnsen i Lohmann, 2008)

4.3. Evolucijski razvoj sustava za detekciju predznaka potresa

Mnoga anegdotalna i retrospektivna zapažanja abnormalnog ponašanja životinja mogu sugerirati da su mnogi organizmi sposobni osjetiti nadolazeće potrese te da postoji poveznica između prethodnika/prekursora potresa i životinja, (Krischvink, 2000).

Osim dobro razvijenih osjetila, životinje raspolažu dobro razvijenim nagonom za preživljavanje, odnosno instinktima. Gotovo sve životinje raspolažu urođenim instinktivnim odzivom za bijeg od grabežljivaca. Kopnene životinje posjeduju instinktivni odziv za bijeg od vatre (Krischvink, 2000). Kod ljudi takav odgovor (odziv) je poznat kao panika i povezan je s rapidnim oslobađanjem adrenalina, koji povećava senzorsku percepciju te privremeno blokira osjećaj boli. Postoje mnogi primjeri kada su životinje pokazale bihevioralne uzorke bijega neposredno prije potresa. Ponašanje takve vrste nije naučeno, već je „ugrađeno“, oblikovano kroz duge i spore procese nasumičnih mutacija i prirodne selekcije.

Životni vijek životinja je znatno kraći od intervala ponavljanja velikih seizmičkih događaja, stoga je malo vjerojatno da će se sjećati promjena koje im prethode (Krischvink, 2000). S obzirom da je životinjsko ponašanje posebno osjetljivo na genetske promjene, kroz niz nasumičnih mutacija pomoću prirodne selekcije, proživljavanjem događaja koji su uzrokovali smrtnost u populaciji, životinje su mogle razviti bihevioralni mehanizam za izbjegavanje smrtnih opasnosti. Smatra se da su životinje pomoću procesa egzapacije razvile bihevioralni sustav „seizmičkog izbjegavanja“ (engl. seismic escape behavioral system). Egzapacija je proces kod kojeg postojeći genetski uzorak evoluira te se njegova funkcija veže ili prilagođava drukčijoj ulozi (Gould i Vrba, 1982 navedeno u Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014).

Pretpostavlja se da su za razvoj bihevioralnog sustava seizmičkog izbjegavaja bila potrebna dva početna sustava - receptori za detekciju vibracija i instinktivna reakcija (odziv) na bijeg od predatora. Njihovim kombiniranjem može se pretpostaviti da su pojedine životinjske vrste procesom egzapacije razvile sustav za seizmičko izbjegavanje potaknuto P valovima (engl. P-wave-triggered seismic-escape system, PWTSES) (Krischvink, 2000). Brzina P valova je u prosjeku za oko 1,7 puta veća od brzine S valova. Ako su životinjski receptori dovoljno osjetljivi za detekciju malih vibracija tla uzrokovanih P valovima, onda postoji mogućnost aktiviranja „P sustava uzbune“ (PWTSES) neposredno prije dolaska razornijih S valova.

Životinjama koje su udaljene desetke kilometara od epicentra potresa, nakon detekcije P valova preostaje nekoliko (desetaka) sekundi da bi izbjegle posljedice S valova (Pease and Orourke, 1997 navedeno u Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014). Ovim mehanizmom detekcije malih (blagih) vibracija tla pobuđenih P valovima, može se objasniti bijeg mačaka iz zgrade medicinskog fakulteta, nekoliko sekundi prije nadolazećih S valova.

Za daljnji razvoj razumijevanja procesa egzapacije, potrebno je kombinirati bihevioralne uzroke bijega (izbjegavanja opasnosti) i odgovarajuća osjetila, odnosno receptore. Može se pretpostaviti da su slonovi sličnim sustavom za seizmičko izbjegavanje pošteđeni razarajućih posljedica tsunamija 2004. godine (Garstang i Kelley, 2017). Val visine 15,6 metara proizveo je zvukove frekvencije ispod 100 [Hz], najviše u rasponu između 1 i 10 [Hz]. Takvi se poremećaji iznad površine tropskog oceana šire se brzinom zvuka 330-350 [m/s], dok je brzina tsunamija oko 200 [m/s], dakle za više od 40% manja (Garstang i Kelley, 2017). Slonovi koji su bili 1000 [km] udaljeni od Sumatre (Phuket, Tajland i Nacionalni park Yala, Sri Lanka) pomoću sustava za seizmičko izbjegavanje reagirali su na poremećaj (informaciju) približno 38 minuta prije dolaska tsunamija, s obzirom da se frekvencije zvučnih valova tsunamija nalaze u njihovom slušnom rasponu.

Smatra se da su električni i magnetski sustavi također povezani u sustav za seizmičko izbjegavanje. Dobro razvijen elektro-senzorski sustav povezan sa sustavom za seizmičko izbjegavanje mogao bi biti aktiviran varijacijama električnih polja generiranih prije potresa. Vodene životinje su osjetljivije na električne signale nastale varijacijama električnog polja od kopnenih životinja (Ikea et al., 1997 navedeno u Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014). Iako kod kopnenih životinja, osim jednootvora, nisu pronađeni elektroreceptori, istraživači su ispitali utjecaj varijacija električnog polja tla na ponašanje albino štakora, pustinjskih štakora, hrčaka, zamoraca i crvenih vrabaca. Životinje su držane u kavezima s mokrom provodljivom podlogom i elektrodama. Kroz elektrode na razmaku od 25 i 30 [cm] puštala se struja napona 0,01 do 50 [V]. U početku su životinje pokazivale nervozno ponašanje i bihevioralne promjene izbjegavanja tla. Kada je jakost električnog polja tla dosegla 1000 [V/m], životinje su počele panično trčati, skakati, trzati se, penjati se, glasati se, gristi žice i pokazivati bihevioralne uzorke koji se nisu mogli odrediti (Ikeya et. al., 1998 navedeno u Lakshmi, Nagesh, i Veera Krishna, 2014). Postoje brojni predlošci istraživača da električna polja proizvode psihološki efekt kod

životinja koji utječe na membrane živaca te rad hormona i enzima Buskirk, Frohlich, Latham, 1981).

Postoje dva moguća evolucijska smjera u kojem su se razvili ultra senzitivni magnetoreceptorski sustavi. Prvi mogući ishod egzapacije je kombinacija magnetorecepije, odnosno sposobnosti navigacije pomoću magnetskog polja i uzorka ponašanja izbjegavanja. Kod ptica je poznata pojava dezorijentacije prilikom magnetskih anomalija, kao i nasukavanje kod kitova i dupina uslijed. Promatrane lokacijske varijacije kod kitova prilikom migracija u moru su objašnjene njihovim izbjegavanjem jakih magnetskih polja i velikih gradijenata polja. Predloženo objašnjenje je da kitovi koriste magnetsku lineaciju kao normalni dio svojeg navigacijskog sustava (Walker et al., 1992 Krischvink, 2000). Podaci upućuju na osjetljivost na intenzitet ovakvih varijacija u rasponu od nekoliko [nT].

Drugi mogući ishod egzapacije je kombinacija utjecaja dnevnih varijacija geomagnetskog polja na biološki sat životinja i uzorka ponašanja izbjegavanja. Primjerice, dokazano je da pčele koriste informaciju dnevnih varijacija površinskog geomagnetskog polja u rasponu 50 do 100 [nT]. Daljnja istraživanja su pokazala kako se geomagnetski senzorni sustav kod pčela razvio do te mjere da zaista mogu detektirati magnetske anomalije prije potresa, u frekvencijskom i intenzitetskom smislu (Krischvink, 2000).

4.4. Senzori

Potrebno je provesti još mnoga istraživanja da bi se ponašanje životinja moglo koristiti kao indikator potresa, da bi se razumjeli sustavi pomoću kojih životinje osjetilno (senzorski) percipiraju prethodnike potresa. Također, bihevioralne promjene životinja bi se trebale moći mjeriti (ScieneceDily, 2020). Razumijevanje principa percepcije životinja omogućilo bi mjerenje varijabli koje ukazuju na dolazak potresa i razvoj mjernog sustava, odnosno senzora za detekciju indikatora nadolazećih potresa.

Na području sjeverne Italije provedeno je istraživanje prilikom kojeg su istraživači mjerili aktivnost kretanja životinja. Istraživanje je provedeno na farmi koja se nalazi u seizmički aktivnom području. U razdoblju u kojem je provedeno istraživanje (2016. - 2017.) službeno je prijavljeno 18 000 potresa u regiji, od kojih je samo 12 bilo magnitude veće od 4,0 po Richteru.

Podaci daljinskih mjerenja prikupljani su pomoću 3D akceleracijskih senzora radne frekvencije od 45 [Hz] (Wikelski et al., 2020). Senzori su bili pričvršćeni ogrlicama na vratove životinja (Slika 23.), a mjerili su njihovu aktivnost, odnosno ukupno ubrzanje tijela. Za istraživanje su se koristili podaci prikupljeni sa senzora postavljenih na šest krava, pet ovaca i dva psa. Kako bi se moglo odrediti abnormalno ponašanje, odnosno mjerljivo ponašanje, istraživači su odredili normalne dnevne uzorke aktivnosti za svaku od tri životinjske vrste koje su sudjelovale u istraživanju. Nakon određenih normalnih aktivnosti, istraživači su mogli analizirati potencijalne anticipacijske bihevioralne uzorke životinja prije potresa. Mjerenja su pokazala da su reakcijski uzorci aktivnosti prije potresa bili različiti za svaku vrstu. Psi su pokazali najveću aktivnost, zatim su slijedile krave, a kod ovaca su promjene aktivnosti bile veoma male. Bitno je napomenuti da su životinje pokazale promjene u ponašanju prije potresa jedinio dok su se nalazile u stajama. Uspostavljena je negativna korelacija udaljenosti životinja od epicentra i njihovog anticipacijskog vremena reagiranja. Što je udaljenost od epicentra bila veća, životinje pokazuju kraći vremenski interval reagiranja (Wikelski et al., 2020). Rezultati istraživanja pružaju dokaze da su životinje zaista pod utjecajem fizičkih predznaka potresa. Značajno je da se detekcija anticipacijskih bihevioralnih uzoraka ne oslanja samo na pojavu snažnih i rijetkih potresa, već i onih srednjih veličina. Osim tih dokaza, rezultati upućuju da bi trebalo označiti veliki broj životinja na različitim lokacijama tijekom duljeg perioda u svrhu daljnjeg prikupljanja potrebnih informacija. Životinje reagiraju na mnoge različite podražaje u prirodi koji su izvan dohvata tehničkog senzora koji može mjeriti jednu promjenu. Unatoč poteškoćama korištenja životinja kao (živih cjelovitih) senzora za detekciju signala koji prethode potresu, bio-senzori razvijeni kod životinja bi mogli dati neophodne informacije za razvoj bio-tehničkih detekcijskih sustava koji još ne postoje (Wikelski et al., 2020).



Slika 23. Pričvršćeni senzor ogrlicom na vratu krave (Wikelski et al., 2020)

Crvena strjelica označuje senzor.

Tablica 1. Prikaz predznaka potresa, nekih životinjskih receptora i abnormalnog ponašanja

Promjene „polja“ prije potresa	Vrsta promjene i njen raspon	Vrste životinja koje „osjećaju promjene“ (primjeri)	Životinjsko osjetilo i njihov raspon	Abnormalno ponašanje životinja (primjer)
Zvučno polje	Mikroseizmički zvukovi generirani prije potresa: 2-25 [Hz]	Slon Zlatna ribica Krava Tvor	Vibro-receptori 5-12 000 [Hz] 20-3 000 [Hz] 23-35 000 [Hz] 16-44 000 [Hz]	Slonovi su se sklonili na povišene predjele i izbjegli dolazak tsunamija
Električno polje	Varijacije jakosti električnog polja: 100 – 500 [V/m]	Hrčak Zamorac Crveni vrabac	Elektroreceptori < 1 000 [V/m] < 1 000 [V/m] < 1 000 [V/m]	Panično trčanje, skakanje, trzanje, penjanje i glasanje
Magnetsko polje	Fluktuacija komponenata geomagnentog polja: 3,53-3,54 [nT]	Krave	Magnetoreceptori < 10 [nT]	Nepravilnosti pri magnetnom poravnanju i povećana aktivnost

5. Zaključak

Dosadašnja istraživanja su pokazala da predznaci potresa, fizičke i kemijske promjene u geomediju prije potresa, zaista utječu na promjene u ponašanju životinja. Smatra se da životinje pomoću svojih dobro razvijenih receptora osjete signale kojima su izvor varijacije polja naprezanja, električnog i geomagnetskog polja Zemlje. No, „mehanizam“ pomoću kojeg životinje percipiraju navedene varijacije nije dovoljno istražen. Zapravo su učinjeni tek prvi koraci.

Potrebno je nastaviti s istraživanjima predznaka potresa da bi se odredio interval njihove pojave prije potresa kao i procjena magnitude na nekom području. Također je potrebno daljnje proučavanje receptora životinja, njihove fiziologije i fizionomije te njihove osjetljivosti na različite podražaje u prirodi. Proučavanjem receptora potencijalno se može razviti bio-tehnički senzorski sustav za identifikaciju signala prethodnika potresa koje bi istraživači mogli mjeriti. Predviđanje potresa na temelju abnormalnog ponašanja životinja obuhvaća široko znanstveno područje, stoga je od velike važnosti osnovna suradnja i komunikacija među istraživačima biološkog i geološkog znanstvenog područja.

Poznavanje sustava životinjske percepcije varijacija u okolini i ponderiranje informacija koje životinje osjete prije potresa, pretpostavka je za razvoj umjetnih biološko-tehničkih (Bio-Tech) senzorskih sustava.

6. Literatura

Albert, J. S., Crampton, W. G. R. (2005) Electroreception and electrogenesis [*online*] Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/330933072_Electroreception_electrogenesis_and_electric_signal_evolution [25. travnja 2021.]

Azevedo, D. J. S., Barbosa, J. E.L., Porto, D. E., Gomes, W. I. A., Molozzi, J. (2015) Biotic or abiotic factors: which has greater influence in determining the structure of rotifers in semi-arid reservoirs? *Acta Limnologica Brasiliensia* [*online*], 27(1), 60-77. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/276444426_Biotic_or_abiotic_factors_Which_has_greater_influence_in_determining_the_structure_of_rotifers_in_semi-arid_reservoirs [28. travnja 2021.]

Begall, S., Malkemper, P., Němec, P. (2012) Magnetic aligment in mammals and other animals. *Mammalian Biology* [*online*], 78(1), 10–20. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/228332311_Magnetic_alignment_in_mammals_and_other_animals [29. travnja 2021.]

Bellova, N. A., Acosta-Avalos, D. (2015) The Effect of Extremely Low Frequency Alternating Magnetic Field on the Behavior of Animals in the Presence of the Geomagnetic Field. *Journal of Biophysics* [*online*], 2015, 1-8. Dostupno na: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4707359/ [28. kolovoza 2020.]

Bolt, B. A. (1998) Earthquake (odabrani podnaslovi). *Encyclopædia Britannica, Inc.* [*online*] Dostupno na: https://www.britannica.com/science/earthquake-geology/Tectonics [11. prosinca 2020.]

Burg, J-P. (2017) Introduction to tectonics (2017) Dostupno na: https://www.files.ethz.ch/structuralgeology/JPB/files/English/1Introtecto.pdf [25. siječnja 2021.]

Burnett, S. (2011) Perceptual Worlds and Sensory Ecology. *Nature Education Knowledge* [*online*], 3(10), 75. Dostupno na: https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/perceptual-worlds-and-sensory-ecology-22141730/ [28. kolovoza 2020.]

Buskirk, R. E., Frohlich, C., Latham, G. V. (1981) Unusual Animal Behavior Before Earthquakes' A Review of Possible Sensory Mechanisms. *Reviews of geophysics and space physics* [*online*], 19(2), 247-270. [26. travnja 2021.]

Cartwright, M. (2017) *Namazu* [*online*], United Kingdom: Ancient History Encyclopedia Limited. Dostupno na: https://www.ancient.eu/Namazu/ [19. veljače 2021.]

Crampton, W. G. R. (2019) Electroreception, electrogenesis and electric signal evolution. *Journal of Fish Biology* [*online*], 95(12), 92-134. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/330933072_Electroreception_electrogenesis_and_electric_signal_evolution [28. travnja 2021.]

Deshpande, B. G. (1986) Anuimal response to earthquake. U: Deshpande B.G. (ur.), *Earthquakes, Animals, and Man.* Pune: Proc. Indian natn, Sci. Acad., str. 585-618

Dondurur, D. (2018) *Acquisition and Processing of Marine Seismic Data: Introduction* [*online*]. Elsevier. Dostupno na: https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/seismic-wave [30. siječnja 2021.]

Encyclopedia Britannica: Seismic wave (2012) Dostupno na: https://www.britannica.com/science/seismic-wave#ref275174 [30. siječnja 2021.]

Garstang, M., Kelley, M. C. (2017) Understanding Animal Detection of Precursor Earthquake Sounds. *Animals* [*online*], 7(9) 66. Dostupno na: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5615297/ [28. kolovoza 2020.]

GeoClass: Potresi (2009) Dostupno na: https://geoclass.wordpress.com/2009/08/31/potresi/ [20, siječnja 2021.]

GeoClass: Tektonika ploča: *osnovno i uzročnik kretanja ploča* (2009) Dostupno na: https://geoclass.wordpress.com/2009/07/02/tektonika-ploca-uzrocnik-kretanja-ploca/ [14. siječanja 2021.]

Geofizički odjsek: Seizmološki pojmovnik (2020) Dostupno na: https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/seizmoloski_pojmovnik [21. kolovoza 2020.]

Grant, R. A., Halliday, T., Balderer, W. P., Leuenberger, F., Newcomer, M., Cyr, G., Freund, F. T. (2011) Ground Water Chemistry Changes before Major Earthquakes and Possible Effects on Animals. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [*online*], 8, 1936-1956. Dostupno na: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3138006/ [26. kolovoza 2020.]

Scinece Learning Hub: Ampullae of Lorenzini (2011) Dostupno na: https://www.sciencelearn.org.nz/images/599-ampullae-of-lorenzini [14. travnja 2021.]

Scinece Learning Hub: Seismic waves (2007) Dostupno na: https://www.sciencelearn.org.nz/resources/340-seismic-waves [30. siječnja 2021.]

Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje: Seizmograf (2020) Dostupno na: http://www.enciklopedija.hr/NatukniFca.aspx?ID=55207 [29. siječnja 2021.]

Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje: Zvuk (2021) Dostupno na: https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=67594 [26. travnja 2021.]

Johnsen, S., Lohmann, K. J. (2008) Magnetoreception in animals. Physics Today [online], 61(3), 29-35. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/242524675_Magnetoreception_in_animals [28. travnja 2021.]

Joshi, S., Simha, C. P., Rao, K. M., Prasad, M. S. B. S. (2017) Variations of Total Magnetic Field before two small magnitude Earthquakes in Kachchh, Gujarat, India. *The Journal of Indian Geophysical Union* [*online*], 21(3), 185-192. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/343334672_Variations_of_Total_Magnetic_Field_before_two_small_magnitude_Earthquakes_in_Kachchh_Gujarat_India [3. svibnja 2021.]

Kagan, Y. Y. (2011) Random stress and Omori's law. *Geophysical Journal International* [*online*], 186. 1347–1364. Dostupno na: https://academic.oup.com/gji/article/186/3/1347/592855 [2. svibnja 2021.]

Kentucky Geological Survey : Earthquakes (2018) Dostupno na: https://kyem.ky.gov/recovery/Documents/CK-EHMP%202018,%20S3-S6,%20Risk%20Assessment,%20Hazard%20Identification,%206,%20Earthquakes,%20Revised%20Submittal.pdf [25. svibnja 2021.]

Kishkinev, D., Chernetsov, N. (2015) Magnetoreception systems in birds: A review of current research. *Biology Bulletin Reviews* [*online*], 5(1), 46-62. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/273285106_Magnetoreception_systems_in_birds_A_review_of_current_research [31. svibnja 2021.]

Kos-Modor, J., Jurkin, E. (2004) Rasjedi. *KoG* [*online*], 8[8], 17-20. Dostupno na: https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=6155 [18. siječnja 2021.]

Lakshmi, K. R., Nagesh, Y., Veera Krishna, M. (2014) Analysis on Predicting Earthquakes through an Abnormal Behavior of Animals. *International Journal of Scientific & Engineering Research* [*online*], 5(4), 845-857. Dostupno na: https://www.ijser.org/paper/Analysis-on-Predicting-Earthquakes-through-an-Abnormal-Behavior-of-Animals.html [15. ožujka 2020.]

Lončar, I., Dasović, I. (2020) *Magnituda i intenzitet potresa* [*online*]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu, Geofizički odsjek. Dostupno na: https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/o_potresima?@=1lrg8#news_97576 [24. siječnja 2021.]

Lutz, C. K., Williams, P. C., Sharp, R. M. (2013) Abnormal Behavior and Associated Risk Factors in Captive Baboons (Papio hamadryas spp.). *American Journal of Primatology* [*online*], 76(4), 355-361. Dostupno na: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4346173/ [24. ožujka 2021.]

Markuš, D.(2011) *Potresi i analiza seizmičnosti.* Diplomski rad. Osijek: Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku, odjel za Fiziku.

Markušić, S., Stanko, D., Korbar, T., Belić, N., Penava, D., Kordić, B. (2020) The Zagreb (Croatia) M5.5 Earthquake on 22 March 2020. *Geosciences* [*online*], 10(7), 252. Dostupno na: https://www.mdpi.com/2076-3263/10/7/252 [10. travnja 2020.]

Mišanec, P. (20114) *Ekološke karakteristike konja u kontroliranim uvjetima.* Diplomski rad. Osijek: : Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku, odjel za Fiziku.

Mott, M. (2003) *Can Animals Sense Earthquakes?* [*online*] National Geographic Society. Dostupno na: https://www.nationalgeographic.com/animals/2003/11/animals-sense-earthquakes/ [21. kolovoza 2020.]

Mott, M. (2005) *Did Animals Sense Tsunami Was Coming?* [*online*] National Geographic Society. Dostupno na: https://www.nationalgeographic.com/animals/article/news-animals-tsunami-sense-coming [22. veljače 2020.]

Murphy, J. B. (1998) *Plate tectonics (odabrani podnaslovi)* [*online*]. Encyclopædia Britannica, Inc. Dostupno na: https://www.britannica.com/science/plate-tectonics [5. veljače 2021.]

National Geographic: Plate Boundaries (2020) Dostupno na: https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/plate-boundaries/ [3. veljače 2021.]

NOAA: Geomagnetic kp and ap Indices (2010) Dostupno na: https://www.ngdc.noaa.gov/stp/geomag/kp_ap.html [10. svibnja 2021]

NOAA: The Disturbance Storm Time Indeks (2010) Dostupno na: https://www.ngdc.noaa.gov/stp/geomag/dst.html [10. svibnja 2021.]

Ocean exploration: What are the different types of plate tectonic boundaries? (2012) Dostupno na: https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/plate-boundaries.html [3. veljače 2021.]

Perkins, S. (2018) *Explainer: Seismic waves come in different 'flavors'* [*online*] Washington, D.C.: Science News for Students Dostupno na: https://www.sciencenewsforstudents.org/article/explainer-seismic-waves-come-different-flavors [30. siječnja 2021.]

Rafferty, J. P. (2020) *Fault* [*online*]. Encyclopedia Britannica Dostupno na: https://www.britannica.com/science/fault-geology [24. siječnja 2021.]

Rodriguez, E. (2020) *Seismograph* [*online*], Encyclopedia Britannica. Dostupno na: https://www.britannica.com/science/seismograph [28. siječnja 2021.]

Roos, D. (2018) *The 2004 Tsunami Wiped Away Towns With 'Mind-Boggling Destruction* [*online*]. History. Dostupno na: https://www.history.com/news/deadliest-tsunami-2004-indian-ocean [22. veljače 2021.]

Smirnov, S. (2019) Negative Anomalies of the Earth's Electric Field as Earthquake Precursors. *Geosciences* [*online*], 10(10). 1-7. Dostupno na: https://www.mdpi.com/2076-3263/10/1/10 [28. kolovoza 2020.]

Sović, I., Šariri, K., Živčić, M. (2013) High frequency microseismic noise as possible earthquake precursor. *Research in Geophysics* [*online*] 3(2). 8-12. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/271715630_High_frequency_microseismic_noise_as_possible_earthquake_precursor [28. kolovoza 2020.]

Šestanović, S. (1997) *Osnove geologije i petrografije: dinamika Zemlje.* Treće, potpuno prerađeno i dopunjeno izdanje. Split: Građevinski fakultet u Splitu.

Škrivanek, A. M. (2016) *Ponašanje svinja u prirodnim uvjetima.* Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet.

Takala, E. M., Yumoto, K., Liu, J. Y., Kakinami, Y., Uozumi, T., Abe, S., Ikeda, A. (2011) Anomalous Geomagnetic Variations Possibly Linked with the Taiwan Earthquake (Mw = 6.4) on 19 December 2009. *International Journal of Geophysics* [*online*], 2011, 1-10. Dostupno na: https://www.hindawi.com/journals/ijge/2011/848467/ [3. svibnja 2021.]

Tributsch, H. (2013) Bio-Mimetics of Disaster Anticipation—Learning Experience and Key-Challenges. *Animals* [*online*], 3. 274-299. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/274117655_BioMimetics_of_Disaster_Anticipation-Learning_Experience_and_Key-Challenges [26. kolovoza 2020.]

USGS: Earthquake Glossary, Richter scale (2021) Dostupno na: https://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=Richter%20scale [26. siječnja 2021.]

USGS: Earthquake Glossary*, Seismograph* (2021) Dostupno na: https://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=seismograph [26. siječnja 2021.]

USGS: Earthquake Magnitude, Energy Release, and Shaking Intensity (2021) Dostupno na: https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/earthquake-magnitude-energy-release-and-shaking-intensity?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects [26. siječnja 2021.]

USGS: Moment magnitude, Richter scale - what are the different magnitude scales, and why are there so many? (2021) Dostupno na: https://www.usgs.gov/faqs/moment-magnitude-richter-scale-what-are-different-magnitude-scales-and-why-are-there-so-many?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products [26. siječnja 2021.]

USGS: Understanding plate motions (2014) Dostupno na: https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/understanding.html [4. veljače 2021.]

USGS: What is a fault and what are the different types? (2021) Dostupno na: https://www.usgs.gov/faqs/what-a-fault-and-what-are-different-types?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products [4. veljače 2021.]

Video: medicinski fakultet teško stradao Objavljene snimke nadzornih kamera, pogledajte kako su reagirale mačke par trenutaka prije silovitog udara. (2020) Dostupno na: https://www.jutarnji.hr/vijesti/hrvatska/video-medicinski-fakultet-tesko-stradao-objavljene-snimke-nadzornih-kamera-pogledajte-kako-su-reagirale-macke-par-trenutaka-prije-silovitog-udara-10129552 [10. travnja 2020.]

Vivjora, V. (2017) *Značajke ponašanja goveda u prirodi i u proizvodnom Okruženju.* Diplomski rad. Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet.

Wang, K., Chen, Q., Sun, S., Wang, A. (2006). Predicting the 1975 Haicheng Earthquake. [*online*], 96(3), 757-795. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/228821055_Predicting_the_1975_Haicheng_Earthquake [27. kolovoza 2020.]

Wikelski, M., Mueller, U., Socco, P., Catorci, A., Denisov, L. V., Belyaev, M. Y., Keim, D., Pohlmeier, W., Fechteler, G., Mai, P. M. (2020) Potential short-term earthquake forecasting by farm animal monitoring. *Ethology* [*online*], 126(9), 931-941. Dostupno na: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/eth.13078 [15. veljače 2021.]

7. Popis slika

Slika 1. Prikaz tektonskih ploča (Murphy, 2020) 4
Slika 2. Prikaz stvaranja i razaranja kore prema Teoriji tektonike ploča. 5
Slika 3. Podjela rasjeda (Rafferty, 2020) 6
Slika 4. Opis nastanka potresa pri pomaku dva bloka duž rasjeda (Kentucky Geological Survey, 2018) 8
Slika 5. Seizmičke opasnosti koje izaziva potres (Kentucky Geological Survey, 2018) 9
Slika 6. Vrste i način širenja prostornih valova (Geofizički odsjek, 2020) 12
Slika 7. Vrste i način širenja površinskih valova (Geofizički odsjek, 2020) 13
Slika 8. Prikaz „deformacija“ slika seizmičkih momenata (Sović, Šariri i Živčić, 2013) 17
Slika 9. Prikaz „deformacija“ slika seizmičkih momenata (Sović, Šariri i Živčić, 2013) 17
Slika 10. Prikaz „deformacija“ slika seizmičkih momenata (Sović, Šariri i Živčić, 2013) 18
Slika 11. Prikaz specifične dnevne varijacije gradijenta jakosti električnog polja za „lijepog“ vremena bez anomalija (Smirnov, 2019) 21
Slika 12. Prikaz dnevne varijacije gradijenta jakosti električnog polja za „kišnog“ vremena bez anomalija (Smirnov, 2019) 21
Slika 13. Prikaz gradijenta jakosti električnog polja za „lijepog“ vremena uz prisutnost anomalija pozitivnog gradijenta (Smirnov, 2019) 22
Slika 14. Prikaz abnormalne varijacije H-komponente geomagnetnog polja (crveni pravokutnik), prije i poslije pojave potresa (Takala et al., 2011) 24
Slika 15. Prikaz vrijednosti Kp indeksa koja pokazuje odsutnost vanjskih izvora varijacija geomagnetnog polja za vrijeme pojave potresa (Takala et al., 2011) 24
Slika 16. Prikaz vrijednosti DST indeksa koja pokazuje odsutnost vanjskih izvora varijacija geomagnetnog polja za vrijeme pojave potresa (Takala et al., 2011) 25
Slika 17. Raspodjela mokre biomase. Jedna naljepnica = 25 Mt žive vage. Biomasa je mjerilo raširenosti vrste (uzima se u obzir broj jedinki i veličina prosječne jedinke) 28
Slika 18. Izrezak snimke kamere Medicinskog fakulteta u Zagrebu. Crvenim kružnicama označeni su obrisi životinja (mačaka) u trku (Jutarnji.hr, 2020) 31

Slika 19. Raspon frekvencije sluha (Burnett, 2011) 33
Slika 20. Elektroreceptori na njušci morskog psa (Science learning hub, 2011) 34
Slika 21. Shematski prikaz superparamagnetske sferule izgrađene od nanokristala magnetita vezan za staničnu membranu (Fleissner et al., 2003, 2007 navedeno u Kishkinev i Chernetsov, 2015) 35
Slika 22. Prikaz magnetorecpetora kod magnetotaktičke bakterije (Johnsen i Lohmann, 2008) 36
Slika 23. Pričvršćeni senzor ogrlicom na vratu krave (Wikelski et al., 2020) 41

8. Popis tablica

Tablica 1. Prikaz predznaka potresa, nekih životinjskih receptora i abnormalnog ponašanja 41