

# Utjecaj atmosferskih pojava na ljudski kardiovaskularni sustav

---

Šegić, Lara

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:194:821753>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Physics - PHYRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
FAKULTET ZA FIZIKU

Lara Šegić

# Utjecaj atmosferskih pojava na ljudski kardiovaskularni sustav

Diplomski rad

Rijeka, 2022.



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
FAKULTET ZA FIZIKU

Diplomski studij Fizika

# Utjecaj atmosferskih pojava na ljudski kardiovaskularni sustav

Diplomski rad

Mentor: Prof. dr. sc. Dijana Dominis Prester

Komentor: Doc. dr. sc. Tomislav Jakljević, dr. med., KBC Rijeka

Lara Šegić

Rijeka, 2022.



*Zahvaljujem se mentorici Dijani i komentoru Tomislavu na strpljenju i pomoći pri pisanju ovog diplomskog rada. Također, zahvaljujem se Petri Baumgartner na pomoći pri pisanju rada i na obavljenom poslu izvlačenja potrebnih podataka iz baze podataka KBC-a, te Državnom hidrometeorološkom zavodu što su ustupili podatke, bez kojih ovaj rad nebi bio moguć.*

## Sažetak

U ovom radu istraživalo se postoji li korelacija između srčanih problema i atmosferskih parametara, te korelacija između srčanih problema i grmljavina. Istraživanje je provedeno u suradnji s Kliničkim bolničkim centrom Rijeka (KBC Rijeka). Razdoblje za koje su uzeti podaci su siječanj, travanj, srpanj i listopad 2014.g., te listopad 2019.g., na području Primorsko-goranske i Istarske županije. Podaci o atmosferskim parametrima dobiveni su iz baze podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ-a), a podaci o srčanim problemima uzeti su iz baze podataka KBC-a Rijeka. Promatrala se ovisnost dnevnog broja pojava aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma, o srednjem dnevnom tlaku, srednjoj dnevnoj relativnoj vlažnosti i srednjoj dnevnoj temperaturi, te o vremenu trajanja grmljavina, u istom danu, i sa pomakom od jednog i dva dana. Promatrala se i ovisnost dnevne pojave aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma o apsolutnoj vrijednosti promjene srednjeg dnevnog tlaka, srednje dnevne temperature i srednje dnevne relativne vlažnosti, u realnom vremenu, te s pomakom od jednog i dva dana. Za neke od istraživanih ovisnosti dobivene su relativno male p vrijednosti ( $<0.05$ ), te Spearmanov koeficijent korelacije od skoro 0.2. S obzirom na mali broj podataka korišten u istraživanju (5 mjeseci), nije se odredila p vrijednost po kojoj bi se odredila statistička značajnost svake od izračunatih korelacija. Jedino što se zasad može reći je da ako efekt postoji da je mali, te da u nekim od slučajeva postoje naznake moguće korelacije. Ono što je potrebno za preciznije donošenje zaključaka, je ponoviti ovo istraživanje ali sa puno većim brojem podataka.

**Ključne riječi:** korelacija, meteoropatija, atmosferski parametri, tlak zraka, relativna vlažnost zraka, temperatura zraka, grmljavine, Schumannove rezonance, kardiovaskularni sustav čovjeka, aritmije, plućni edem, akutni koronarni sindrom.

# Abstract

This paper investigated whether there is a correlation between heart problems and the atmosphere parameters and the correlation between heart problems and thunderstorms. Research is carried out in cooperation with the Rijeka Clinical Hospital Center (KBC Rijeka). Period for which the data were taken are January, April, July and October 2014, and October 2019, in the area of Primorje-Gorski Kotar and Istria counties. Atmospheric data parameters were obtained from the database of the State Hydrometeorological Institute (DHMZ), and the data on heart problems were taken from the database of KBC Rijeka. In this research the dependencies of arrhythmia, pulmonary edema and acute coronary syndrome were observed about mean daily pressure, mean daily relative humidity and mean daily temperature, and the duration of thunderstorms, in the same day, and with a shift of one and two days. Also, the dependence of the daily occurrence of arrhythmia's, pulmonary edema and acute coronary syndrome was also observed about the absolute value of the change in mean daily pressure, mean daily temperature and mean daily relative humidity, in real time, and with a shift of one and two days. From the conducted analysis some relatively small p values ( $<0.05$ ) were obtained from the investigated dependencies, and Spearman's correlation coefficient of almost 0.2. Considering the small amount of data (5 months), p value by which the statistical significance of each of the calculated correlations would be determined, wasn't determined. The only thing that can be said so far is that if there is an effect, it is small, and that in some cases there are indications of a possible correlation. What is needed to make more precise conclusions is to repeat this research but with a much larger number of data.

**Key words:** correlation, meteoropathy, atmospheric parameters, air pressure, relative air humidity, air temperature, thunderstorms, Schumann resonances, human cardiovascular system, arrhythmias, pulmonary edema, acute coronary syndrome.

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Teorija</b>	<b>4</b>
2.1	Zemljina atmosfera . . . . .	4
2.1.1	Podjela atmosfere prema kemijskom sastavu . . . . .	4
2.1.2	Podjela atmosfere prema temperaturi . . . . .	4
2.1.3	Podjela atmosfere prema elektromagnetskim svojstvima . . . . .	7
2.2	Sunce . . . . .	11
2.2.1	Sunčev ciklus . . . . .	13
2.2.2	Sunčev vjetar . . . . .	14
2.2.3	Koronalni izbačaji mase . . . . .	15
2.2.4	Sunčeve baklje . . . . .	15
2.2.5	Sunčeve pjege . . . . .	15
2.3	Geomagnetske oluje . . . . .	16
2.4	Atmosferski parametri . . . . .	18
2.4.1	Vlažnost . . . . .	18
2.4.2	Tlak . . . . .	21
2.4.3	Temperatura . . . . .	23
2.5	Meteoropatija . . . . .	26
2.5.1	Utjecaj atmosferskih parametara na ljudsko zdravlje . . . . .	27
2.6	Globalni električni strujni krug . . . . .	29
2.6.1	Grmljavine . . . . .	33
2.6.2	Schumannove rezonancije . . . . .	45

2.7	Kardiovaskularni sustav čovjeka . . . . .	53
2.7.1	Grada i funkcija ljudskog srca . . . . .	53
2.7.2	Srčani zalisci . . . . .	54
2.7.3	Provodni sustav srca . . . . .	55
2.7.4	Kardiovaskularne bolesti . . . . .	56
<b>3</b>	<b>Metodologija i obrada podataka</b>	<b>59</b>
3.1	Obrada podataka . . . . .	61
<b>4</b>	<b>Rezultati i diskusija</b>	<b>63</b>
4.1	Usporedba dijagrama raspršenosti sa i bez naznake korelacije . . . . .	64
4.2	Relativna vlažnost . . . . .	65
4.3	Tlak . . . . .	67
4.4	Temperatura . . . . .	69
4.5	Grmljavina i sijevanje . . . . .	72
4.6	Svi rezultati . . . . .	75
4.7	Diskusija rezultata . . . . .	76
<b>5</b>	<b>Zaključak</b>	<b>78</b>
	<b>LITERATURA</b>	<b>79</b>
	<b>POPIS SLIKA</b>	<b>88</b>

# 1 Uvod

Još u davna vremena, ljudi su primjetili da postoji utjecaj promjene vremena na ljudsko zdravlje i raspoloženje. No od tada pa do danas, nije o tome mnogo otkriveno. S obzirom na to da smo stalno izloženi učincima promjene vremena, bilo bi korisno i veće razumjevanje istoga. Naposljetku, možda bi novi uvidi o utjecaju vremena na ljude u budućnosti doveli i do novih terapijskih implikacija, te preventivnih mjera za ljude koji spadaju u kritičnu skupinu. Iako je meteoropatija vrlo neistraženo područje, znanstvenih istraživanja ipak nekolicina postoji.

Schumannove rezonancije su elektromagnetski valovi, točno određenih, vrlo malih frekvencija (spadaju u ELF spektar radio valova), koje propagiraju u rezonantnoj šupljini između ionosfere i površine Zemlje. Njihov izvor su Sunce i grmljavine. One se još nazivaju i otkucaji srca planete Zemlje. U atmosferi su prisutne uvijek, a započele su "pulsirati" vjerojatno još od njenog nastanka. S obzirom na to, smatra se da su igrale ulogu u evoluciji živih organizama na Zemlji. Nakon otkrića Schumannovih rezonancija uočeno je da su njihove frekvencije i magnitude vrlo slične frekvencijama i magnitudama koje generira ljudski mozak. To je dovelo do ideje da možda postoji rezonancija između aktivnosti mozga i "Zemljinog pulsa" što je potaklo ideje za prva istraživanja. Nedugo nakon toga, došlo se na ideju da Schumannove rezonancije utječu i na rad srčanih stanica i ostalih stanica ljudskog tijela. Do današnjeg dana izašla je nekolicina radova koji pokazuju pozitivan utjecaj Schumannovih rezonancija na ljudsko zdravlje.

U istraživanju [37] pokazalo se da Schumannove rezonance imaju utjecaj na krvi tlak. Srednja vrijednost sistoličkog i dijastoličkog krvnog tlaka, srednjeg arterijskog tlaka i dvostrukog produkta (grupe ljudi kojima su se mjerili navedeni parametri), bila je niža u danima kada su Schumannove rezonance bile intenzivnije u odnosu na dane normalnog intenziteta. U istraživanju [38] potvrđeno je da dnevna aktivnost ljudskog autonomnog živčanog sustava reagira na promjene u geomagnetskoj i solarnoj aktivnosti tijekom razdoblja normalne neometane aktivnosti. Povećanje intenziteta Sunčevog vjetra u korelaciji je s povećanjem brzine otkucaja srca (eng. *heart rate* - HR) što se tumači kao biološki odgovor na stres, a povećanje kozmičkih zraka, solarnog radio fluksa i snage Schumannove rezonancije bili su povezani s povećanim HRV-om (eng. *heart rate variability*) i parasimpatičkom aktivnošću (viši HRV (ili veća varijabilnost između otkucaja srca) obično znači da tijelo ima jaku sposobnost toleriranja stresa ili da se snažno oporavlja od prethodnog akumuliranog stresa. U mirovanju je visok HRV općenito povoljan, a nizak HRV nepovoljan, dok je u aktivnom stanju,

niži relativni HRV općenito povoljan, dok visoki HRV može biti nepovoljan.). U članku [39] pokazano je da postoji jasna sustavna podudarnost niskih amplituda Schumanovih rezonancija i broja bolničkih prijema povezanih s kardiovaskularnim bolestima. Osim toga, u članku [40] izravno mjerenje potvrdilo je pouzdanu isprekidanu ali ponavljajuću koherenciju spektralne gustoće snage (SPD) unutar kvantitativnih elektroencefalografskih (QEEG) čovjeka i prva tri moda Schumannovih rezonancija, u realnom vremenu. Trajanje koherencije bilo je oko 300 *ms* oko dva puta u minuti. Konzistentnost i podudarnost osnovnih harmonika, intenziteta magnetskog polja, potencijala električnog polja i faznih pomaka između Schumannovih rezonancija i kvantitativne aktivnosti ljudskog mozga ukazuju na potencijal za interakciju informacija. Prirodni i tehnološki parametri koji utječu na parametre Schumannovih rezonancija onda se možda mogu odraziti i na aktivnost ljudskog mozga.

Motivacija za istraživanje postojanja korelacije pojava srčanih problema sa pojavama grmljavina, proizašla je iz činjenice da se grmljavine smatraju glavnim izvorom Schumannovih rezonancija. U članku [41] je pokazano da Schumannove rezonancije, pod kontroliranim uvjetima, imaju pozitivan učinak na živa tkiva. Najvažniji učinak je bio taj da štiti stanice od oštećenja kada se nalaze u uvjetima stresa - npr. kod nedostatka kisika. Konkretnije, mnogobrojnim laboratorijskim eksperimentima koji su bili sprovedeni, inducirala su se polja slična onima u atmosferi tj. Schumannovim rezonancijama i s njima su se ozračivale srčane stanice štakora. Uočilo se da izuzetno slaba magnetska polja u frekvencijskom rasponu od 7,6-8 *Hz* izazivaju niz učinaka unutar 30-40 *min* ozračivanja, uključujući smanjenje spontanijih kontrakcija, tranzijenta kalcija i otpuštanje kreatin kinaze (CK) (oslobađanje CK u tekući medij oko srčanih stanica mjerena je oštećenja srčanih stanica, koje se također događa tijekom srčanog udara). Učinak je bio privremen, te su se promjene koje su se dogodile u stanicama pod utjecajem ovih polja preokrenule kada su se polja isključila. Ovo istraživanje pokazuje vezu između Schumannove rezonancije sa aktivnošću živih stanica, te onda i moguću vezu stanica sa aktivnošću globalnog električnog pražnjenja (grmljavina). To može objasniti zašto svi živi organizmi imaju električnu aktivnost u istom ELF spektralnom rasponu. Sljedeće što će se istraživati je utjecaj ovih polja na druge vrste bioloških stanica kako bi se vidjelo postoji li sličan učinak ovih elektromagnetskih polja na druge vrste stanica.

Osim mogućeg utjecaja Schumannovih rezonancija, poznato je da atmosferski parametri mogu utjecati na ljudsko zdravlje i psihu. Pri jako visokim temperaturama zraka, npr. može doći do toplotnog udara. Dubinsko ronjenje može uzrokovati zdravstvene

probleme kao što su zračna embolija i dekompresijska bolest čiji je uzrok ustvari jaka promjena tlaka koji djeluje na tijelo (iako se tu ne radi samo o tlaku zraka, ali se vidi utjecaj tlaka na ljudsko tijelo općenito). Vlažnost zraka, ovisno o svom udjelu u zraku može pozitivno ili negativno utjecati na respiratorni sustav čovjeka. Dakle, neki od utjecaja atmosferskih parametara na ljudsko zdravlje već su dobro poznati. Meteoropatija označava poteškoće povezane s vremenskim promjenama (temperatura zraka, vlažnost zraka i atmosferski tlak zraka). Događa se to da se ljudsko tijelo nije sposobno dovoljno brzo (ili uopće) prilagoditi promjenama u atmosferi. Zbog toga može doći do različitih zdravstvenih problema. Iako meteoropatija nije službena bolest, očito je da postoji veza između ljudskog zdravlja i meteorološkog vremena. Iz radnog iskustva medicinskih djelatnika uočeno je da se prilikom promjene vremena broj zaprimljenih pacijenata povećava, i to na različitim bolničkim odjelima. Iz svega navedenog proizašla je motivacija za drugi dio ovog diplomskog rada koji istražuje postojanje korelacije između pojava srčanih problema sa atmosferskim parametrima (vlažnost, tlak, temperatura zraka).



## 2 Teorija

### 2.1 Zemljina atmosfera

Zemljina atmosfera je plinoviti omotač koji obavija Zemlju, a vezan je uz nju gravitacijskom silom. Atmosfera je vrlo tanak sloj oko Zemlje; 75 % atmosfere se nalazi na do 11 *km* iznad tla. S porastom visine, atmosfera postaje sve rjeđa i postupno nestaje u svemiru te zato ona nema vanjsku granicu.

Pod atmosferom se podrazumijeva zrak. Zrak je smjesa plinova koja okružuje Zemlju i sudjeluje u njezinoj vrtnji. Čine ga dušik (78,08%), kisik (20,95%), argon (0,93%), te u promjenjivim količinama vodena para (0% do 4%) i ugljični dioksid (0,03%), a u neznatnim količinama vodik, helij, ozon, metan, amonijak, ugljikov monoksid, kripton i ksenon. Količina vodene pare u atmosferi je promjenjiva i ovisi o temperaturi, a udio se smanjuje i s visinom. U najnižim slojevima atmosfere ima sitnih čestica anorganskog (sol, prašina, pepeo) i organskog podrijetla (pelud i mikrobi), te olovnih, dušikovih i sumpornih spojeva i čađe, što je posljedica emisije industrije i prometa. Zemljina atmosfera štiti život na Zemlji apsorbirajući ultraljubičasto i ostalo visoko energetske zračenje te smanjuje temperaturne ekstreme između dana i noći. [42]

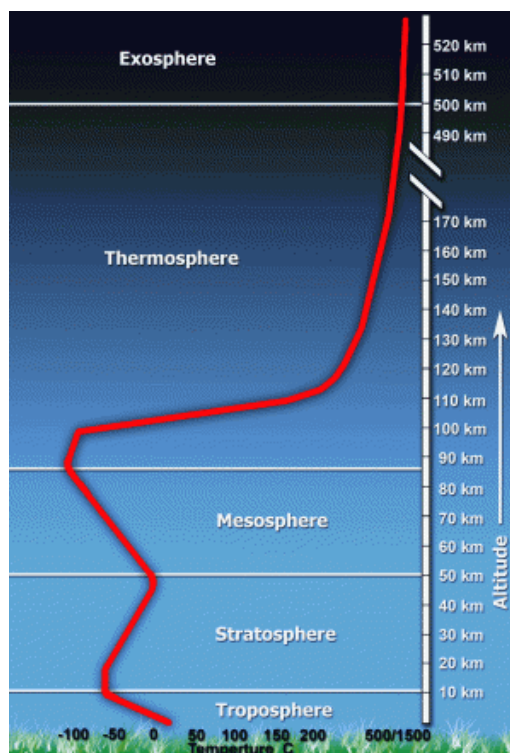
Postoji nekoliko podjela atmosfere na manje slojeve. Podjele su napravljene na temelju različitih kriterija a to su: kemijski sastav, temperatura, električna vodljivost tj. stupanj ionizacije te termička svojstva atmosfere. [42]

#### 2.1.1 Podjela atmosfere prema kemijskom sastavu

Prema kemijskom sastavu atmosferu se dijeli na dva dijela: homosferu i heterosferu. Homosfera jer sloj uz Zemlju i proteže se do cca. 90*km*. Do te visine sastav zraka je poprilično ujednačen. U ovom dijelu atmosfere nalazi se i ozon. Sloj iznad homosfere naziva se heterosfera. U njoj prevladavaju lakši plinovi poput vodika i helija zbog slabijeg gravitacijskog utjecaja Zemlje. [43]

#### 2.1.2 Podjela atmosfere prema temperaturi

Ovisno o temperaturi zraka, atmosfera se može podijeliti na više slojeva: troposfera, stratosfera, mezosfera, termosfera i egzosfera, te međuslojeva koji ih dijele: tropopauza, stratopauza, mezopauza i termopauza. [43]



Slika 2.1: Podjela atmosfere prema temperaturi [1]

## Troposfera

Troposfera je najniži, najtopliji i najgušći sloj Zemljine atmosfere. Proteže se od površine Zemlje pa do 8-14km iznad zemlje. Ova razlika u visini posljedica je toga što je zrak u ekvatorskom pojasu izložen jačem Sunčevom zračenju i zagrijavanju, koje onda jače utječe na širenje zraka nego u polarnim područjima. Pri tlu prosječna temperatura zraka na Zemlji iznosi 15 °C, a kada ne bi bilo atmosfere, temperatura bi bila niža za 33 °C. Premda zauzima vrlo malen dio cjelokupne atmosfere, ona predstavlja 75-80% Zemljine atmosfere zbog toga što je tlak u nižim slojevima veći zbog vlastite težine viših slojeva pa je sam zrak u nižim slojevima više komprimiran, a promjena tlaka s visinom opada nelinearno. Temperatura opada za oko 0,65 °C na svakih 100 m visine. Stoga je na granici troposfere, ovisno o njenoj visini, temperatura između -50 °C (u polarnom pojasu) i -80 °C (na ekvatoru). U ovom sloju nalazi se gotovo sva vodena para. Sve meteorološke pojave događaju se u troposferi. Granicu sa stratosferom čini tropopauza u kojoj temperatura počinje rasti. [44] [43]

## Stratosfera

Stratosfera se proteže od troposfere pa do visine od oko 50 km. U ovom sloju javlja se temperaturna inverzija, tj. temperatura raste s visinom od -50°C (na srednjim širinama

i na polovima) odnosno od  $-80^{\circ}\text{C}$  (na ekvatoru) do  $0^{\circ}\text{C}$  na vrhu stratosfere. Tlak je oko  $1/1000$  atmosferskog tlaka. U ovom sloju nalazi se i ozonski omotač. Ozon nastaje tako da molekula kiska upija kratkovalne ultraljubičaste zrake (čovjeku opasne po život) te fotodisocira na 2 atoma kiska. Zatim se atom kisika veže na molekulu kisika te se tako dobije troatomski oblik kisika - molekula ozona. Ozon se počinje javljati već na visinama od  $10\text{km}$ , a njegova najveća koncentracija je u ozonosferi koja se prostire između  $20\text{km}$  i  $30\text{km}$  visine. U stratosferi se javljaju neki od danas poznatih prolaznih svjetlosnih događaja (eng. *TLE*) tj. munja gornje atmosfere, a jedne od poznatijih su munje zvane plavi mlazovi. Granica između stratosfere i sljedećeg sloja atmosfere naziva se stratopauza. [44] [43] [46]

### **Mezosfera**

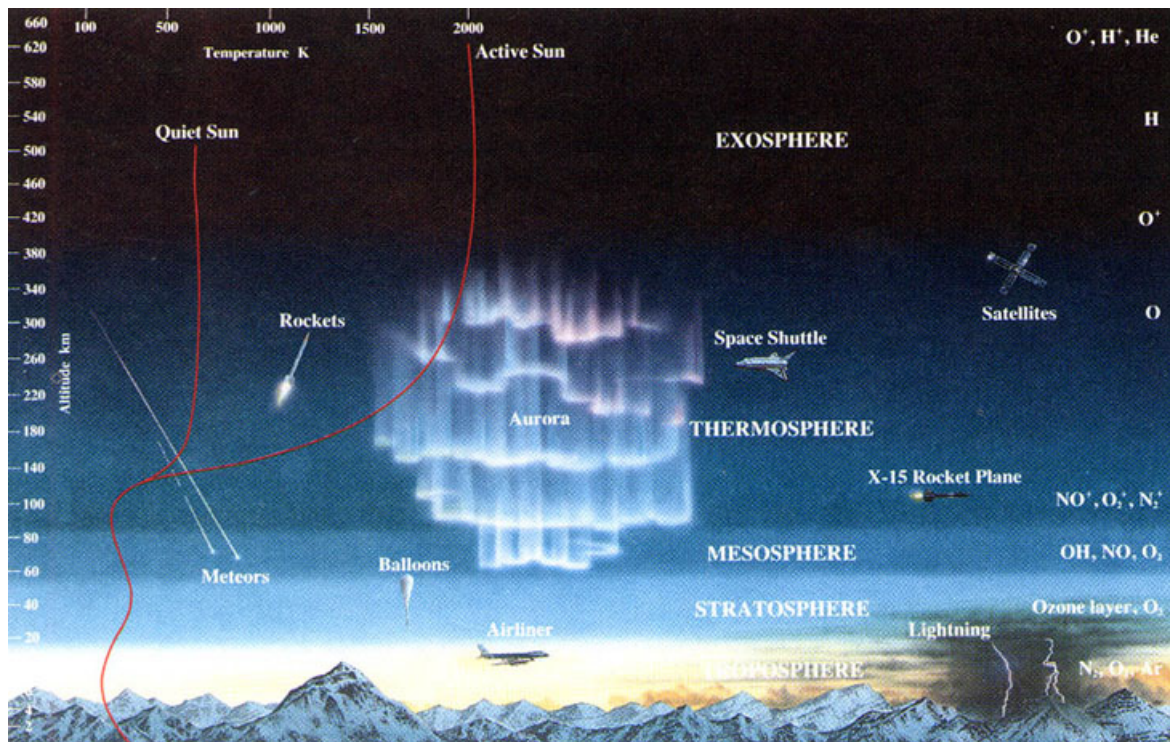
Mezosfera je atmosferski sloj između cca.  $50\text{km}$  i  $85\text{km}$  (na ekvatorskom području  $100\text{km}$ ). Debljina i visina stratosfere varira pa joj se ni granice ne mogu točno odrediti. Temperatura zraka u mezosferi opada s visinom i njena gornja granica ili mezopauza, je najhladniji dio na Zemlji, gdje se temperature spuštaju ispod  $-100^{\circ}\text{C}$ . Većina meteora koji ulaze u Zemljinu atmosferu, sagorjevaju na ovom sloju, pa se zato u ovom dijelu atmosfere nalazi veća koncentracija željeza i drugih metala, koji s vremenom padnu na Zemlju. U mezosferi se javlja jedna vrsta prolaznih svjetlosnih događaja (eng. *TLE*) tj. munja gornje atmosfere, a jedne od poznatijih su munje zvane vilenjaci. Ovaj sloj je najmanje istražen iz razloga što se nalazi iznad maksimalnih letova gdje lete zrakoplovi, a ispod minimalne visine za orbitalne svemirske letjelice. [43] [46] [45]

### **Termosfera**

Od mezosfere pa sve do  $600\text{ km}$  proteže se termosfera. Ona je najdeblji sloj Zemljine atmosfere. U termosferi je zrak izrazito rijedak. Ostaci atmosferskih plinova se raspoređuju slojevito, prema molekularnim masama. Zbog apsorpcije visokoenergetskog ultraljubičastog zračenja, rentgenskih zraka te nailaska naglih struja elektrona sa Sunca, dolazi do ionizacije zraka te zato temperatura kroz ovaj sloj raste s visinom (do čak cca.  $1500^{\circ}\text{C}$ ) i zato znatno ovisi o Sunčevoj aktivnosti. Ionizirani sloj zraka naziva se ionosfera, a koristi se za radio komunikaciju. U ovom sloju Međunarodna svemirska postaja ima stabilnu putanju, negdje između  $320\text{ km}$  i  $380\text{ km}$ . Tu se javljaju i vilenjaci (jedna vrsta prolaznih svjetlosnih događaja tj. munja gornje atmosfere) i to se uvijek javljaju u ionosferi (sloj unutar termosfere s nabijenim česticama). [46] [45]

### **Egzosfera**

Egzosfera je zadnja granica Zemljine atmosfere. Proteže se od termosfere pa i do 100000km. Gornja granica se ne može točno odrediti zbog izrazito male gustoće zraka (0,001 kg/m). Od termosfere ga odvaja egzobaza ili termopauza. Temperatura u egzosferi dostiže do 1500 °C. Iznad egzosfere se može izdvojiti još jedan sloj - geokorona, na visini od oko 100 000km. On se pretežno sastoji od iona vodika. Iznad egzosfere se nalazi i magnetosfera, koja štiti Zemlju od Sunčevog vjetra. [45] [46]



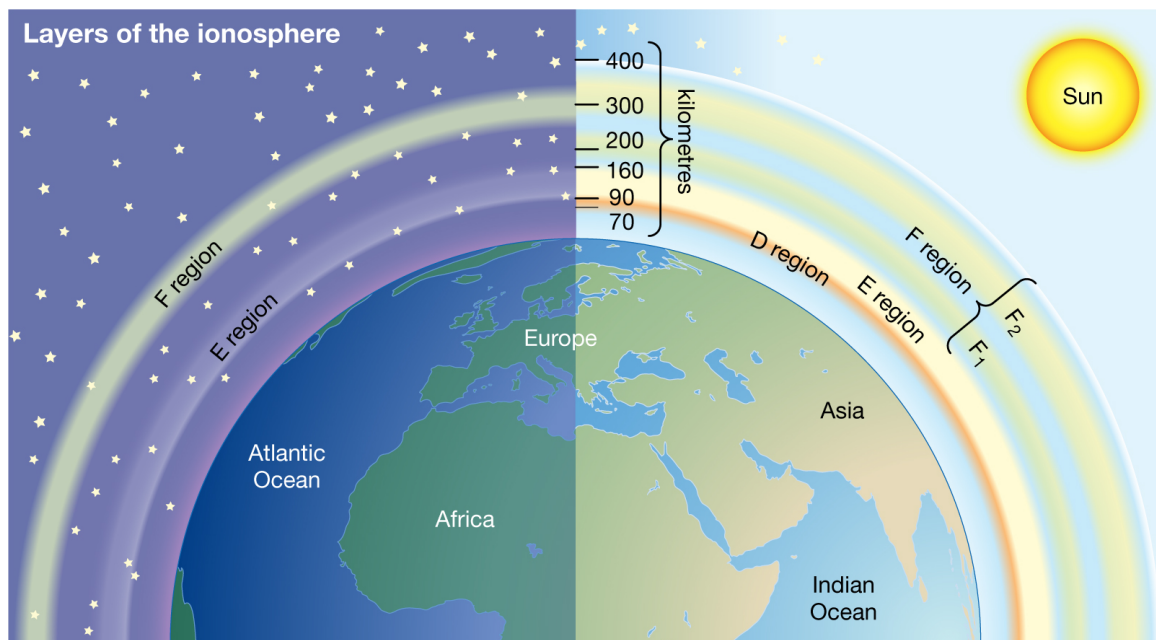
Slika 2.2: Prikaz slojeva atmosfere podjeljenih prema temperaturi. [2]

### 2.1.3 Podjela atmosfere prema elektromagnetskim svojstvima

#### Ionosfera

Ionosfera se proteže od cca. 80km do 600km. Sastoji se od manjeg dijela neutralnih čestica i puno ioniziranih čestica. Dijeli se na 4 sloja: D, E, F1 i F2 sloj. Na stanje ionosfere utječe i Sunčeva aktivnost i vremenske prilike u Zemljinoj atmosferi. Zbog toga što Sunce ima veliki utjecaj na nju, ionosfera kao i Sunce ima svoj 11 godišnji ciklus. S obzirom da najveći dio ionizacije uzrokuje Sunčevo zračenje, noćna strana Zemlje i pol koji je usmjeren suprotno od Sunca ima puno manju ionizaciju nego dio Zemlje okrenut prema Suncu i pol koji gleda prema Suncu. Noću bez utjecaja Sunca dolazi do rekombinacije iona i elektrona u atmosferi, pa se ionosfera stanji, jer je ioni-

zacija u najdoljnem D sloju i sljedećem E sloju vrlo mala. Tokom dana, pod direktnim Sunčevim zračenjem, proces ionizacije događa se puno više od rekombinacije pa D i E slojevi postaju puno jače ionizirani, kao i F1 sloj. Najgornji F2 sloj je konstantan i noću i danju, i to je dio ionosfere odgovoran za većinu refrakcija i refleksija radio valova pomoću koje se odvija svakodnevna komunikacija i navigacija. Zato nagle promjene gustoće i debljine ionosfere mogu drastično utjecati na ljudsku tehnologiju. Prije pojave telekomunikacijskih satelita to je bio jedini način bežičnog prijenosa informacija. U ovom sloju nalaze se mnogi sateliti, Međunarodna svemirska stanica, te se tu javlja polarna svjetlost. Bitno je napomenuti da se ionosfera stalno mijenja i na to utječe više faktora: jedan već naveden je Sunce (Sunčev ciklus, izmjena dana i noći), ali još su tu geomagnetske oluje i električna pražnjenja u atmosferi. [48] [47]



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

Slika 2.3: Slojevi ionosfere [3]

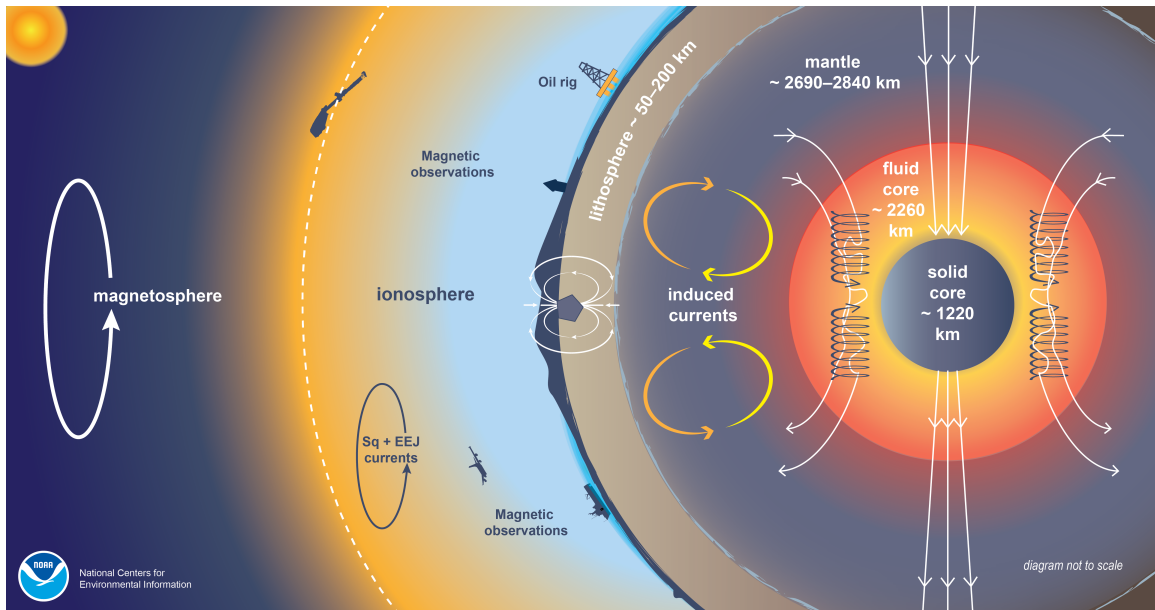
## Magnetosfera

Za razumijevanje pojma magnetosfera prvo je potrebno razumjeti što je to Zemljino magnetsko polje.

Zemljino magnetsko polje, koje se još naziva i geomagnetsko polje, generira se u unutrašnjosti Zemlje i prostire se prema svemiru. Tri su izvora Zemljinog magnetskog polja: magnetsko polje generirano dinamo procesom u unutrašnjosti Zemlje, točnije u vanjskoj tekućoj jezgri, magnetske stijene u Zemljinoj kori, te magnetsko polje nastalo od struja u ionosferi i magnetosferi (vanjsko magnetsko polje). Smatra se da oko 90%



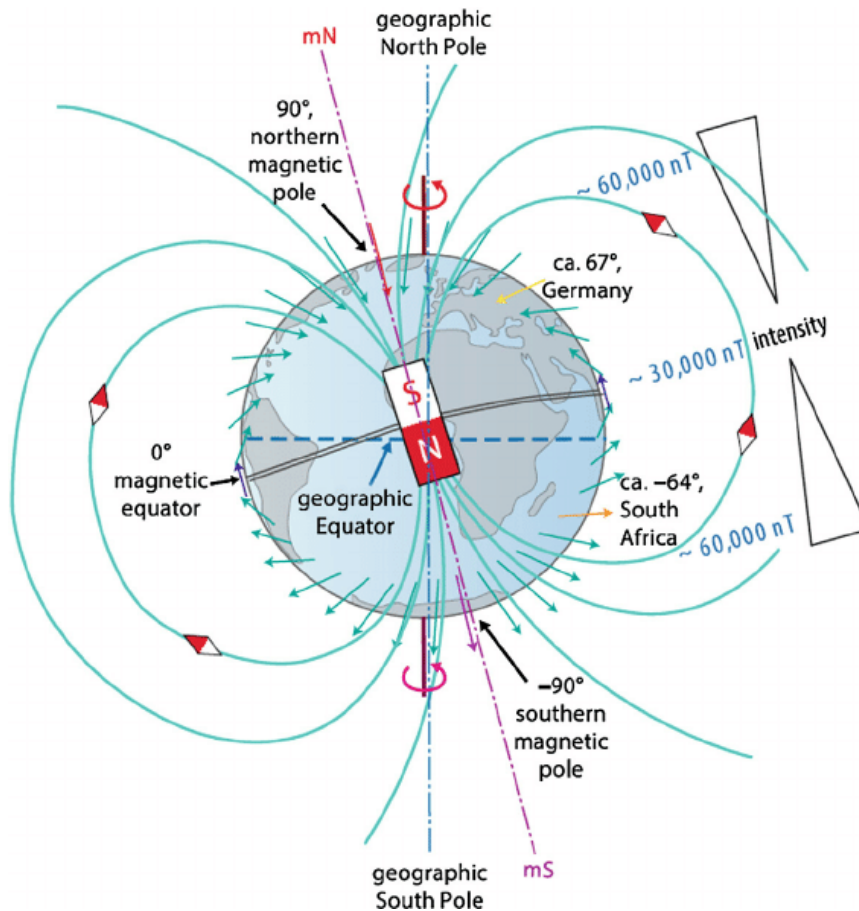
magnetskog polja Zemlje proizlazi od magnetskog polja generiranog u vanjskoj tekućoj jezgri. Vanjska jezgra Zemlje sastoji se pretežno od nikla i željeza u tekućem stanju koji se gibaju pod utjecajem visoke temperature i tlaka. To gibanje usmjerava se zbog rotacije Zemlje te tako nastaju električne struje koje pojačavaju već postojeće magnetsko polje. Vanjsko magnetsko polje je nekoliko redova veličina slabije od unutarnjeg, no može se dogoditi da za vrijeme pojačane Sunčeve aktivnosti poprimi i veće vrijednosti te tako može uzrokovati poteškoće u širenju radio valova. [49]



Slika 2.4: Svi uzroci nastanka Zemljinog magnetskog polja [4]

Zemljino magnetsko polje je kompleksno ali može se aproksimirati magnetskim poljem štapićastog magneta postavljenog u centar Zemlje čija je magnetska os nagnuta za oko  $11.5^\circ$  u odnosu na os rotacije Zemlje. Magnetska deklinacija je kut između magnetskog sjevera i pravog sjevera i mijenja se tijekom vremena i s lokacijom. [50] Zemljino magnetsko polje je jako varijabilno, a ovisi o promjenama u jezgri. Varijacije geomagnetskog polja uzrokuju promjene u strujama u ionosferi i magnetosferi, koje traju nekoliko sati do nekoliko dana. Magnetski polovi variraju s vremenom svoj položaj, a u nepravilnim intervalima (cca. svakih 500 000 godina), dolazi i do njihove inverzije, pa sjeverni pol dođe na mjesto južnog i obratno. [49] Jačina zemljinog magnetskog polja varira na svakom mjestu na Zemljinoj površini; njegova vrijednost je reda veličine  $10^{-4}T$  ( $1G = 10^{-4}T$ ) i iznosi otprilike između  $25000 - 65000nT$  ( $0.25 - 0.65G$ ). [51]

Magnetosfera se stvara zbog interakcije solarnih vjetrova sa Sunca sa Zemljinim magnetskim poljem. To je dio prostora oko Zemlje gdje je dominantno magnetsko polje

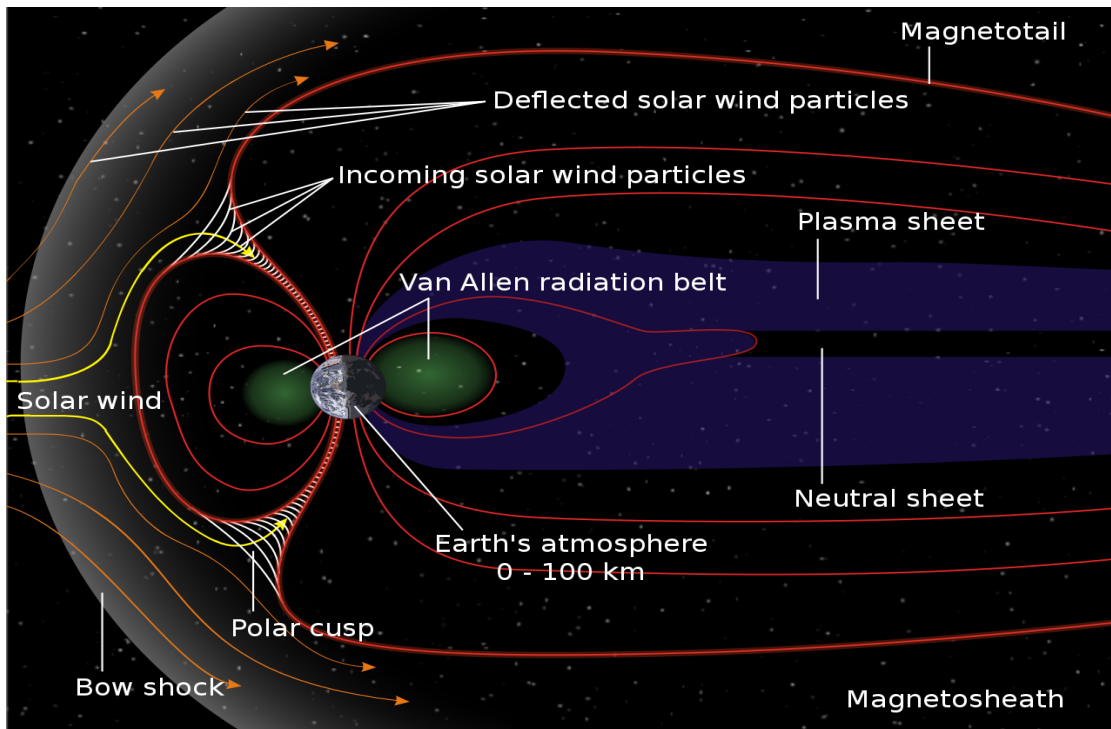


Slika 2.5: Zemljino magnetsko polje [5]

Zemljino magnetsko polje u odnosu na magnetsko polje međuplanetarnog prostora, a izvan tog prostora gdje su ova polja približno jednaka, smatra se da tu prestaje utjecaj Zemlje i počinje međuplanetarni prostor. U magnetosferi struje nabijene čestice (i sa Sunca i iz ionosfere) pod djelovanjem Zemljinog magnetskog polja, a ionizacija je toliko jaka da čestice čine plazmu (smjesa nabijenih iona i negativnih elektrona). [53].

Oblik magnetosfere se deformira pod utjecajem solarnih vjetrova i ima oblik kometa. Na strani Zemlje okrenutoj prema Suncu gdje je magnetsko polje komprimirano sa konstatnim udarima solarnih vjetrova, magnetosfera se prostire 6-10 radijusa Zemlje. Na noćnoj strani Zemlje, magnetosfera može biti duga stotine radijusa Zemlje, prostirući se daleko iza Mjesečeve orbite koja je na udaljenosti od 60 radijusa Zemlje, te izgleda kao rep kometa.

Život na Zemlji formirao se, i, i dalje postoji, pod zaštitom magnetosfere. Magnetosfera (donekle) štiti Zemlju od solarnog i kozmičkog zračenja, te sprječava otpuhivanje atmosfere koje bi inače uzrokovali solarni vjetrovi. [52]



Slika 2.6: Zemljina magnetosfera [6]

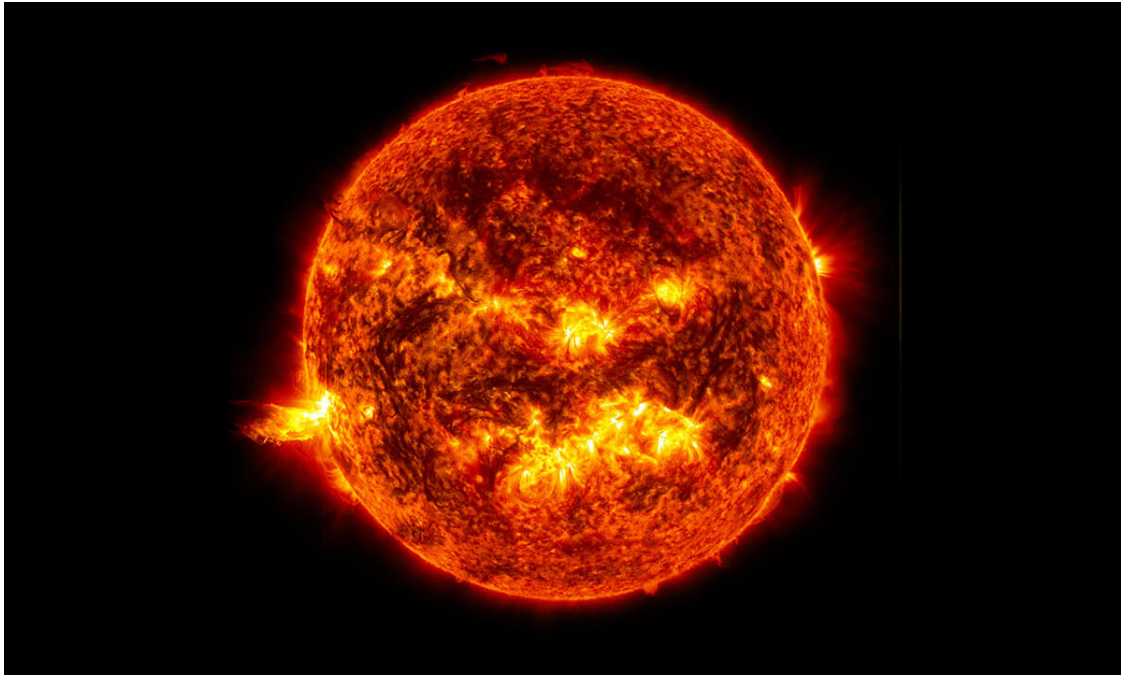
## Van Allenovi slojevi

Najveća koncentracija nabijenih čestica (većinom čestica koje dolaze sa Sunca) Zemlja zarobi u nižim djelovima magnetosfere zvani Van-Allenovi slojevi. To su dva sloja toroidalnog oblika, centrirani na ekvatoru. Štite Zemljinu atmosferu od uništenja. Zemlja ima dva Van Allenova pojasa, no povremeno ih se može pojaviti i više. Vanjski Van Allenov pojas (15 000 *km* iznad Zemljine površine) sadrži elektrone dok unutarnji Van Allenov pojas (2500 *km* iznad Zemljine površine) sadrži protone. Ovi slojevi sadrže neprobojnu barijeru koja pod normalnim uvjetima zarobi visokoenergetske čestice kako nebi dospjele do površine Zemlje. [54] [55]

## 2.2 Sunce

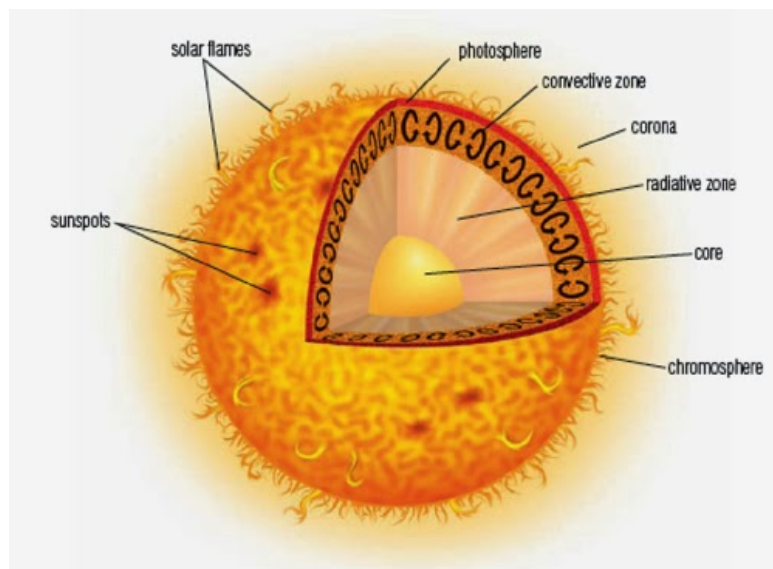
Sunce je zvijezda, i prema spektralnoj klasi svrstava se u žutog patuljka. Trenutno se nalazi na pola svoje životne faze. Staro je otprilike 4.5 milijardi godina, za otprilike 5 milijardi godina preći će u fazu crvenog diva, te će zatim za nekoliko milijardi godina postati bijeli patuljak - smanjiti će se na otprilike veličinu sličnu Zemlji, ali će bit 20 000 puta masivnije. Sunce sadrži 99% materije u Sunčevom sustavu. Toliko je daleko da svjetlosti treba 8min i 20s da dođe do Zemlje. [56]





Slika 2.7: Sunce [7]

Sunce se dijeli na nekoliko regija: unutarnje regije uključuju Sunčevu jezgru, radijativnu zonu i konvekcijsku zonu, dok pod vanjske regije spadaju: fotosfera, kromosfera, tranzicijska zona i zatim korona - Sunčeva ekspanzivna vanjska atmosfera. [60]

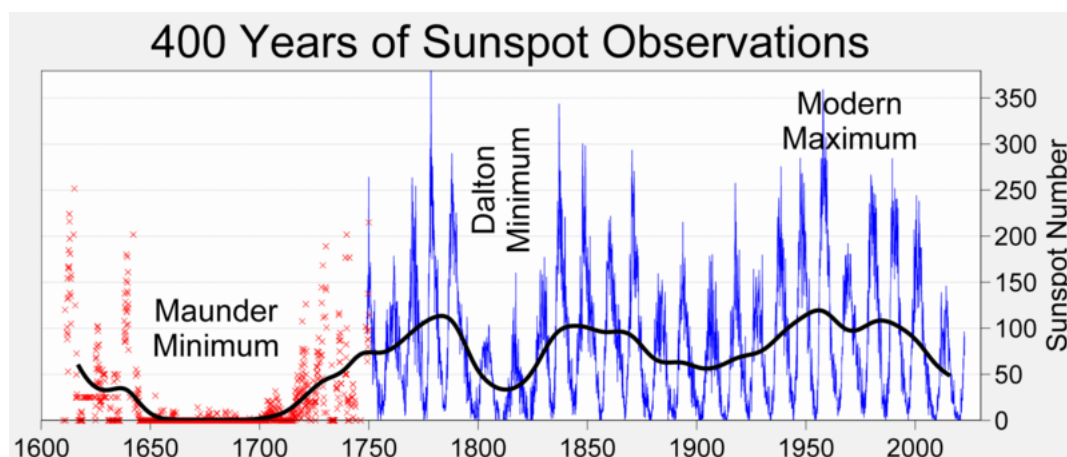


Slika 2.8: Građa Sunca [8]

### 2.2.1 Sunčev ciklus

Sunčev ciklus je ciklus pokrenut promjenama u magnetskom polju Sunca, u kojem svakih otprilike 11 godina dođe do zamjene sjevernog i južnog magnetskog polja Sunca. Trajanje ciklusa nije u potpunosti pravilno, pa trajanje jednog ciklusa može varirati između 8 i 14 godina. U jednom ciklusu Sunce kreće od faze Sunčevog maksimuma, prema Sunčevom minimumu i zatim se opet vrati u maksimum. Na početku ciklusa magnetski polovi počinju slabiti, s vremenom dođu do nule i onda se opet pojave na suprotnim polovima.

Promjene u magnetskom polju utječu na količinu aktivnosti na površini Sunca. Tijekom ciklusa mijenja se i ukupni broj Sunčevih pjega, gdje se najveći broj Sunčevih pjega javlja za vrijeme Sunčevog maksimuma, a najmanji broj za vrijeme Sunčevog minimuma. Lokacija Sunčevih pjega se također mijenja za vrijeme Sunčeva ciklusa. U doba maksimuma pjege se nalaze na srednjim širinama, a s vremenom se počnu pomicati prema ekvatoru gdje se smjeste za vrijeme minimuma, kada se može dogoditi da se ne vidi niti jedna Sunčeva pjege. [57]



Slika 2.9: Sunčevi ciklusi u vremenu trajanja 1600.-2020. godine [9]

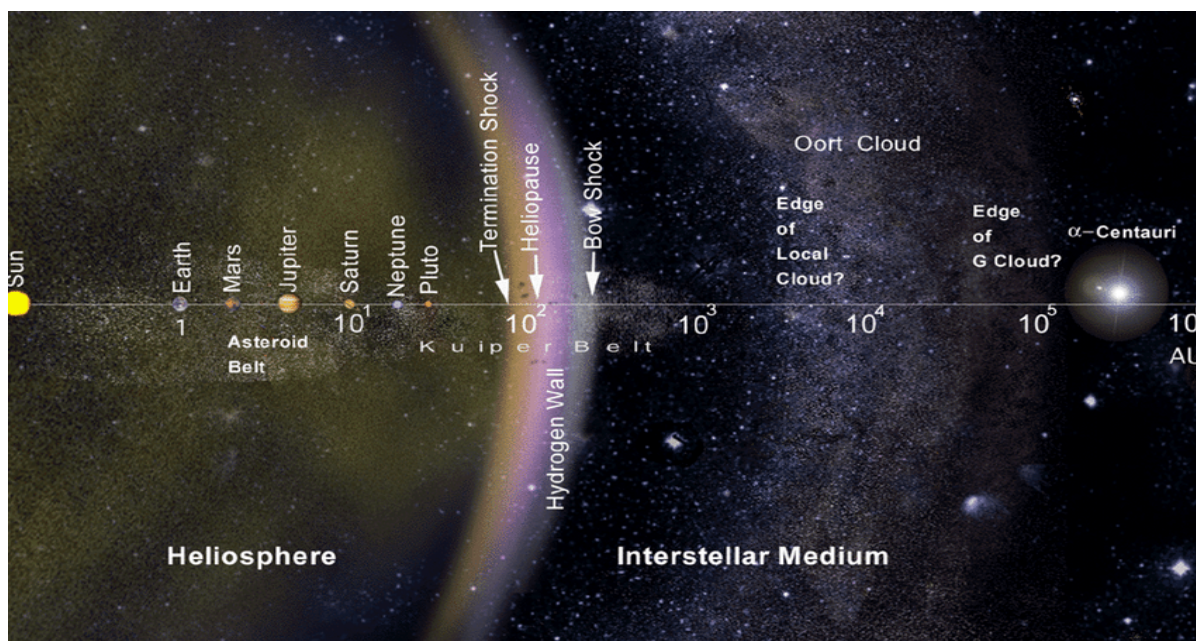
Ali svako toliko, Sunce postaje tiše na dulje vremenske periode, ima mnogo manje Sunčevih pjega i oda je manje energije. To se naziva "veliki solarni minimum" - razdoblje ekstremno niske solarne aktivnosti. Posljednji put to se dogodilo u razdoblju od otprilike 1650. do 1715. i to se zove Maunderov minimum. Maunderov minimum poklopio se s razdobljem hladnije klime u sjevernoj Europi poznatoj kao Malo ledeno doba, koje se proteglo od 1550.g. do 1850.g. Znanstvenici nastavljaju istraživati može li produljeni solarni minimum utjecati na klimu na taj način – ali malo je dokaza da je Maunderov minimum izazvao Malo ledeno doba, ili barem ne posve sama po sebi (za

početak, Malo ledeno doba započelo je prije Maunderovog minimuma.) [58] [59]

### 2.2.2 Sunčev vjetar

Sunčev ili solarni vjetar je kontinuirani tok plazme iz Sunčeve korone koja se sastoji pretežno od protona i elektrona. Ove čestice najčešće imaju velike brzine. Solarni vjetar prostire se daleko iza orbite Plutona, formirajući veliki "mjehurić" koji se naziva heliosfera. Dakle Zemlja se nalazi u Sunčevoj atmosferi. Kao što magnetosfera štiti Zemlju, tako i heliosfera štiti cijeli Sunčev sustav od kozmičkih zraka, te također poprima oblik kometa kako se pomiče skupa sa Suncem.

S obzirom da solarni vjetar konstatno pristiže sa Sunca, njegova svojstva ovise o Sunčevom 11-godišnjem ciklusu. Mijenja mu se gustoća, brzina i jakost magnetskog polja. Solarni vjetar nastaje tako što se u jako vrućoj Sunčevoj koroni (2 milijuna °C) plazma kontinuirano zagrijava i naposljetku postane toliko vruća da ju Sunčeva gravitacija ne može zadržati te se otpusti u svemir kao solarni vjetar, povlačeći sa sobom Sunčevo magnetsko polje.[60]



Slika 2.10: Heliosfera i međuzvjezdani medij [10]

### 2.2.3 Koronalni izbačaji mase

Uz solarni vjetar koji ima konstantan tok u vremenu, Sunce ponekad izbaci masivne količine tih nabijenih čestica odjednom. To je eksplozija u kojoj se oslobodi ogromna količina energije tokom kojih se plin sa Sunca jako zagrije te se elektroni, protoni i teške jezgre ubrzaju na brzinu blisku brzini svjetlosti. Ovakvi događaji mogu pokrenuti geomagnetske oluje oko Zemlje, koje uzrokuju aurore ali mogu i uzrokovati štetu telekomunikacijama, satelitima i električnim vodovima. Danas se još ne zna koji je uzrok ovakvom događaju. [61]

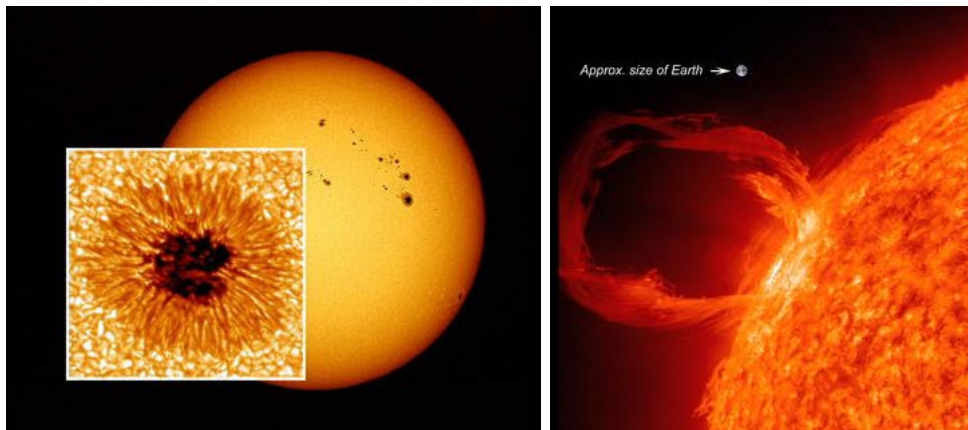
### 2.2.4 Sunčeve baklje

Sunčeve ili solarne baklje su, kao i koronarni izbačaji mase, velike erupcije zračenja sa Sunca, no sada je to erupcija elektromagnetskog zračenja. I za njih još uvijek nije jasno kako nastaju. One mogu trajati od nekoliko minuta pa do više sati. Elektromagnetsko zračenje putuje brzinom svjetlosti, pa se svaki efekt na Zemlji uzrokovan ovom pojavom dogodi u isto vrijeme kada je baklja detektirana. Povećana količina ultraljubičastog i rendgenskog zračenja dovodi do ionizacije u nižim slojevima atmosfere na Sunčevoj strani Zemlje. Ako je solarna baklja dovoljno jaka, ionizirati će se niži, gušći D sloj ionosfere, te će radio valovi koji interagiraju s elektronima izgubiti energiju zbog češćeg sudaranja u sada gušćem D sloju. Ovo može dovesti do toga da se radiovalovi potpuno apsorbiraju i rezultira nestankom radio komunikacije, najviše utječući na frekvencije  $3\text{MHz}$  do  $30\text{MHz}$ . [62]

### 2.2.5 Sunčeve pjege

Sunčeve pjege su tamnija, hladnija mjesta na Suncu koja nastaju zbog poremećaja u magnetskom polju i ono je tamo jače nego bilo gdje drugdje na Suncu. Zbog jako magnetskog polja, magnetski se pritisak povećava, dok se vanjski atmosferski pritisak smanji. Ovo onda smanji temperaturu pjege u odnosu na njenu okolinu jer koncentrirano magnetsko polje spriječava tok novog, vrućeg plina iz Sunčeve unutrašnjosti prema van. Sunčeve pjege najčešće nastaju u parovima, gdje svaka ima magnetsko polje usmjereno u suprotnom smjeru. Tipična pjega sastoji se od tamne regije zvana umbra, te vanjske svjetlije regije koja se zove penumbra. Pjege izgledaju relativno tamno zbog toga što je pjega puno hladnija od njene okoline. [63] Količina i pozicija Sunčevih pjega mijenja se s obzirom na Sunčev ciklus. Zbog povezanosti sa Sunčevim ciklusom koje je povezano

sa drugim vrstama Sunčeve aktivnosti, Sunčeve pjege mogu pomoći pri predviđanju svemirskog vremena.



Slika 2.11: Sunčeve pjege (lijevo) [11] i Sunčev filament (desno) [12]

## 2.3 Geomagnetske oluje

Geomagnetska oluja je privremeni poremećaj Zemljine magnetosfere koji može trajati nekoliko sati do nekoliko dana. Događa se kada postoji jaka izmjena energije Sunčevog vjetra u svemirski prostor oko Zemlje. Do oluje češće dolazi za vrijeme maksimuma Sunčevog ciklusa.

Dva su uzroka geomagnetske oluje, a to su koronalni izbačaj mase (CME) i tok solarnog vjetra velike brzine (HSS). HSS-ovi dostignu sporiji Sunčev vjetar koji se nalazi ispred i stvaraju ko-rotirajuća područja interakcije (CIR-ove). Najveće oluje povezane su sa koronalnim izbacivanjima mase (CME) gdje oko milijardu tona Sunčeve plazme, sa svojim magnetskim poljem, stiže na Zemlju. CME-ovima obično treba nekoliko dana da stignu na Zemlju, ali za neke od najintenzivnijih oluja bilo je primjećeno da stignu za samo 18 sati. Ovaj snažan val Sunčevog vjetra remeti vanjski dio Zemljinog magnetskog polja, koje prolazi kroz složene oscilacije. Ovo onda generira električne struje u svemirskom okruženju blizu Zemlje, što zauzvrat generira dodatne varijacije magnetskog polja i sve to čini "magnetsku oluju". [64] [65]

Posljedice oluja su: intenzivna strujanja u magnetosferi, promjene u pojasevima zračenja i promjenama u ionosferi, uključujući zagrijavanje ionosfere i područja gornje atmosfere koje se naziva termosfera. Tijekom oluja, struje u ionosferi, kao i energetske čestice koje prodiru u ionosferu, donose energiju u obliku topline koja može povećati gustoću



i distribuciju gustoće gornje atmosfere, uzrokujući dodatno kočenje satelita koji se nalaze u nižoj orbiti Zemlje (eng. *low Earth orbit*). Lokalno zagrijavanje također stvara jake horizontalne varijacije u gustoći ionosfere koje mogu promijeniti putanju radio signala i stvoriti pogreške u informacijama o položaju koje daje Globalni pozicioni sustav (GPS) i Globalni satelitski navigacijski sustav (GNSS) i stvoriti štetne geomagnetske inducirane struje (GIC) u električnoj mreži i cjevovodima. Najveća zabilježena geomagnetska oluja dogodila se 1859. godine, tzv. Carringtonov događaj, za vrijeme koje je uništen dio Američke telegrafске mreže. Geomagnetske oluje stvaraju i pojavu polarne svjetlosti. [55] [64]



Slika 2.12: Polarna svjetlost snimljena iz svemira [13]

Geomagnetski indeksi koriste se za opisivanje varijacije geomagnetskog polja (geomagnetske aktivnosti), tj. to je matemtički zapis poremećaja magnetskog polja. Poremećaj se mjeri pomoću magnetograma, koji snimaju magnetsko polje kao funkciju vremena. Indeksi se mogu podijeliti u dvije skupine, a to su indeksi koji opisuju planetarnu aktivnost ( $K$ ,  $K_p$ ,  $A_p$ ) i indekse koji opisuju pojave koji uzrokuju poremećaje u geomagnetskom polju ( $D_{ST}$ ,  $AE$ ).  $K$ -indeks kvantificira poremećaje u horizontalnoj komponenti zemljinog magnetskog polja s cijelim brojem u rasponu od 0 do 9, pri čemu 1 znači mirno, a 5 ili više ukazuje na geomagnetsku oluju. Izveden je iz maksimalnih fluktuacija horizontalnih komponenti promatranih na magnetometru tijekom trosatnog intervala.  $K_p$  indeks se najviše koristi, i iako je u početku trebao opisivati planetarnu aktivnost, ispostavilo se da je najosjetljiviji na aktivnosti vezane za polarnu svjetlost. Iznos indeksa dobiva se kao aritmetička sredina nekoliko izmjerenih vrijednosti  $K$  indeksa. [55]

Geomagnetske oluje se s obzirom na jakost utjecaja koji imaju na okolinu i ljude karakteriziraju na G1 ( $K_p = 5$ ), G2 ( $K_p = 6$ ), G3 ( $K_p = 7$ ), G4 ( $K_p = 8 - 9$ ) i G5 ( $K_p = 9$ ), gdje redom G1 označuje naslabije oluje, do G5 koja označava najjače oluje. Najslabije oluje najviše se puta pojavljuju u ciklusu od 11 godina (1700 puta), a najjače oluje se pojavljuju najrjeđe (4 puta). Također, što je geomagnetska oluja jača, to se polarna svjetlost više širi prema prema ekvatoru. [55]

### **Svemirsko vrijeme**

Svemirsko vrijeme (eng. *space weather*) opisuje varijacije u području svemira između Sunca i Zemlje, i fenomene koji utječu na sustave i tehnologije u orbiti i na Zemlji. Svaka komponenta svemirskog vremena utječe na različitu tehnologiju. Kao što se prati stanje u atmosferi Zemlje kako bi se moglo prilagoditi atmosferskim pojavama koje će se dogoditi u sljedećih nekoliko dana, tako se prati i svemirsko vrijeme kako bi se moglo predvidjeti i pripremiti te tako možda i izbjeći moguće štetne posljedice utjecaja svemirskog vremena. [66]

## **2.4 Atmosferski parametri**

Klimatski su elementi promjenjive meteorološke prirode i pod njih se ubrajaju: radijacija, temperatura, tlak, smjer i brzina vjetera, vlaga zraka i evaporacija, naoblaka i trajanje sijanja Sunca, oborine i snježni pokrivač.

### **2.4.1 Vlažnost**

Vlaga je vodena para sadržana u nekom sredstvu (npr. u zraku) ili voda sadržana u nekom sredstvu bez obzira na agregatno stanje. Vlažnost zraka izražava se količinom vodene pare u zraku na različite načine, i to kao apsolutna vlažnost, relativna vlažnost, parcijalni tlak vodene pare i drugo. [67]

#### **Apsolutna vlažnost**

Apsolutna vlažnost (znak  $a$  ili  $w$ ) je fizikalna veličina koja opisuje vlažnost zraka i predstavlja omjer mase vodene pare  $m$  i volumena zraka  $V$  u kojem se vodena para nalazi

$$a = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Mjerna jedinica apsolutne vlažnosti je kilogram po kubičnom metru ( $kg/m^3$ ). [67]



Slika 2.13: Oblaci - vidljiva masa kondenziranih kapljica vode ili leda, u atmosferi, iznad površine Zemlje [14]

### Relativna vlažnost

Relativna vlažnost je fizikalna veličina za iskazivanje udjela vodene pare u zraku (ili općenito u plinovima). Zrak ne može neograničeno primiti vlagu. Za određenu temperaturu, zrak može primiti neku određenu maksimalnu vrijednost vlage i onda se kaže da je zasićen. Zrak obično sadrži manju količinu vlage od maksimalne, pa se kaže da je nezasićen. Omjer između apsolutne vlage  $a$ , koju sadrži zrak, i maksimalne vlage  $a_{max}$ , koju bi zrak mogao primiti kod određene temperature da bi bio zasićen, naziva se relativna vlažnost  $\phi$ . To je broj koji je uvijek manji od 1, te se množi sa 100 i izražava u postocima, to jest:

$$\phi = \frac{a}{a_{max}} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

Relativna vlažnost može se izraziti i omjerom parcijalnoga tlaka prisutne vodene pare  $p_{H_2O}$  i parcijalnoga tlaka zasićene vodene pare, pri određenoj temperaturi i tlaku zraka  $p_{H_2O}^*$ :

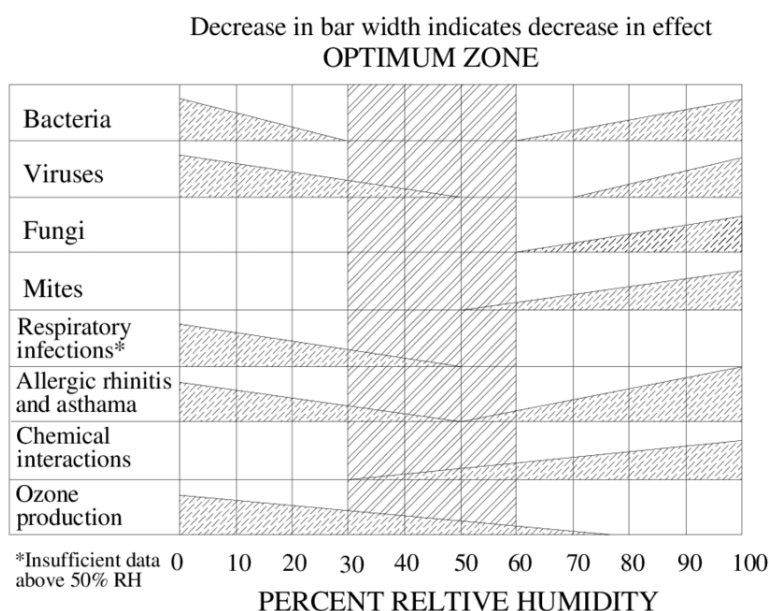
$$\phi = \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2O}^*} \quad (2.3)$$

Relativna vlažnost iznosi 0% kada je zrak potpuno suh, a 100% kada je zrak potpuno zasićen vodenom parom. Najčešće se mjeri psihrometrom ili posebnim osjetnicima. Dakle ako relativna vlažnost zraka u prostoriji iznosi 50 %, to je točno polovica maksimalne moguće količine vode za tu temperaturu. [68]



Kapacitet primanja vode u zrak uvijek ovisi o prisutnoj temperaturi zraka. Što je zrak hladniji, to manje vode može preuzeti. Za jednaku količinu vlage u zraku, pri višim temperaturama postotak vlage odnosno relativna vlažnost biti će manja nego za niže temperature. Isto tako ako je relativna vlažnost zraka konstantna, tada će pri višim temperaturama apsolutna vlažnost zraka biti manja.

Koroziji, truljenju ili stvaranju plijesni isključivo pogoduje relativna vlažnost zraka, a nikada apsolutan sadržaj vode u zraku. Dok pri temperaturi od npr. 5°C u prostoriji i uz sadržaj vode od 5,4 g/m<sup>3</sup> vlada relativna vlažnost zraka od 80 % koja je opasna zbog plijesni i na kojoj metal korodira, isti sadržaj vode bi na 25°C imao još samo 23,5% relativne vlažnosti zraka, a time i presuhu klimu u prostoriji, koja nadražuje dišne putove. Gljive, plijesni i hrđa nemaju nikakve šanse na ovoj klimi iako je u zraku prostorije prisutan jednak sadržaj vode od 5,4g/m<sup>3</sup>. [68]



Slika 2.14: Utjecaj relativne vlažnosti zraka na ljudske i biološke međudnose [15]

## Vlažnost u atmosferi

Relativna vlažnost je važna veličina u meteorologiji jer pokazuje vjerojatnost za padaline, rosu ili maglu. Ako se u ljetnim danima pojavi visoka vlažnost zraka, ljudi će jače osjetiti vrućinu jer vlažnost smanjuje efektivnost znojenja koje služi tome da hladi tijelo, na način da smanjuje isparavanje znoja sa kože. [69]

Pri sniženju temperature, ako zrak sadrži maksimalnu količinu vlage, nastupa konden-

zacija, to jest nastaju oblaci, magla ili rosa.

Vodena para u atmosferu dolazi na razne načine. Jedan od njih je transpiracija ili isparavanje s površine biljaka. 75% vode s tla, biljnog pokrova i vodenih površina na kopnu ispari natrag u atmosferu, i zbog toga u zraku uvijek postoji određena količina vlage. Ona ovisi o tlaku i o temperaturi. Kod istog tlaka, a više temperature, hlapljenje vode biti će brže nego kod niže temperature. Zbog toga je količina vodene pare u zraku promjenjiva.

Dnevni hod relativne vlage je obratan od dnevnog hoda temperature, to jest relativna vlaga zraka najveća je ujutro, a najmanja poslije podne, kad je temperatura najviša. Isparavanje se smanjuje približavanjem kopnu, to jest obali. Vodene pare u zraku ima više u toplim krajevima nego u hladnim, i više ljeti nego zimi. [69]



Slika 2.15: U područjima s tropskom klimom relativna vlažnost zraka često je velika [16]

### 2.4.2 Tlak

Tlak je fizikalna veličina koja opisuje djelovanje sile na površinu. Definira se kao omjer sile koja djeluje okomito na površinu  $F$ , i ploštine te površine  $S$ :

$$p = \frac{F}{S}. \quad (2.4)$$

Mjerna jedinica tlaka jest Pascal ( $Pa$ ). Osim paskala može se rabiti i mjerna jedinica tlaka *bar* ( $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ ). Stare jedinice tlaka bile su tehnička atmosfera, znak *at*

( $1 \text{ atm} = 98\,066,5 \text{ Pa}$ ); normalna ili fizikalna atmosfera, znak *atm* ( $1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$ ), milimetar stupca žive, znak *mmHg*, ili *tor* ( $1 \text{ mmHg} = 1 \text{ tor} = 133,322 \text{ Pa}$ ); milimetar stupca vode, znak *mmH<sub>2</sub>O* ( $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9,806\,649 \text{ Pa}$ ). Instrumenti za mjerenje tlaka su barometar, manometar i vakuumetar. [71]

Postoji više vrsta tlakova: hidrostatički, hidrodinamički, hidraulički, radijacijski, atmosferski tlak, tlak plina itd.

### **Atmosferski tlak**

Atmosferski tlak ili tlak zraka je tlak na bilo kojem dijelu Zemljine atmosfere. To je težina kojom zrak pritišće na površinu Zemlje. Za bolje razumijevanja pojma tlaka zraka može se zamisliti stupac zraka jediničnog presjeka koji se proteže od tla do vrha atmosfere. Tlak zraka je jednak težini tog stupca zraka.

Područja nižeg tlaka imaju manju masu atmosfere iznad sebe, a područja s većim tlakom imaju veću. [70]

Standardni atmosferski tlak je tlak zraka mjeren na razini mora, tj. na nadmorskoj visini  $0 \text{ m}$ , pri temperaturi zraka  $0 \text{ °C}$  i iznosi  $101\,325 \text{ Pa}$  ( $1 \text{ atm}$ ). [71] Na Zemljinoj površini tlak zraka iznosi oko  $100.000 \text{ N/m}^2$  tj.  $100 \text{ kPa}$ . Taj tlak definira se kao  $1 \text{ bar}$ . [70]

Tlak zraka jedan je od najvažnijih meteoroloških elemenata, a povezan je s temperaturom zraka i vjetrom. Razlike u atmosferskom tlaku uzrokuju strujanje zraka s jednog mjesta na drugo, a s tim i pojavu vjetra. [72]

Tlak zraka mijenja se nadmorskom visinom i u nižim slojevima atmosfere pada za oko  $1 \text{ hPa}$  za svakih  $8,5 \text{ m}$  povećanja visine. Kod tlaka zraka važno je obratiti pozornost na promjene tlaka u vremenu što se u meteorologiji naziva tendencija tlaka. Tendencija tlaka jedan je od parametara važnih za prognozu vremena jer ukazuje na približavanje i udaljavanje hladnih i toplih zračnih masa (ciklone i anticiklone i s njima povezanih frontalnih zona). [72]

### **Ciklona i anticiklona**

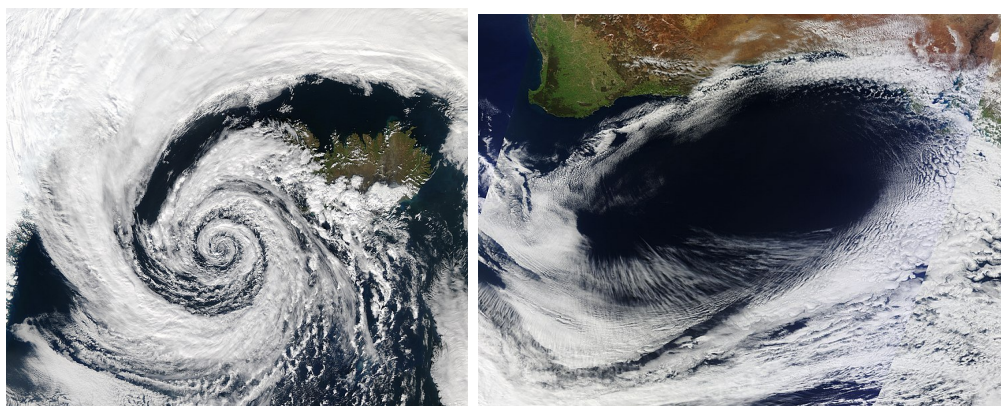
Područja niskog tlaka zraka nazivaju se ciklonama. Ciklona donosi nestabilno, promjenjivo i kišovito vrijeme. To je ogromni zračni vrtlog sniženog tlaka zraka, u kojem se čestice zraka na sjevernoj polutki gibaju u smjeru suprotnom kazaljci na satu, a na južnoj polutki u smjeru kazaljke na satu. Idući od središta ciklone prema njenoj

periferiji, raste tlak zraka. Vodoravni promjer ciklone iznosi od 100 do 3 000 *km*, a okomito se ciklona prostire katkada i do visine od 15 do 20 *km*. Najniži tlakovi u središtu ciklone javljaju se u tropskim predjelima i mogu pasti i na manje od 900 *mbar*.

Područja visokog tlaka zraka nazivaju se anticiklonama. Anticiklona donosi stabilno i vedro vrijeme. To je ogroman zračni vrtlog povišenog tlaka zraka s najvećom vriednošću u središtu. Gibanje čestica zraka je suprotno od onog u cikloni; na sjevernoj Zemljinoj polutki čestice se gibaju u smjeru kazaljke na satu, a na južnoj obratno. Najviši tlakovi u središtu anticiklone mogu biti i veći od 1050 *mbar*.

Za ciklonu i anticiklonu koriste se još nazivi barički minimum i barički maksimum, a za ciklonu i naziv depresija.

Prema zemljopisnom području nastanka razlikuju se: izvantropske ciklone i anticiklone, tropske ciklone (takozvani cikloni) s nazivima uragani i tajfuni te subtropske anticiklone. [73]



Slika 2.16: Ciklona (lijevo) [17] i anticiklona (desno) [18]

### 2.4.3 Temperatura

Temperatura (znak  $t$  i  $T$ ), je mjera zagrijanosti tijela. Opisuje toplinsko stanje i sposobnost tijela ili tvari da izmjenjuju toplinu s okolinom. Temperatura ne može prelaziti s tijela na tijelo, nego prelazi toplina, a temperature se izjednačavaju. Jedna je od osnovnih fizikalnih veličina u Međunarodnom sustavu jedinica. [75] Postoji više mjernih jedinica za temperaturu: Celzijevi stupnjevi ( $^{\circ}\text{C}$ ) ( u Europi), Fahrenheitovi stupnjevi ( $F$ ) (u SAD-u), Kelvin ( $K$ ) (SI mjerna jedinica), dok se u SAD-u još koristi i Rankineov stupanj. [74]

## Empirijska temperatura

Empirijska temperatura (znak  $t$ ) definira se promjenom nekih svojstava (npr. duljine stupca žive u staklenoj cijevi, volumena, električne vodljivosti) termometrijskoga tijela.

Prvi korak u proučavanju topline bio je izum termometra koji je omogućivao mjerenja i uspoređivanje toplinskoga stanja različitih tijela. Taj instrument morao je biti reverzibilan, tj. vratiti se nakon prestanka djelovanja topline u početno stanje, te pokazivati isti efekt za jednaka toplinska stanja različitih tijela. Uskoro se, kako bi se mogla usporediti dva mjerenja, pojavila potreba za temperaturnom ljestvicom. Ljestvica se određuje tako da se uzmu se dva određena toplinska stanja nekog tijela. Temperature ta dva različita toplinska stanja su različite i one predstavljaju dvije karakteristične točke, i onda se taj temperaturni razmak podijeli na povoljan broj dijelova (stupnjeva). [75]

Za Celzijevu ljestvicu za prvu karakterističnu točku uzeta je 0 tj. temperatura taljenja leda, a druga točka označena je sa 100, što predstavlja temperaturu vrenja (ključanja) vode. Područje između tih dviju točaka podijeljen je u 100 jedinica i tako je definirana skala. Fahrenheitova skala zamišljena je tako da je točka taljenja leda označena s 32, a točka vrenja vode s 212. Reomir je predložio skalu kod koje je točka taljenja leda označena s 0, a točka vrenja vode s 80. [76]

## Apsolutna (termodinamička) temperatura

Ovo određivanje temperature polazi od rada povratnog (reverzibilnog) toplinskog stroja, koji izmjenjuje toplinu s toplijim i hladnijim spremnikom. Omjer predane iz toplog spremnika i primljene topline u hladni spremnik u Carnotovom kružnom procesu jednak je omjeru termodinamičkih temperatura spremnika. Termodinamička temperatura jedna je od osnovnih veličina Međunarodnog sustava jedinica. Najniža joj se vrijednost naziva apsolutna nula temperature. Mjerna jedinica termodinamičke temperature jest Kelvin ( $K$ ).

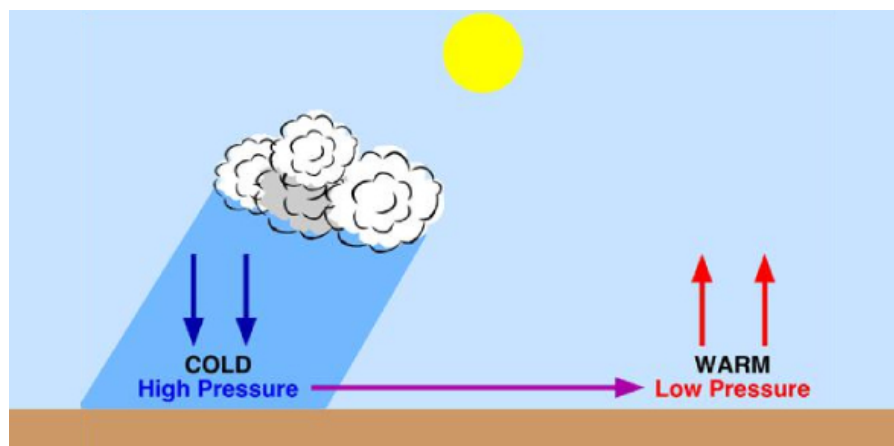
$$\frac{T_A}{T_B} = \frac{Q_A}{Q_B} \quad (2.5)$$

Ovo je univerzalna definicija temperature, stoga što je neovisna o materijalu (supstanci) i načinu rada toplinskog stroja, dokle god je toplinski stroj reverzibilan.

## Temperatura zraka

Temperatura zraka je meteorološki element koji mjeri termometar izložen dva metra iznad tla, u hladu, u meteorološkoj kućici i zaklonjen je od utjecaja drugih zračenja.

Visina od dva metra je određena dogovorom kako bi mjerenja na različitim mjestima bila međusobno usporediva. [75]



Slika 2.17: Utjecaj hladnog i toplog zraka na Zemljinu površinu [19]

Temperatura zraka mijenja se tijekom dana i tijekom godine. Godišnji hod temperature ovisi o položaju Zemlje prema Suncu, zemljopisnoj širini i dužini, te o klimatskim promjenama. U našim zemljopisnim širinama u prosjeku je najhladniji mjesec siječanj, a najtopliji srpanj. Dnevni hod temperature ovisi o dobu dana, veličini i vrsti naoblake, vjetru i može se znatno promijeniti pri naglim prodorima toplog ili hladnog zraka. Dnevni hod temperature zraka nad kopnom je jače izražen nego nad morem. Naoblaka jako utječe na dnevni hod temperature tako što reflektira ili apsorbira zračenje Sunca i Zemlje. Za oblačna vremena Sunčevo zračenje se reflektira na gornjim dijelovima oblaka te mali dio zračenja dolazi do Zemljine površine, tako da temperatura zraka ne može rasti. Noću, za oblačna vremena, dugovalno zračenje Zemljine površine se u oblacima apsorbira i djelomično vraća nazad i tako zagrijava zrak. Općenito je poznata činjenica da je za vedrih noći hladnije nego za oblačna vremena. Vjetar na moru također ima utjecaj na dnevni hod temperature. Uz stalan vjetar dnevna promjena temperature zraka je manja nego u situacijama bez vjetra.

Uz samo tlo temperatura zraka naglo se mijenja zbog topline samog tla, pa razlika između temperature zraka na dva metra visine i one pri tlu može iznositi i do 10 °C. Temperatura zraka pri tlu mjeri se termometrima postavljenima 5 cm iznad tla. Najniža je do sada izmjerena temperatura zraka – 89,2 °C na stanici Vostok (Antarktika, 1983.), a najviša 57,3 °C u mjestu Asisija (Libija, 1923.). [74]





Slika 2.18: Meteorološka kućica za mjerenje temperature zraka [20]

## 2.5 Meteoropatija

Pojam meteoropatije (grč. meteoron – nebeska pojava i pathos – bolest) označava poteškoće kod ljudskog zdravlja povezane s vremenskim promjenama. [79]

Ljudsko tijelo ima mehanizam kojim detektira i prilagođava se promjeni vremena. No uslijed urođenih ili stečenih bolesti, ponekad i bez očitog razloga, može doći do kvara ili poteškoća u tom mehanizmu, te se tijelo više ne može prilagoditi ili se prilagođava sporije što uzrokuje pojavu simptoma meteoropatije. Dakle, ljudi koji imaju urođene ili životom stečene bolesti su oni koji će najčešće doživjeti simptome uzrokovane promjenom vremena. To su ljudi s respiratornim bolestima i astmatičari, ljudi s aterosklerozom, sa slomljenim kostima i bolovima u zglobovima, te ljudi s poremećajima živčanog sustava. Simptomi mogu biti različiti, s obzirom na vrstu bolesti koje osoba ima od prije, te se mogu razlikovati po jačini: biti skoro neprimjetne pa do vrlo opasne, koje ponekad zahtijevaju i bolnički prijem. Česti simptomi su: glavobolja, vrtoglavica, zamračenje pred očima, zujanje u ušima, lupanje srca, otežano disanje, razdražljivost, nervoza, nesanica noću, pospanost danju, skokovi krvnog tlaka, depresivno raspoloženje, bol u zglobovima, bol u mišićima bez jasne lokalizacije,... Ovi simptomi traju jedan ili dva dana. Počinju se smanjivati kada nastupi promjena vremenskih prilika, ali se ponovno javljaju kada se vrijeme pogorša. Kada se promjene vremenskih prilika izmjenjuju u pravilnom slijedu, intenzitet simptoma se smanjuje jer se i organizam prilagodi. Vremenske promjene najviše utječu na ljude koji pate od kardiovaskularnih bolesti - s oštrom promjenom vremena dolazi do snažnog vazospazma, što može dovesti ne samo

do hipertenzivne krize, već čak i do infarkta miokarda ili moždanog udara. [77]

Svatko ima različitu razinu osjetljivosti na vremenske promjene. Osobe koje se bave redovitom tjelesnom aktivnosti i oni koji provode nekoliko sati dnevno na otvorenom obično ne primjećuju promjene vremena ili simptome meteoropatije lakše podnose. S druge strane stariji ljudi, ljudi koji su imali operativni zahvat, osobe čija zanimanja uključuju dugotrajno sjedanje za radnim mjestom i upotrebu računala, mogu osjećati simptome na svaku promjenu vremena Često se može pronaći tvrdnja o tome kako je meteoropatija bolest modernog doba, no to nije istina. Sjedilački način života može uzrokovati povećanje broja meteoropata, zbog toga što takav način života općenito dovodi do pojava mnogih problema s ljudskim zdravljem. No još u davna vremena, ljudi su primjetili da se kod nekih ljudi uočava osjetljivost na određene atmosferske pojave. Između ostalog, i Hipokrat je o tome pisao u svom znanstvenom radu. [77]

U današnje vrijeme i dalje traje debata oko toga je li meteoropatija zaista postoji ili ne. Ono što se sigurno može reći je da to još uvijek nije službena bolest (prema Međunarodnoj statističkoj klasifikaciji bolesti i srodnih zdravstvenih problema). No u zadnje vrijeme provode se istraživanja u kojima se sve više pokazuje da povezanost utjecaja vremena na ljudsko zdravlje zaista postoji. [77]

### **2.5.1 Utjecaj atmosferskih parametara na ljudsko zdravlje**

U ljudskom tijelu postoje živčani receptori, koji, poput antena, primaju informacije o promjenama vremena. Ovi receptori zatim prenose signale u mozak i vegetativno-vaskularni sustav, koji privremeno stavlja druge tjelesne sustave u "visoku pripravnost" i naređuje im da se prilagode promjenama vremena u okolini. [77]

#### **Tlak zraka**

Vremenske smetnje se češće javljaju u razdobljima pada barometarskog tlaka. Ljudske krvne žile sadrže baroreceptore - posebnu vrstu živčanih završetaka koji reagiraju na fluktuacije barometarskog tlaka i šalju signale mozgu da se krvni tlak treba prilagoditi zbog tih promjena. Ovaj mehanizam često je poremećen kod osoba s kardiovaskularnim bolestima ili artritismom, zbog čega dolazi do skokova krvnog tlaka, popraćenih vrtoglavicom, nepravilnim srčanim ritmom i jakim bolovima u zglobovima. Također, žile u tijelu će se proširiti ili suziti, što može negativno utjecati na cirkulaciju krvi u tijelu, posebno na opskrbu mozga kisikom. Ako se dogodi da mozak ne dobiva dovoljnu količinu kisika neće imati dovoljno energije za funkcioniranje te će se pojaviti



glavobolje, slabost, apatija i depresivno raspoloženje. [77]

### **Vlažnost zraka**

Promjene vlažnosti zraka nepovoljno utječu na osobe s kroničnim bolestima dišnog sustava. Visoka vlažnost zraka povećava rizik od oticanja tkiva, napadaja astme i bronhospazma. Niska vlažnost zraka stvara pogodno tlo za pojavu akutne respiratorne infekcije jer u bronhima se stvara gust, viskozan, teško odvojitiv iskašljaj u kojem se nakupljaju patogeni. Vlaga utječe i na ljude s prijelomima ili ozljedama udova, koje počinje boljeti (bol u rasponu od mučnog do probadajućeg, ovisno o vremenu nakon ozljede) zbog promjena u strukturi tkiva ili kostiju uzrokovanih upravo tom vlagom. Dijelovi kosti koji su bili slomljeni pa su opet izrasli tvrdi su i manje elastični od neoštećene kosti, te tako i manje prilagodljivi rastezanju i stiskanju koje nastaje pod utjecajem promjene vremena. [77]

### **Temperatura zraka**

Dnevna prosječna kolebanja temperature u rasponu od 8 °C do 10 °C mogu izazvati nagle emisije histamina - glavnog "aktivatora" alergijskih reakcija. S naglim porastom temperature značajno se smanjuje sadržaj kisika u zraku, što može uzrokovati opću slabost i jaku pospanost i letargiju, dok niske temperature mogu izazvati pogoršanje zaraznih i upalnih procesa. [77]

### **Geomagnetska aktivnost**

Promjene u geomagnetskoj aktivnosti mogu utjecati na kvalitetu krvi jer visoka solarna i geomagnetska aktivnost pridonosi povećanju viskoznosti krvi, a manja njenom razrjeđivanju. Gušća krv se teže kreće kroz krvne žile, što rezultira povećanjem krvnog tlaka, a tu postoji rizik od krvnih ugrušaka i gladovanja unutarnjih organa kisikom. Prekomjerna količina tekuće krvi je opasna zbog razvoja krvarenja, osobito ako postoje problemi s tonusom stijenki krvnih žila. [77]

### **Istraživanje povezanosti temperature i krvnog tlaka**

Krvni tlak pokazuje sezonske varijacije s nižim vrijednostima tlaka pri višim temperaturama okoliša i višim vrijednostima tlaka pri nižim temperaturama. Ovo je globalni fenomen koji pogađa oba spola, sve dobne skupine, normotenzivne osobe i hipertenzivne bolesnike. U liječenih hipertenzivnih bolesnika to može dovesti do pretjeranog pada krvnog tlaka ljeti ili porasta zimi, što dovodi do toga da bi se količina lijekova koje uzimaju trebala razlikovati ljeti i zimi [78] Bolesnici koji imaju dobro kontroliranu

hipertenziju zimi, ljeti mogu imati značajan pad krvnog tlaka što zahtijeva smanjenje antihipertenzivnih lijekova. Nasuprot tome, osobe s dobro kontroliranom hipertenzijom tijekom ljetnih mjeseci, mogu imati značajan porast krvnog tlaka zimi i potrebu povećanja doza propisanih lijekova. Ovakve varijacije krvnog tlaka osobe mogu osjetiti kada putuju iz hladnijih krajeva u toplije i obrnuto. [79]

### **Biometeorologija u Hrvatskoj**

Istraživanja na području biometeorologije u Hrvatskoj su počela još sredinom šezdesetih godina dvadesetog stoljeća, pod vodstvom dr. Nade Pleško u suradnji s liječnicima. Početkom osamdesetih godina pokrenut je prvi biometeorološki projekt u kojem je u suradnji sa zagrebačkim bolnicama istraživana utjecaj vremena na vaskularne bolesti (infarkt miokarda, moždani udar i plućnu emboliju, a kasnije su uslijedila istraživanja utjecaja vremena na učestalost samoubojstava, bolesti dišnog sustava i astme). Od tada biometeorološka istraživanja postaju sustavni dio DHMZ. [80]

### **Statistika u Hrvatskoj**

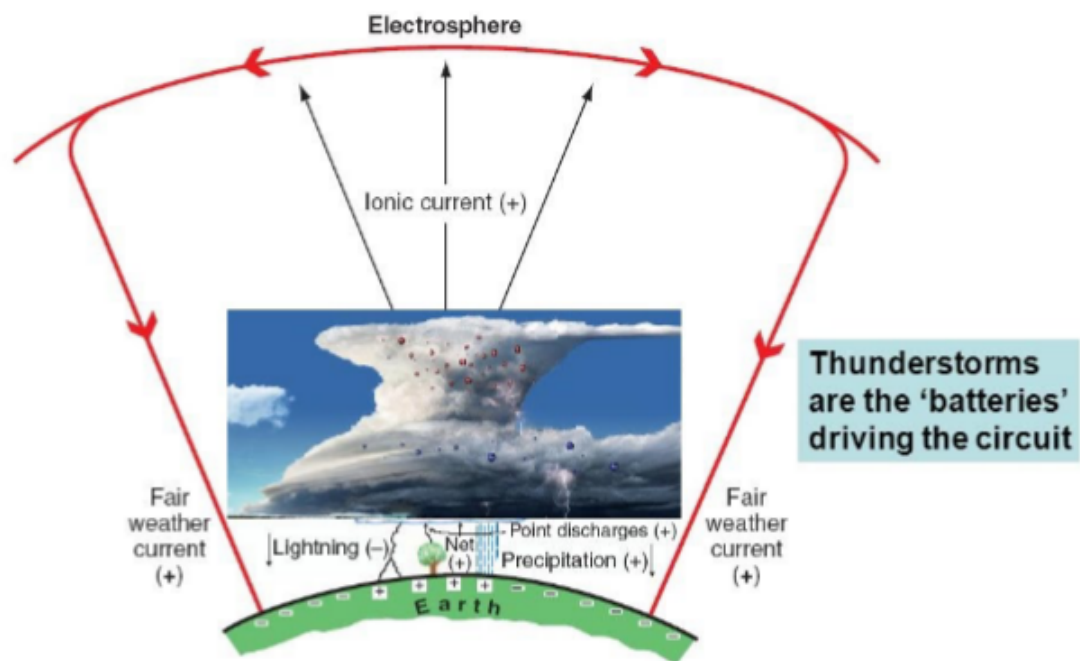
Ekstremne temperature zraka mogu uzrokovati zdravstvene probleme i povećani broj smrtnih slučajeva i stoga predstavljaju javnozdravstveni problem. Prema istraživanju o utjecaju toplinskih valova na mortalitet u Hrvatskoj u razdoblju od 1983. do 2008. godine rezultati su pokazali značajan utjecaj produženog razdoblja ekstremnih temperatura u kopnenom dijelu Hrvatske. Ovdje su se ekstremne maksimalne vrijednosti kretale iznad 36 °C. Rezultati su potvrdili povećanu ukupnu smrtnost, pri čemu je značajan utjecaj porasta od 1 °C na čak tri do pet puta veću smrtnost u slučaju trajanja ekstremnih vrućina preko pet dana. Prema navedenom protokolu, kada DHMZ tijekom redovitog praćenja utvrdi da postoji 70% vjerojatnosti da će dnevne temperature prijeći vrijednost 35 °C izdaje se upozorenje o opasnosti od toplinskog vala koji može djelovati na ljudsko zdravlje jer je uočeno da se najveći broj smrti događa u prva dva dana nakon pojave opasne temperature te kada razdoblje potraje dulje vrijeme. [80]

## **2.6 Globalni električni strujni krug**

Zemlja se ponaša kao ogromni električni strujni krug. Donji rub ionosfere i površina Zemlje su električki nabijeni i čine dve potencijalne plohe. Ionosfera i određena debljina zraka ispod nje su pozitivno nabijeni, a površina Zemlje je negativno nabijena, Između

ove dvije plohe električni potencijal između njih povećava se cca. 100 V po metru. Dakle u atmosferi postoji okomito električno polje koje iznosi 100 V/m. Mjerenja su pokazala da polje slabi s povećanjem visine i na oko 50 km gdje je vodljivost zraka već jako velika (to još nije ionosfera), polje je vrlo slabo, tako da se većina promjene potencijala nalazi na nižim visinama. Ukupna razlika potencijala od površine Zemlje do gornje vodljive površine je 400 000 V (Feynman) (negdje kažu 200 000 V - NASA). [82] [81]

Područje na visinama od 60km na više sadrži puno slobodnih elektrona i iona koji tamo nastaju. Vodljivosti obog sloja najviše doprinose elektroni jer su više pokretljivi od iona, pa se ovaj sloj naziva elektrosfera. Mjerenjima je utvrđeno da je ukupni naboj elektrosfere pozitivan. [83]



Slika 2.19: Shema globalnog električnog strujnog kruga [21]

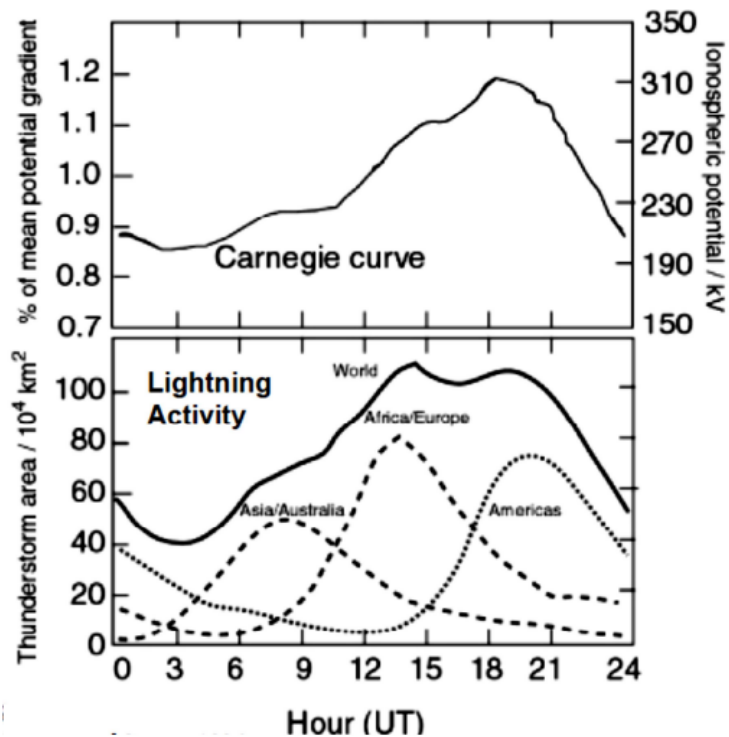
Kroz atmosferu teče struja čija gustoća (paralelna sa površinom Zemlje) iznosi  $1 - 3 \times 10^{-12} A/m^2$ , i pretežno je konstantna. [82] Zrak očito nije savršeni izolator, i zbog razlike potencijala koji postoji u atmosferi, dolazi do protoka struje kroz atmosferu prema Zemlji. Naboj koji putuje kroz električno polje su pozitivni ioni koji nastaju primarno zbog kozmičkih zraka. Kozmičke zrake ulaze u atmosferu i ioniziraju atome i molekule u atmosferi. Drugi izvor pozitivnih naboja je "prljavština" u zraku tj. to može biti sitna prašina, ili kristalići NaCl koji dolaze kada kapljice mora koje se nalaze u zraku evaporiraju, a u zraku ostanu lebdjeti jako mali kristalići NaCl koji onda

moгу primiti na sebe naboje i postati veći. Ioni nastali od prljavštine su veliki ioni i puno sporije se kreću od malih iona nastalih pod utjecajem kozmičkih zraka. Može se dogoditi da veliki ioni prime na sebe male ione, pa će u zraku biti velika količina velikih, sporih iona. Zbog sporog kretanja vodljivost zraka će se smanjiti. Općenito, vodljivost zraka je jako varijabilna, i mijenja se od trenutka do trenutka, mjesta do mjesta, a ima i dnevne promjene. Dva faktora utječu na to da vodljivost zraka varira. Kao što je već navedeno, na varijabilnost vodljivosti utječe količina velikih i malih iona u zraku, tj. količina prljavštine u zraku. Drugo, vodljivost zraka mijenja se s visinom. Dva su razloga zbog kojih se to događa. Prvi je da je ionizacija koja nastaje pod utjecajem kozmičkih zraka, jača na višim djelovima atmosfere. Drugo, kako se gustoća zraka smanjuje s povećanjem visine, onda se se i srednji slobodni put iona povećava, pa oni mogu duže putovati u električnom polju prije nego se sudare. Rezultat svega je naglo povećanje vodljivosti zraka s visinom i negdje na otprilike 50 *km* (to još nije ionosfera), zrak efektivno postaje vodič, i za diskusiju o atmosferskom elektricitetu može se zamisliti da je to savršeno vodljiv vodič i da se odavdje ioni počinju kretati prema površini Zemlje. [81]

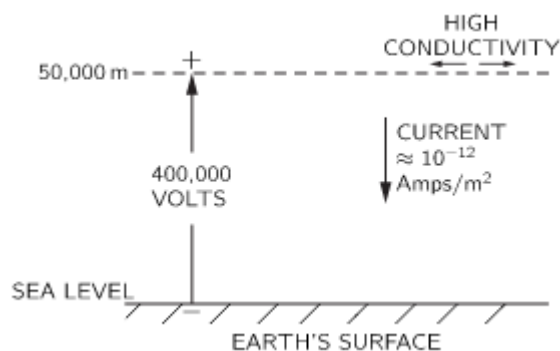
Iako je atmosferska struja uglavnom konstantna, mjerenjem struje iznad različitih oceana, pokazalo se da ona lagano varira i da svuda u svijetu u isto vrijeme dostiže svoj maksimum i minimum. Maksimum dostiže u 19h, a minimum u 4h U.T. Dakle varijacija struje ne ovisi o lokalnom, već o apsolutnom vremenu Zemlje. [81] Grafički prikaz dnevnih varijacija električnog polja Zemlje iznad oceana u odnosu na univerzalno vrijeme zove se Carnegieva krivulja. Pretpostavlja se da je Carnegieva krivulja povezana s globalnim prostornim rasporedom grmljavina u univerzalnom vremenu. [83] S obzirom na jaku vodljivost na 50 *km* od površine Zemlje, nije moguće da će razlika potencijala Zemlje i vrha varirati lokalno. Sve varijabilnosti potencijala javljaju se u cijelom svijetu istovremeno. Ono što se zasada zna je da napon na "gornjoj" vodljivoj površini pada i raste za 15 % s apsolutnim vremenom na Zemlji. [81]

Gustoća struje koja teče kroz kvadratni metar Zemlje je vrlo mala, no s obzirom je površina planete Zemlje velika, ukupna struja koja prolazi kroz atmosferu iznosi 1800A. Pozitivni ioni putuju prema negativno nabijenoj površini Zemlje (za vrijeme lijepog vremena u atmosferi). [81] Sa tako velikom strujom koja dolazi do Zemljine površine, kada nebi bilo izvora dodatnih naboja, postojeća struja nestala bi za oko 10-30min [84] [81].

No to se nikada do sada nije dogodilo. Ono što stvara dodatan naboj u atmosferi i



Slika 2.20: Usporedba Carnegieve krivulje i prostornog rasporeda grmljavina u svijetu u univerzalnom vremenu [22]



Slika 2.21: Tipični električni uvjeti u čistoj atmosferi [23]

održava tok struje kroz atmosferu su grmljavine. U svijetu je u svakom trenutku aktivno oko tisuću grmljavinskih oluja, koje održavaju električno polje Zemlje pomoću električnih pražnjenja - munja. [82] Većina grmljavinskih oluja na Zemlji događa se u tropskim regijama između  $\pm 30^\circ$  geografske širine ekvatora. Grmljavinske oluje su u tropima koncentrirane uglavnom nad kontinentalnim regijama (Amerika, Afrika i jugoistočna Azija) s malim postotkom uočenim nad oceanima. Razlog tome je vjerojatno povezan s većim dnevnim zagrijavanjem površine kopna u usporedbi s oceanima. [85]

Strujni krug Zemlje može se promatrati preko mehanizma punjenja i pražnjenja ploča kondenzatora kao istosmjerni (DC) strujni krug kada naboj putuje kroz atmosferu, i kao izmjenični (AC) strujni krug kada kroz atmosferu putuju elektromagnetski valovi. Elektromagnetski valovi nastaju udarom munje, koja lokalno mjenja raspodjelu naboja pa onda i lokalno električno polje, što dovodi do promjene magnetskog polja, te se na mjestu udara javlja elektromagnetski val. [83]

### 2.6.1 Grmljavine

Za početak potrebno je razumijevanje određenih pojmova vezanih za grmljavinske oluje. Munja je pražnjenje električnog naboja. Sijevanje je svjetlosni učinak tog električnog pražnjenja - bljesak, a grmljenje je zvučni učinak električnog pražnjenja - prasak.

Ova tri pojma zajedno čine grmljavinu. Munja se može javiti unutar oblaka, između dva oblaka, između oblaka i atmosfere, te između oblaka i Zemljine površine. Ako se električno pražnjenje odvija na Zemljinoj površini onda se to zove grom. [86]

#### Munje

Munja je razgranata električna iskra čiji promjer iznosi do 50 *cm*, a duljine je 2 do 3 *km*, najviše 20 *km*. Nastaje na visinama između 300 *m* i 6000 *m*. Raspon električnog napona je od nekoliko tisuća do nekoliko milijuna volti, proizvodi struju od 10 do 110 *kA*, traje između 0.01*s* i 2*s* što rezultira prosječnom energijom oko 40 *MWh*. [86]

Pri nastanku munje nastaje jak zvučni efekt koji se naziva grmljenje. Ono nastaje naglim širenjem i stezanjem zraka zbog njegova jakog zagrijavanja (cca. 25 000 *K*) unutar kanala pražnjenja tvoreći eksplozivni zvuk. Približna udaljenost munje u kilometrima je vremenska razlika između svjetlosne i zvučne pojave podijeljena s 3 (jer brzina zvuka u zraku temperature 20 °C iznosi 343 *m/s*). Grmljenje traje više sekundi, a čuje se na udaljenosti većoj od 20 *km*, čak do 65 *km*. [86]

Tehnički, munja je kretanje električnih naboja i nema temperaturu; međutim, zrak je loš vodič elektriciteta i otpor koji se javlja kada se kroz njega kreće električni naboj uzrokuje njegovo zagrijavanje. [87]

Munja ima više vrsta te ih se dijeli s obzirom na način nastanka, a to su: oblak prema tlu i tu postoje dve podvrste: jedna koja prema tlu vodi negativan naboj, a druga koja prema tlu vodi pozitivan naboj. Postoje još munje od oblaka do oblaka, od oblaka prema zraku, munja unutar jednog oblaka i munja koja nastaje od tla prema oblaku i



Slika 2.22: Catatumbo munje su atmosferski fenomen u Venezueli. Munje se javljaju tijekom 140 do 160 noći godišnje, 10 sati dnevno i do 280 puta na sat, na području iznad i oko jezera Maracaibo, obično na mjestu gdje se rijeka Catatumbo ulijeva u jezero. Catatumbo munje mijenjaju svoju učestalost tijekom godine, a ona je različita iz godine u godinu. [95] [24]

ona također može biti pozitivna ili negativna, a takve se najčešće javljaju kod visokih tornjeva i nebodera. Kod munja koje idu od oblaka prema tlu, najčešće se zajedno s njima javljaju i munje koje nestaju u zraku. Negativne oblak prema tlu munje su puno češće od pozitivnih. Najčešći tip munja su one koje se javljaju unutar jednog oblaka, a najrjeđe su one koje se javljaju između dva oblaka. [88]

Postoje i druge vrste munja, između ostalog tu spadaju kuglaste munje i prolazni svjetlosni događaji (*"transient luminous events"* - TLEs). Takve munje vrlo su malo istražene jer se javljaju u puno višim slojevima atmosfere. To su: vilenjaci, plavi mlazovi, spriteovi, duhovi,...

### **Kuglaste munje**

Kuglaste munje su rijetka i nepredvidiva pojava za koju se dugo mislilo da je samo mit. Uzrok nastanka nije poznat, ali postoji nekoliko teorija s kojima se pokušao objasniti nastanak kuglastih munja. Pojavljuje se u obliku svjetleće kugle promjera 10 do 20 *cm*, rijetko i do nekoliko 1 *m*, a češće se pojavljuje u obliku prstena ili diska.

Boja je najčešće crvena ili narancasta, ali su zabilježene i munje zute, plave, zelene i intenzivno sjajne bijele boje. Najčešće traju nekoliko sekundi ali mogu trajati i do nekoliko minuta. Srednja brzina gibanja je  $1 - 2 \text{ m/s}$ . Mogu stajati na mjestu, a mogu se i gibati i to na različite načine: okomito, horizontalno, krivudavo, kružno. Mogu nastati u tišini, a mogu i pucketati. Često ih prati miris po sumporu i nitritu. Mogu i ne moraju biti destruktivne. Neke kuglaste munje nestanu tako da eksplodiraju, a neke nestanu u tišini. [83] [89]

### **Prolazni svjetlosni događaji**

Prolazni svjetlosni događaji (TLEs) ili kako se još nazivaju munje gornje atmosfere su kratkotrajni svjetleći električni fenomeni nastali u višim područjima atmosfere (stratosfera, mezosfera i donja ionosfera) iznad velikih grmljavinskih oblaka. Nastaju kao posljedica promjene električnog polja u grmljavinskom oblaku koje nastaje zbog munja unutar oblaka ili munja oblak-tlo tj. dolazi do uzlaznog električnog pražnjenja. Ove pojave često se nazivaju munjama ali to je donekle pogrešno s obzirom na to da su ove pojave za razliku od troposferskih munja puno hladnije. Rijetko se vide vizualno i uglavnom se promatraju osjetljivom fotografskom opremom i to samo noću. Prolazni svjetleći događaji uključuju vilenjake (eng. *sprites*) i svjetlosne krugove (eng. *halos*), patuljke (eng. *elves*), mlazove (eng. *jets*), gnomove (eng. *gnomes*), trolove (eng. *trolls*), duhove (eng. *ghosts*) i *pixies*. [91]

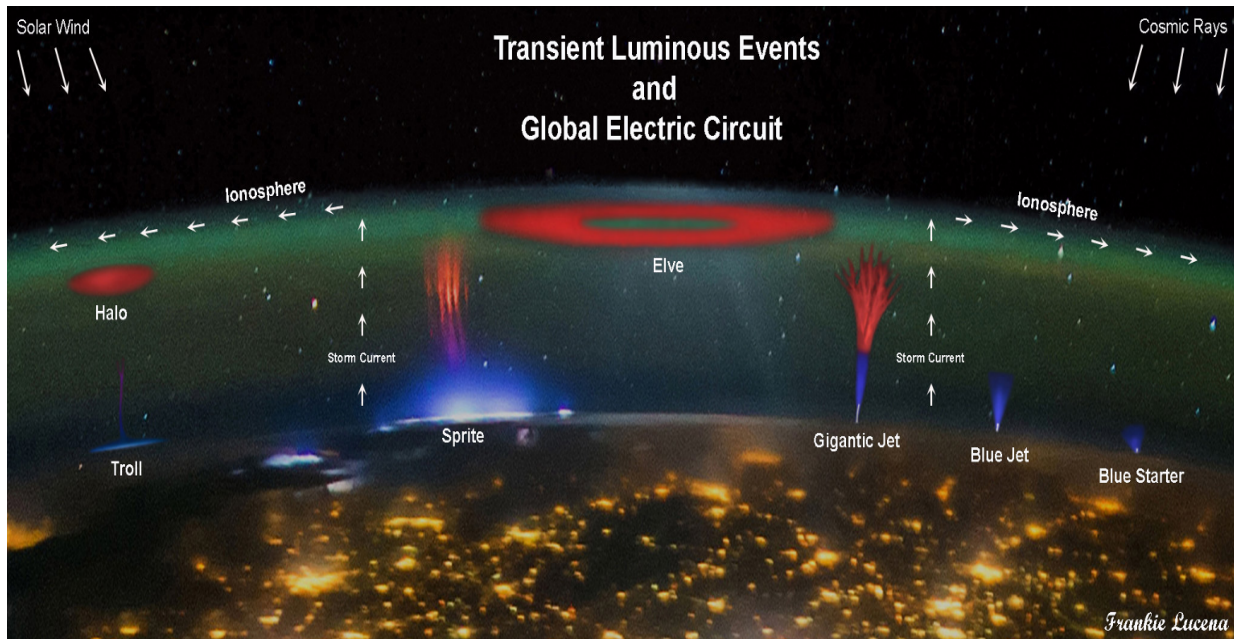
Uloga ovih pojava još nije u potpunosti razjašnjena ali jedna od teorija sugerira da ove pojave odvođe višak naboja koji se nakuplja u atmosferi iznad grmljavinskog oblaka za vrijeme grmljavinske oluje te tako sudjeluju u Zemljinom električnom strujnom krugu. [90]

### **Vilenjaci**

Vilenjaci (eng. *sprites - Stratospheric/mesospheric Perturbation Resulting from Intense Thunderstorm Electrification*) nastaju ispod ili u bazi ionosfere (50-90 km) iznad velikih grmljavinskih oluja, najčešće iznad kontinenta jer se tu pojavljuju veliki grmljavinski sustavi. Crvene su boje zbog emisijskih linija dušika. Traju nekoliko desetina milisekundi i mogu se vidjeti ocima adaptiranim na mrak. Prema obliku i vizualnom izgledu razlikuju se tri vrste vilenjaka. Visina i širina vilenjaka može iznositi i do 50km. Vilenjaci prenose naboj prema ionosferi. Oni mogu potaknuti pojavu sekundarnog mlaza (eng. *secondary jets*), koji se stvore ispod vilenjaka i imaju plavu i ljubičastu boju. [91] [83]

Uz vilenjake se često pojavljuju i svjetlosni krugovi (eng. *halo*), iako se mogu pojaviti





Slika 2.23: Prolazni svjetlosni događaji i njihov položaj u atmosferi [25]

i u odsustvu vilenjaka. [92] Smatra se da nastaju istim procesom kao i vilenjaci ali nemaju strujanja zbog manje ionizacije. Promjera su manjeg od  $100 \text{ km}$ . [91] [83] Iako su slični patuljcima - prstenaste svjetleće pojave, razlikuju se po tome što svjetlosni krugovi duže traju, manji su i nastaju na manjim visinama od patuljaka. [92]

Osim svjetlosnih krugova, nakon pojave vrlo snažnih vilenjaka mogu se opaziti i trolovi (eng. *trolls* - Transient Red optical Luminous Lineaments). Trol izgleda kao skup crvenih mrlja blizu vrha aktivnog grmljavinskog oblaka i ima crvenkaste trake u obliku repa usmjerene prema gore poput plavih mlazova. [92]

### Duhovi

Novootkriveni prolazni svjetlosni događaj je duh (eng. *ghost* - Green emissions from excited Oxygen in Sprite Tops) je zelena svjetlost koja se pojavljuje na vrhu vilenjaka i traje malo duže od samog vilenjaka. Zelene je boje zbog emisijskih linija kisika koji prevladava na tim visinama. [91]

### Patuljci

Patuljci (eng. *elves* - Emission of Light and Very low frequency perturbations due to Electromagnetic pulse Sources) su prigušeni, spljošteni, svjetleći prstenovi koji se šire i promjer im je oko  $400 \text{ km}$ . Traju  $0,001 \text{ s}$  pa ih je nemoguće vidjeti golim okom. Nastaju u ionosferi iznad velikih grmljavinskih oluja. Proizvode ih elektromagnetski pulsovi (EMP) iz povratnog udara munje, a obično nastaju iznad oceana jer je tamo



Slika 2.24: Vilenjak u obliku meduze [26]

struja munje obično jača nego iznad kopna. Elektromagnetski puls se iz baze kanala munje siri kao sferni val uvis. Kada stigne do donje ionosfere, prosiri se kao prsten. Smatra se da električno polje EMP-a ubrzava slobodne elektrone, povećavajući sudare, ionizaciju i emisiju vidljive svjetlosti. [83]

### Mlazovi

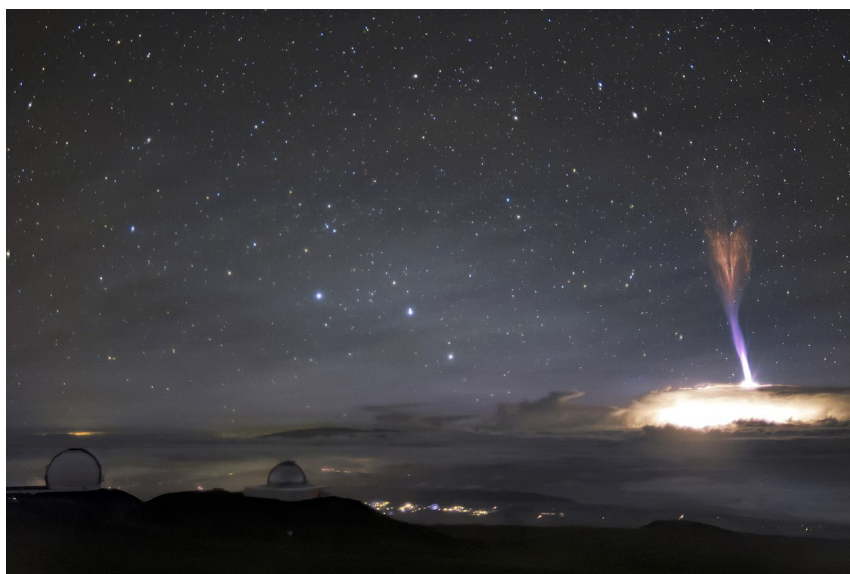
Mlazova ima tri vrste: plavi mlazovi (eng. *blue jets*), plavi starteri (eng. *blue starters*) i gigantski mlazovi (eng. *blue jets*). Ime su dobili po plavoj boji svjetlosti i konusnom obliku. U mraku ih je moguće vidjeti golim okom. Plava svjetlost i UV emisijske linije nastaju od neutralnih i ioniziranih molekula dušika. Na ovim visinama dušikove linije su plave (a ne crvene kao kod vilenjaka), jer je tu tlak zraka veći. [91]

Iako su to produžeci vođa, izgledaju drugačije no obična munja jer iznad grmljavinskog oblaka, u gornjoj atmosferi gdje nastaju, zrak je rjeđi i tlak je manji pa ionizacija izgleda drugačije nego blizu tla jer se zbog manje gustoće zraka sama munja ne uspije toliko zagrijati kao kada naboj prolazi kroz gušći zrak. [83] [93]

Plavi mlazovi nastaju električnim pražnjenjem između vrha grmljavinskog oblaka koji je pozitivno nabijen i negativnog naboja koji se nalazi iznad vrha oblaka. Vođa putuje s vrha oblaka i vodi pozitivni naboj prema stratosferi. Ova munja prema gore nastaje kao posljedica nastanka munja unutar oblaka ili munja oblak prema tlu što dovodi do neravnotežne raspodjele naboja unutar oblaka. Plavi mlazovi mogu doseći visine do cca. 50km. Plavi starteri su slabija verzija plavih mlazova i mogu doći visine oko

20km.

Za razliku od plavih mlazova, gigantski mlazovi nastaju kao obične munje unutar oblaka gdje vođa putuje od višeg područja nakupljenog pozitivnog naboja prema nižem području nakupljenog negativnog naboja unutar oblaka. Područje s višim nabojem isprazni se prije nego što se isto dogodi u području s nižim nabojem, a jedan kraj vođe se proširi prema gore, od oblaka prema ionosferi. Gigantski mlazovi, koji su relativno rijetki, dosežu veće visine od plavih (do 70 km), a gornji dio mlaza mijenja boju iz plave u crvenu. [93] [91] [83]



Slika 2.25: Gigantski mlaz snimljen s vrha Mauna Kea, Havaji [27]

### **Gnomovi**

U svojoj zreloj fazi grmljavinski oblak formira karakterističan plosnati oblik tj. nakovanj. Gnomovi su mali i vrlo kratki izboji svjetlosti usmjereni iz nakovnja prema gore. Visoki su 1km, široki 200m i ne traju više od nekoliko mikrosekundi. Nastaju zbog vlažnog zraka koji je zbog jakih struja potisnut prema gore. [92]

### ***Pixies***

*Pixies* su nasumično razbacane pojave bijele svjetlosti koje izgledaju poput bijelih točkica. Pojavljujue se iznad oluja. Ne traju duže od 16 ms svaki i imaju manje od 100m u promjeru. [92]

### **Nastanak grmljavinske oluje**

Grmljavinska oluja je lokalna pojava praćena jakom kišom, pljuskovima, grmljavinom i pojačanim vjetrom. Uzrokuje ju oblak kumulonimbus koji može biti visok i preko 15

*km.* Obično traje kratko (do pola sata), no u određenim okolnostima može potrajati i nekoliko sati. [94]

Grmljavinska oluja i munje koje one proizvode, su baterije, koje stvaraju negativnu struju koja puni Zemlju negativnim nabojem i više dijelove atmosfere pozitivnim nabojem. [81]

Dakle, munje ne koriste razliku potencijala ionosfere i Zemljine površine da bi nastale, već do njih dolazi u procesu grmljavina, i one su te koje stalno obnavljaju razliku potencijala površine Zemlje i ionosfere. Kada dođe do udara groma, devet od deset puta prema Zemlji će poteći negativan naboj u velikim količinama. Grmljavinske oluje su onda one koje diljem svijeta pune Zemlju s prosječno 1800A. Za vrijeme grmljavina kada prema tlu teče negativan naboj, razlika potencijala se obnavlja, a za vrijeme lijepog vremena, kada prema tlu teče pozitivan naboj, potencijal se smanjuje. [81]

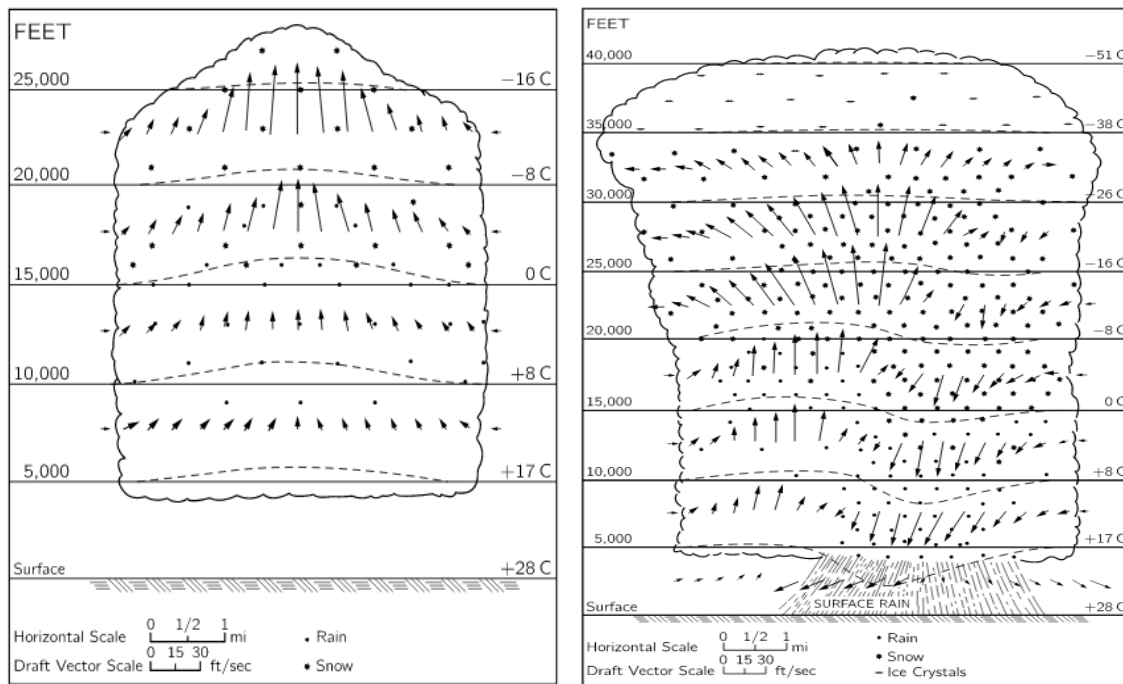
Uobičajena grmljavinska oluja sastoji se od više broja ćelija koje su međusobno blizu ali su neovisne jedna o drugoj. Stoga je najbolje analizirati jednu po jednu ćeliju. Pod "ćelijom" se podrazumijeva neko ograničeno područje u horizontalnom smjeru, u kojem se odvijaju svi osnovni procesi. Ćelije se nalaze jedna pored druge, a u svakoj se događa približno ista stvar, iako možda u različito vrijeme. Nastanak grmljavinske oluje kompliciran je proces i ne znaju se još svi mehanizmi njenog nastanka. U sljedećim odlomcima dati će se kratak, aproksimativan opis njenog nastanka. [81]

### **Rana faza grmljavinske oluje**

U ranoj fazi dolazi do podizanja vlažnog, toplog zraka prema gore. Putujući prema gore, taj zrak se hladi, a vodena para se kondenzira. Prilikom hlađenja vlažnog zraka, kondenzacijom vodene pare otpušta se toplina, pa se vlažni zrak hladi sporije nego suhi zrak. Stoga, ako se zrak koji je vlažniji od prosječnog zraka na istoj razini, počne podizati prema gore, on će se hladiti ali će biti topliji i laganiji od okolnog zraka i stoga će moći doseći velike visine. Visine ipak neće biti toliko velike, jer uz hlađenje koje dolazi od samog podizanja zraka prema gore, postoji i uvlačenje zraka sa strane (koji je hladniji) koji se također podiže prema gore. [81]

Kiša i snijeg nastali u ovom trenutku procesa ne padaju prema tlu jer su dovoljno mali, a struja zraka prema gore dovoljno velika da ih zadrži u višim djelovima ćelije. U ovoj fazi još uvijek se ne radi o pravoj grmljavinskoj oluji u smislu da se još uvijek ništa ne događa na tlu. [81]

### **Uznapredovala faza grmljavinske oluje**

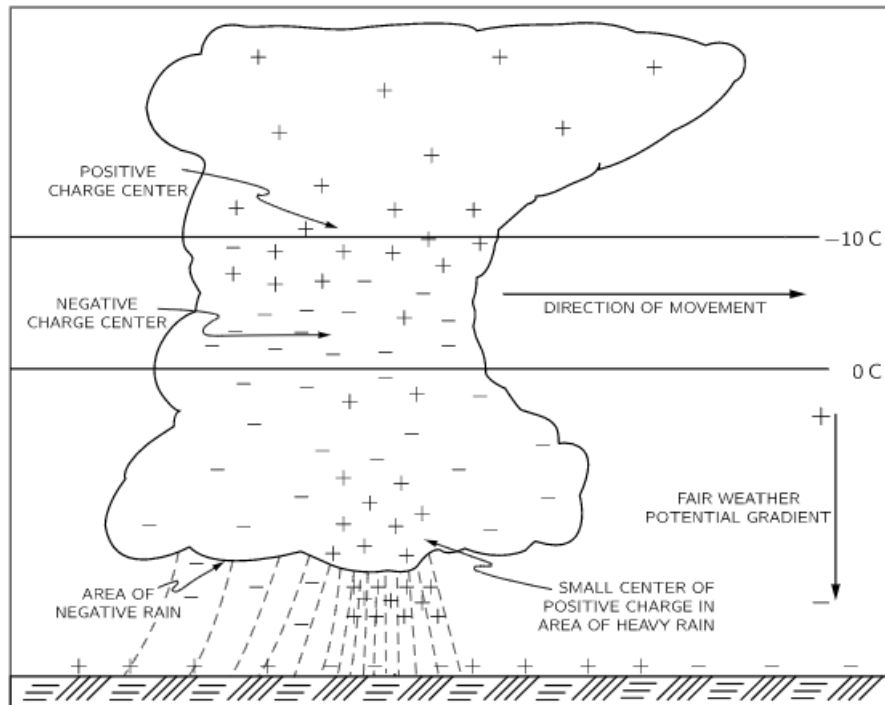


Slika 2.26: Rana faza grmljavinske oluje (lijevo) i zrela grmljavinska ćelija (desno) [23]

Sam proces također još nije u potpunosti razjašnjen, no postoji generalni koncept koji opisuje razdvajanje naboja i oko kojeg se većina znanstvenika slaže. [81]

U središnjem dijelu grmljavinske oluje, struja prema gore je vrlo brza i ide do nekih 10-15 km u visinu, ponekad i puno više, dok temperature variraju od -15 °C do -25 °C. Vodene kapljice koje se podižu prema gore brzo se hlade na temperature ispod 0 °C i to se naziva super hlađenje. Voda i neke druge tekućine će se ohladiti dosta ispod temperature ledišta ako nema prisutnih "prljavština" koje bi započele kristalizaciju. No neke vodene kapljice zaista kristaliziraju, te dolazi do nakupljanja super ohlađenih kapljica, komadića leda i malih čestica tuče (eng. *graupel*) koje su otprilike od jedne četvrtine milimetra do nekoliko milimetara u promjeru. Uzlazno strujanje nosi ohlađene kapljice i vrlo male kristale leda prema gore. U isto vrijeme, zrna tuče, koja su znatno veća i gušća, lebde u zraku koji se diže ili padaju prema donjem dijelu olujne grmljavine. Razlike u kretanju padalina uzrokuju sudare. Kada se uzdižući kristali leda sudare s tučom, kristali leda postaju pozitivno nabijeni, a tuča postaje negativno nabijena. Tako dolazi do razdvajanja naboja u oblaku. Gornji dio grmljavinskog oblaka postaje pozitivno nabijen, dok srednji do donji dio grmljavinskog oblaka postaje negativno nabijen. Kretanja u gornjem dijelu oblaka često uzrokuju to da se mali kristali leda (i pozitivni naboj) u gornjem dijelu grmljavinskog oblaka proširini vodoravno od baze oblaka, što se zove nakovanj. Ovo je glavni proces kretanja naboja u oblaku, no neki

od naboja mogu se i preraspodjeliti kretanjem zraka unutar oluje. Postoji i malo, ali važno nakupljanje pozitivnog naboja blizu dna grmljavinskog oblaka zbog padalina i viših temperatura. [81]



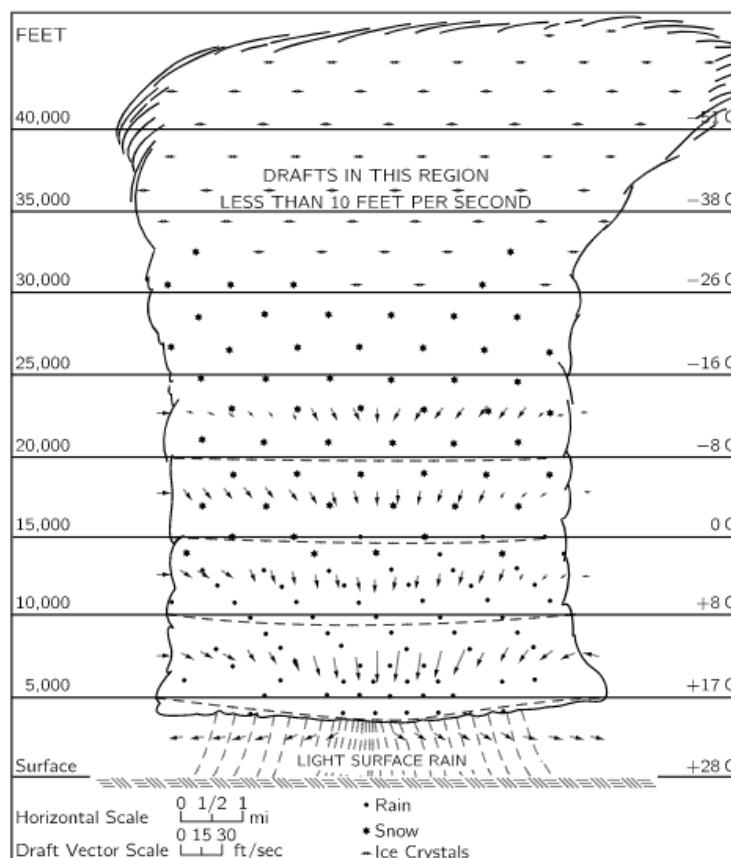
Slika 2.27: Distribucija električnog naboja u zreloj grmljavinskoj ćeliji [23]

Naboji u tlu sada su pod utjecajem razdvajanja naboja u oblaku. Tlo je inače negativno nabijeno. No sad velika nakupina negativnog naboja u sredini grmljavinskog oblaka odbija negativan naboj u tlu ispod oblaka. To uzrokuje da tlo i svi objekti (ili ljudi) na tlu izravno ispod oluje postanu pozitivno nabijeni. Kako se negativni naboj u oblaku povećava, tlo reagira tako da postaje pozitivnije nabijeno. Slično tome, pozitivni naboj u nakovnju može uzrokovati nakupljanje negativnog naboja na tlu ispod nakovnja (koji se može protezati daleko od baze oluje). [96]

Trenutak kad započnu padaline je isti trenutak kad se pojavi električni fenomen. [81]

Nakon pola sata do sat vremena, ćelija izgleda kao na slici 2.28. Struja prema gore nestane jer nema više dovoljno toplog zraka koji bi ju održao. Percipitacija prema dole zadrži se još neko vrijeme dok ne padnu sve kapi kiše, a visoko u zraku ostanu kristalići leda. Vrh oblaka najčešće dobije oblik nakovnja jer vjetrovi u tim visinama pušu u različitim smjerovima. Ovo sve skupa označava kraj života grmljavinske ćelije. [81]

### Nastanak munje oblak prema tlu s negativnom strujom

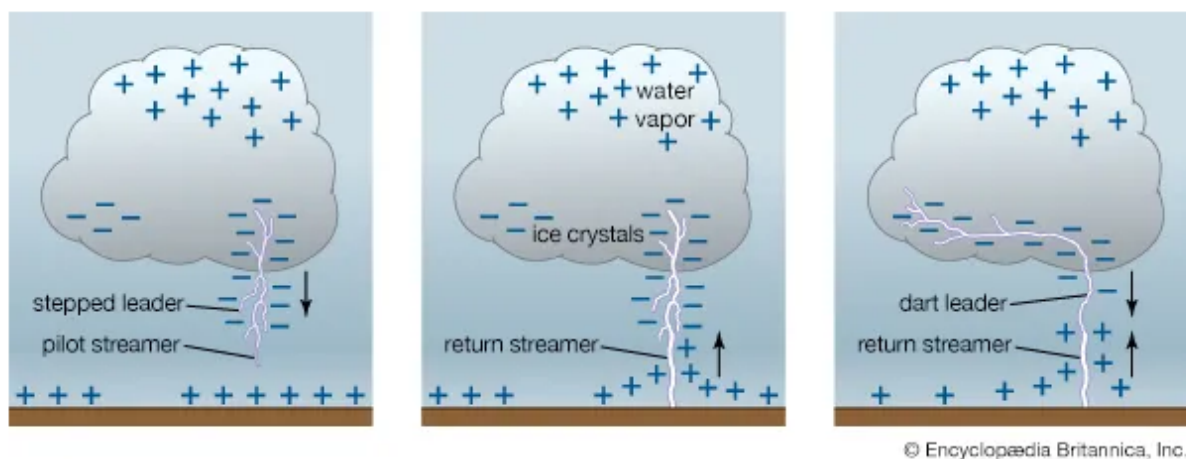


Slika 2.28: Kraj grmljavinske ćelije [23]

Nastanak munje i dalje nije u potpunosti jasan ali može ga se donekle opisati. Sada kad je u oblaku naboj već razdvojen, zbog velike negativne razlike potencijala, zrak izgubi izolacijsku sposobnost i negativni naboj počinje se kretati prema dolje. Tako nastaje stepenasti vođa (eng. *stepped leader*). To nije munja, ali može se vidjeti na slikama kao jedna mala svijetla kuglica, dok se golim okom ne može primjetiti. On napravi kratak put kroz zrak, zatim nakratko zastane, pa onda opet napravi kratki put itd. Uz to, zrak se ionizira zbog brzih naboja koji kroz zrak prolaze te zrak postaje vodljiv na putu koji je "utisnuo" stepenasti vođa. To je kao da se stvara vodljiva žica od oblaka prema tlu. Vrh stepenastog vođe ne osjeća stvarne naboje na tlu dok izlazi iz oblaka. Umjesto toga, dok izlazi iz oblaka, stepenasti vođa osjeća samo naboje unutar oko 50 m od svojeg vrha. Kao rezultat toga, put stepenastog vođe, koji se "slijepo" kreće od oblaka do tla, može biti vrlo krivudav. Osim toga, stepenasti vođa se često grana prema van dok traži vezu s tlom. Pojedinačne grane mogu postati više ili manje istaknute, ovisno o električnom polju koje se nalazi oko njih. Kada dospije blizu tla (stotinjak metara od tla), prije nego takne tlo, na tlu se inducira velika količina



pozitvnog naboja i dio tog naboja počne teći prema gore ususret stepenastom vođi. Taj naboj određuje koji dio tla će elektroni koji putuju prema tlu pogoditi. Kad se oni spoje dođe do protoka elektrona prema dole i onda pozitivnog naboja prema gore koji se naziva povratni udarac (eng. *return stroke*). To je ono što proizvodi vrlo jaku svjetlost (najjaču svjetlost) i toplinu, koja izaziva brzo širenje zraka što onda stvara zvuk (grmljenje). [97]



Slika 2.29: Nastanak munje oblak prema tlu s negativnom strujom [28]

Općenito, stepenasti vođe putuju brzinom od oko  $300\,000\text{ km/h}$ , iako brzine znatno variraju. Vrlo vidljiv povratni udarac kreće se prema gore kroz vodeći kanal brzinom od oko 300 milijuna  $\text{km/h}$ . Kombinacija stepenastog vođe i povratnog udarca događa se u dijelu sekunde. Dok i vodeći i povratni udarci proizvode vidljivu svjetlost (vođe proizvode slabo svjetlo koje je vidljivije noću), oni se događaju tako brzo da ih ljudsko oko ne može razlikovati; međutim, kamere velike brzine mogu snimiti kretanje vođa dok se kreću prema tlu. [97]

Nakon povratnog udara, bljesak munje može biti gotov, ali većina bljeskova sadrži više električnih pražnjenja ako je u oblaku dostupno dovoljno naboja za to. Nakon dijela sekunde nakon što je povratni udarac nestao, stvara se još jedan vođa prema dolje. On prati put starog stepenastog vođe jer mu je to najlakši put, i putuje bez pauza. Zato njega nazivaju neprekidni vođa (eng. *dart leader*). Na ovaj način ponovno dolazi do električnog pražnjenja te nastanka bljeska i praska. Općenito, svaki sljedeći bljesak oslobađa manje naboja nego početni. [98]

Bljesak munje privremeno izjednačava nabijena područja u atmosferi dok se suprotni naboji ponovno ne nakupe. Grmljavinski oblaci imaju svoj način obnavljanja naboja



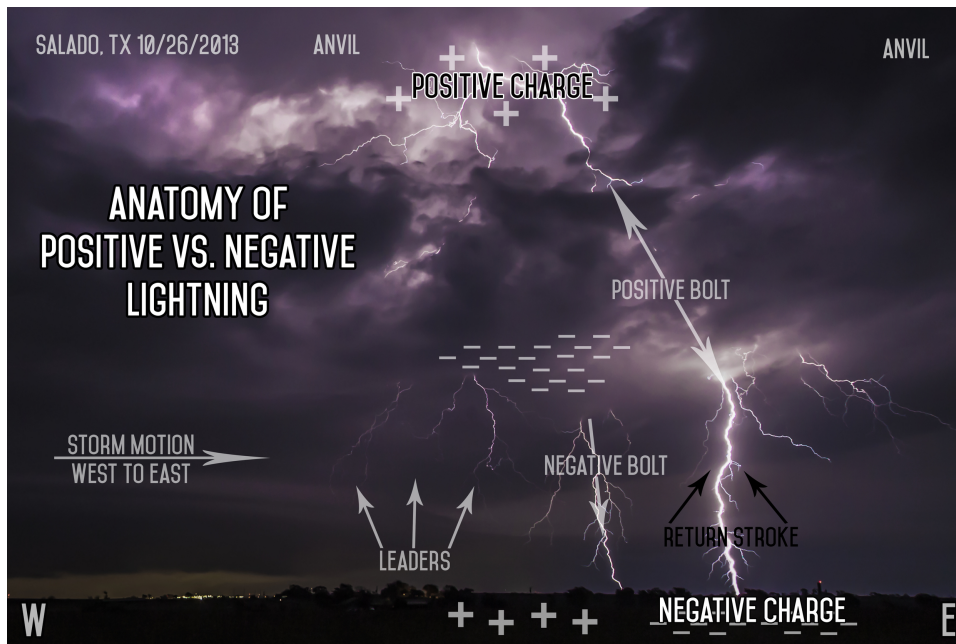
unutar 5s, no to je vrlo nerazjašnjen proces koji se neće ovdje opisivati. No to što se naboj obnovi nakon 5 s ne znači nužno i da će se gromovi stvarati svakih 5 s, zbog promjene geometrije oblaka. [81]

### **Pozitivna oblak prema tlu munja**

Pozitivna oblak prema tlu munja tipično nastaje gornjeg djela grmljavinskog oblaka koji je pozitivno nabijen. Zemlja je od ove nakupine naboja (najčešće) zaštićena zbog nakupine negativnog naboja koji se nalazi u centralnom djelu grmljavinskog oblaka, pa ne dolazi do pražnjenja tog pozitivnog naboja prema tlu. No ponekad se dogodi da Zemlja više nije zaštićena od toga naboja - npr. kada se stvori nakovanj koji se proširi horizontalno dalje od centralnog djela oblaka, ili npr. ako se grmljavinski oblak zbog vjetrova nagne za neki kut. Ako razlika u nabojima između tla i gornjeg djela oblaka s nakupljenim pozitivnim nabojem postane prevelika, dolazi do električnog pražnjenja tj. pozitivne oblak prema tlu munje. [99] Tu je dakle stepenasti vođa pozitivan, a prije pražnjenja tlo je negativno nabijeno - obrnuto od negativne munje oblak prema tlu. Zbog toga što je nakupina pozitivnog naboja visoko iznad tla i potrebna je puno veća razlika potencijala da bi se iniciralo električno pražnjenje, pozitivne oblak prema tlu munje javljaju se puno rjeđe od negativnih (cca. 5-10% ukupnih oblak prema tlu munja), i puno su snažnije i toplije. Često se javljaju dalje od mjesta gdje pada kiša i centralnog grmljavinskog oblaka, pa često mogu iznenaditi i nastati "iz vedra neba", jer mogu preći i udaljenosti od 40km od svojeg izvora. [100] [99]

### **Razlika pozitivne i negativne oblak prema tlu munje**

Negativna oblak prema tlu munja često je jako razgranata i javlja se blizu centra grmljavinskog oblaka (često na području gdje pada kiša) i nastaje iz nižeg djela grmljavinskog oblaka, dok se pozitivna često javlja dalje (ponekad puno dalje) od centra grmljavinske oluje, nastaje iz višeg djela grmljavinskog oblaka i uglavnom nije razgranata. [102] Negativna oblak prema tlu munja javlja se puno češće, ali je slabija, hladnija i kraća od pozitivne. Također, negativna oblak prema tlu munja najčešće udari više puta u isto mjesto, za razliku od pozitivne, koja najčešće ima samo jedan udar u tlo. To je i mehanizam po kojem se, promatrajući golim okom, može pretpostaviti o kojoj vrsti pražnjenja se radi: negativnom ili pozitivnom. [100] [99] [101]



Slika 2.30: Anatomija nastanka pozitivjne i negativne oblak prema tlu munje [29]



Slika 2.31: Razlika između pozitivne (lijevo) i negativne oblak prema tlu munje (desno) [30]

## 2.6.2 Schumannove rezonancije

Takozvane Schumannove rezonancije (SR) su skup frekvencija elektromagnetskih valova u prirodnoj šupljini koju tvore površina planeta i njegova ionosfera, u području jako niskih frekvencija, uzrokovane prirodnom električnom aktivnošću planeta (mjeseca) i/ili njegovim atmosferskim okruženjem. Dakle ovi valovi mogu nastati na bilo kojem planetu ili mjesecu na kojoj postoji ionosfera. [103]

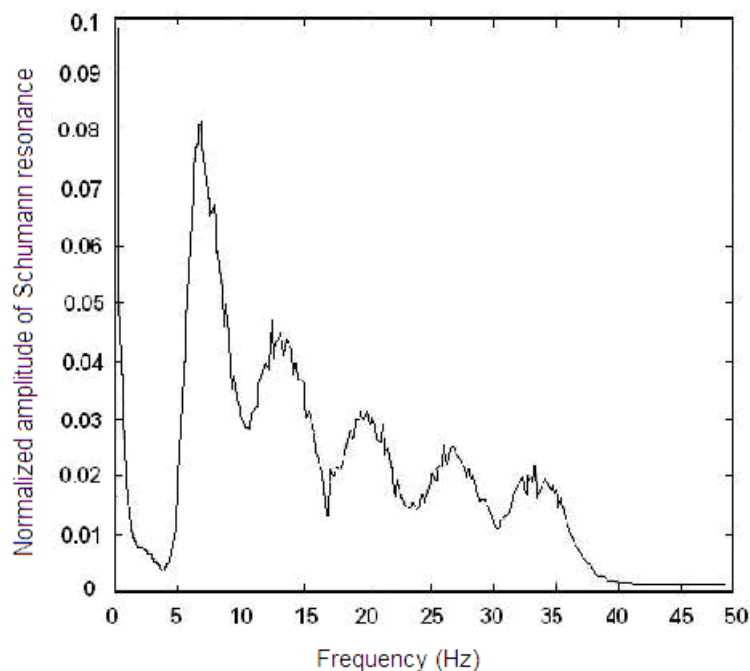
Najčešće kada se govori o Schumannovim rezonancijama, podrazumjeva se na Schu-



Slika 2.32: Ilustracija Schumannovih rezonancija [31]

mannove rezonancije nastale na Zemlji. To su elektromagnetski valovi koji su nastali u prirodnoj šupljini između površine Zemlje i donjeg ruba ionosfere, čije su frekvencije u ELF djelu spektra, uzrokovane prirodnom električnom aktivnošću planeta i atmosferskom okolinom (utjecajem Sunca). To su frekvencije od  $7.83 \text{ Hz}$ ,  $14.1 \text{ Hz}$ ,  $20.3 \text{ Hz}$ ,  $26.3 \text{ Hz}$ , i  $32.5 \text{ Hz}$ . Ove frekvencije su nekih sto tisuća puta niže od najniže frekvencije radio valova koji se koriste za slanje signala na AM/FM radia. ELF dio spektra spada u radiovalove i to su frekvencije u rang od  $3 \text{ do } 60 \text{ Hz}$  ( $100\,000 \text{ km}$  to  $10\,000 \text{ km}$ ). U atmosferskoj znanosti koristi se i alternativna definicija:  $3 \text{ Hz}$  to  $3 \text{ kHz}$  što spada spektar vrlo niskih frekvencija (VLF). [104]

Iako sumnja na postojanje ovakvih valova postoji još od 19. stoljeća, osoba koja je prva eksplicitno postulirala i dala matematički opis ovih elektromagnetskih valova je njemački fizičar W. O. Schumann 1952.g. Objavio je nekoliko radova postulirajući rezonancije valova ekstremno niske frekvencije (ELF) u rezonantnoj šupljini Zemlja-zrak-ionosfera koji se pobuđuju električnim pražnjenjima u atmosferi. Njegova ideja bila je sastavljena od tri postulata: (1) širenje elektromagnetskih valova u sfernoj šupljini, (2) sustav Zemlja-zrak-ionosfera koji djeluje kao rezonantna šupljina i (3) pobuđivanje izbijanjem munje. Godine 1954. Winfried Otto Schumann, zajedno sa svojim doktorandom Herbertom L. Koenig, objavio je preliminarne rezultate svojih promatranja atmosferskih pojava ekstremno niskih frekvencija, no Balsler i Wagner su bili prvi koji



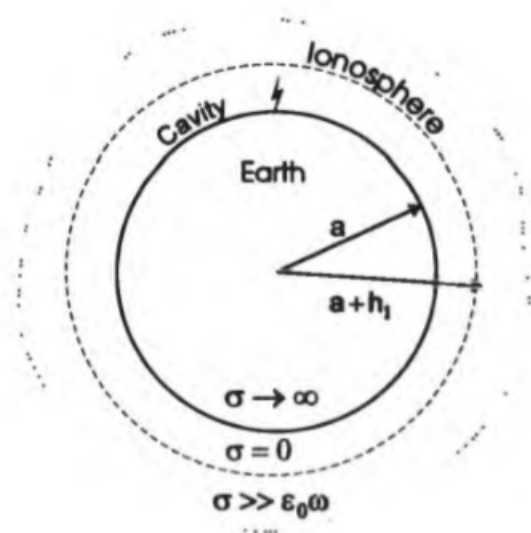
Slika 2.33: Tipični spektar Schumannovih rezonancija Zemlje [32]

su ih zaista i detektirali. 1960. Koeniga su počeli zanimati učinci ELF frekvencija na biološke sustave i čovjeka (područje se danas često naziva "bioelektromagnetika"). Njegovo zanimanje i rad na ovoj temi kulminiralo je 1975. godine objavljivanjem njegove knjige *Nevidljivi okoliš: Ljudsko biće pod utjecajem elektromagnetskih interakcija*, koju je objavio u vlastitoj izdavačkoj kući u pet izdanja do 1986. [103]

### Zemlja i ionosfera kao rezonantna šupljina

Neobičan primjer rezonantne šupljine je Zemlja-ionosfera šupljina, gdje je površina Zemlje jedna granična površina, a donji dio ionosfere druga granična površina. Najniži rezonantni modovi takvog sistema će očitno onda biti jako niskih frekvencija, budući da karakteristična valna duljina mora biti reda veličine Zemljinog opsega. U takvim okolnostima ionosfera i Zemlja su oboje vodiči s realnom vodljivosti. Vodljivost morske vode je  $\sigma \sim 0,1\Omega^{-1}m^{-1}$  (zauzima 3/4 površine Zemlje), dok je vodljivost ionosfere  $\sigma \sim 10^{-7} - 10^{-4}\Omega^{-1}m^{-1}$ . Granične površine ove rezonantne šupljine stoga nisu ni približno jednake savršenim vodičima, posebno površina ionosfere. [105]

Schumannove rezonancije su elektromagnetski kvazistojeci valovi koji postoje u ovoj šupljini. Poput valova na opruzi, oni nisu prisutni cijelo vrijeme, već moraju biti pobuđeni da bi bili promatrani. Nisu uzrokovani ničim što je unutar Zemlje, njezine kore ili jezgre, već im je primarni izvor munja. Njihove frekvencije dnevno variraju



Slika 2.34: Zemlja i ionosfera kao rezonantna šupljina [33]

oko  $\pm 0,5$  Hz zbog dnevne varijacije debljine ionosfere. Sve dok svojstva Zemljine elektromagnetske šupljine ostaju otprilike ista, ove frekvencije ostaju iste. [106]

Električna pražnjenja u atmosferi smatraju se primarnim izvorom Schumannovih rezonancija. Munje se ponašaju poput ogromnih antena koje zrače elektromagnetsku energiju na frekvencijama ispod  $100\text{ kHz}$ . Dok se maksimalna izračena energija javlja oko  $10\text{ kHz}$ , prigušenje na tim frekvencijama je oko  $10\text{ dB/Mm}$ . Stoga se te frekvencije mogu detektirati samo u rasponu od tisuća kilometara od pražnjenja munje. Dok su signali munje ispod  $100\text{ Hz}$  vrlo slabi, slabljenje je samo  $0,5\text{ dB/Mm}$ , pa se stoga elektromagnetski valovi iz pojedinačnog pražnjenja mogu širiti nekoliko puta oko svijeta prije nego što se potpuno priguše. Zbog toga se šupljina Zemlja-ionosfera ponaša poput rezonatora na ELF frekvencijama. Ona pojačava spektralni signal munje na rezonantnim frekvencijama zbog konstruktivne interferencije elektromagnetskih valova koji se šire oko Zemlje u suprotnim smjerovima. Vrhovi rezonancije javljaju se zbog interferencije dva vala koji propagiraju u suprotnim smjerovima, a njihova valna duljina je usporediva s opsegom Zemlje ( $\sim 40\,000\text{ km}$ ). [106]

Za najjednostavniji model, (koji je napravio Schumann) može se smatrati da su površine rezonantne šupljine napravljene od dvije savršeno vodljive koncentrične sfere odvojene visinom  $h$ , koja je mnogo manja od Zemljinog radijusa  $a$ . Tada su rezonantne frekvencije  $f_i$  određene polumjerom Zemlje i brzinom svjetlosti  $c$ . [106]

$$f_l = \frac{c}{2\pi a} \sqrt{l(l+1)} \quad (2.6)$$

gdje  $l = 1, 2, \dots$  i on predstavlja redni broj moda.

Ove teorijske vrijednosti Schumannovih rezonancija, sa  $a = 6400\text{km}$ , iznose  $f_n = 10.6, 18.3, 25.8, 33.4, 40.9 \text{ Hz}$ . Ove vrijednosti razlikuju se od izmjerenih vrijednosti  $7.83 \text{ Hz}, 14.1 \text{ Hz}, 20.3 \text{ Hz}, 26.3 \text{ Hz}$ , i  $32.5 \text{ Hz}$ , i to je primarno zato što je aproksimacija savršeno vodljivih sfera vrlo daleko od realnosti. Valovi se u realnosti ne reflektiraju u potpunosti od ovih dviju površina, već djelomično gube energiju pri svakoj refleksiji, pa je kao rezultat toga da su u stvarnosti frekvencije niže, a pikovi u spektru su širi od predviđanja modela idealnog slučaja. [105]

Primarni izvor Schumannovih rezonancija su munje, a pod ostale izvore spadaju prolazni svjetlosni događaji (TLE) tj. munje u višim djelovima atmosfere, Sunce, geomagnetska aktivnost i vulkani. [106]

Ove rezonancije, nazvane Schumannove rezonancije, opažene su na mnogim različitim lokacijama i mogu se, u načelu, detektirati s bilo kojeg mjesta na planetu. Ali amplitude rezonancija vrlo su slabe i lako ih zasjenjuju obližnje munje i brojni drugi nepovezani izvori elektromagnetske buke koju je stvorio čovjek. Međutim, daleko od grmljavinskih oluja i umjetnih izvora elektromagnetske buke, Schumannove rezonancije mogu se detektirati i čine glavnu komponentu prirodne pozadine. Iako se smatra da su Schumannove rezonancije pobuđene od strane globalne grmljavinske aktivnosti, sa stajališta mjerenja globalnih svojstava ovih modova, elektromagnetski signali lokalnih munja predstavljaju oblik kontaminacije signala koji ozbiljno degradira kvalitetu mjerenja. [107]

Zato što se uvjeti u Zemljinoj ionosferi mijenjaju tijekom vremena, a i pojava munje ovisi o uvjetima u atmosferi, onda i amplitude i frekvencije Schumannovih rezonancija variraju. Varijacije su dnevne (dan-noć), sezonske, a također variraju i zbog jedanaestogodišnjeg ciklusa Sunca. Osim promjena u ionosferi, na promjenjivost Schumannovih rezonancija utječe i vodljivost tla, promjena magnetskog polja s obzirom na geografsku širinu itd. [106]

### **Podudarnost EEG moždanih valova i Schumannovih rezonancija**

Schumannove rezonancije počinju na  $7,8 \text{ Hz}$  i povećavaju se u koracima koji daju prizvuk (harmonik) i tako nastaje spektar harmonika:  $13,7 \text{ Hz}, 19,6 \text{ Hz}, 25,5 \text{ Hz}, 31,4 \text{ Hz}$ ,

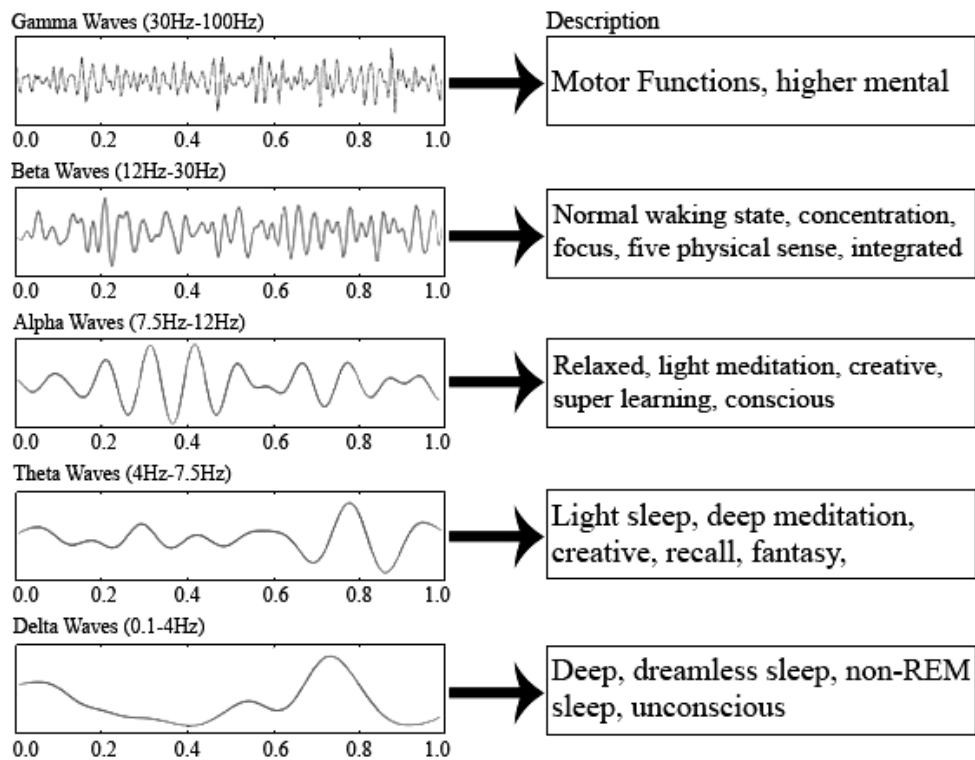
37,3Hz i 43,2Hz. Prvih pet modova slaže se s frekvencijskim rasponom prvih pet frekvencijskih pojasa elektroencefalograma (EEG). Elektroencefalografija je neinvazivna metoda mjerenja električne aktivnosti mozga izmjerene s površine tjemena. [108] Naponi mozga su posljedica koordinirane depolarizacije i repolarizacije skupine neurona u mozgu. Mozak neprestano radi, obavlja procese poput razmišljanja, koncentracije, pamćenja i drugo. Tijekom ovih aktivnosti moždane stanice neprestano međusobno komuniciraju. To proizvodi ritmove koji se nazivaju moždani valovi. [109]. Moždani valovi blisko su korelirani sa različitim vrstama ponašanja, uključujući spavanje. [108]. Mozak može generirati ritmove (valove) koji su spori kao 0.5Hz i brzi kao 500Hz i više. Glavni EEG ritmovi su kategorizirani po njihovim frekvencijskim rasponima, i svaki raspon je imenovan grčkim slovom. Primarni EEG frekvencijski pojasevi su delta (0,5 - 4 Hz), theta (4-8 Hz), alpha (8-13 Hz), beta (13 - 30 Hz) i gamma (30-90 Hz). Gamma valovi su relativno brzi, i signaliziraju aktivirani korteks. [108] Beta moždani valovi su stanja jako angažiranog uma i uzbuđenosti, alpha valovi su za razliku od beta valova, stanja budne smirenosti. Theta valovi se javljaju kada se obavlja neka automatska radnja za koju ne treba razmišljati i tada se često može dogoditi priljev novih ideja i u ovom stanju javljaju se snovi, a delta valovi su stanja dubokog sna. Zanimljivo je kako se modovi Schumannovih rezonancija podudaraju sa alpha, beta i gamma moždanim valovima. Na temelju ovih zapažanja, moglo bi se dublje istražiti kako odsutnost Schumannove rezonancije utječe na ova tri EEG-a stanja kod ljudi. [110]

Dodatni ritmovi uključuju *spindles*, kratkotrajne 8-14Hz valove povezane sa spavanjem, and *ripples*, kratkotrajne napadaje (*bouts*) frekvencije 80-200Hz. Postoje još i mu ( $\mu$ ) valovi; dok su alpha ritmovi (8-13 Hz) najveći u okcipitalnom korteksu i povezani su s tihim, budnim stanjima, mu ritmovi su slični u frekvenciji alfa ritmova, ali su najveći u motoričkim i somatosenzornim područjima. [108]

Zanimljiva značajka EEG valova je da su njihove karakteristike nevjerojatno slične u mozgovima svih sisavaca, od miševa do ljudi, unatoč 17000 puta razlike u moždanoj masi. [108]

Općenito, moždani valovi visokih frekvencija i niskih amplituda povezani su s budnim stanjem i pozornošću ili sa stanjima sna kada se događa sanjanje. Niskofrekventni valovi visokih amplituda povezuju se s spavanjem bez sna, određenim drogiranim stanjima, ili s patološkim stanjem kome. Ovo je i logično jer kada je korteks najaktivnije uključen u procesiranje informacija, bilo da je generirano inputima kroz osjetila ili unutarnjim procesima, level aktivnosti neurona korteksa je relativno visok i također

relativno nesinkroniziran. Drugim rječima, svaki neuron (ili vrlo mala grupa neurona) snažno je uključen u malo drugačiji aspekt složenog kognitivnog zadatka: aktivira se brzo, ali ne baš istodobno s većinom svojih susjeda. Ovo vodi do niske sinkronizacije, pa je EEG amplituda niska, i gamma i beta valovi dominiraju. Obratno, tokom dubokog sna, neuroni korteksa nisu angažirani u procesiranje informacija, i veliki broj njih je uzbuđen sa zajedničkim, sporim ritmičkim inputom. U ovom slučaju sinkronizacija je velika pa je EEG amplituda velika. [108]



Slika 2.35: Podjela elektromagnetskih valova ljudskog mozga [34]

### Gamma moždani valovi

Gama moždani valovi imaju visoku frekvenciju (višu od beta valova) i povezani su s visokom razinom misli i fokusa. Oni mogu imati različite učinke ovisno o njihovim razinama u mozgu. Ako mozak proizvodi puno gama valova, osoba će obično biti sretnija i prijemčivija. Također može imati viši kvocijent inteligencije (IQ) i bolju koncentraciju. Ako mozak proizvodi niske razine gama valova, mogu se razviti problemi s učenjem i pamćenjem. Može doći do niže koncentracije, raspona pažnje i mentalne sposobnosti. Niže razine gama valova mogu čak dovesti do poteškoća u učenju i mentalnih poremećaja. [109]

### Beta moždani valovi

Beta valovi su karakteristike snažno angažiranog uma. Osoba u aktivnom razgovoru



bila bi u beta stanju. Osoba koja drži govor, ili učitelj, ili voditelj talk showa, svi bi bili u beta fazi kada su uključeni u svoj posao. [110] Beta valovi dominantni su kada je osoba u pripravnosti ili kada je tjeskobna. Obično se generira na frontalnom i središnjem dijelu mozga. [111]

### **Alpha moždani valovi**

Sljedeća kategorija moždanih valova kategorizirana po smanjenju frekvencije su alfa valovi. Gdje je beta predstavljala uzbuđenje, alfa predstavlja budnu smirenost. Alfa moždani valovi su sporiji i veće amplitude. Osoba koja je nakon obavljenog zadatka sjela da odmori ili osoba koja nakon konferencije šeta po vrtu često je u alfa stanju. Osoba koja odvoji vrijeme za laganu meditaciju obično je u alfa stanju. Alfa valovi mogu pomoći tijekom aktivnosti koje zahtijevaju učenje i koordinaciju.[110]

### **Theta moždani valovi**

Sljedeće stanje, theta moždani valovi, obično su još veće amplitude i sporije frekvencije. Osoba koja je uzela slobodno vrijeme i počela sanjariti često je u stanju theta moždanih valova. Osoba koja se vozi autocestom i otkrije da se ne može sjetiti zadnjih nekoliko minuta vožnje često je u theta stanju. Ovaj oblik vožnje u usporedbi sa seoskom cestom gdje je potrebna veća razina promišljanja razlikovala bi theta stanje i beta stanje kako bi se zadatak vožnje obavio sigurno. [110]

### **Delta moždani valovi**

Konačno stanje moždanih valova su delta valovi. Ovdje su moždani valovi najveće amplitude i najsporije frekvencije. Nikada se ne spuštaju na nulu jer bi to označavalo smrt. Tu se događa duboki san bez snova. Dobro je poznata činjenica da ljudi sanjaju u ciklusima od 90 *min*. Kada se delta frekvencije moždanih valova povećaju u frekvenciju theta moždanih valova, odvija se aktivno sanjanje. Tipično, kada se to dogodi dolazi do brzih pokreta očiju, što je karakteristično za aktivno sanjanje. To se naziva REM (eng. *rapid eye movement*) i dobro je poznat fenomen. [110]

Kad legnemo u krevet i čitamo nekoliko minuta prije nego što pokušamo zaspati, vjerojatno ćemo biti u niskoj beta frekvenciji. Kad odložimo knjigu, ugasimo svjetla i zatvorimo oči, naši će se moždani valovi spustiti od beta, do alfa, do theta i konačno, kad zaspimo, do delta. [110]

### **Svemirska biologija**

S obzirom da se sva živa bića na Zemlji konstantno "kupaju" u Schumannovim rezonancijama, ne zna se kako bi se ti organizmi ponašali u odsustvu tih frekvencija.

Sva biološka istraživanja koja su se do sada provodila u svemiru, radila su se u niskoj orbiti Zemlje, gdje su Schumannove rezonancije i dalje prisutne. Ali uskoro će vjerojatno biti moguće eksperimente na biološkim stanicama provoditi na Mjesecu, gdje Schumannove rezonancije nisu prisutne. Pitanje je kako će se ovi organizmi ponašati u odsustvu Schumannovih rezonancija. Stoga je napisan *white paper* od strane znanstvenika NASA-e i znanstvenika Stanfordskog sveučilišta, prema NASI, gdje se predlaže da se prije provođenja eksperimenata na Mjesecu, ovi eksperimenti prvo sprovedu na Zemlji u elektromagnetski izoliranim prostorijama. [112]

## 2.7 Kardiovaskularni sustav čovjeka

Kardiovaskularni sustav ili krvožilni sustav sastoji se od srca i krvnih žila. Primarna svrha je da dostavi nutrijente do tkiva i da odstrani otpadne produkte. Specifične funkcije koje obavlja kardiovaskularni sustav su: opskrba svih stanica organizma kisikom kao i svim drugim potrebnim hranjivim tvarima, odstranjivanje otpadnih produkata stanica (kako bi se eliminirali ili ponovno upotrijebili), transport hormona i enzima, održavanje tjelesne temperature apsorpcijom topline i redistribucijom do površine tijela, održavanje ravnoteže tekućine za prevenciju dehidracije i regulacija pH ravnoteže. [113]

### 2.7.1 Građa i funkcija ljudskog srca

Srce se smatra središnjim organom krvožilnoga sustava, to je šuplji organ koji svojim kontrakcijama omogućuje protjecanje krvi po tijelu. Smješteno je u prednjem djelu sredoprsja, malo prema lijevo. Okruženo je drugim strukturama i organima te se tako ispred srca nalazi prsna kost i stijenka prsnog koša, s lijeve i desne strane plućna krila, a iza srca aorta i jednjak. Građeno je od srčane stijenke i četiriju šupljina (2 klijetke i 2 pretklijetke) koje su međusobno odvojene vezivnim pregradama i srčanim zaliscima. Oko srca nalazi se vezivna ovojnica, *osrčje*. Krvotok je protjecanje krvi kroz kardiovaskularni sustav. U ljudskom tijelu funkcionalno razlikujemo dva krvotoka, tj. dva cirkulatorna kruga - mali krvotok (pulmonalna ili plućna cirkulacija) i veliki krvotok (tjelesna cirkulacija). [114] [115]

#### Veliki krvotok

Veliki krvotok započinje u lijevoj komori koja pumpa krv u aortu. Aorta se grana na

arterije koje dolaze do svih organa i tkiva i donose im kisik i hranjive tvari. Krv dolazi do organa i obogaćuje ih kisikom, a preuzima ugljikov dioksid i zatim se kroz vene vrati do srca. Iz gornjih dijelova tijela sva krv ulazi u gornju šuplju venu, a iz donjih dijelova tijela i trbušnih organa krv ulazi u donju šuplju venu. Obje ove vene ulijevaju se u desnu pretkomoru. Ovo zatvara veliki krvotok. [116]

### **Mali krvotok**

Iz desne pretkomore krv se ulijeva u desnu komoru. U desnoj komori započinje krug malog krvotoka ili plućne (pulmonalne) cirkulacije. Desna komora pumpa krv u pulmonalnu (plućnu) arteriju koja se razdvaja na dva dijela - desna grana ide u desno plućno krilo, a lijeva grana ide u lijevo plućno krilo. U plućima se ove grane dalje bogato granaju sve do kapilara - mikroskopski sitnih krvnih žilica. Krv se prolaskom kroz pluća očisti od ugljikovog dioksida, a obogati se kisikom iz udahnutog zraka. Potom preko plućnih vena dolazi do srca gdje se plućne vene ulijevaju u lijevu pretkomoru. Tu se zatvara mali krvotok ili plućna cirkulacija. [116]

Dalje krv iz lijeve pretkomore ide u lijevu komoru i dalje prema tijelu i ovdje opet kreće krug tzv. velikog krvotoka ili tjelesne cirkulacije.

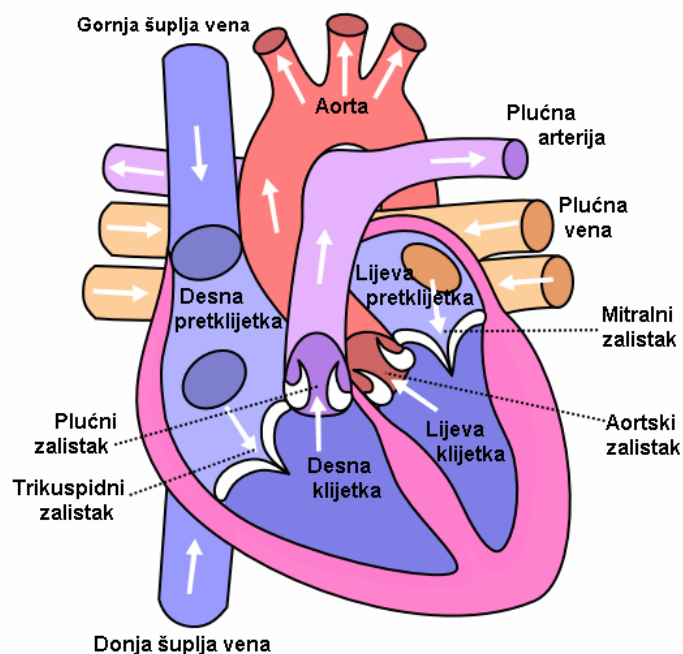
### **Krvotok srca**

Kao i ostatak tijela, da bi srce moglo raditi, potrebna mu je svježja krv obogaćena kisikom. Krv do srca dolazi kroz lijevu i desnu koronarnu arteriju. To su male krvne žile promjera 2-5mm. One se granaju iz samog početka aorte, idu prema srcu i bogato su razgranate po njegovoj površini i svakom dijelu srčanog mišića donose nutrijente i kisik. [116]

#### **2.7.2 Srčani zalisci**

Srčani zalisci ili srčane valvule su strukture unutar srca koji čine četiri nepovratna ventila koji osiguravaju da je protok krvi pravilno usmjeren prema naprijed i da se već ispumpana krv ne vraća natrag. Krv koju srce pumpa pravilno se usmjerava kroz komore i pretkomore i zatim u pluća i ostale organe. Otvaranjem zalistaka krv se propušta u jednom smjeru (prema naprijed), a zatvaranjem zalistaka spriječava se povrat već ispumpane krvi. Otvaranje i zatvaranje zalistaka događa se pri svakom otkucaju srca i upravo to zatvaranje zalistaka proizvodi zvuk srčanih otkucaja [116].

U srcu se nalaze četiri valvule (zalistci). To su dva atrioventrikularna zaliska koji se



Slika 2.36: Građa ljudskog srca [35]

nalaze između komora i pretkomora; bikuspidalni zalistak (mitralni zalistak), između lijeve pretkomore i komore; te trikuspidalni zalistak, između desne pretkomore i komore, te dva semilunarna (polumjesečasta) zaliska koji se nalaze između komora i arterija koje izlaze iz srca; to su zalistak aorte i zalistak plućne arterije. [117]

### 2.7.3 Provodni sustav srca

Provodni sustav srca je sustav specijaliziranih mišićnih vlakana srca koja imaju sposobnost stvaranja i provođenja električnih impulsa kroz srce te izazivanja kontrakcije srčanog mišića (miokarda). Provodni sustav čine sinoatrijalni (SA) i atrioventrikularni čvor (AV), Hisov snop i Purkinjeova vlakna. Impulsi nastaju u SA čvoru koji se nalazi u gornjem dijelu desne pretkljetke. Rad SA čvora je intrinzičan, no pod utjecajem autonomnog živčanog sustava i hormona. Iz SA čvora kroz specijalizirana vlakna impuls dolazi do AV čvora koji se nalazi na granici desne klijetke i pretkljetke. Ovaj čvor usporava provođenje srčanog impulsa tako da kratkotrajno zadrži impuls čime omogućuje da se klijetke ispunje krvlju. Potom se impuls prenosi putem Hisovog snopa koji se razdvaja na lijevu i desnu granu, a naposljetku svaka od njih u brojna Purkinjeova vlakna koja završavaju na samim mišićnim vlaknima srca te uzrokuju kontrakciju srca. Ukoliko se sve odvija opisanim fiziološkim putem tada kažemo da se radi

o normalnom, sinusnom ritmu. [118] [119]

## **Krvni tlak**

Krvni tlak je pritisak krvi na stijenke krvnih žila (arterija) u svakom dijelu tijela. Pri svakom izbacivanju krvi iz srca (sistola), tlak se povisuje, a kod ulijevanja krvi u srce (dijastola), tlak se snižava. Stoga se mjere dvije vrijednosti krvnoga tlaka, gornja (sistolički) i donja vrijednost (dijastolički). Krvni tlak je promjenjiv u odnosu na mnoge vanjske i unutarnje čimbenike. [120]

### **2.7.4 Kardiovaskularne bolesti**

Pod pojmom kardiovaskularne bolesti (KVB) obuhvaćaju se sve bolesti srca i krvnih žila. One su vodeći uzrok pomora/smrti i invalidnosti kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj. Očekuje se daljnji porast incidencije i mortaliteta, što postavlja kardiovaskularne bolesti na sam vrh javnozdravstvenih problema. Najvažniji čimbenici rizika su pušenje; povišeni krvni tlak (arterijska hipertenzija), povišena razina lipida u krvi; povećana tjelesna težina/debljina; nedovoljna/neredovita tjelesna aktivnost; šećerna bolest. Današnji način života pospješuje nastanak i ubrjava sam tijek KVB. Bolesti srca i krvnih žila uzrokovane su poglavito aterosklerozom. Ateroskleroza je proces progresivnog zadebljanja i otvrdnjavanja stijenki srednje velikih i velikih arterija kao posljedica masnih naslaga na njihovoj unutarnjoj stijenci. Posljedica ateroskelroze su sužavanje ili potpun začepljenje lumena krvnih žila što dovodi do pojave različitih kardiovaskularnih bolesti kao što ishemijska bolest srca, arterijska hipertenzija, cerebrovaskularna bolest, periferna arterijska bolest. U ovom istraživanju od važnosti su pojedine vrste aritmija, poseban oblik akutnog zatajivanja srca - plućni edem, te akutni koronarni sindrom. [121] [122] [123]

## **Aritmije**

Pod pojmom aritmija podrazumijevaju se nepravilnosti u nastanku i provodnji električnog impulsa u srcu. Aritmija i poremećaji provođenja mogu biti asimptomatski ili uzrokovati palpitacije (osjećaj "preskakanja" otkucaja srca ili brzih i snažnih otkucaja), simptome hemodinamske nestabilnosti (npr. otežano disanje, nelagoda u prsima, omaglice, gubitak svijesti) ili čak dovesti do zastoja u radu srca. Prema frekvenciji možemo ih podjeliti na bradiaritmije (<60/min) i tahiaritmije (>100/min), a prema mjestu nastanka na supraventrikularne aritmije (nastaju u pretklijetkama) i na ventrikularne aritmije (nastaju u srčanim klijetkama). U ovom diplomskom radu od važnosti

su aritmije koje su jasnog vremena nastanka, dakle simptomatske npr. ventrikularne tahikardije, paroksizmi fibrilacije atrijske. [124] [125]

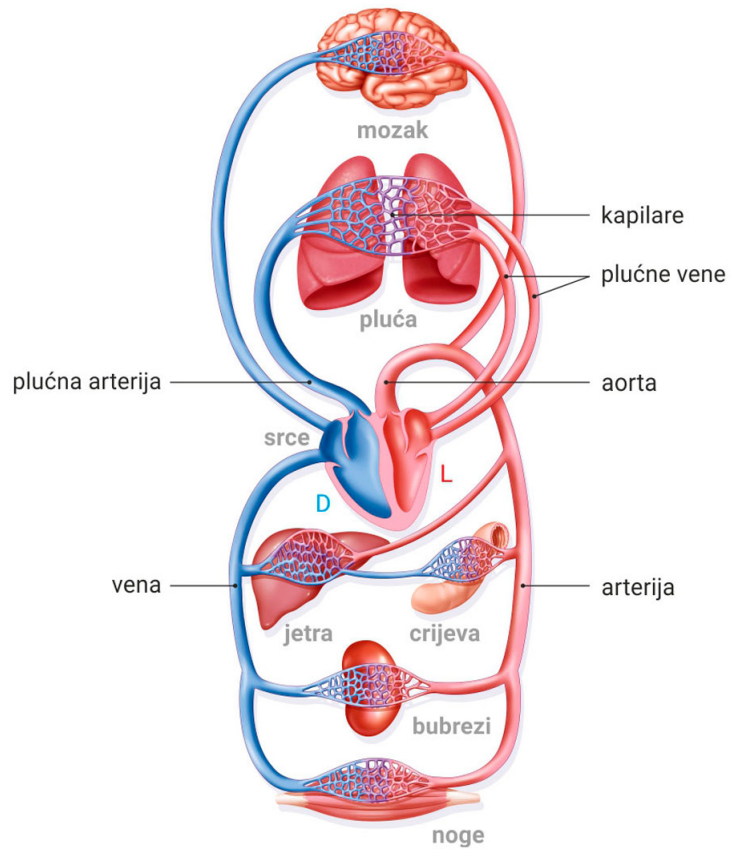
### **Plućni edem**

Plućni edem predstavlja teško zatajivanje lijeve klijetke uz plućnu vensku hipertenziju. Zbog zatajivanja lijeve klijetke krv ne prolazi pravilno kroz srce, već se vraća natrag u venu i tako dolazi do preplavljenosti alveola u plućima. [126]

Plućni edem je hitno životno ugrožavajuće stanje čijom kliničkom slikom dominira brza progresija nedostatka zraka i otežanog disanja praćena inicijalno bjelkastim, a kasnije (ukoliko se na vrijeme ne započne liječenje) i sukrvavim iskašljajem. Učestalo je praćeno i boli u prsima. Plućni edem se može podijeliti na kardiogeni i nekardiogeni plućni edem. U ovom diplomskom radu praćeni su isključivo kardiogeni plućni edemi dakle uzrokovani porastom tlaka u plućnoj venskoj cirkulaciji i posljedičnog nenormalnog nakupljanja tekućine unutar tkiva pluća, poglavito alveolama. Uzroci kardiogenog plućnog edema su brojni, među najčešćima neregulirana arterijska hipertenzija koja doводи do hipertenzivnog popuštanja srca, akutni koronarni sindrom, miokarditis, bolesti srčanih zalistaka. [127] [128]

### **Akutni koronarni sindrom**

Akutni koronarni sindrom je zajednički naziv za stanja praćena novonastalom boli u prsima nastalom uslijed naglog smanjenja protoka krvi do srca i posljedične akutne ishemije miokarda. To je hitno kardiološko stanje koje zahtijeva trenutačnu pozornost i liječenje. U akutni koronarni sindrom ubrajaju se nestabilna angina pectoris, infarkt miokarda bez ST elevacije (NSTEMI) i infarkt miokarda sa ST elevacijom (STEMI). Simptomi ova tri sindroma su slični, a uključuju smetnje u prsištu sa ili bez dispneje (subjektivnog osjećaja nedostatka zraka - otežanog disanja), mučninu, preznojavaње. Dijagnoza se postavlja na temelju EKG promjena i pozitivnih ili negativnih kardioselektivnih biokemijskih markera. Posljedice ovise o stupnju i duljini trajanja opstrukcije koronarnih arterija. [129] [130]



Slika 2.37: Kardiovaskularni sustav čovjeka [36]

### 3 Metodologija i obrada podataka

U ovom radu istraživalo se postoji li povezanost između srčanih problema sa atmosferskim parametrima, i sa grmljavinama. Tražile su se sljedeće ovisnosti: ovisnost broja pojava aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma, o srednjem dnevnom tlaku, srednjoj dnevnoj temperaturi, srednjoj dnevnoj relativnoj vlažnosti s vremenskim pomakom od 1 dana unazad, bez vremenskog pomaka i s vremenskim pomakom od 1 i 2 dana, te ovisnost broja pojava aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma, o promjeni srednjeg dnevnog tlaka, srednje dnevne temperature i srednje dnevne relativne vlažnosti, bez vremenskog pomaka, te s pomakom od 1 i 2 dana. Naposljetku tražila se ovisnost broja pojava aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja bez vremenskog pomaka i s vremenskim pomakom od 1 dana. Vremenski pomak od 1 i 2 dana znači da se gledalo da li će postojati korelacija pojave srčanih problema 1 ili 2 dana nakon što je izmjeren određeni parametar (temperatura, relativna vlažnost, tlak, vrijeme trajanja grmljavina). To je uzeto zato što je vrlo vjerojatno da ako neki parametar utječe na rad srca, ne mora značiti da je njegov utjecaj trenutačan, tj. posljedice utjecaja mogu se osjetiti u određenom vremenskom razmaku (npr. u razmaku od nekoliko sati). Također, pojava simptoma srčanog problema i zaprimanje u bolnicu isto je vremenski odvojeno, jer je potrebno neko vrijeme da osoba koja je zadobila simptome odluči zatražiti pomoć i onda još i doći do bolnice. Pomak 1 dan unazad znači da se gledala ovisnost tako da se pojava srčanog problema dogodila dan prije vrijednosti parametra sa kojim tražimo korelaciju. To se gledalo zato što je jedna od pretpostavki meteoropatije da se zdravstveni problemi mogu javiti prije promjene vremena, ne samo za vrijeme promjene vremena.

U ovom radu gledalo se i postoji li razlika u broju srčanih problema za vrijeme Sunčevog minimuma i Sunčevog maksimuma. Sunčev maksimum započeo je u travnju 2014.g., a minimum u prosincu 2019.g. S obzirom da travanj i prosinac spadaju u različita godišnja doba, što isto može utjecati na promjenu broja pojava srčanih problema, kao bolja opcija činila se da se uspoređi isti mjesec od dvije različite godine, pa su zato uzeti listopad 2019.godine (koji je vremenski vrlo blizu početka Sunčevog minimuma) i listopad 2014.godine (koji je vremenski također blizu početka Sunčevog maksimuma).

Podaci o srčanim problemima uzeti su iz Kliničkog bolničkog centra Rijeka (KBC Rijeka), a podaci o atmosferskim pojavama iz Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ). Podaci su uzeti za siječanj, travanj, srpanj i listopad 2014.g. te listopad



2019.g. Izabrani su ovi vremenski periodi kako bi se moglo gledati postoji li razlika u broju srčanih problema za vrijeme Sunčevog minimuma i Sunčevog maksimuma, te zato što su siječanj, travanj, srpanj, i listopad uzeti kao predstavnici zime, proljeća, ljeta i jeseni. To je bilo pogodno za gledanje ovisnosti srčanih problema o atmosferskim pojavama jer ukoliko postoji razlika pojava srčanih problema s obzirom na godišnje doba, puno je relevantnije uzeti za svako godišnje doba po jedan mjesec, nego uzeti četiri uzastopna mjeseca koja bi onda pripadala jednom dijelu godine tj. jednom godišnjem dobu.

Podaci o atmosferskim parametrima mjereni su na više lokacija na području Istre i Kvarnera. Dakle na više područja koja su međusobno relativno blizu, a to su: Delnice, Mali Lošinj, Parg, Pazin, Poreč, Pula i Rijeka. Sva ta naselja imaju različitu nadmorsku visinu, a neka i međusobno različitu klimu - neka naselja imaju primorsku klimu, a neka gorsku, pa su se srednje dnevne vrijednosti za relativnu vlažnost, temperaturu i tlak međusobno dosta razlikovale za različita naselja. Za razliku od toga, pojava grmljavina i sijevanja, bila je često zabilježena na više različitih lokacija u istom danu ili najčešće i na svim lokacijama, što je i za očekivati s obzirom da su lokacije relativno blizu, a sijevanje se može uočiti na daleko, a i također, grmljavinske oluje mogu u relativno kratkom vremenu prelaziti relativno velike udaljenosti. Iako se pojava grmljavina i sijevanja više manje svugdje pojavljivala u istim danima, ona nije bila svugdje istog vremena trajanja, i nije se uvijek pojavljivala u isti sat. Zato je kao vrijednost ove varijable uzeto maksimalno vrijeme trajanja grmljavina/sijevanja u danu tj. ako su grmljavine i sijevanje na isti dan zabilježene u više naselja, tada je uzeto vrijeme trajanja iz naselja u kojem su ove pojave najduže trajale.

Podaci iz KBC Rijeka su podaci o ljudima koji nisu dolazili isključivo iz Rijeke, već i iz njene okolice i okolnih naselja i gradova kojima je ova bolnica najbliža, pa je podatke atmosferskih parametara i pojava bilo pogodno uzeti sa više različitih lokacija blizu Rijeke. Analiza se onda radila tako što se uzelo svih pet dostupnih mjeseci, te se uzela srednja vrijednost svakog atmosferskog parametra po danu, za svaki dan, a za grmljavine i sijevanje se uzela maksimalna vrijednost u danu.

Podaci o srčanim problemima koji su uzeti za ovo istraživanje izabrali su se pomoću kriterija da ako dođe do ovakvog problema kod neke osobe, simptomi su intenzivni i akutni, pa je osoba najčešće primorana doći u bolnicu vrlo brzo nakon što su tegobe započele. Za ovo istraživanje to je bitno jer se probala naći veza između atmosferskih parametara (gledala se i promjena atmosferskih parametara) sa srčanim problemima u istom danu, ili u pomaku od jednog ili dva dana.

### 3.1 Obrada podataka

Podaci su obrađivani u Rstudiju [131]. R je besplatni programski jezik za statističko računanje i grafiku, a RStudio integrirano razvojno okruženje za R. Prvo je provjerena normalnost raspodjele zavisnih varijabli: aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma. Normalnost raspodjele provjeravala se pomoću Kolmogorov-Smirnov testa. Izabran je ovaj test, jer je broj podataka bio veći od 50, pa je u tom slučaju bolje koristiti Kolmogorov-Smirnov test nego Shapiro-Wilk test. U sva tri slučaja iz testa je dobivena p vrijednost puno manja od 0.05 što znači da raspodjele nisu normalne. Zatim su nacrtani dijagrami raspršenosti (eng. *scatter plot*) zasebno za sve tri zavisne varijable (aritmije, plućni edem, akutni koronarni sindrom) u ovisnosti o nezavisnim varijablama (tlak, relativna vlažnost, temperatura i grmljavine/sijevanje), kako bi se vidjelo kako se podaci raspršuju i postoji li neka vrsta veze između njih. Na dijagram raspršenosti nacrtao se regresijski pravac, te se računala korelacija. Za račun korelacije izabran je Spearmanov korelacijski test jer je to neparametrijski test što znači da ga se može koristiti za nenormalne raspodjele podataka.

Na slici 3.1 prikazan je kod korišten za obradu podataka:

```
PP1 <- read.table(file.choose(), header=T)
View(PP1)
attach(PP1)

#Kolmogorov-Smirnov test
ks.test(PP1$x1,pnorm,mean=mean(PP1$x1), sd=sd(PP1$x1))
ks.test(PP1$y1,pnorm,mean=mean(PP1$y1), sd=sd(PP1$y1))

# Crtanje scatter dijagrama:
plot(PP1, main="Broj pojava plućnog edema u ovisnosti o
vremenu trajanja grmljavina/sijevanja, pomak 1 dan,
      svi gradovi",
      xlab="Vrijeme trajanja grmljavina/sijevanja (min)",
      ylab="Broj pojava plućnog edema u danu",
      xlim=c(0,1200), ylim=c(0,4), col="darkgreen", pch=16)

# Crtanje pravca regresije
regr=lm(y1 ~ x1)
abline(regr, col="red")
# Jednadzba linearne regresije:
summary(regr)
# Koeficijent korelacije:
cor.test(x1, y1, method="spearman")
```

Slika 3.1: Programerski kod napisan u RStudiju koji je korišten za analizu podataka

Kod radi tako da se prvo učitava željena tablica (podaci), zatim se izračunava Kolmogorov-Smirnovljev test kako bi se provjerila normalnost raspodjele podataka. Zatim se crta dijagram raspršenosti, na koji se još ucrtava pravac regresije i izračunava se Spearmanov koeficijent korelacije.

### **Kriterij Spearmanovog koeficijenta korelacije**

Koeficijent korelacije pokazuje u kojoj su mjeri promjene vrijednosti jedne varijable povezane s promjenama vrijednosti druge varijable. Predznak koeficijenta korelacije (+ ili -) govori o smjeru povezanosti. Kriteriji Spearmanovog koeficijenta korelacije ( $R_s$ ) su sljedeći: od 0 do 0,25 ili od 0 do -0,25 upućuju na to da nema povezanosti, dok vrijednost od 0,25 do 0,50 ili od -0,25 do -0,50 upućuju na slabu povezanost među varijablama. Vrijednosti od 0,50 do 0,75 ili od -0,50 do -0,75 upućuju na umjerenu do dobru povezanost, te vrijednosti od 0,75 do 1 ili od -0,75 do -1 upućuju na vrlo dobru do izvrsnu povezanost među varijablama. [132]

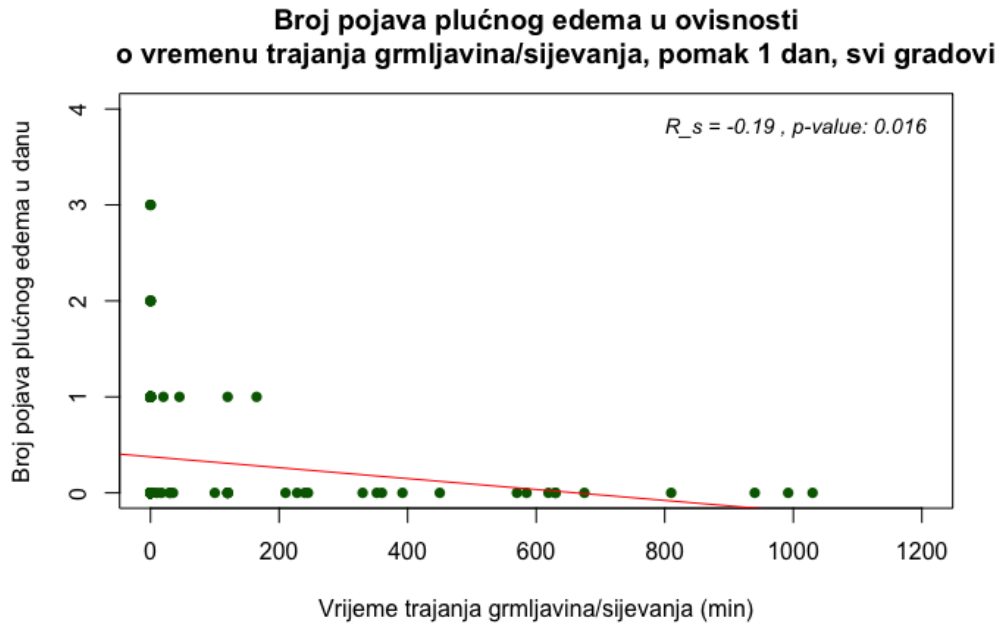
## 4 Rezultati i diskusija

U ovom radu gledalo se i postoji li razlika u broju srčanih problema za vrijeme Sunčevog minimuma i Sunčevog maksimuma. S obzirom na mali broj podataka, dobiveni rezultati nisu bili relevantni za interpretiranje jer su standardne devijacije izračunatih prosječnih vrijednosti broja pojava određenog srčanog problema za određeni mjesec bile jako velike u odnosu na samu prosječnu vrijednost. Za ovakvu usporedbu potreban je veći broj podataka.

Također, u ovom radu gledala se ovisnost pojave srčanih problema (aritmijske, plućni edem, akutni koronarni sindrom) o atmosferskim parametrima (relativnoj vlažnosti, tlaku i temperaturi zraka) i grmljavinama, i o promjeni atmosferskih parametara, u istom danu i sa vremenskim pomacima. Potrebno je odmah napomenuti da se zbog male količine podataka p vrijednost po kojoj bi se određivala statistička značajnost p vrijednosti svake od dobivenih korelacija nije točno odredila i nije se tražio zaključak postoji li korelacija između određenih parametara ili ne, već se samo gledalo postoji li naznaka korelacije. No ipak se kao neka referentna vrijednost uzela vrijednost 0.05 (koja se uobičajeno uzima u statističkim testovima) i ako su vrijednosti bile manje ili malo veće od toga (ponekad i do 0.1) ti rezultati su uzeti kao moguće značajni. No nije samo to bio razlog da se neki rezultat izdvoji kao značajan, već i raspršenost podataka - da li pokazuje linearnu ili neki drugu vrstu veze, i je li rezultat očekivan ili ne. Kombinacijom svega toga, na sljedećim stranicama izdvojeni su grafovi koji su se autoru činili značajni, a svi rezultati iz ovog istraživanja prikazani su u tablicama na slikama 4.11 i 4.12.

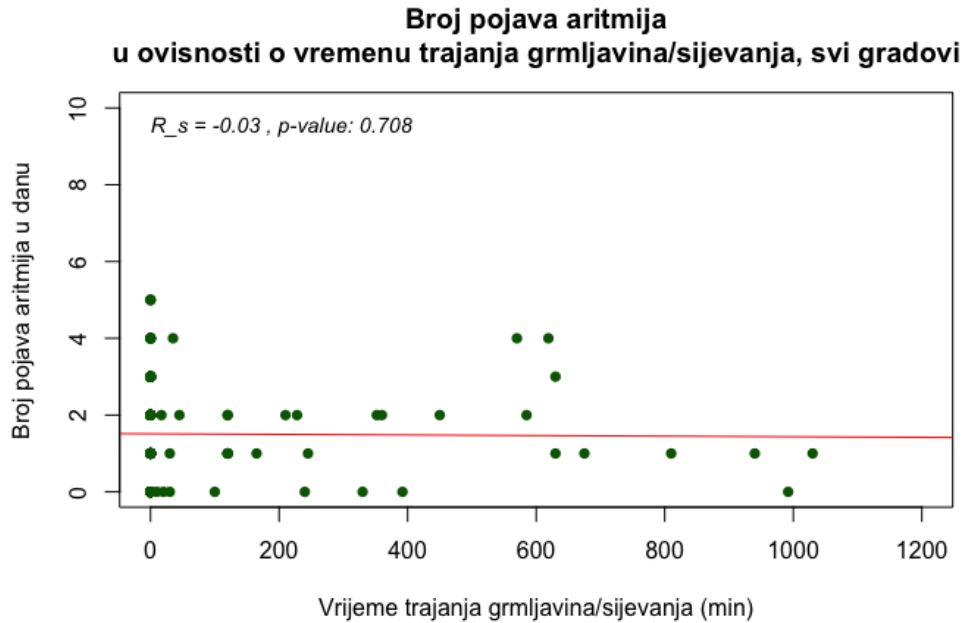
## 4.1 Usporedba dijagrama raspršenosti sa i bez naznake korelacije

U ovom odlomku prikazana su dva proizvoljna grafa: jedan koji pokazuje naznake korelacije, i jedan iz kojeg se jasno vidi da korelacije nema, kako bi se dobio dojam o raspršenosti podataka za rezultate za koje se čini da postoji naznaka korelacije i za one za koje se čini da ne postoji naznaka korelacije.



Slika 4.1: Primjer naznake korelacije

Na slici 4.1 postoji dosta jasna naznaka o linearnoj vezi i negativnoj korelaciji, dok se na slici 4.2 iz raspršenosti podataka dosta jasno vidi da korelacija ne postoji i skoro je jednaka nuli, a p vrijednost je jako velika što bi značilo da sam rezultat korelacije vrlo vjerojatno nije statistički signifikantan što znači da se ne može tumačiti.



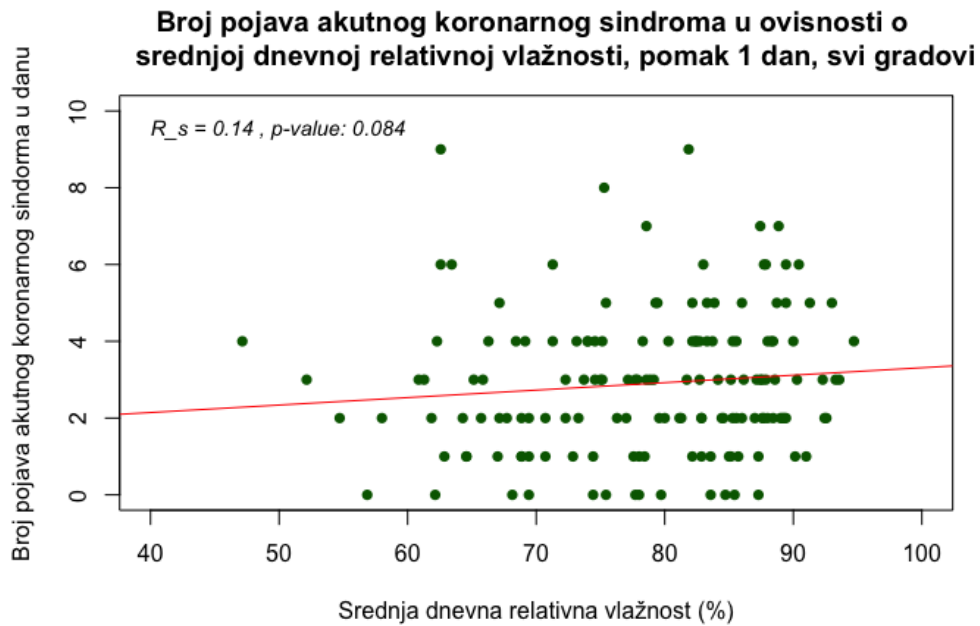
Slika 4.2: Primjer dijagrama raspršenosti gdje nema korelacije

## 4.2 Relativna vlažnost

Podaci o srednjoj dnevnoj relativnoj vlažnosti uzeti su iz Rijeke, Pule, Poreča, Pazina, Parga, Malog Lošinja i Delnica. Za analizu je uzeta prosječna vrijednost srednje dnevne relativne vlažnosti svih lokacija, po danu. Gledalo se postoji li veza aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma sa srednjom dnevnom relativnom vlažnosti, s pomakom jedan dan unazad, bez pomaka, i s pomakom od jednog i dva dana. Također, gledalo se postoji li veza aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma sa apsolutnom vrijednosti promjene srednje dnevne relativne vlažnosti u istom danu (tj. bez pomaka), te s pomakom od jednog i dva dana.

### Pomak 1 dan

Na slici (4.3) prikazana je ovisnost akutnog koronarnog sindroma o srednjoj dnevnoj relativnoj vlažnosti, s pomakom od 1 dana:



Slika 4.3: Ovisnost akutnog koronarnog sindroma o srednjoj dnevnoj relativnoj vlažnosti, s pomakom od 1 dana

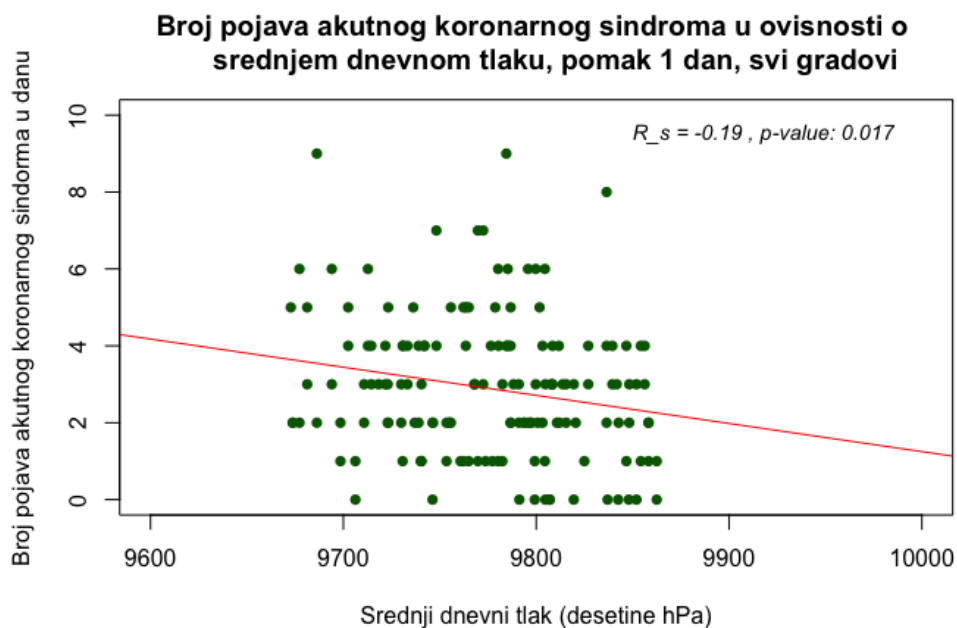
Sa grafa se ne primjećuje linearna (niti bilo kakava) veza iz čega se inače može zaključiti da korelacije nema. P vrijednost je veća od uobičajenog izbora p vrijednosti od 0.05 pa je lako moguće da rezultat nije niti statistički značaj.

### 4.3 Tlak

Podaci o srednjem dnevnom tlaku uzeti su iz Rijeke, Parga, Pazina i Malog Lošinja. Izračunat je prosjek srednjeg dnevnog tlaka svih gradova po danu, za svaki dan. Gledalo se postoji li veza aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma sa srednjim dnevnom tlakom, sa pomakom jedan dan unazad, bez pomaka i sa pomakom od jednog i dva dana, te se gledalo postoji li veza aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma sa apsolutnom vrijednosti promjene srednjeg dnevnog tlaka u istom danu, te s pomakom od jednog i dva dana.

#### Pomak 1 dan

Na slici (4.4) prikazan je graf ovisnosti akutnog koronarnog sindroma o srednjem dnevnom tlaku, s pomakom od jednog dana:



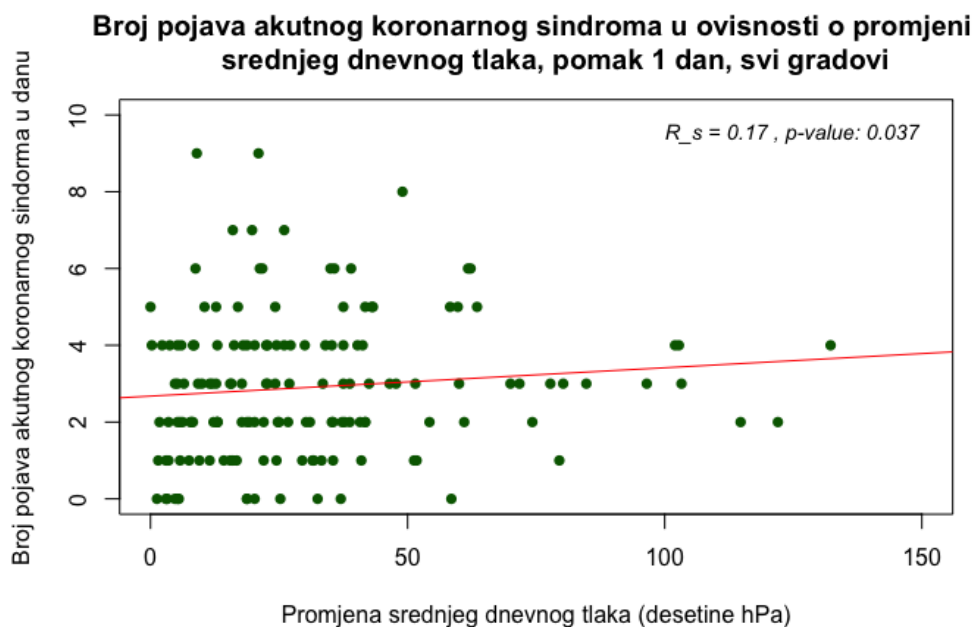
Slika 4.4: Ovisnost akutnog koronarnog sindroma o srednjem dnevnom tlaku, pomak 1 dan

Sa slike (4.4) ne nazire se linearna niti nelinearna veza. No p vrijednost koeficijenta korelacije prilično je mala. Toliko mala da ako bi se za značajnost p vrijednosti uzeo uobičajeni iznos od 0.05, moglo bi se reći da je dobiveni iznos korelacije statistički značajan. S obzirom na sve navedeno moguće je da korelacije nema, ali za sigurne zaključke potreban je veći broj podataka.



## Promjena tlaka, pomak 1 dan

Na slici (4.5) prikazan je graf ovisnosti akutnog koronarnog sindroma o apsolutnoj vrijednosti promjene srednjeg dnevnog tlaka, s pomakom od jednog dana:



Slika 4.5: Ovisnost akutnog koronarnog sindroma o apsolutnoj vrijednosti promjene srednjeg dnevnog tlaka, pomak 1 dan

Sa slike (4.5) se čini kao da postoji nekakva linearna veza ali samo za veće vrijednosti promjene tlaka. P vrijednost korelacije je relativno mala, i ako bi se za p vrijednost kojom se testira statistička signifikantnost korelacije izabrala vrijednost od 0.05, ovaj rezultat bio bi statistički značajan. Iz iznosa korelacije moglo bi se dalje zaključiti da ne postoji veza između promjene srednjeg dnevnog tlaka i akutnog koronarnog sindroma jer je korelacija  $<0.25$ , ali zbog donekle vidljive povezanosti podataka i to linearne, i zbog toga što je očekivano da će broj hospitalizacija rasti s velikim promjenama tlaka, ovaj rezultat mogao bi ukazivati na postojanje korelacije.

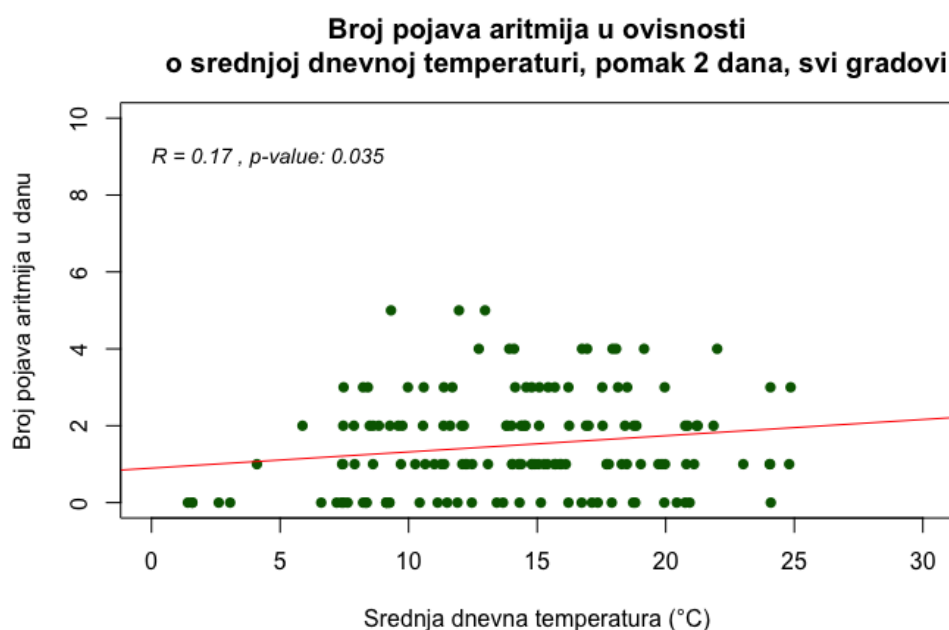
No za moguće sljedeće istraživanje, osim potrebne puno veće statistike, možda bi se moglo izdvojiti samo relativno velike promjene tlaka te onda tražiti korelaciju. Nekako je intuitivno za pretpostaviti da, ako veza postoji, da je moguće da postoji neka granična vrijednost promjene tlaka ( a i ostalih atmosferskih veličina) ispod koje veza neće biti značajna. Iz ovog grafa izgleda da postoji naznaka korelacije za promjene tlaka koje iznose 50 desetina *hPa* i više.

## 4.4 Temperatura

Podaci o srednjoj dnevnoj temperaturi uzeti su iz Rijeke, Pule, Poreča, Pazina, Parga, Malog Lošinja i Delnica. Izračunata je srednja vrijednost srednje dnevne temperature svih gradova, po danu. Gledalo se postoji li veza aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma sa srednjom dnevnom temperaturom, sa pomakom jedan dan unazad, bez pomaka i sa pomakom od jednog i dva dana, te se gledalo postoji li veza aritmija, plućnog edema i akutnog koronarnog sindroma sa apsolutnom vrijednosti promjene srednje dnevne temperature u istom danu, te s pomakom od jednog i dva dana.

### Pomak 2 dana

Na slici (4.6) prikazan je graf ovisnosti aritmija o srednjoj dnevnoj temperaturi, s pomakom od 2 dana:

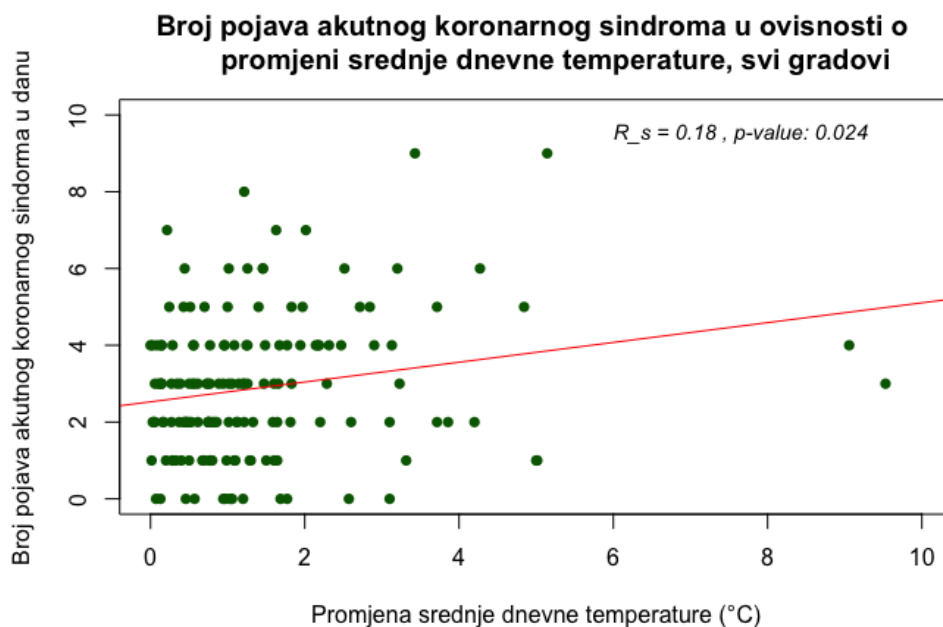


Slika 4.6: Ovisnost broja pojava aritmija o srednjoj dnevnoj temperaturi, pomak 2 dana

Sa slike (4.6) moglo bi se reći da nema linearne veze između podataka. P vrijednost je prilično mala, pa bi ova korelacija bila statistička značajna da se za p vrijednost za testiranje statističke signifikantnosti korelacije uzela vrijednost 0.05, ali iz iznosa korelacije i raspršenosti podataka teško je zaključiti da li između promjene srednje dnevne temperature i aritmija postoji naznaka korelacije.

## Promjena temperature

Na slici (4.7) prikazan je graf ovisnosti akutnog koronarnog sindroma o apsolutnoj vrijednosti promjene srednje dnevne temperature:

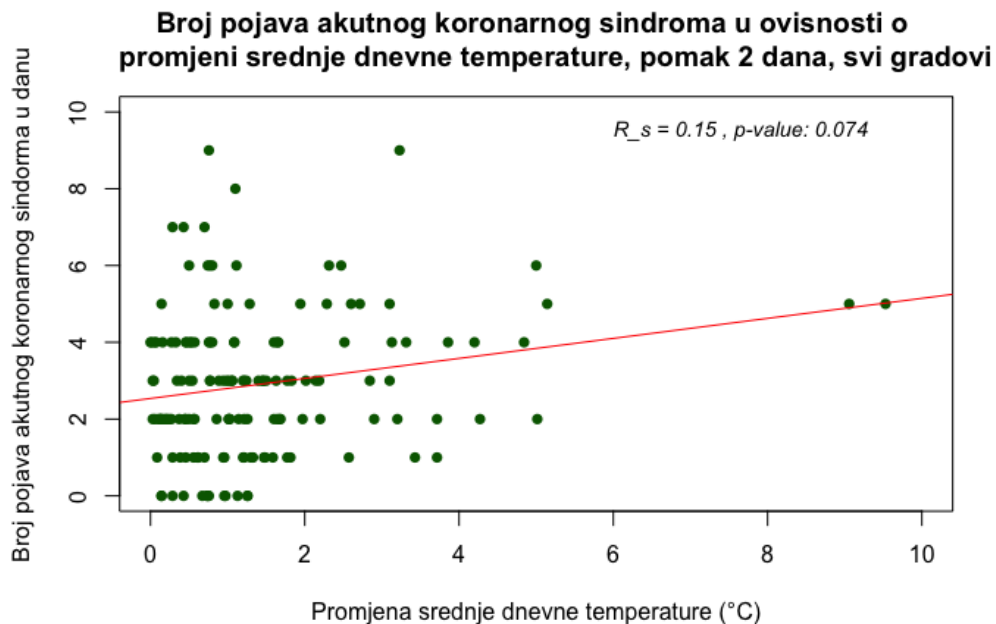


Slika 4.7: Ovisnost broja pojava akutnog koronarnog sindroma o apsolutnoj vrijednosti promjene srednje dnevne temperature

Sa slike (4.7) ne može se reći postoji li linearna veza između podataka. P vrijednost je prilično mala, pa bi ova korelacija bila statistička značajna da se za p vrijednost za testiranje statističke signifikantnosti korelacije uzela vrijednost 0.05, ali iz iznosa korelacije i čudnog izgleda raspršenosti podataka teško je zaključiti da li postoji veza između promjene srednje dnevne temperature i akutnog koronarnog sindroma. Svakako je potreban veći broj podataka kako bi se utvrdilo da li i kakava veza među podacima postoji.

## Promjena temperature, pomak 2 dana

Na slici (4.8) prikazan je graf ovisnosti akutnog koronarnog sindroma o apsolutnoj vrijednosti promjene srednje dnevne temperature, s pomakom od dva dana:



Slika 4.8: Ovisnost broja pojava akutnog koronarnog sindroma o promjeni srednje dnevne temperature, pomak 2 dana

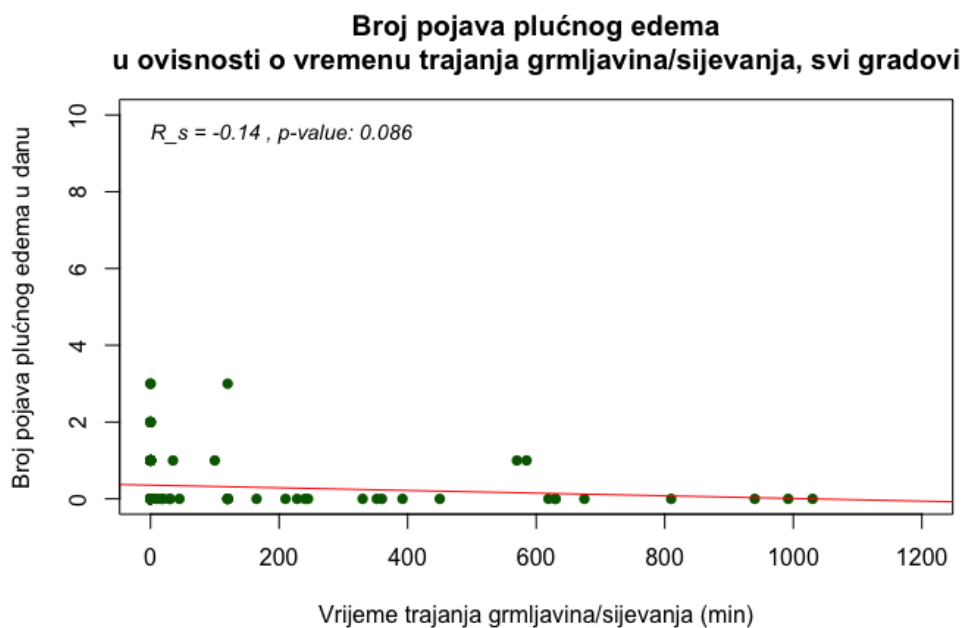
Sa slike (4.8) iz raspršenosti podataka teško je reći postoji li naznaka linearne veze ili su dvije točke za velike vrijednosti tlaka *outlieri*. Linearna veza ako postoji ugledala bi se da je broj podataka veći. P vrijednost je relativno mala, ali veća od 0.05, pa za slučaj da se signifikantnost testira za p vrijednost od 0.05, onda bi se moglo reći da ova korelacija nije statistički signifikantna i ne može se tumačiti. Ispitivanje postojanja korelacije za pomak od 2 dana je svakako upitan jer je upitno i da li će se simptomi pojaviti u tolikom vremenskom razmaku od pojave uzroka. Svakako je potreban veći broj podataka kako bi se moglo nešto dalje zaključiti.

## 4.5 Grmljavina i sijevanje

Podaci o vremenu trajanja grmljavina, sijevanja i grmljenja uzeti su iz Rijeke, Parga, Pazina i s Malog Lošinja. Ovaj put nije uzeta prosječna vrijednost po danu, već je za podatak uzeto maksimalno vrijeme trajanja, tj. ako se pojava detektirala iz više različitih naselja u istom danu, tada je za taj određeni dan uzet podatak od naselja u kojem je grmljavina/sijevanje/grmljenje najduže trajalo. To je zato što je vrlo lako moguće da se ista pojava mogla opaziti u više naselja istovremeno (jer su relativno blizu), pa se činilo da je bolja opcija uzeti maksimalnu vrijednost, nego prosječnu vrijednost ili sumu. U obzir su uzete i grmljavina i sijevanje i grmljenje, jer se u sva tri slučaja na kraju radi o električnom pražnjenju u atmosferi koje je izvor Schumannovih rezonancija. Grmljenje i sijevanje su posljedica električnog pražnjenja, a grmljavine su električno pražnjenje, sijevanje i grmljenje u jednom. Istraživanje je potaknuto pretpostavkom o tome da će postojati negativna korelacija između ovih pojava i pojava srčanih problema jer će nastanak intenzivnih Schumannovih rezonancija u atmosferi pogodno djelovati na rad ljudskog srca. Odnosno, sa pojavama grmljavina, sijevanja i grmljenja smanjiti će se broj pojava srčanih problema. Ideja je inspirirana znanstvenim člankom [41].

### Bez pomaka

Na slici (4.9) prikazana je ovisnost broja pojava plućnog edema o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja, bez pomaka:



Slika 4.9: Ovisnost broja pojava plućnog edema o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja, bez pomaka

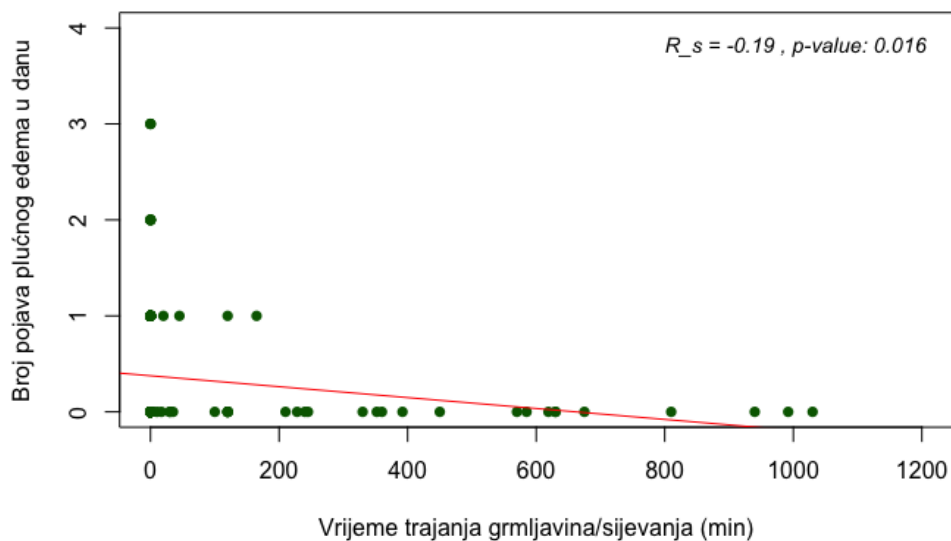
Sa slike (4.7) se vidi da postoji naznaka linearne veze. P vrijednost je veća od 0.05, pa ova korelacija nebi bila statistička značajna da se za p vrijednost za testiranje statističke signifikantnosti korelacije uzela vrijednost 0.05. Iznos korelacije je mali, čak se ne može zaokružiti na 0,2 ali je negativan, što je u skladu s pretpostavkom istraživanja. Za daljnje zaključivanje svakako je potreban veći broj podataka.

### Pomak 1 dan

Na slici (4.10) prikazana je ovisnost broja pojava plućnog edema o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja, s pomakom od jednog dana:

Sa slike (4.10) moglo bi se reći da postoji linearna veza. P vrijednost je relativno mala i za slučaj kada bi se za testiranje izabrala p vrijednost od 0.05 ova korelacija bi bila statistički signifikantna, iznos korelacije se može zaokružiti na 0.2 i negativan je što je i očekivano. Iz svega navedenog moglo bi se zaključiti da je moguće da

**Broj pojava plućnog edema u ovisnosti  
o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja, pomak 1 dan, svi gradovi**



Slika 4.10: Ovisnost broja pojava plućnog edema o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja, pomak 1 dan

postoji veza plućnog edema i vremena trajanja grmljavina/sijevanja. Ovaj rezultat više ukazuje na postojanje korelacije nego rezultat povezanosti grmljavina i plućnog edema bez vremenskog pomaka što je isto očekivano, jer između pojave uzroka (grmljavina) i pojave posljedica (plućnog edema) vjerojatno postoji određeni vremenski razmak da se simptom pojavi, i još je potrebno vrijeme od pojave simptoma do trenutka reagiranja osobe na te simptome i dolaska u bolnicu. Dobiveni rezultati su zato značajni i motivacija za ponavljanje istraživanja ali na većem broju podataka.

## 4.6 Svi rezultati

Na slikama (4.11) i (4.12) u tablicama nalaze se sve izračunate korelacije i pripadne p vrijednosti za sve ovisnosti koje su se istraživale u ovom radu.

	Dijagnoza	Vlažnost		Tlak		Temperatura	
		cor	p	cor	p	cor	p
Pomak 1 dan unazad	ARITM	0,07	0,361	0,13	0,112	0,13	0,106
	PLED	-0,01	0,896	-0,06	0,470	-0,06	0,489
	AKS	-0,02	0,784	0,08	0,317	-0,05	0,492
Bez pomaka	ARITM	0,07	0,371	0,12	0,131	0,13	0,098
	PLED	-0,1	0,208	-0,06	0,478	-0,01	0,882
	AKS	0,02	0,813	0,03	0,684	-0,03	0,720
Pomak 1 dan	ARITM	-0,01	0,863	-0,13	0,392	0,09	0,263
	PLED	-0,05	0,537	0,05	0,521	-0,05	0,577
	AKS	0,14	0,084	-0,19	0,017	-0,02	0,801
Pomak 2 dana	ARITM	0,04	0,599	0,003	0,968	0,17	0,035
	PLED	-0,03	0,678	0,007	0,934	-0,01	0,87
	AKS	0,07	0,393	-0,12	0,146	0,02	0,807
Promjena	ARITM	-0,03	0,684	0,1	0,201	0,02	0,819
	PLED	0,07	0,407	0,02	0,774	0,01	0,872
	AKS	0,06	0,465	0,10	0,241	0,18	0,024
Promjena, pomak 1 dan	ARITM	-0,02	0,793	-0,08	0,304	-0,06	0,466
	PLED	-0,04	0,641	0,11	0,165	0,02	0,806
	AKS	0,01	0,860	0,17	0,033	0,12	0,133
Promjena, pomak 2 dana	ARITM	0,03	0,761	-0,13	0,113	0,03	0,721
	PLED	-0,01	0,934	0,02	0,819	0,08	0,330
	AKS	-0,11	0,193	0,07	0,384	0,15	0,074

Slika 4.11: Vrijednosti korelacija i pripadajućih p vrijednosti za ovisnost pojave aritmija (ARITM), plućnog edema (PLED) i akutnog koronarnog sindroma (AKS) o srednjoj dnevnoj relativnoj vlažnosti, srednjem dnevnom tlaku i srednjoj dnevnoj temperaturi, za pomak jednog dana unazad, bez pomaka, pomak od jednog i dva dana, i o promjeni srednje dnevne relativne vlažnosti, promjeni srednjeg dnevnog tlaka i srednje dnevne temperature, bez pomaka i za pomak od jednog i dva dana

Iz svih rezultata za atmosferske parametre vidi se da nema značajne ovisnosti relativne vlažnosti i pojave srčanih problema, izuzev jednog grafa. Što se tiče ostalih atmosferskih parametara najznačajnija se čini ovisnost akutnog koronarnog sindroma o promjeni tlaka, ali postoje i naznake ovisnosti pojave aritmija o porastu temperature



(ali ne i o promjeni temperature).

	Dijagnoza	Grmljavine/sijevanje	
		cor	p
Bez pomaka	ARITM	-0,03	0,708
	PLED	-0,14	0,086
	AKS	0,02	0,847
Pomak 1 dan	ARITM	-0,02	0,800
	PLED	0,19	0,016
	AKS	0,06	0,476
Pomak 2 dana	ARITM	0,03	0,709
	PLED	-0,06	0,459
	AKS	0,10	0,24

Slika 4.12: Vrijednosti korelacija i pripadajućih p vrijednosti za ovisnost pojave aritmija (ARITM), plućnog edema (PLED) i akutnog koronarnog sindroma (AKS) o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja

Iz dobivenih rezultata sa slike 4.12 grmljavine značajna je ovisnost pojave plućnog edema o grmljavinama/sijevanju.

## 4.7 Diskusija rezultata

Iz dobivenih rezultata, prvi zanimljiv rezultat je ovisnost akutnog koronarnog sindroma (AKS) o atmosferskim parametrima: relativnoj vlažnosti, tlaku i temperaturi. Postoji naznaka korelacije kod ovisnosti AKS o srednjoj dnevnoj relativnoj vlažnosti s pomakom od 1 dana ( $R_s = 0,14$ ,  $p = 0.084$ ), ovisnost AKS o srednjem dnevnom tlaku s pomakom od 1 dana ( $R_s = -0,19$ ,  $p = 0.017$ ) i ovisnost AKS o promjeni srednjeg dnevnog tlaka s pomakom od 1 dana ( $R_s = 0,17$ ,  $p = 0.037$ ), te ovisnost AKS o promjeni srednje dnevne temperature bez pomaka ( $R_s = 0,18$ ,  $p = 0.024$ ) i s pomakom od 2 dana ( $R_s = 0,15$ ,  $p = 0.074$ ).

Sljedeći zanimljiv rezultat je ovisnost pojava aritmija o srednjoj dnevnoj temperaturi. Ovisnosti pojave aritmija o srednjoj dnevnoj temperaturi s pomakom od 2 dana ( $R_s = 0,17$ ,  $p = 0.035$ ) daje naznake korelacije, no pomak od 2 dana je upitno da li je uopće relevantan za ispitivanje. No, osim ovog rezultata, ovisnost pojava aritmija o srednjoj dnevnoj temperaturi s pomakom 1 dan unazad ( $R_s = 0,13$ ,  $p = 0.106$ ), bez vremenskog pomaka ( $R_s = 0,13$ ,  $p = 0.098$ ) i s pomakom 1 dan ( $R_s = 0,09$ ,  $p = 0.263$ )

također imaju relativno malu  $p$  vrijednost.  $P$  vrijednosti većinom nisu značajne kao za gore navedene rezultate za akutni koronarni sindrom, ali su manje nego za rezultate gdje se gledala promjena srednje dnevne temperature, te su sve dobivene korelacije pozitivne. To ukazuje na to da možda postoji povezanost aritmija i temperature, i da ako postoji da do pojave aritmija dolazi zbog povećanja temperature, a nagla promjena temperature ne utječe na njihove pojave.

Zanimljivo je još već navedene rezultate ovisnosti broja pojava aritmija o srednjoj dnevnoj temperaturi s pomakom 1 dan unazad ( $R_s = 0,13$ ,  $p = 0.106$ ) i bez pomaka ( $R_s = 0,13$ ,  $p = 0.098$ ), usporediti s ovisnosti broja pojava aritmija o srednjem dnevnom tlaku s pomakom 1 dan unazad ( $R_s = 0,13$ ,  $p = 0.112$ ) i bez pomaka ( $R_s = 0,12$ ,  $p = 0.131$ ). Dobivene  $p$  vrijednosti za tlak također su relativno male (i možda značajne), kao i za temperaturu, a iznosi korelacija svugdje su pozitivni (iako mali) i većinom isti po iznosu.

Posljednji zanimljiv rezultat je ovisnost pojava plućnog edema o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja. Naznaka korelacije je negativna što je bilo i očekivano jer je sama ideja istraživanja proizašla iz pretpostavke da Schumannove rezonancije pozitivno utječu na rad srčanih stanica [41], a njihov izvor su između ostalog i munje (pa onda i grmljavine). Dobiveni rezultati iznose ( $R_s = -0,14$ ,  $p = 0,086$ ) bez pomaka i ( $R_s = -0,19$ ,  $p = 0,016$ ) za pomak od 1 dan.

Osim provedbe istog ovakvog istraživanja s većim brojem podataka, mogla bi se sprovesti multilinearne regresije, i za to čak i nije nužno imati veći broj podataka. Multilinearne regresijske analize je statistička tehnika koja pomoću dvije ili više nezavisnih varijabli pokušava predvidjeti ishod zavisne varijable. Za ovakav test potrebna je normalna raspodjela podataka (što za ove podatke većinom ne vrijedi) jer se u testu računa Pearsonov koeficijent korelacije. Dakle za provedbu testa bilo bi potrebno (ako je moguće) računati Spearmanov koeficijent korelacije ili podatke navesti na normalnu raspodjelu. Osim multilinearne regresije, mogla bi se sprovesti i multivarijantna linearna regresija koja pomoću dvije ili više nezavisnih varijabli pokušava predvidjeti ishod dvije ili više zavisnih varijabli što bi omogućilo da se skрати vrijeme obrađivanja podataka tj. da se gledaju svi srčani problemi odjednom. Multivarijantna i multilinearne regresije bile bi pogodne kao izbor testa i zato jer, za razliku od ovog istraživanja gdje se svi parametri gledaju zasebno, ovdje bi se moglo vidjeti postoji li neka kombinacija parametara koji utječu na pojave srčanih problema. To je i za očekivati jer su svi atmosferski parametri (vlažnost, tlak, temperatura) povezani, i promjenom jednog parametra mijenjaju se i ostali, a grmljavine ovise i utječu na atmosferske parametre.

## 5 Zaključak

Početna ideja ovog istraživanja bila je da se ispita postoji li korelacija između atmosferskih pojava i srčanih problema. No s obzirom na mali broj podataka, nije bilo moguće donijeti takav zaključak. Ono što se može zaključiti je da efekt ako postoji, malen je, jer da je velik bio bi primjetan i iz male količine podataka. To je i intuitivno za zaključiti jer na ljudsko zdravlje, pa onda i na rad ljudskog srca utječe puno parametara - osim mogućeg utjecaja grmljavina i promjene vremena, utječe i dob, spol, psihičko stanje, zdravstveno stanje, genetika itd. Sljedeći zaključak je svakako onda da bi se ovo istraživanje trebalo ponoviti na većem broju podataka. S obzirom da se nije moglo donijeti zaključak postoji li korelacija ili ne, sljedeća ideja je bila pogledati kako izgledaju ovisnosti svake od ispitivanih veza, i postoje li barem naznake korelacija. To može biti korisno jer ako bi se dobio veći broj podataka, onda bi trenutno dobiveni grafovi mogli sugerirati u kojem smjeru sprovesti novo istraživanje. Iz dobivenih rezultata vidi se da motivacija za daljne istraživanje svakako postoji. Najznačajni dobiveni rezultati su ovisnost pojave akutnog koronarnog sindroma o promjeni srednjeg dnevnog tlaka s pomakom od 1 dana ( $R_s = 0,17$ ,  $p = 0,037$ ) i ovisnost pojave plućnog edema o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja s pomakom od 1 dana ( $R_s = -0,19$ ,  $p = 0,016$ ). Ova dva rezultata jedini su koji su očekivani, pokazuju linearnu povezanost i imaju male  $p$  vrijednosti te naznaku postojanja korelacije. Ukoliko bi se dobio veći broj podataka, ako se nebi htjelo ponoviti cijelo istraživanje, svakako bi bilo korisno pogledati barem ova dva slučaja. Osim ovih rezultata, čini se da postoje i slabe naznake korelacija pojava aritmija s porastom srednje dnevne temperature u realnom vremenu i s pomacima u vremenu, te slabe naznake korelacija ovisnosti pojava akutnog koronarnog sindroma o više parametara: srednjoj dnevnoj relativnoj vlažnosti (s pomakom od 1 dana), o srednjem dnevnom tlaku (s pomakom od 1 dana) te o promjeni srednje dnevne temperature (bez pomaka i s pomakom od 2 dana). Osim ponavljanja ovog istraživanja na većem broju podataka, mogla bi se i sprovesti multilinearne ili multivarijantna regresijska analiza ukoliko bi se dobivene podatke uspjelo navesti na normalnu raspodjelu.

## Literatura

- [1] <http://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/atmosphere/earth.php>
- [2] <https://howthingsfly.si.edu/media/layers-earths-atmosphere>
- [3] <https://www.britannica.com/science/ionosphere-and-magnetosphere>
- [4] <https://www.ncei.noaa.gov/news/HDGM>
- [5] [https://www.researchgate.net/figure/The-Earths-magnetic-field-the-geomagnetic-field-Notice-that-the-southern-and-northern\\_fig1\\_279446083](https://www.researchgate.net/figure/The-Earths-magnetic-field-the-geomagnetic-field-Notice-that-the-southern-and-northern_fig1_279446083)
- [6] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Structure\\_of\\_the\\_magnetosphere-en.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Structure_of_the_magnetosphere-en.svg)
- [7] <https://spaceplace.nasa.gov/gallery-sun/en/>
- [8] <http://catholicscienceteacher6.blogspot.com/2013/12/astronomy-sun-parts-functions-vocabulary.html>
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Maunder\\_Minimum](https://en.wikipedia.org/wiki/Maunder_Minimum)
- [10] [https://www.researchgate.net/figure/Figura-21-Sistema-solar-https-eswikipediaorg-wiki-Heliosfera\\_fig1\\_357826972](https://www.researchgate.net/figure/Figura-21-Sistema-solar-https-eswikipediaorg-wiki-Heliosfera_fig1_357826972)
- [11] <http://comunidadastronomicachile.blogspot.com/2012/03/imagen-ampliada-de-una-mancha-solar.html>
- [12] <https://www.nasa.gov/content/goddard/what-is-a-solar-prominence>
- [13] <https://www.nasa.gov/aurora>
- [14] <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/clouds-climate-uncertainty>
- [15] [https://www.researchgate.net/figure/Optimum-humidity-range-for-human-comfort-and-health-Sterling-et-al\\_fig1\\_48259528](https://www.researchgate.net/figure/Optimum-humidity-range-for-human-comfort-and-health-Sterling-et-al_fig1_48259528)
- [16] <https://enthusiastical.wordpress.com/2013/05/06/dawn-over-angkor-wat/>
- [17] <https://www.writework.com/essay/differences-cyclones-and-anti-cyclones>

- [18] <https://udaipurtimes.com/news/heat-in-december-anticyclone-is-blocking-cold-winds/cid1886318.htm>
- [19] <https://www.proprofs.com/quiz-school/story.php?title=pressure-winds>
- [20] <http://www.vp-zalec.net/>
- [21] <https://www.youtube.com/watch?v=Ia3xBfQLsTg>
- [22] Holton, J. R. ; Curry, J. A. ; Pyle, J. A. Encyclopedia of Atmospheric Sciences // Electricity, Atmospheric. Elsevier Science Ltd, Academic Press, 2003. Str. 724 – 746
- [23] [https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II\\_09.html](https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II_09.html)
- [24] <https://www.pinterest.com/pin/649222102512639568/>
- [25] <https://www.flickr.com/photos/frankie57pr/24207646584>
- [26] <https://www.bigbendliterary.com/issues/issue-one/mcdonald-observatory-photographs-by-stephen-hummel>
- [27] <https://noirlab.edu/public/images/iotw2108a/>
- [28] <https://kids.britannica.com/students/assembly/view/145997>
- [29] <https://www.jasonrweingart.com/blog/2015/1/31/dissecting-severe-weather>
- [30] The Positive and Negative Sides of Cloud to Ground Lightning  
<https://www.weathergamut.com/2015/08/06/the-positive-and-negative-sides-of-cloud-to-ground-lightning/> (26.10.2022.)
- [31] [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/sunearth/news/gallery/schumann-resonance.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/gallery/schumann-resonance.html)
- [32] De, Syam. (2012). Effects of Earthquake on VLF atmospheric and subionospheric transmitted signals.
- [33] Volland H. *Handbook of Atmospheric Electrodynamics, Volume I* CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 1995
- [34] Srimaharaj, Wanus Chaisricharoen, Rounsang Chaising, Supansa Sittipraporn, Phakkarawat. (2018). Classification of human brain attention focused on meditation, effected by L-theanine acid in Oolong tea. 262-266. 10.1109/IC-DAMT.2018.8376536.

- [35] <https://geek.hr/znanost/clanak/kako-radi-srce/>
- [36] <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/3b8a4b4e-84b0-4580-aa6f-e38efe028ed9/biologija-8/m04/j01/index.html>
- [37] Mitsutake G, Otsuka K, Hayakawa M, Sekiguchi M, Cornélissen G, Halberg F. Does Schumann resonance affect our blood pressure? *Biomed Pharmacother.* 2005 Oct;59 Suppl 1(Suppl 1):S10-4. doi: 10.1016/s0753-3322(05)80003-4. PMID: 16275477; PMCID: PMC2656447.
- [38] Alabdulgader A, McCraty R, Atkinson M, Dobyns Y, Vainoras A, Ragulskis M, Stolic V. Long-Term Study of Heart Rate Variability Responses to Changes in the Solar and Geomagnetic Environment. *Sci Rep.* 2018 Feb 8;8(1):2663. doi: 10.1038/s41598-018-20932-x. PMID: 29422633; PMCID: PMC5805718.
- [39] Pablo Fdez-Arroyabe, Jesus Fornieles-Callejón, Ana Santurtún, Leonna Szangolies, Reik V. Donner, Schumann resonance and cardiovascular hospital admission in the area of Granada, Spain: An event coincidence analysis approach, *Science of The Total Environment*, Volume 705, 2020, 135813, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135813>.
- [40] Persinger, Michael Saroka, Kevin. (2015). Human Quantitative Electroencephalographic and Schumann Resonance Exhibit Real-Time Coherence of Spectral Power Densities: Implications for Interactive Information Processing. *Journal of Signal and Information Processing.* 06. 153-164. 10.4236/jsip.2015.62015.
- [41] Elhalel G, Price C, Fixler D, Shainberg A. Cardioprotection from stress conditions by weak magnetic fields in the Schumann Resonance band. *Sci Rep.* 2019 Feb 7;9(1):1645. doi: 10.1038/s41598-018-36341-z. PMID: 30733450; PMCID: PMC6367437.
- [42] Atmosfera <https://www.crometeo.hr/atmosfera/> (05.09.2022)
- [43] Atmosfera <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=4464> (05.09.2022.)
- [44] Atmosfera zemlje <https://sites.google.com/site/atmosferazemlje/home> (03.09.2022)
- [45] Atmosphere layers [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/sunearth/science/atmosphere-layers2.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/science/atmosphere-layers2.html) (03.09.2022.)

- [46] Zemljina atmosfera [https://hr.wikipedia.org/wiki/Zemljina\\_atmosfera](https://hr.wikipedia.org/wiki/Zemljina_atmosfera) (03.09.2022.)
- [47] Ionosphere <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/ionosphere> (04.09.2022.)
- [48] Layers of ionization [https://en.wikipedia.org/wiki/Ionosphere#Layers\\_of\\_ionization](https://en.wikipedia.org/wiki/Ionosphere#Layers_of_ionization) (04.09.2022.)
- [49] Magnetsko polje Zemlje [https://www.pmf.unizg.hr/\\_download/repository/magnetsko\\_polje\\_zemlje.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/magnetsko_polje_zemlje.pdf) (04.09.2022.)
- [50] Magnetic Declination <https://www.ncei.noaa.gov/products/magnetic-declination> (03.11.2022.)
- [51] What are the magnetic elements? [https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/faqgeom.shtml#What\\_is\\_the\\_Earths\\_magnetic\\_field](https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/faqgeom.shtml#What_is_the_Earths_magnetic_field) (03.11.2022.)
- [52] Magnetosphere <https://www.nasa.gov/magnetosphere> (04.09.2022.)
- [53] Earths Magnetosphere <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/earths-magnetosphere> (04.09.2022.)
- [54] Magnetosphere Function And Facts <https://study.com/learn/lesson/magnetosphere-function-facts-what-is-the-magnetosphere.html> (05.09.2022.)
- [55] Sabolović, Emanuel. "Geomagnetske oluje." Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2019. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:665203>
- [56] All About The Sun <https://spaceplace.nasa.gov/all-about-the-sun/en/> (05.09.2022.)
- [57] Solar cycle <https://www.space.com/solar-cycle-frequency-prediction-facts> (02.09.2022)
- [58] There Is No Impending 'Mini Ice Age' <https://climate.nasa.gov/ask-nasa-climate/2953/there-is-no-impending-mini-ice-age/> (05.11.2022.)
- [59] I've heard that the next solar maximum may not even happen and so our climate will get cooler. Is that true? [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/sunearth/solar-events-news/Does-the-Solar-Cycle-Affect-Earths-Climate.htmlQ6](https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/solar-events-news/Does-the-Solar-Cycle-Affect-Earths-Climate.htmlQ6) (05.11.2022.)
- [60] Solar Wind <https://www.space.com/22215-solar-wind.html> (05.09.2022.)

- [61] Background Information for Middle and High School Teachers <https://magnetograph.msfc.nasa.gov/outreach/education/index.html> (30.08.2022.)
- [62] Solar flares (radio blackouts) <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/solar-flares-radio-blackouts> (01.09.2022.)
- [63] The Sun and Sunspots <https://www.weather.gov/fsd/sunspots> (03.09.2022.)
- [64] Geomagnetic storms <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/geomagnetic-storms>
- [65] What is a magnetic storm? <https://www.usgs.gov/faqs/what-magnetic-storm>
- [66] About space weather phenomena <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena> (15.11.2022.)
- [67] Vlažnost <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=65042> (28.08.2022.)
- [68] Osnovno znanje o vlažnosti zraka <https://hr.trotec.com/proizvodi-i-usluge/strojevi-homecomfort/odvlazivanje/znanje-iz-prakse-o-odvlazivacima-zraka/osnovno-znanje-o-vlaznosti-zraka/> (27.08.2022.)
- [69] Vlažnost <https://bs.wikipedia.org/wiki/Vla%C5%BEnost> (27.08.2022.)
- [70] Atmosferski tlak [https://hr.wikipedia.org/wiki/Atmosferski\\_tlak](https://hr.wikipedia.org/wiki/Atmosferski_tlak) (25.08.2022.)
- [71] Tlak <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=61540>
- [72] Tlak <http://lipovscak.com/meteo/tlak.html> (24.08.2022.)
- [73] Ciklona <https://hr.wikipedia.org/wiki/Ciklona> (29.08.2022.)
- [74] Temperatura <https://hr.wikipedia.org/wiki/Temperatura> (29.08.2022.)
- [75] Temperatura <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=60785>
- [76] Temperatura <http://lipovscak.com/meteo/temperatura.html> (28.08.2022.)
- [77] What is meteoropathy? <https://meteoagent.com/weather-pains-meteoropathy> (16.09.2022.)
- [78] Stergiou GS, Palatini P, Modesti PA, Asayama K, Asmar R, Bilo G et al. Seasonal variation in blood pressure: Evidence, consensus and recommendations for clinical practice. Consensus statement by the European Society of Hypertension Working Group on Blood Pressure Monitoring and Cardiovascular Variability. *J Hypertens* 2020; 38(7):1235-1243. doi: 10.1097/HJH.0000000000002341



- [79] Sezonske promjene hipertenzije <https://www.zzjzdnz.hr/hr/zdravlje/kardiovaskularno-zdravlje/sezonske-promjene-hipertenzije> (16.09.2022.)
- [80] Meteoropatija <https://www.zzjzdnz.hr/zdravlje/okolis-i-zdravlje/meteoropatija> (15.09.2022.)
- [81] Electricity in the Atmosphere [https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II\\_09.html](https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II_09.html) (10.09.2022.)
- [82] What is Schumann resonance <https://image.gsfc.nasa.gov/poetry/ask/q768.html> (10.09.2022.)
- [83] Gotal, N. (2014). *Fizika munja i grmljavine*, Master's thesis, University of Zagreb, Faculty of Science, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:29613>
- [84] Atmospheric Electricity <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/atmospheric-electricity> (24.10.2022.)
- [85] Price, C. (2006). GLOBAL THUNDERSTORM ACTIVITY. In: Füllekrug, M., Mareev, E.A., Rycroft, M.J. (eds) *Sprites, Elves and Intense Lightning Discharges*. NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry, vol 225. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4629-4\\_4](https://doi.org/10.1007/1-4020-4629-4_4)
- [86] Opširnije o munjama [https://meteo.hr/podaci.php?section=podaci\\_mjerenjaparam=mg](https://meteo.hr/podaci.php?section=podaci_mjerenjaparam=mg) (20.08.2022.)
- [87] How Hot Is Lightning? <https://www.weather.gov/safety/lightning-temperature> (26.10.2022.)
- [88] Types of lightning <https://www.rmets.org/metmatters/types-lightning> (09.09.2022.)
- [89] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Kugli%C4%8Dasta\\_munja](https://hr.wikipedia.org/wiki/Kugli%C4%8Dasta_munja) (29.10.2022.)
- [90] <https://www.flickr.com/photos/frankie57pr/24207646584> (04.11.2022.)
- [91] <https://www.youtube.com/watch?v=tGPQ5kzJ9Tg>
- [92] Mirzayeva, S. (2022). *Investigations of the Transient Luminous Events with the small satellites, balloons and ground-based instruments*, Master's thesis, Lulea University of Technology, Department of Computer Science, Electrical and Space Engineering, <https://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1653077/FULLTEXT01.pdf>

- [93] <https://skybrary.aero/articles/transient-luminous-events-tles> (25.10.2022.)
- [94] Grmljavinska oluja <https://kids.britannica.com/students/assembly/view/145997> (20.10.2022.)
- [95] <https://www.skybrary.aero/articles/catatumbo-lightning> (04.11.2022.)
- [96] Understanding Lightning: Thunderstorm Electrification <https://www.weather.gov/safety/lightning-science-electrification> (10.09.2022.)
- [97] Understanding Lightning: Negative Flash <https://www.weather.gov/safety/lightning-science-negative-charged-flash> (11.09.2022.)
- [98] The Dart Leader <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/ligseq.html> (11.09.2022.)
- [99] Understanding Lightning: Positive Flash <https://www.weather.gov/safety/lightning-science-positive-flashes> (26.10.2022.)
- [100] What is a lightning Bolt from the Blue? <https://www.esearth.com/what-is-a-lightning-bolt-from-the-blue/> (26.10.2022.)
- [101] The Positive and Negative Side of Lightning <https://www.weather.gov/jetstream/positive> (26.10.2022.)
- [102] The Positive and Negative Sides of Cloud to Ground Lightning <https://www.weathergamut.com/2015/08/06/the-positive-and-negative-sides-of-cloud-to-ground-lightning/> (26.10.2022.)
- [103] Besser, B. P. (2007), Synopsis of the historical development of Schumann resonances, *Radio Sci.*, 42, RS2S02
- [104] Schumann resonances [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/sunearth/news/gallery/schumann-resonance.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/gallery/schumann-resonance.html) (13.09.2022.)
- [105] J. D. Jackson *Classical Electrodynamics, Third Edition*. John Wiley Sons, Inc., Berkely, California, 1998.
- [106] Price, C. ELF Electromagnetic Waves from Lightning: The Schumann Resonances. *Atmosphere* 2016, 7, 116. <https://doi.org/10.3390/atmos7090116>
- [107] Volland H. *Handbook of Atmospheric Electrodynamics, Volume I* CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 1995

- [108] M.F.Bear, B.W. Connors, M.A.Paradiso *Neuroscienc: Exploring The Brain, Fourth Edition* Wolters Kluwer, international edition, 2016.
- [109] <https://www.webmd.com/brain/what-to-know-about-gamma-brain-waves> (05.11.2022.)
- [110] <https://www.scientificamerican.com/article/what-is-the-function-of-t-1997-12-22/> (05.11.2022.)
- [111] Shakshi, Jaswal R. (2016). Brain Wave Classification and Feature Extraction of EEG Signal by Using FFT on Lab View, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 3, 7 <https://www.irjet.net/archives/V3/i7/IRJET-V3I7222.pdf>
- [112] Stolic V., Ohayon M., Freund F., Loftus J. (2021) *The Impact of the Schumann Resonance on Biological Cells*, A White Paper Submitted to the NASA Biological and Physical Sciences Decadal Survey. [http://surveygizmoresponseuploads.s3.amazonaws.com/fileuploads/623127/6378869/139-39805df8350d398db74a88610c37ca5e\\_STOLCVIKTOR\\_.pdf](http://surveygizmoresponseuploads.s3.amazonaws.com/fileuploads/623127/6378869/139-39805df8350d398db74a88610c37ca5e_STOLCVIKTOR_.pdf)
- [113] Kardiovaskularni sustav <https://fitnes-uciliste.hr/kardiovaskularni-sustav/> (28.8.2022.)
- [114] Srce. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=57570> (20.08.2022)
- [115] Krvotok. <http://struna.ihjj.hr/naziv/krvotok/25848/> (20.09.2022)
- [116] Srce - građa i funkcija. <https://kardiocentar.ba/my-heart/srce-grada-i-funkcija/> (10.09.2022.)
- [117] Srčani zalisci. [https://bs.wikipedia.org/wiki/Sr%C4%8Dani\\_zalisci](https://bs.wikipedia.org/wiki/Sr%C4%8Dani_zalisci) (25.08.2022)
- [118] Provodni sustav srca. <http://struna.ihjj.hr/naziv/provodni-sustav-srca/26301/> (15.09.2022.)
- [119] Aritmije i poremećaji provođenja. <http://www.msd-prirucnici.placebo.hr/msd-prirucnik/kardiologija/aritmije-i-poremećaji-provodjenja> (15.09.2022.)
- [120] Što je krvni tlak. <https://www.plivazdravlje.hr/tekst/clanak/7926/Sto-je-krvni-tlak.html> (13.09.2022.)

- [121] Bolesti srca i krvnih žila. Vodeći uzroci smrti. <https://www.zzjzdnz.hr/zdravlje/kardiovaskularno-zdravlje/bolesti-srca-i-krvnih-zila-vodeci-uzroci-smrti> (15.09.2022.)
- [122] Javnozdravstveni prioriteti. Kardiovaskularne bolesti. <https://stampar.hr/hr/vase-zdravlje/javnozdravstveni-prioriteti-kardiovaskularne-bolesti> (15.09.2022.)
- [123] Ateroskleroza. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Ateroskleroza> (15.09.2022.)
- [124] Pregled aritmija <https://www.hemed.hr/Default.aspx?sid=15114> (15.09.2022.)
- [125] Vrste aritmija. [https://www.cybermed.hr/centri\\_a\\_z/aritmije/vrste\\_aritmija](https://www.cybermed.hr/centri_a_z/aritmije/vrste_aritmija) (15.09.2022.)
- [126] Plućni edem. <https://www.hemed.hr/Default.aspx?sid=15111> (15.09.2022.)
- [127] Plućni edem. <https://www.abc-doctors.com/plucni-edem> <https://hrcak.srce.hr/file/250820> (15.09.2022.)
- [128] Akutno zatajivanje srca – prehospitalno liječenje edema pluća <https://hrcak.srce.hr/file/250820> (15.09.2022.)
- [129] Pristup bolesniku s akutnim koronarnim sindromom. <https://hrcak.srce.hr/file/32270> (15.09.2022.)
- [130] Acute coronary syndrome <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/22910-acute-coronary-syn-drome> (15.09.2022.)
- [131] <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/> (20.10.2022.)
- [132] Udovičić, M., et al. (2007). 'Što treba znati kada izračunavamo koeficijent korelacije?', *Biochemia Medica*, 17(1), str. 10-15. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/12855> (Datum pristupa: 29.10.2022.)

# Popis slika

2.1	Podjela atmosfere prema temperaturi [1] . . . . .	5
2.2	Prikaz slojeva atmosfere podjeljenih prema temperaturi. [2] . . . . .	7
2.3	Slojevi ionosfere [3] . . . . .	8
2.4	Svi uzroci nastanka Zemljinog magnetskog polja [4] . . . . .	9
2.5	Zemljino magnetsko polje [5] . . . . .	10
2.6	Zemljina magnetosfera [6] . . . . .	11
2.7	Sunce [7] . . . . .	12
2.8	Građa Sunca [8] . . . . .	12
2.9	Sunčevi ciklusi u vremenu trajanja 1600.-2020. godine [9] . . . . .	13
2.10	Heliosfera i međuzvjezdani medij [10] . . . . .	14
2.11	Sunčeve pjege (lijevo) [11] i Sunčev filament (desno) [12] . . . . .	16
2.12	Polarna svjetlost snimljena iz svemira [13] . . . . .	17
2.13	Oblaci - vidljiva masa kondenziranih kapljica vode ili leda, u atmosferi, iznad površine Zemlje [14] . . . . .	19
2.14	Utjecaj relativne vlažnosti zraka na ljudske i biološke međudnose . . .	20
2.15	U područjima s tropskom klimom relativna vlažnost zraka često je velika [16] . . . . .	21
2.16	Cyklona (lijevo) [17] i anticyklona (desno) [18] . . . . .	23
2.17	Utjecaj hladnog i toplog zraka na Zemljinu površinu [19] . . . . .	25
2.18	Meteorološka kućica za mjerenje temperature zraka [20] . . . . .	26
2.19	Shema globalnog električnog strujnog kruga [21] . . . . .	30
2.20	Usporedba Carnegieve krivulje i prostornog rasporeda grmljavina u svi- jetu u univerzalnom vremenu [22] . . . . .	32

2.21	Tipični električni uvjeti u čistoj atmosferi [23] . . . . .	32
2.22	Catatumbo munje su atmosferski fenomen u Venezueli. Munje se javljaju tijekom 140 do 160 noći godišnje, 10 sati dnevno i do 280 puta na sat, na području iznad i oko jezera Maracaibo, obično na mjestu gdje se rijeka Catatumbo ulijeva u jezero. Catatumbo munje mijenjaju svoju učestalost tijekom godine, a ona je različita iz godine u godinu. [95] [24]	34
2.23	Prolazni svjetlosni događaji i njihov položaj u atmosferi [25] . . . . .	36
2.24	Vilenjak u obliku meduze [26] . . . . .	37
2.25	Gigantski mlaz snimljen s vrha Mauna Kea, Havaji [27] . . . . .	38
2.26	Rana faza grmljavinske oluje (lijevo) i zrela grmljavinska ćelija (desno) [23] . . . . .	40
2.27	Distribucija električnog naboja u zreloj grmljavinskoj ćeliji [23] . . . . .	41
2.28	Kraj grmljavinske ćelije [23] . . . . .	42
2.29	Nastanak munje oblak prema tlu s negativnom strujom [28] . . . . .	43
2.30	Anatomija nastanka pozitivne i negativne oblak prema tlu munje [29] .	45
2.31	Razlika između pozitivne (lijevo) i negativne oblak prema tlu munje (desno) [30] . . . . .	45
2.32	Ilustracija Schumannovih rezonancija [31] . . . . .	46
2.33	Tipični spektar Schumannovih rezonancija Zemlje [32] . . . . .	47
2.34	Zemlja i ionosfera kao rezonantna šupljina [33] . . . . .	48
2.35	Podjela elektromagnetskih valova ljudskog mozga [34] . . . . .	51
2.36	Građa ljudskog srca [35] . . . . .	55
2.37	Kardiovaskularni sustav čovjeka [36] . . . . .	58
3.1	Programerski kod napisan u RStudiu koji je korišten za analizu podataka	61
4.1	Primjer naznake korelacije . . . . .	64
4.2	Primjer dijagrama raspršenosti gdje nema korelacije . . . . .	65

4.3	Ovisnost akutnog koronarnog sindroma o srednjoj dnevnoj relativnoj vlažnosti, s pomakom od 1 dana . . . . .	66
4.4	Ovisnost akutnog koronarnog sindroma o srednjem dnevnom tlaku, pomak 1 dan . . . . .	67
4.5	Ovisnost akutnog koronarnog sindroma o apsolutnoj vrijednosti promjene srednjeg dnevnog tlaka, pomak 1 dan . . . . .	68
4.6	Ovisnost broja pojava aritmija o srednjoj dnevnoj temperaturi, pomak 2 dana . . . . .	69
4.7	Ovisnost broja pojava akutnog koronarnog sindroma o apsolutnoj vrijednosti promjene srednje dnevne temperature . . . . .	70
4.8	Ovisnost broja pojava akutnog koronarnog sindroma o promjeni srednje dnevne temperature, pomak 2 dana . . . . .	71
4.9	Ovisnost broja pojava plućnog edema o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja, bez pomaka . . . . .	73
4.10	Ovisnost broja pojava plućnog edema o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja, pomak 1 dan . . . . .	74
4.11	Vrijednosti korelacija i pripadajućih p vrijednosti za ovisnost pojave aritmija (ARITM), plućnog edema (PLED) i akutnog koronarnog sindroma (AKS) o srednjoj dnevnoj relativnoj vlažnosti, srednjem dnevnom tlaku i srednjoj dnevnoj temperaturi, za pomak jednog dana unazad, bez pomaka, pomak od jednog i dva dana, i o promjeni srednje dnevne relativne vlažnosti, promjeni srednjeg dnevnog tlaka i srednje dnevne temperature, bez pomaka i za pomak od jednog i dva dana . . . . .	75
4.12	Vrijednosti korelacija i pripadajućih p vrijednosti za ovisnost pojave aritmija (ARITM), plućnog edema (PLED) i akutnog koronarnog sindroma (AKS) o vremenu trajanja grmljavina/sijevanja . . . . .	76