

Zemljino magnetsko polje

Puškaric, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:903520>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

Zemljino magnetsko polje

Završni rad

Ana Puškarić

Osijek, 2021.

SADRŽAJ

1. UVOD3

1.1. Zadatak završnog rada4

2. KRATKA POVIJEST ISTRAŽIVANJA ZEMLJINOG MAGNETSKOG POLJA5

3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE7

3.1. Prikaz u koordinatnom sustavu7

3.2. Deklinacija i inklinacija9

3.3. Vremenske varijacije11

3.4. Magnetski dipol13

3.5. Dinamo teorija15

3.6. Mjerenje17

3.7. Okretanje Zemljinog magnetskog polja19

4. MAGNETOSFERA20

4.1. Sunčev vjetar20

4.2. Ionosfera22

5. ZEMLJINO MAGNETSKO POLJE I BIOSFERA, BILJKE, ŽIVOTINJE, ČOVJEK I TEHNOLOGIJA24

5.1. Biosfera24

5.2. Biljke26

5.3. Životinje26

5.4. Čovjek26

5.5. Tehnologija27

6. ZAKLJUČAK28

LITERATURA29

SAŽETAK32

ABSTRACT33

1. UVOD

William Gilbert u knjizi *De Magnete* 1600. piše o eksperimentima koje je proveo kako bi dokazao svoju hipotezu da je Zemlja veliki magnet. 1830. Carl Friedrich Gauss je proučavavši Zemljino magnetsko polje zaključio da se njegova glavna dipolarna komponenta nalazi unutar Zemlje, a ne izvan nje. Njegovo istraživanje dovelo je znanstvenike do spekulacija o mogućem feromagnetskom uzroku Zemljinog magnetskog polja koje je odbačeno jer se Curievu¹ točku doseže već na 20 km ispod površine.

Zemljino stabilno magnetsko polje nastalo je iz više izvora iznad i ispod površine planeta. Krećući od jezgre prema van tu su: geomagnetski dinamo, magnetizacija kore, ionosferični dinamo, prstenasta struja, struja u magnetopauzi, struja magnetorepa, struja paralelna s magnetskim poljem te auralni ili konvektivni elektromlazovi. Najvažnijim izvorom geomagnetskog polja smatramo geomagnetski dinamo bez kojeg ostali izvori magnetskog polja ne bi mogli postojati. Nedaleko nad Zemljinom površinom efekt drugih izvora postaje jači od geomagnetskog dinama.

Zemljino magnetsko polje nazivmo još i geomagnetskim poljem. To je magnetsko polje koje se prostire od Zemljine unutrašnjosti pa sve do mjesta na kojem se nailazi na Sunčev vjetar. Na površini Zemlje možemo si približiti da je geomagnetsko polje jednako polju magnetskog dipola koji bi se nalazio u Zemlji nagnut za $11,5^\circ$ u odnosu na Zemljinu rotacijsku os. [1] [2] [3]

Ovaj završni rad sastoji se od uvoda, četiri poglavlja i zaključka. U prvom od četiri poglavlja ukratko je opisana povijest istraživanja geomagnetskog polja. U drugom poglavlju opisane su karakteristike geomagnetskog polja, kao i njegovo prikazivanje u koordinatnom sustavu korištenom u magnetometrima. Dano je i kratko objašnjenje geodinamo mehanizma. Treće poglavlje opisuje magnetosferu te utjecaj nekih vanjskih čimbenika na geomagnetsko polje. Četvrto poglavlje opisuje utjecaj Zemljinog magnetskog polja na biosferu, biljke, životinje, ljude i tehnologiju. Potom slijede zaključak i sažetak.

1

Temperatura iznad koje feromagnetični materijali počinju pokazivati paramagnetska svojstva. [19]

1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak ovog završnog rada jest pobliže opisati Zemljino magnetsko polje: pojasniti komponente u kojima se mjeri u geomagnetskim opservatorijima te magnetogram ilustrirati primjerom iz hrvatskog geomagnetskog opservatorija u Lonjskom polju, predstaviti osnovne karakteristike geomagnetskog polja i njegove varijacije u vremenu, njegov nastanak, pojam magnetosfere i geomagnetske oluje, te pionirska shvaćanja utjecaja geomagnetskog polja na biosferu.

2. KRATKA POVIJEST ISTRAŽIVANJA ZEMLJINOG MAGNETSKOG POLJA

Magnetska privlačnost i odbojnost bila je poznata Grcima još oko 400. godine prije Krista, a Kinezi su između 300. i 200. godine prije Krista izumili prvi kompas koji su koristili pri gradnji raznih konstrukcija te za orijentaciju tijekom putovanja.

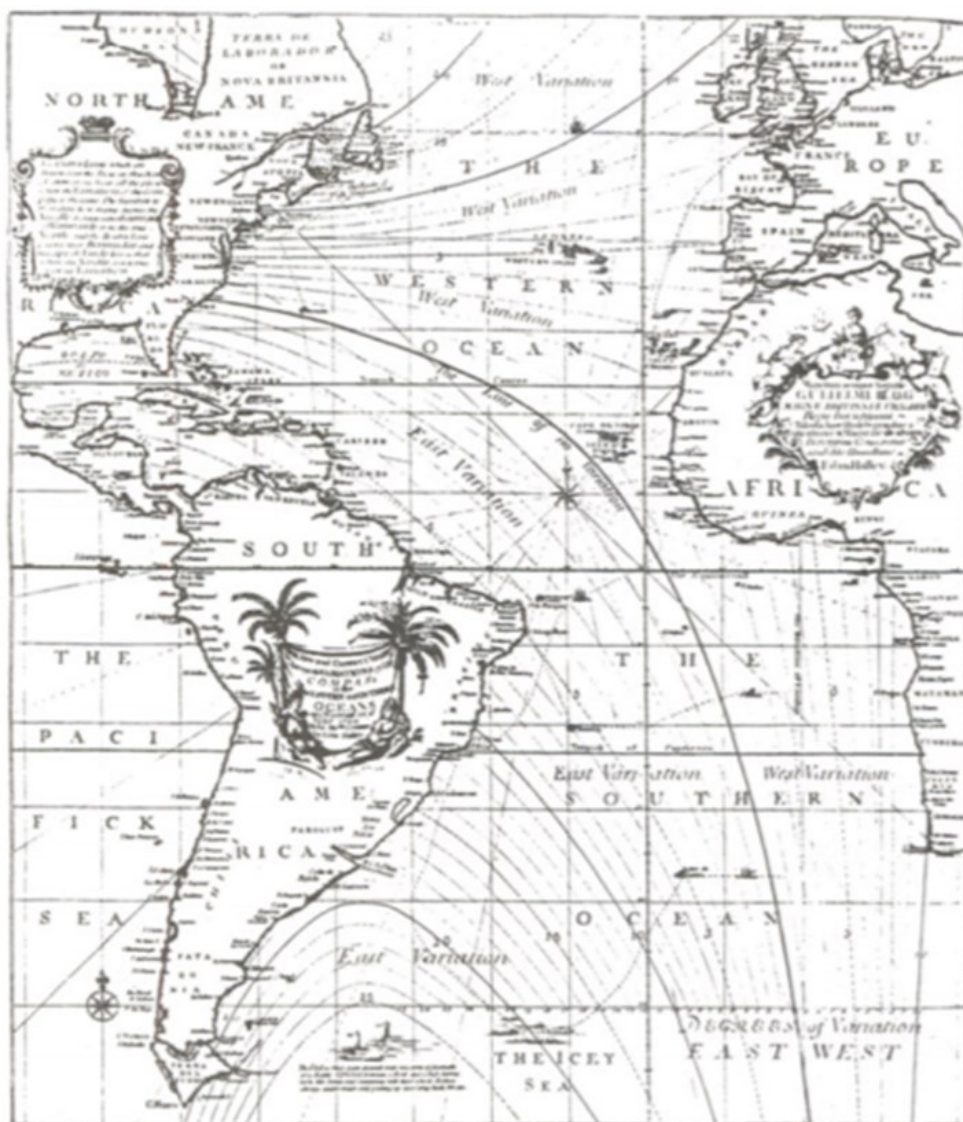
Francuz Pierre de Maricourt, poznat pod imenom Padre Pelegrines, je vidio pomorce kako koriste kompas na jednom od putovanja i pisao o lokacijama polova. Također je uočio da se različiti polovi magneta privlače, a isti odbijaju te da magnetski polovi uvijek dolaze u parovima različitih predznaka koji se ne mogu razdvojiti.

U 15. stoljeću Kristofor Kolumbo je dokumentirao svoja promatranja promjene kuta između geografskog i magnetskog sjevernog pola.

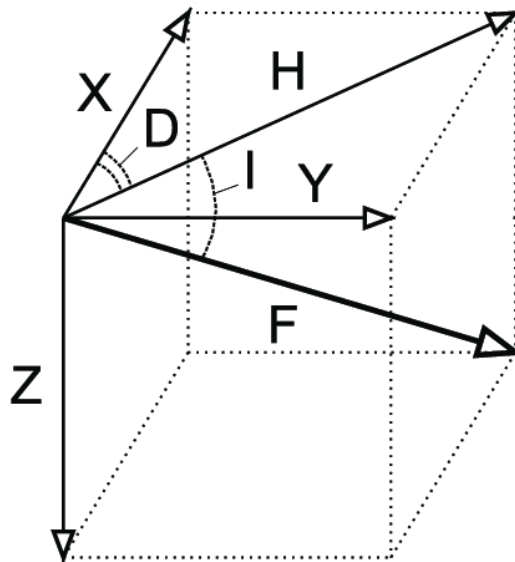
1600. godine William Gilbert, liječnik engleske kraljice Elizabete I., objavljuje knjigu *De Magnete* u kojoj Zemljino magnetsko polje opisuje kao da se u Zemlji nalazi jedan veliki magnetski dipol te sažima sva dotadašnja saznanja o magnetizmu i opisuje svoje pokuse, zbog čega ga se smatra ocem magnetizma.

Između 1697. i 1701. Edmund Halley je sastavio prvu cjelovitu kartu ukupnog magnetskog polja za područje Atlantskog oceana (Sl. 2.1.). Daljnji napredak u istraživanjima napravio je Michael Faraday koji je bio usredotočen na magnetska polja i električnu struju te je izumio prvi električni motor 1821. i prvi dinamo generator električne energije 1831.

1893. James Clerk Maxwell spojio je do tad otkrivene zakone elektromagnetizma u jednadžbe koje danas poznajemo pod nazivom *Maxwellove jednadžbe*. One i danas najbolje opisuju struju i magnetizam sa stajališta fizike. Te jednadžbe primjenio je na gornje dijelove atmosfere i magnetske oluje Sydney Chapman kojeg smatramo ocem svemirskog magnetizma. 1940. on je, uz pomoć Njemca Juliusa Bartelsa, napisao prvi moderni udžbenik u dvije knjige pod nazivom *Geomagnetizam* (engl. *Geomagnetism*). [4]



Sl. 2.1. Karta kontura magnetske deklinacije za područje Atlantskog oceana koju je napravio Edmund Halley. Deklinacije nisu točne zbog poteškoća u mjerenju geografskih dužina u vrijeme Halleyjeve plovidbe. [4]



Sl. 3.2. Prikaz komponenti vektorskog polja kojim je opisano Zemljino magnetsko polje. [23]

3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE

3.1. Prikaz u koordinatnom sustavu

Zemljino magnetsko polje je vektorsko polje, za čiji opis su potrebne tri vektorske komponente kao na slici prikazanog vektora F . Slika 3.1. prikazuje kako to izgleda u trodimenzionalnom koordinatnom sustavu. X predstavlja sjevernu komponentu vektora, Y predstavlja istočnu komponentu vektora, Z predstavlja vertikalnu komponentu vektora, tzv. vertikalni intenzitet (pozitivan smjer prema dolje), H predstavlja horizontalni intenzitet odnosno horizontalnu komponentu vektora uz lokalni magnetski meridijan (pozitivan smjer prema sjeveru), D predstavlja magnetsku deklinaciju (kut između X i H), te I predstavlja magnetsku inklinaciju (kut između H i F ; pozitivan smjer prema dolje).

Formule koje prikazuju relacije između komponenata Zemljinog magnetskog polja su:

$$F^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + Z^2 \quad (3.1.)$$

$$H^2 = X^2 + Y^2 \quad (3.2.)$$

$$X = H \cos D \quad (3.3.)$$

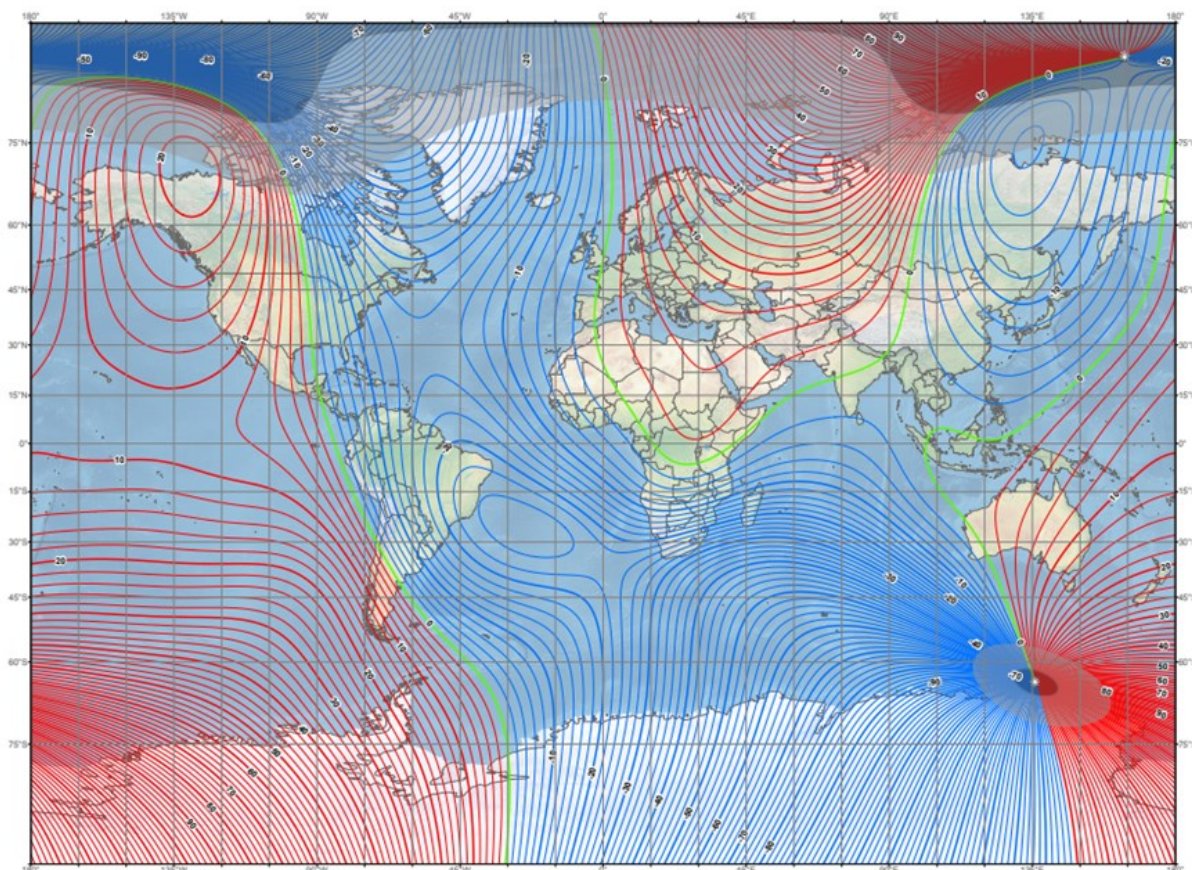
$$Y = H \sin D = X \tan D \quad (3.4.)$$

$$Z = F \sin I = H \tan I \quad (3.5.)$$

$$D = \tan^{-1}(Y/X) \quad (3.6.)$$

$$I = \tan^{-1}(Z/H) \quad (3.7.)$$

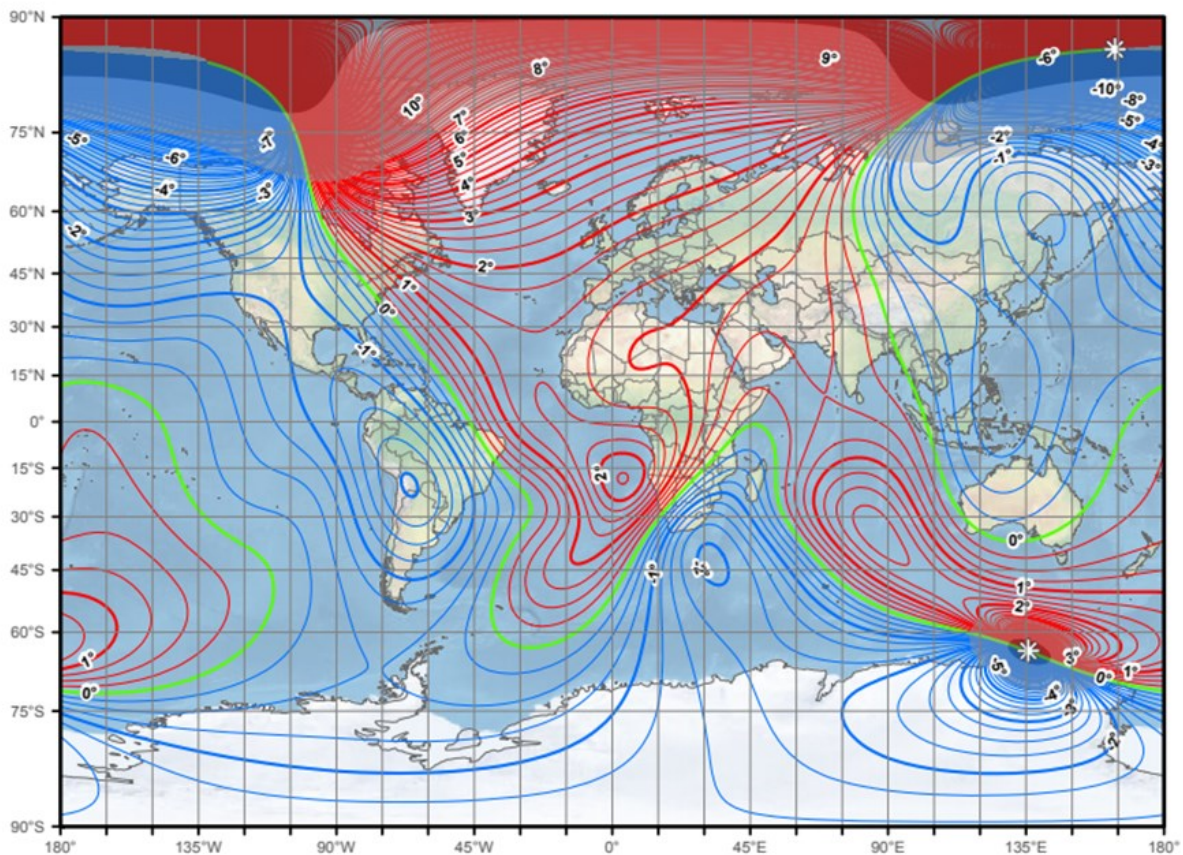
[1]



Sl. 3.4. Karta magnetske deklinacije. Crvene linije prikazuju pozitivnu deklinaciju, plave linije negativnu, a zelene agone. Objavljena je u Prosinu 2019. godine, a dobivena je Svjetskim magnetskim modelom (eng. World Magnetic Model; WMM) koji prikuplja podatke SWARM satelita Europske svemirske agencije. (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/image.shtml>)

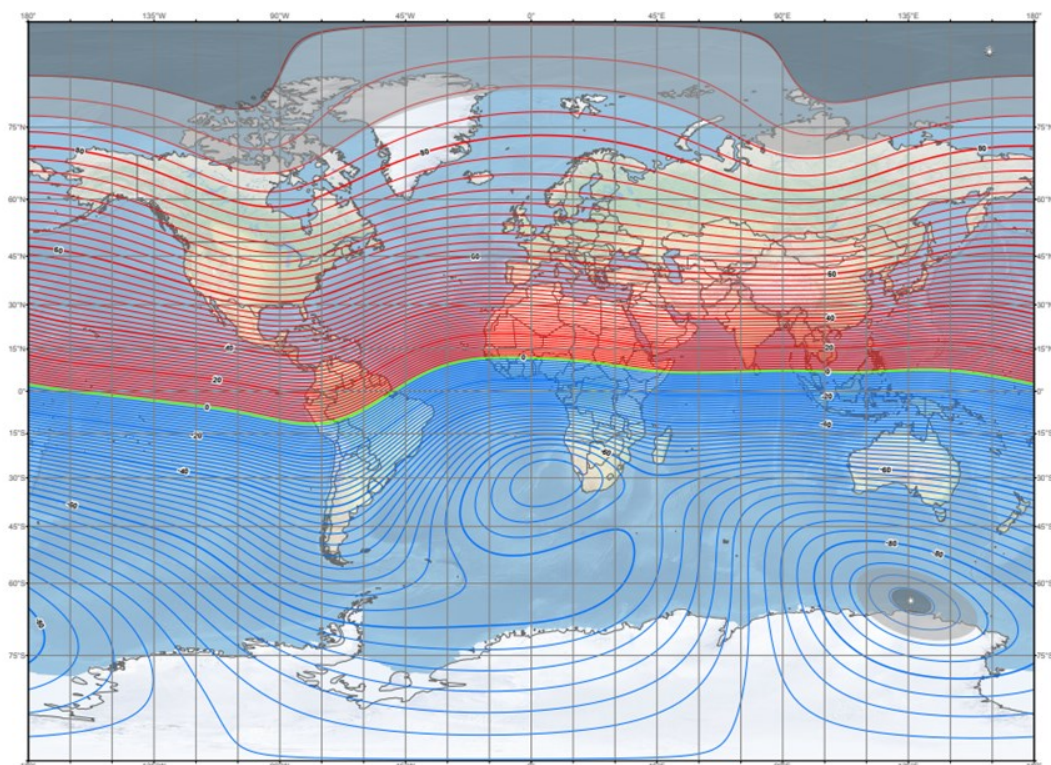
3.2. Deklinacija i inklinacija

Deklinacija (D) je kut između magnetskog i geografskog meridijana u horizontalnoj ravnini uz Zemljinu površinu. Izogone su krivulje koje spajaju mjesta jednake magnetske deklinacije. Krivulje s deklinacijom 0° zovu se agone. Deklinacija može biti istočna i zapadna. Istočna deklinacija je pozitivna, a zapadna negativna. Naglu promjenu magnetske deklinacije na malim udaljenostima zovemo magnetskom anomalijom. Kod deklinacija može doći do vremenski pravilnih i vremenski nepravilnih promjena. Vremenski pravilne promjene nazivaju se dnevne i godišnje varijacije, a vremenski nepravilne geomagnetske oluje. [5]



Sl. 3.5. Karta promjene u deklinaciji tijekom 10 godina (2010. - 2020.). Stupnjevi napisani na karti označavaju za koliko stupnjeva se deklinacija promijenila. Objavljena je u Prosincu 2019. godine, a dobivena je Svjetskim magnetskim modelom (eng. World Magnetic Model; WMM) koji prikuplja podatke SWARM satelita Europske svemirske agencije. (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/image.shtml>)

Inklinacija (I) je kut koji slobodno obješena magnetska igla zatvara s horizontalnom ravninom u bilo kojoj točki na Zemlji. Pozitivna je kada je sjeverni kraj magnetske igle priklonjen pod horizont, u suprotnom je negativna. Izokline su linije na zemljopisnoj karti koje spajaju mjesta istih vrijednosti inklinacije. Linija koja spaja točke inklinacije 0° zove se aklina (aklinički magnetni ekvator). Inklinacija od magnetskog ekvatora opada prema južnom magnetskom polu gdje iznosi -90° , a raste prema sjevernom magnetskom polu gdje iznosi $+90^\circ$. [6]

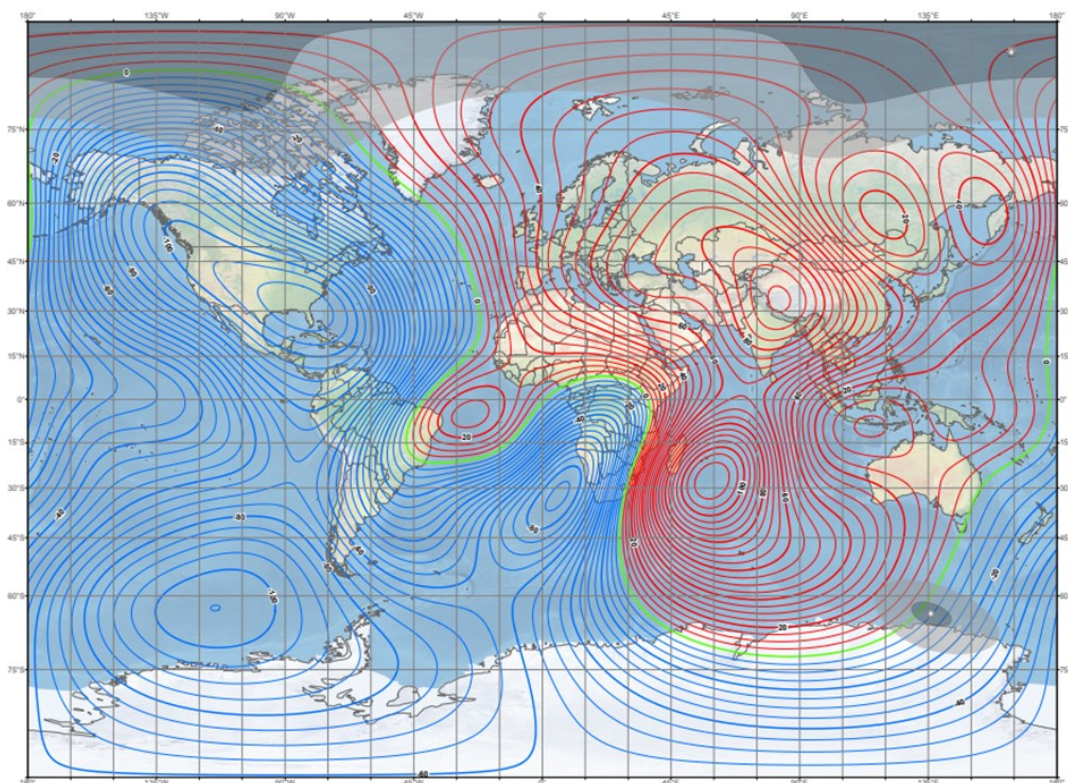


Sl. 3.6. Karta magnetske inklinacije. Crvene linije označavaju pozitivnu inklinaciju, plave linije negativnu inklinaciju, a zelena linija aklinu. Objavljena je u Prosincu 2019. godine, a dobivena je Svjetskim magnetskim modelom (eng. World Magnetic Model; WMM) koji prikuplja podatke SWARM satelita Europske svemirske agencije. (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/image.shtml>)

3.3. Vremenske varijacije

Vremenske varijacije Zemljinog magnetskog polja pokazuju promjene u Zemljinom magnetskom polju u nekom određenom periodu. Dije se na vremenske varijacije unutarnjeg postanka i vremenske varijacije vanjskog postanka, s obzirom na Zemljinu površinu. Granica između njih ne može se točno odrediti, no složena analiza Zemljinog magnetskog polja pokazala je da se za varijacije kraće od pet godina uglavnom smatra da su varijacije vanjskog postanka. One su jasno vidljive u podacima magnetskih opservatorija i stanica koje snimaju vremenske varijacije.

Vremenske varijacije koje traju dulje od pet godina često se zovu sekularne varijacije. Smatra se da su unutarnjeg postanka, a vidljive su u izmjerenim podacima opservatorija, te u arheološkim uzorcima i stijenama. Amplituda Zemljinog magnetskog polja sekularne varijacije za neko promatrano mjesto varira od svega nekoliko nT godišnje do više desetaka nT godišnje za magnetske komponente intenziteta te nekoliko minuta godišnje ako govorimo o deklinaciji i inklinaciji. [3]

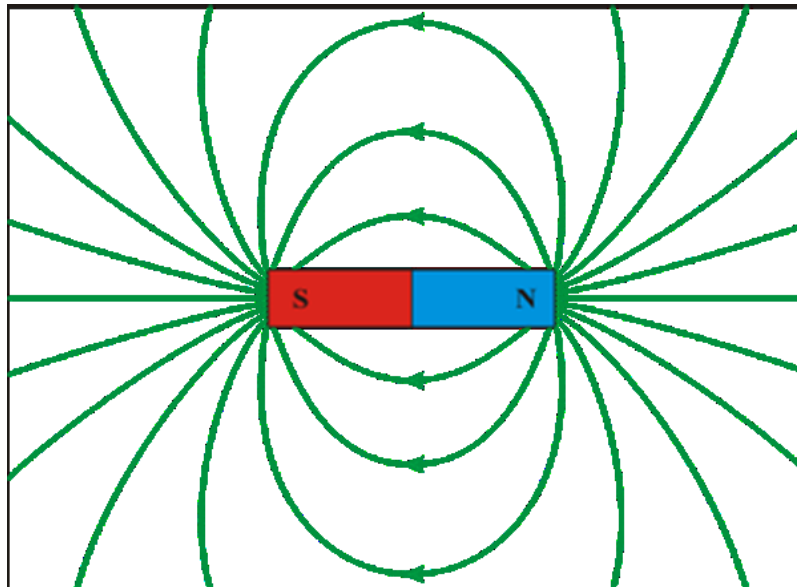


Sl. 3.7. Karta godišnje promjene intenziteta Zemljinog magnetskog polja F (sekularna varijacija intenziteta Zemljinog magnetskog polja). Crvene linije označavaju područje povećanja intenziteta, plave linije označavaju područje smanjenja intenziteta, a zelena linija područje bez promjene. Objavljena je u Prosinu 2019. godine, a dobivena je Svjetskim magnetskim modelom (eng. World Magnetic Model; WMM) koji prikuplja podatke SWARM satelita Europske svemirske agencije. (<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/image.shtml>)

Sekularna varijacija, F_{sv} , označava promjene Zemljinog magnetskog polja u vremenskom periodu od godinu dana ili više. Računa se dijeljenjem razlike intenziteta Zemljinog magnetskog polja u konačnom, F_{i+n} , i početnom trenutku promatranja, F_i , sa brojem godina u tom periodu, n , kao što je prikazano u (3.8.).

$$F_{sv} = \frac{F_{i+n} - F_i}{n} \quad (3.8.)$$

Najpouzdaniji podaci o promjenama u Zemljinom magnetskom polju dobivaju se iz geomagnetskih opservatorija. Oni pokazuju da se u sjevernoj hemisferi jakost magnetskog polja povećava u istočnoj, a smanjuje u zapadnoj hemisferi. Također je zaključeno da magnetsko polje u južnoj hemisferi slabi puno brže nego u sjevernoj. [7]



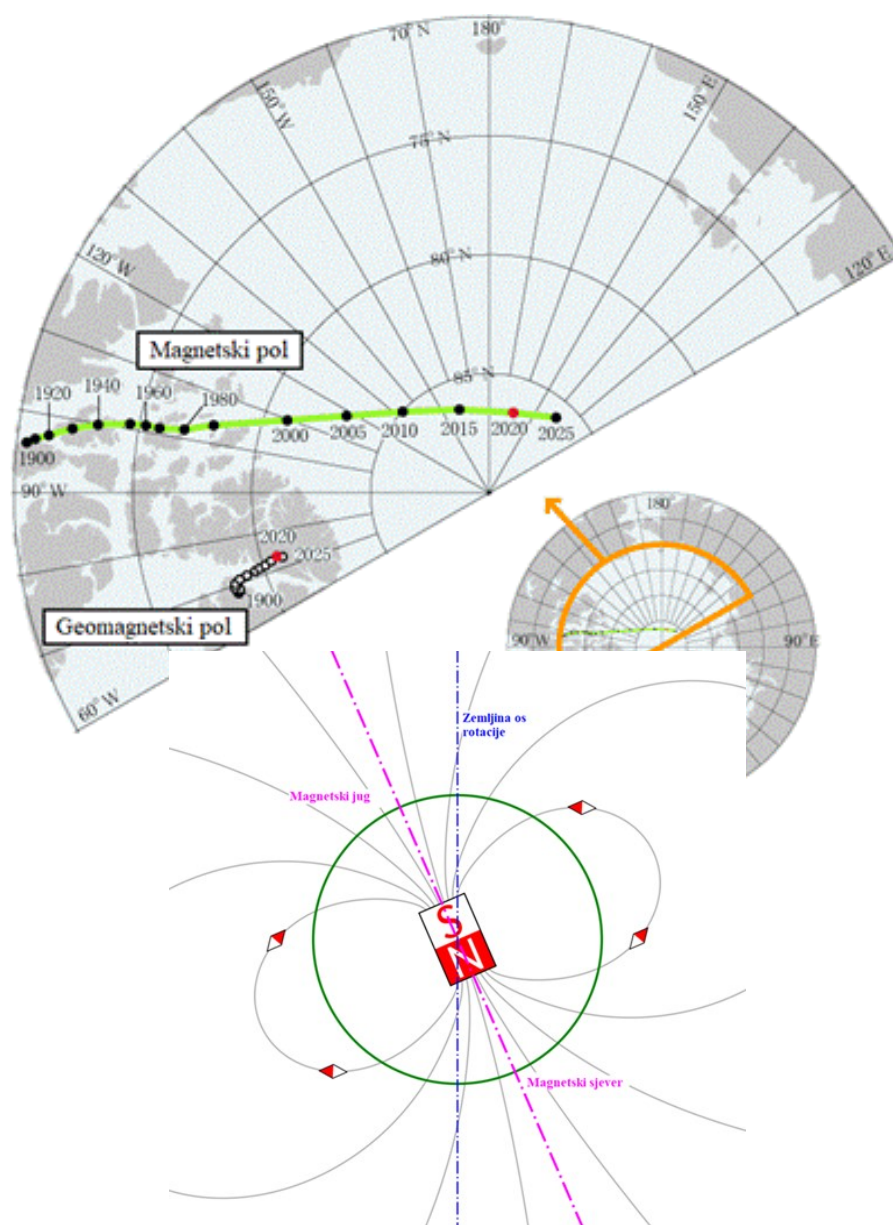
Sl. 3.8. Prikaz dipola sa silnicama magnetskog polja. [22]

3.4. Magnetski dipol

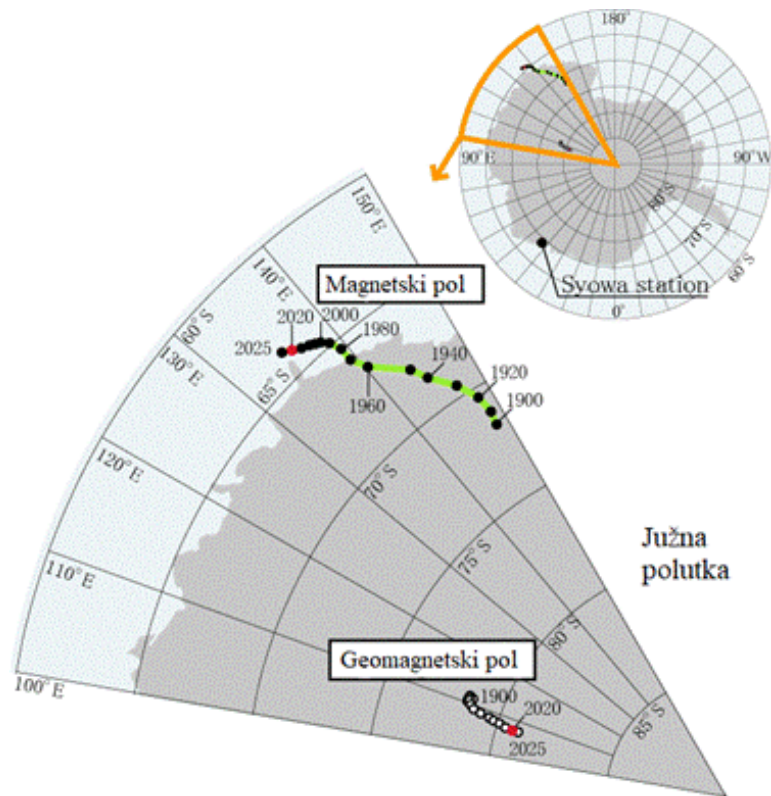
Magnetski dipol je sustav koji se sastoji od dva raznoimena magnetska pola, sjevernog i južnog. Sjeverni pol uzima se kao izvor magnetskog polja, a južni kao ponor. Na slici 3.7. su prikazane silnice magnetskog polja. [8]

U blizini Zemljine površine Zemljino magnetsko polje može biti aproksimirano jednostavnim modelom dipola. [1] Zemljina magnetska os sa osi Zemljine rotacije zatvara kut od približno $11,5^\circ$ (Sl.3.8.).

Silnice Zemljinog magnetskog polja „izviru“ u južnoj hemisferi, a „poniru“ u sjevernoj. [8] Razlikujemo magnetske i geomagnetske polove. Geomagnetski polovi su sjecište Zemljine površine i osi hipotetskog dipola kojim aproksimiramo Zemljino magnetsko polje, a magnetski polovi su točke na kojima magnetska igla stoji okomito na silnice Zemljinog magnetskog



Sl. 3.9. Aproksimacija Zemljinog magnetskog polja modelom dipola. [21]



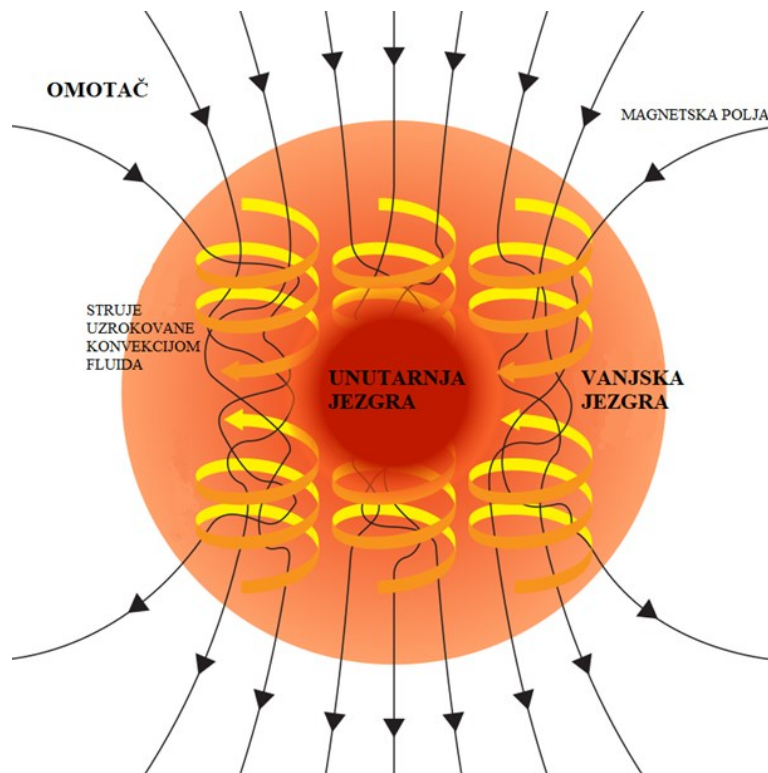
Sl. 3.11. Prikaz pomicanja magnetskog i geomagnetskog pola na južnoj polutci od 1900. do 2025. godine dobiven IGRF (International Geomagnetic Reference Field) modelom objavljenim od strane The International Association of Geomagnetism and Aeronomy. (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/polesexp.html>)

polja. Slika 3.9. prikazuje snimljene i pretpostavljane lokacije magnetskih i geomagnetskih polova od 1900. do 2025. na sjevernoj polutci, a slika 3.10. na južnoj polutci. Vidljivo je da se polovi polako pomiču uslijed sekularne varijacije.

3.5. Dinamo teorija

Dinamo teoriju predložili su američki fizičar njemačkog podrijetla Walter M. Elsasser i britanski geofizičar Edward Bullar sredinom 20. stoljeća. Ovo je jedini danas prihvaćeni model koji objašnjava Zemljino magnetsko polje.

Dinamo teorija je geofizička teorija koja objašnjava porijeklo Zemljinog glavnog magnetskog



Sl. 3.12. Prikaz dinamo modela Zemljinog magnetskog polja. [24]

polja kao samo-pobuđujućeg dinama. U ovom dinamo mehanizmu gibanje fluida u vanjskom dijelu Zemljine jezgre pokreće vodljivi materijal (tekuće željezo) preko već postojećeg slabog magnetskog polja i generira električnu struju. Smatra se da toplina od radioaktivnog raspada u jezgri pokreće konvektivno gibanje. Električna struja, nadalje, stvara magnetsko polje koje također interagira sa gibanjem fluida te stvara sekundarno magnetsko polje (Sl. 3.11.). Ova dva polja zajedno su jača od izvornog polja i položena su u osnovi duž Zemljine osi rotacije. [9]

Moderna dinamo teorija sugerira da Zemljino magnetsko polje ima više kompleksnih uzroka. [3]

3.6. Mjerenje

Mjerenje magnetskog polja Zemlje provodi se relativnim i apsolutnim mjernim instrumentima. Mjerenje kutova deklinacije i inklinacije odvija se samo u magnetskim opservatorijima i magnetskim stanicama te se koristi za apsolutna mjerenja. To su mjerenja kod kojih je veličina polja izražena pomoću temeljnih veličina, a prostorna orijentacija vektora kroz dva elementa, na primjer D i I , dok se ostali elementi (H, Z, X, Y) izračunaju iz dobivenih vrijednosti pomoću formula (3.1.)-(3.7.). Apsolutni mjerni instrument je onaj koji daje vrijednost mjerene veličine izraženu pomoću jedne ili više temeljnih fizikalnih veličina (npr. vrijeme, duljina, masa, jakost električne struje).

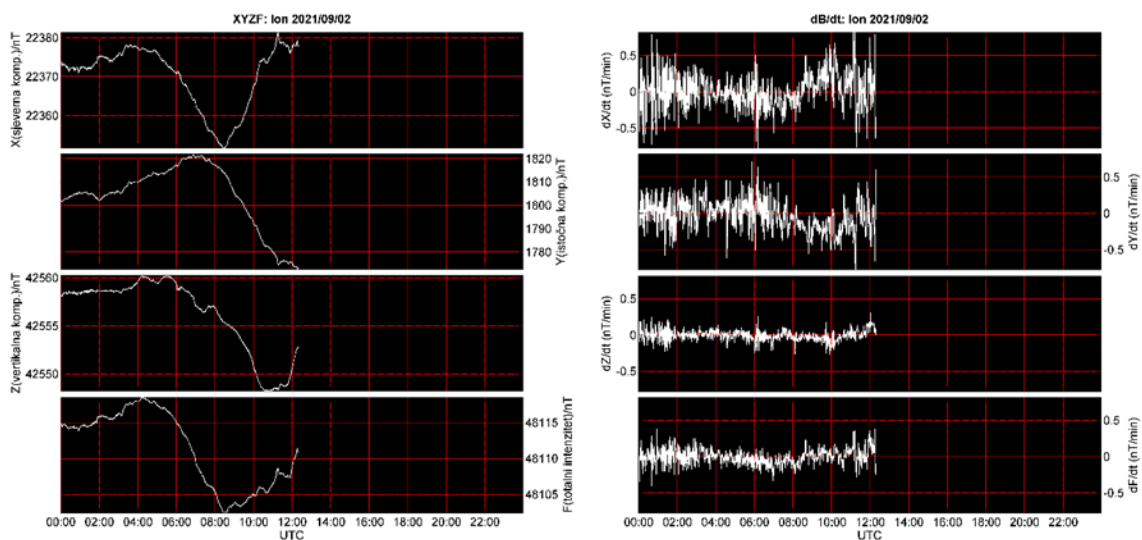
Relativni mjerni instrument je onaj koji mjeri vrijednost jednog elementa Zemljinog magnetskog polja kao odstupanje od inicijalne vrijednosti koja mora biti nezavisno određena (npr. pomoću apsolutnog mjernog instrumenta). Ovakvi instrumenti mogu biti korisni u radu na terenu kada se prikupljaju podaci o samo prostornoj ili vremenskoj varijaciji. [3]

Magnetsko polje Zemlje na njoj površini iznosi oko 30 000 nT na području ekvatora i oko 60 000 nT na polovima.

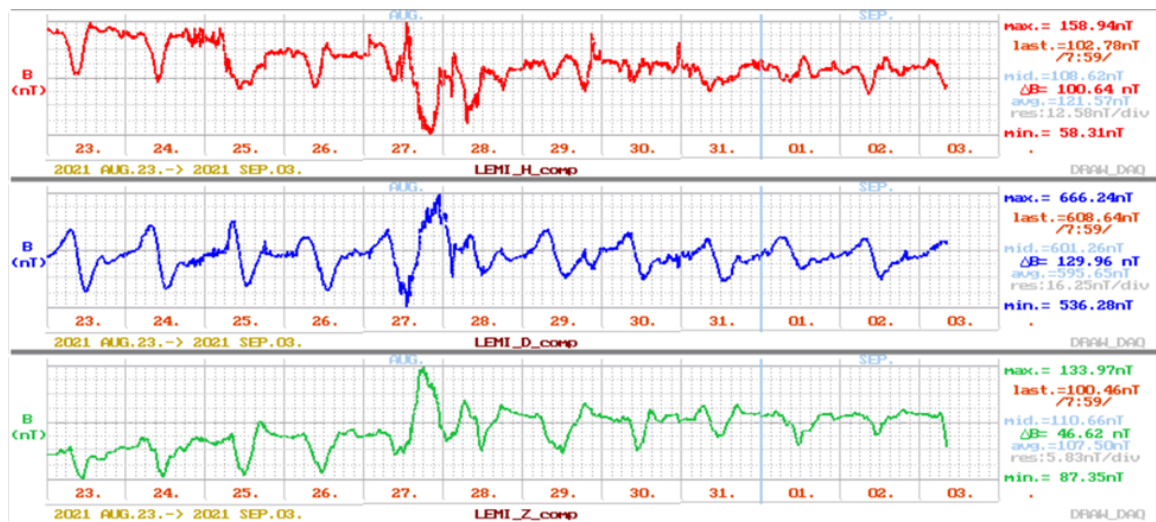
Kod mjerenja magnetskog polja zamjećuju se mnoge anomalije. One dimenzija nekoliko tisuća kilometara su izazvane nehomogenošću električnih struja u Zemljinoj unutrašnjosti, a one manje su uzrokovane neuniformnom raspodjelom magnetskih minerala unutar Zemljine kore.

[1]

U Hrvatskoj je prvi i zasad jedini geomagnetski opservatorij otvoren 2012. godine na području Parka prirode Lonjsko polje. Ova lokacija je izabrana jer je nakon nekoliko godina mjerenja utvrđeno da na tom području nema magnetskih anomalija te je dovoljno udaljeno od civilizacijskog šuma. Među instrumentima koje posjeduje nalaze se dva protonska magnetometra koji mjere totalni intenzitet (F), geomagnetski teodolit koji mjeri apsolutne vrijednosti deklinacije (D) i inklinacije (I) te dIdD magnetometar koji mjeri relativne promjene deklinacije (dD), inklinacije (dI) i totalnog intenziteta (F). [10] U ovom opservatoriju dobiveni su podaci slike 3.12. koja prikazuje vrijednosti komponenti X, Y, Z i F te njihovih vremenskih derivacija i slike 3.13. koja prikazuje vrijednosti komponenti H, D i Z tijekom jedanaest dana.



Sl. 3.13. Magnetogrami vrijednosti X, Y, Z i F komponenti te njihovih derivacija za dan 2. rujna 2021. očitanih u magnetskom opservatoriju Lonjsko polje. (https://www.pmf.unizg.hr/geof/znanost/geomagnetizam_i_aeronomija/magnetogrami)



Sl. 3.14. Magnetorami vrijednosti H, D i Z komponenti tijekom jedanaest dana od 23. kolovoza do 3. rujna 2021. dobivenih očitavanjima u magnetskom opservatoriju Lonjsko polje. (<http://geofizika.canet.hu/lop.html>)

3.7. Okretanje Zemljinog magnetskog polja

Okretanje magnetskog polja definirano je kao promjena smjera polja magnetskog dipola za 180° na globalnoj razini koja se događa tijekom nekoliko stotina do nekoliko tisuća godina.

Dokazi o okretanju polova Zemljinog magnetskog polja pronađeni su paleomagnetskim² istraživanjima. Do sad su dokumentirana 184 okretanja tijekom zadnjih 83 milijuna godina, što je poprilično mali uzorak ako želimo odrediti intervale izmjene.

S obzirom na to da intervali izmjene prema dosadašnjim podacima nisu pravilni i nisu poznati procesi koji dovode do okretanja Zemljinog magnetskog polja se još uvijek istražuju. [11]

Prirodni remanentni magnetizam u stijenama, u mineralima koji sadrže željezo, nastalima u geološkoj prošlosti tijekom hlađenja i kristalizacije iz lave ili tijekom prekrystalizacije (metamorfne stijene), pri čemu je njihov magnetski dipol ostao usmjeren prema ondašnjemu magnetskom polu Zemlje. [28]

4. MAGNETOSFERA

Zemljina magnetosfera je područje oko Zemlje kojim dominira Zemljino magnetsko polje te štiti Zemlju od Sunčevog vjetra. Veličina i oblik magnetosfere ovise o tri komponente pritiska Sunčevog vjetra:

- dinamički pritisak ili protok momenta hladnog toka iona koji putuju radijalno od Sunca
- kinetički ili termalni pritisak plazme koji se mjeri u okviru protoka Sunčevog vjetra
- pritisak međuplanetarnih magnetskih polja

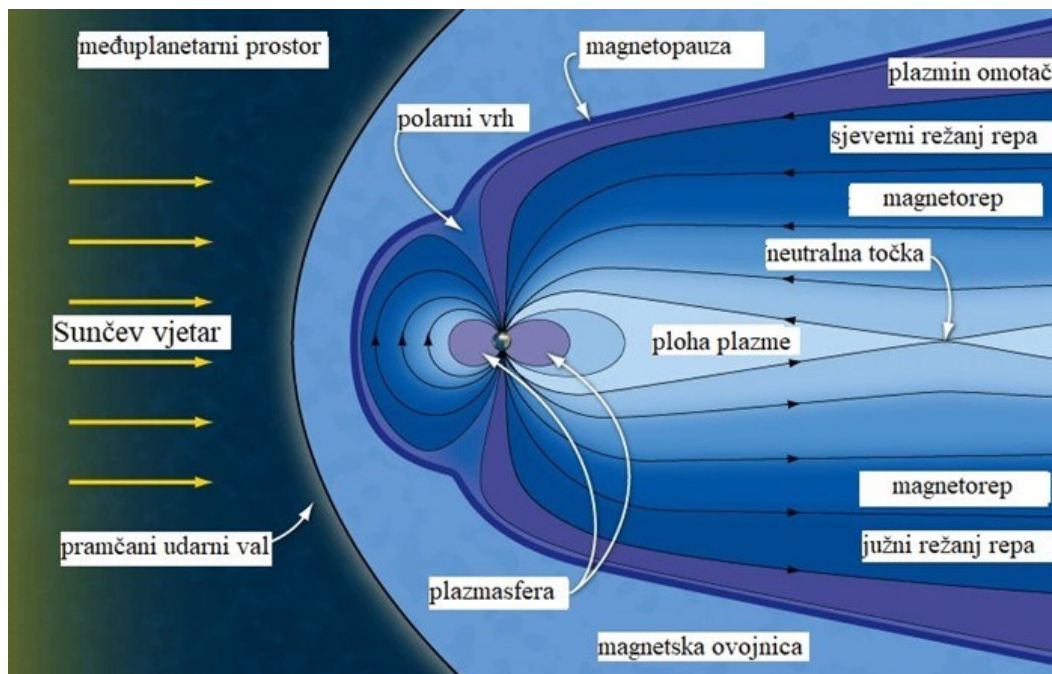
[12]

Granica magnetosfere naziva se magnetopauza. U magnetopauzi je postignuta ravnoteža između Zemljinog magnetosfernog magnetskog pritiska i pritiska čestica Sunčevog vjetra. Udaljenost magnetopauze sa dnevne strane Zemlje od Zemljine površine ovisi o aktivnosti Sunca i varira između 6 i 15 R_e (opsega Zemlje). Unutar Zemljine magnetosfere gibanje energetskih iona i elektrona je ograničeno Zemljinim lokalnim magnetskim poljem. [3]

4.1. Sunčev vjetar

Sunčev vjetar je plazma koja ekspandira sa Sunčeve površine u međuplanetarni prostor pa tako dolazi i do Zemljine magnetosfere. Sastoji se većinom od elektrona, protona, jezgri helija i nekih težih elemenata. Sunčev vjetar izlazi iz vanjskih slojeva Sunca prosječnom brzinom od 1,5 milijuna km/h. Postoji brzi i spori Sunčev vjetar. Sunčev vjetar sa sobom nosi međuplanetarno magnetsko polje. (engl. *interplanetary magnetic field, IMF*)

Kretanje Zemlje u supersoničnom Sunčevom vjetru stvara pramčani udarni val. Između pramčanog udarnog vala i magnetopauze nalazi se magnetska ovojnica, dio magnetosfere u



Sl. 4.15. Shematski prikaz Zemljine magnetosfere. [25]

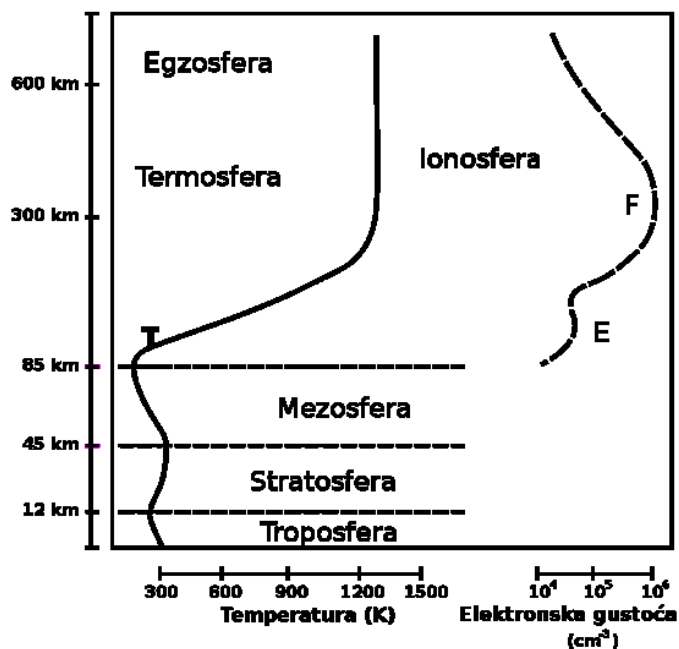
kojem čestice Sunčevog vjetra usporavaju. Zemljine magnetske silnice su zbijene sa dnevne strane Zemlje, dok su sa noćne strane odnesene Sunčevim vjetrom te formiraju magnetorep. Na magnetskom polarnom vrhu nalazi se zadnja linija koja će preći dnevnu stranu Zemlje i otići u magnetorep. Na tom mjestu može doći do prolaska čestica Sunčevog vjetra u ionosferu, što uzrokuje poremećaj u magnetopauzi. Silnice vanjskog magnetskog polja protežu se u rep magnetosfere te se na jednom mjestu gotovo spajaju. To mjesto zove se neutralna točka. (Sl. 4.1.) [11]

Kada jaka eruptivna pojava sa Sunca koja prođe kroz Sunčev vjetar uznemiri stanje u magnetosferi, dolazi do stvaranja geomagnetske oluje. Nastankom geomagnetske oluje povećava se elektromagnetsko zračenje koje može štetno utjecati na satelite, električne vodove, kratkovalne komunikacije i slično. Geomagnetske oluje mogu trajati od nekoliko sati do nekoliko dana. [13]

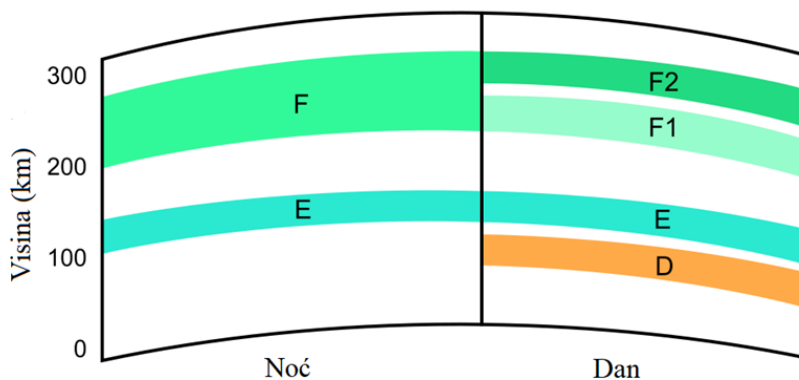
4.2. Ionosfera

Sloj na visini između 50 i 1000 km od Zemljine površine zove se ionosfera. Sastoji se od termosfere te dijelova mezofere i egzofere (Sl. 4.2.). Ionizirana je Sunčevim zračenjem te igra važnu ulogu u stvaranju atmosferskog elektriciteta. Prisutnost iona i elektrona u dovoljnim količinama čini slojeve ionosfere reflektivnim slojevima za radiovalove.

Tijekom dana na visini između 50 i 80 km nalazi se D sloj ionosfere. Ovaj sloj zaslužan je za apsorpciju valova za radiokomunikaciju na velike udaljenosti. Na oko 100 km nalazi se E sloj



Sl. 4.16. Prikaz slojeva atmosfere i ionosfere. [26]



Sl. 4.17. Prikaz slojeva ionosfere. [27]

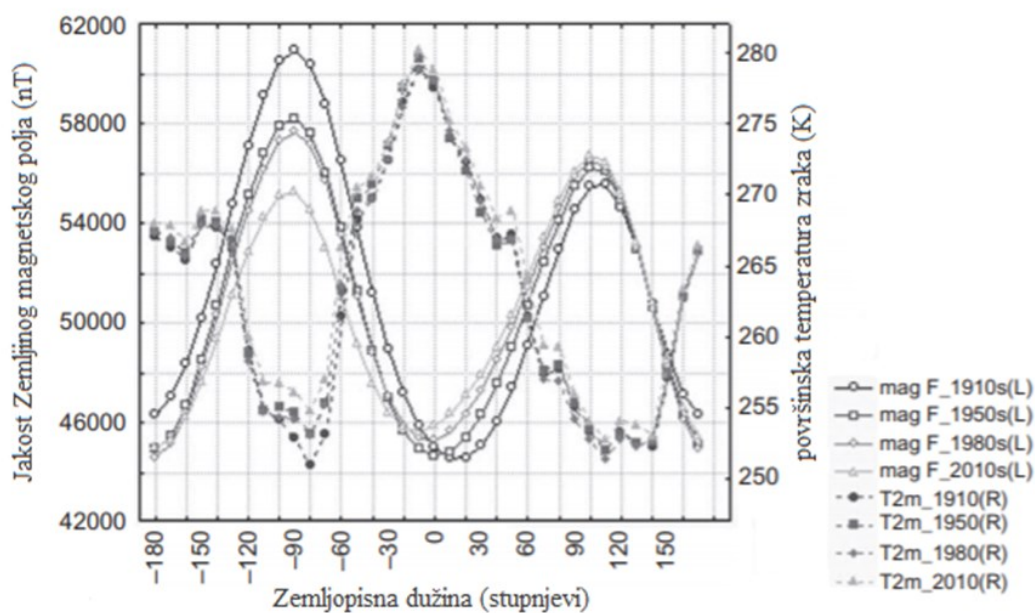
intenzivne ionizacije. Na oko 300 km nalazi se F sloj u kojem je gustoća elektrona najveća. Iznad ovih nadmorskih visina gustoća elektrona pada s povećanjem visine. Po noći nema Sunčevog zračenja koje uzrokuje ionizaciju te se gustoća elektrona u nekim slojevima smanjuje. (Sl. 4.3.) [3]

Postojanje ionosfere i procesa ionizacije uzrokuje važan geofizički fenomen – zračni sjaj, također zvan i noćni sjaj. Zračni sjaj je slaba emisija svjetla koja je uvijek prisutna, ali se ne može vidjeti tijekom dana zbog jake Sunčeve svjetlosti. Zbog ovog fenomena noćno nebo nikada nije potpuno mračno. [11]

5. ZEMLJINO MAGNETSKO POLJE I BIOSFERA, BILJKE, ŽIVOTINJE, ČOVJEK I TEHNOLOGIJA

5.1. Biosfera

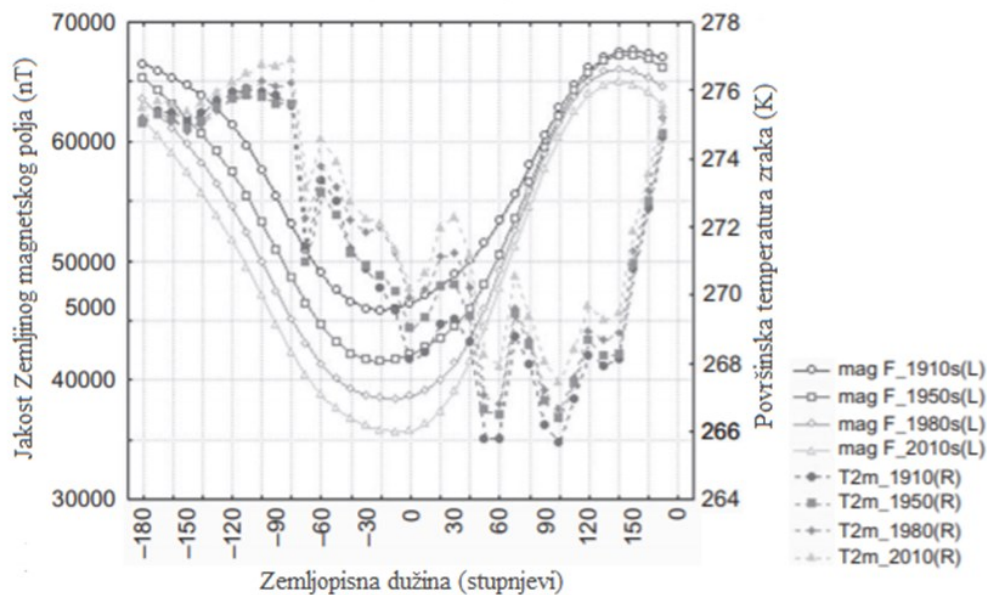
Istraživanja povezanosti Zemljinog magnetskog polja sa procesima u biosferi provode se već



Sl. 5.18. Varijacije površinske temperature zraka i jakosti Zemljinog magnetskog polja na sjevernoj hemisferi u zimskom razdoblju (Prosinac-Ožujak) po desetljećima 20. i 21. stoljeća. Temperature su prikazane punim znakovima, a jakosti Zemljinog magnetskog polja praznim znakovima. [7]

dugi niz godina. Jedno od najistraživanijih pitanja je pitanje poveznice između Zemljinog magnetskog polja i klime.

Nekoliko istraživanja pokazalo je povezanost između jakosti Zemljinog magnetskog polja i površinske temperature Zemlje. [11]



Sl. 5.19. Varijacije površinske temperature zraka i jakosti Zemljinog magnetskog polja na južnoj hemisferi u zimskom razdoblju (Prosinac-Ožujak) po desetljećima 20. i 21. stoljeća. Temperature su prikazane punim znakovima, a jakosti Zemljinog magnetskog polja praznim znakovima. [7]

Na slici 5.1. možemo vidjeti da je na sjevernoj hemisferi na mjestima slabijeg magnetskog polja zimi veća prosječna temperatura i obrnuto, na mjestima jačeg magnetskog polja prosječna temperatura zimi je niža.

Na slici 5.2. vidimo da se na južnoj hemisferi jakost Zemljinog magnetskog polja smanjuje na svim geografskim dužinama, a najviše na području južnog Atlantika gdje je i jači porast temperature.

Ova teorija nije u potpunosti potvrđena, no daljnja istraživanja pokazuju da vjerojatno postoji povezanost između Zemljinog magnetskog polja i površinske temperature zraka, uz moguće posredovanje drugih važnih čimbenika poput prisutnosti ozona i kozmičkog zračenja³.

Intenzitet kozmičkih zraka i dubina njihove penetracije u Zemljinu atmosferu je modulirana Zemljinim magnetskim poljem. [7]

5.2. Biljke

Tijekom Zemljinog razvoja geomagnetsko polje se mijenjalo, a mogući utjecaji tih promjena na život i na razvoj biljnih vrsta je predmetom spekulacije.

Istraživanje utjecaja magnetskih polja različite jakosti na neke biljne vrste, suncokret, grašak, grah, pšenicu i ječam, pokazala su da postoji razlika između biljaka izloženim dodatnim magnetskim poljima te biljaka kontrolne skupine. Opaženo je primjerice izduljenje stanica, razlika u veličini i volumenu organela, promjena vremena cvjetanja, te visine biljke i broja korjenčića. [14]

5.3. Životinje

Iako nije u potpunosti dokazano, niz istraživanja ukazuje da se velik broj životinja koristi Zemljinim magnetskim poljem pri navigaciji i orijentaciji.

Magnetorecepcija je sposobnost mnogih životinjskih vrsta da detektiraju magnetsko polje kako bi odredili smjer, visinu te poziciju u prostoru te pomoću tog osjeta imaju sposobnost navigacije u prostoru.

Istraživanja sugeriraju da neke ptice selice koriste Zemljino magnetsko polje pri godišnjoj migraciji. Zemljino magnetsko polje za orijentaciju koriste primjerice i daždevnjaci i žabe za brzi pronalazak obale, morske kornjače, krtice, golubovi, pčele, muhe, ribe, morski psi, raže i brojne druge životinje. [15]

5.4. Čovjek

Iako su mnoge migratorne životinje osjetljive na Zemljino magnetsko polje, današnji ljudi, unatoč svojoj nomadskoj prošlosti, nisu svjesni geomagnetskih stimulansa koje susreću u

Kozmičko zračenje su protoni i atomske jezgre visoke energije koji se gibaju brzinama bliskim brzini svjetlosti, dopiru na Zemlju iz Svemira i sa Sunca. [20]

svakodnevnom životu. Čini se da smo ili izgubili zajednički ancestralni magnetosenzorni sustav ili da našem sustavu nedostaje komponenta sa detektabilnom neuralnom aktivnošću. Pronađene su dvije vrste promjena magnetskih polja reda veličine geomagnetskog polja koja izazivaju jake i ponovljive efekte na aktivnost ljudskog mozga učitane elektroencefalografom (EEG).

Rezultati istraživanja [16] pokazuju da se barem kod nekih modernih ljudi promjene u magnetskom polju jakosti Zemljinog magnetskog polja prevode u aktivan neuralni odgovor.

Također se pojavljuju istraživanja korelacije promjene Zemljinog magnetskog polja i srčanog udara [17] [18], ali bez značajnih rezultata koji mogu nedvojbeno potvrditi tu povezanost.

5.5. Tehnologija

Geomagnetske oluje predstavljaju opasnost za elektroniku na satelitima, mogu uzrokovati promjenu orbite letjelica, mogu ometati izbjegavanje sudara sa svemirskim otpadom te mogu iskrivljivati GPS signal.

Kako bi se izbjegli sudari umjetnih objekata, uključujući dijelove koji se ne raspadnu pri ulasku u niže slojeve atmosfere, sa svemirskim letjelicama prati se preko 9000 umjetnih objekata u svemiru. Geomagnetske oluje zagrijavaju više slojeve atmosfere i tako mijenjaju gustoću atmosfere što rezultira pomicanjem objekata iz njihove očekivane orbite. Tijekom geomagnetskih oluja računice pretpostavljenih orbita moraju biti brzo ispravljene da se mogu na vrijeme preusmjeriti letjelice.

Geomagnetske oluje utječu na Zemljinu ionosferu i tako što uzrokuju jake električne struje. One čine komunikaciju radiovalovima gotovo nemogućom u predjelima velike zemljopisne širine i značajno snižavaju kvalitetu radio komunikacije u predjelima male zemljopisne širine.

Zemljino magnetsko polje zaslužno je za usmjeravanje čestica u Zemljinoj magnetosferi. Većina satelita koji se danas koriste opskrbljuju se energijom pomoću solarnih ploča. Tijekom geomagnetskih oluja, broj čestica u okolnom prostoru se povećava. Kada tako velik broj čestica obasipa solarne ploče dolazi do oštećenja koje rezultira smanjenjem efektivnosti proizvodnje električne energije što ujedno i smanjuje životni vijek satelita. Ove čestice također mogu i u potpunosti uništiti elektroničke sustave satelita. S obzirom na to da se sateliti primjenjuju u raznim područjima poput telekomunikacije, meteorologije, navigacije i slično, njihovo

oštećenje može prouzrokovati razne probleme za ljude na Zemlji kao na primjer nemogućnost komuniciranja mobilnim uređajima ili loš TV signal.

Jedna od primjena znanstvene discipline svemirsko vrijeme (eng. *space weather*) nastoji predvidjeti geomagnetske oluje kako bi se na vrijeme poduzele potrebne mjere. [4]

6. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu prikazana je kratka povijest Zemljinog magnetskog polja od prvog kompasa preko de Maricourtovih zapažanja o privlačenju raznoimenih polova magnet, Kolumbovih promatranja promjena kuta između geografskog i magnetskog pola, Gilbertove hipoteze da je Zemlja veliki magnet, hipoteze da se u Zemljinoj unutrašnjosti nalazi veliki magnetski dipol do dinamo teorije koja pruža danas prihvaćeni model porijekla Zemljinog magnetskog polja.

Nadalje, opisano je kako se Zemljino magnetsko polje prikazuje preko vektorskih komponenti polja koje se mjere u geomagnetskim opservatorijima te je dan primjer iz iz hrvatskog geomagnetskog opservatorija Lonjsko polje.

Ukratko je opisano približenje Zemljinog magnetskog polja magnetskim dipolom te skicirana osnova dinamo teorije. Nadalje, opisana je Zemljina magnetosfera, Sunčev vjetar i njegovo djelovanje te ionosfera i njeni slojevi. Na kraju je kroz razna istraživanja opisano moguće djelovanje geomagnetskog polja na biosferu, biljke, životinje, ljude i tehnologiju.

LITERATURA

- [1] J. Jankowski i C. Sucksdorff, *Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice*, Warsaw: International Association of Geomagnetism and Aeronomy, 1996.
- [2] R. L. McPherron, »geomagnetic field,« 2021. [Mrežno]. Available: <https://www.britannica.com/science/geomagnetic-field>. [Pokušaj pristupa 2. rujan 2021.].
- [3] R. Lanza i A. Meloni, *The Earth's Magnetism: An Introduction for Geologists*, Heidelberg, Germany: Springer, 2006.
- [4] W. H. Campbell, *Earth Magnetism: A Guided Tour through Magnetic Fields*, Boulder, Colorado: A Hartcourt Science and Technology Company, 2001.
- [5] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, »magnetska deklinacija,« 2021. [Mrežno]. Available: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=70145>. [Pokušaj pristupa 31. svibanj 2021.].
- [6] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, »inklinacija,« 2021. [Mrežno]. Available: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=27472>. [Pokušaj pristupa 31. svibanj 2021.].
- [7] N. A. Kilifarska, V. G. Bakhmutov i G. V. Melnyk, *The Hidden Link between Earth's Magnetic Field and Climate*, Amsterdam: Elsevier, 2020.
- [8] D. Halliday, R. Resnick i J. Walker, *Fundamentals of Physics*, 9th ur., John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [9] T. E. o. E. Britannica, »dynamo theory,« 2018. [Mrežno]. Available: <https://www.britannica.com/science/dynamo-theory>. [Pokušaj pristupa 31. svibanj 2021.].
- [1] S. Markušić, D. Herak i I. Mandić, »Prvi hrvatski geomagnetski opservatorij u Lonjskom polju,« *Kartografija i geoinformacije: časopis Hrvatskoga kartografskog društva*, pp. 194-199, 2012.
- [1] R. T. Merrill, M. W. McElhinny i P. L. McFadden, *The Magnetic Field of the Earth: Paleomagnetism, the Core, and the Deep Mantle*, San Diego, California: Academic Press, Inc., 1996.
- [1] V. Bothmer i I. A. Daglis, *Space Weather - Physics and Effects*, Chichester, UK: Praxis Publishing Ltd, 2007.
- [1] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, »geomagnetska oluja,« 2021. [Mrežno]. Available: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=38052>. [Pokušaj pristupa 5. kolovoz 2021.].

- [1] M. E. Maffei, »Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution,« *Frontier in Plant Science*, 2014.
- [1] J. Basta, Orijentacija životinja u prostoru pomoću Zemljinog magnetskog polja, Završni rad, Zagreb, 2012.
- [1] C. X. Wang, I. A. Hilburn, D.-A. Wu, Y. Muzuhara, C. P. Couste, J. N. H. Abrahams, S. E. Bernstein, A. Matani, S. Shimojo i J. L. Kirschvink, »Transduction of the Geomagnetic Field as Evidenced from Alpha-band Activity in the Human Brain,« *eNeuro*, svez. 6, br. 2, 2019.
- [1] G. Jaruševičius, T. Rugelis, R. McCraty, M. Landauskas, K. Berškiene i A. Vainoras, »Correlation between Changes in Local Earth's Magnetic Field and Cases of Acute Myocardial Infarction,« *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018.
- [1] G. Žiubryte, V. Šiaučiunaite, G. Jaruševičius i R. McCarty, »Local earth magnetic field and ischemic heart disease: peculiarities of interconnection,« 2018.
- [1] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, »Curie, Pierre,« 2021. [Mrežno]. Available: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=12995>. [Pokušaj pristupa 2. rujan 2021.].
- [2] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, »kozmičko zračenje,« 2021. [Mrežno]. Available: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=33597>. [Pokušaj pristupa 5. kolovoz 2021.].
- [2] [Mrežno]. Available: https://hr.wikipedia.org/wiki/Zemljino_magnetsko_polje#/media/Datoteka:Geomagnetisme.svg.
- [2] [Mrežno]. Available: https://www.wikilectures.eu/w/Magnetic_dipole.
- [2] [Mrežno]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Decomposition-of-the-geomagnetic-field-vector-using-the-Cartesian-X-Y-Z-cylindrical_fig16_311706449.
- [2] [Mrežno]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Dynamo_Theory_-_Outer_core_convection_and_magnetic_field_generation.svg.
- [2] [Mrežno]. Available: https://www.researchgate.net/figure/An-illustration-of-the-Earths-magnetosphere-the-region-of-space-dominated-by-the_fig6_261874512.
- [2] [Mrežno]. Available: https://hr.wikipedia.org/wiki/Ionosfera#/media/Datoteka:Atmosphere_with_Ionosphere.svg.
- [2] [Mrežno]. Available: https://hr.wikipedia.org/wiki/Datoteka:Ionosphere_Layers_en.svg#/media/Datoteka:Ionosphere_Layers_en.svg.
- [2] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, »paleomagnetizam,« 2021. [Mrežno]. Available: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=46235>. [Pokušaj pristupa 5. kolovoz 2021.].

SAŽETAK

Zemljino magnetsko polje je kompleksna prirodna pojava koja je još uvijek predmetom istraživanja, od geodinama kao njegovog osnovnog generatora do niza čimbenika koji doprinose konačnom izgledu geomagnetskog polja. U ovom završnom radu dan je kratak opis Zemljinog magnetskog polja, objašnjeno je kako se ono prikazuje u terestrijalnim geomagnetskim opservatorijima, što je i primjerom ilustrirano magnetogramima dobivenim u magnetskom opservatoriju Lonjsko Polje. Kvalitativno je opisan nastanak geomagnetskih oluja te je prikazan dio trenutnog pionirskog znanja o utjecaju Zemljinog magnetskog polja na biosferu.

Ključne riječi: geomagnetsko polje, magnetosfera, Sunčev vjetar, Zemljino magnetsko polje

ABSTRACT

Earth's magnetic field

Earth's magnetic field is a complex phenomenon which is subject of scientific research: The geodynamo as the most important source of the magnetic field as well as other sources which contribute to the Earth's magnetic field. In this undergraduate thesis a brief description of Earth's magnetic field is given, description of how the geomagnetic field is measured in geomagnetic observatories, which is further illustrated with magnetograms from the Croatian geomagnetic observatory Lonjsko polje. A description of the origin of geomagnetic storms is also given along with a summary of the current pioneering knowledge of the effect the Earth's magnetic field on the biosphere.