

Halil Isaković *

UDK 528.811
Stručni rad

MAGNETSKO POLJE ZEMLJE

Istorijski osvrt

U Evropi su o ovom problemu prvi počeli da istražuju neki grčki autori. U nauci se smatra da su se Grci još u VII. vijeku prije naše ere bavili ovim fenomenom, oni su prvo pošli od pretpostavke da kamen ima svojstvo privlačenja drugih predmeta. Problem bipolarnosti magnetna postao je jasan tek u XII vijeku naše ere, pojavom zapisa engleskog monaha Aleksandra Nekhema koji glasi: "Moreplovci za vrijeme svojih putovanja po tami i noći kada ne vide ni Sunce ni zvijezde koriste se iglom koja se slobodno može okretati a čiji kraj pokazuje pravac sjevera".

Naziv "sjeverni" i "južni" kraj magnetne igle prvi put je uspostavljen u XIII vijeku. U svojim dokumentima pisanim 12. avgusta 1269 god. P.Peregrin opisujući sva dotada poznata svojstva magnetna nazvao je kraj magnetna koji se orijentiše u pravcu sjevera sjevernim polom a suprotni južnim polom. Peregrinu se pripisuje zasluga da je prvi usavršio kompas, koji je do tada bio jedan mali magnet koji je plivao u sudu sa vodom.

Peregrin je prvi postavio magnet na vertikalnu osovinu i ugradio kružnu podjelu i time ga osposobio za uspješno korišćene u pomorskoj plovidbi.

Začetak nauke o geomagnetizmu vezuje se za Kolumbovo putovanje iz Evrope u Ameriku. Do VI vijeka vjerovalo se da se magnetna igla orijentiše u pravcu sjevera radi privlačenja zvijezde Sjevernjače i njenog dejstva na magnetnu iglu. Tek je za vrijeme Kolumbovog putovanja u Ameriku ustanovljeno da magnetna igla mijenja svoju orijentaciju idući iz mjesta u mjesto.

Pojava da magnetna igla na tom putu odstupa od pravca sjevera i da je skrenula u pravcu sjeverozapada ustanovljena je 13. septembra 1492 god. Da bi Kolumbo umirio svoje saputnike on je izmislio priču da zvijezda Sjevernjača mijenja svoj položaj te zbog toga magnetna igla odstupa. Kada su moreplovci stigli u Novi svijet vidjeli su da je magnetna igla opet zauzela pravac pravog sjevera.

Koristeći to iskustvo krajem XV vijeka je u Evropi postalo jasno da magnetna igla kompasa odstupa od ravni geografskog meridijana i da se to odstupanje mijenja od mjesta do mjesta. To saznanje dalo je podstreka intezivnom mjerenju magnetnog polja Zemlje. Time su udareni temelji nauke o geomagnetizmu.

Novo otkriće vezano za ponašanje magnetne igle napravio je njemački konstruktor kompasa i sunčanog sata G. German, koji je otkrio da magnetna igla, pored odstupanja od ravni geografskog meridijana, odstupa i od horizontalne ravni u kojoj se nalazi. German je to konstatovao za vrijeme mjerenja koje je 1510. godine vršio u Rimu, ali je o tome sačuvan njegov zapis iz 1544. godine.

* Halil Isaković, inž.geod.
Sarajevo, Muhameda Hadžijahića 20

Najznačajniji korak u razvoju nauke o geomagnetizmu učinio je Viliam Gilbert u svom djelu "De magnetibus" objavljenom 1600. godine koji se u potpunijem naslovu i u prevodu naziva "O magnetu magnetnim tijelima i velikom magnetu".

W. Gilbert je prvi objavio teoretske pojave o magnetskom polju Zemlje i ukazao da se Zemlja ponaša kao jedan veliki magnet čiji se polovi poklapaju sa geografskim polovima Zemlje. Da bi objasnio pojavu odstupanja magnetne igle od ravni geografskog meridijana, što je bilo u nesaglasnosti sa njegovom teorijom, uveo je pretpostavku da su ta odstupanja uticaj magnetizacije Kontinenata. Epohalnost djela i istraživanja W. Gilberta je u tome što je prvi ukazao da uzrok magnetskog polja Zemlje leži u Zemlji, a ne van nje.

Sve do kraja XVII vijeka bilo je poznato da postoji odstupanje magnetne igle od ravni geografskog meridijana i od horizontalne ravni u kojoj ona stoji, ali nisu bile poznate metode mjerenja inteziteta magnetskog polja Zemlje. Tek u 1785. godini Kulon je pronašao metodu za mjerenje inteziteta magnetskog polja, koja je poslije toga našla široku primjenu. Metoda se sastojala u tome da se intezitet magnetskog polja određuje na osnovu perioda klacjenja magnetna u magnetskom polju. Ta metoda se i danas primjenjuje.

Njemački matematičar, fizičar i astronom C.F. Gauss 1839. godine objavljuje svoje djelo "Svođenje inteziteta magnetskog polja Zemlje na apsolutnu mjeru" i "Opšta teorija geomagnetizma". U prvom djelu Gauss razrađuje metodu apsolutnih mjerenja magnetskog polja Zemlje koji do danas nisu ništa izgubili na svojoj aktuelnosti i primjenjuju se kao klasična metoda mjerenja na geomagnetskim opservatorijama, a u drugom dijelu daje interpretaciju magnetskog polja Zemlje. Polazeći od osnovne pretpostavke da uzroci magnetskog polja Zemlje leže unutar Zemlje u zavisnosti od geografskih koordinata mjesta C.F. Gauss je to predstavio u vidu reda po sfernim funkcijama, a metoda koju je on primjenio poznata je kao sverna harmonijska analiza magnetskog polja Zemlje. Zadržavanjem samo konačnog broja članova reda i korišćenjem rezultata mjerenja elemenata magnetskog polja Zemlje pošlo mu je za rukom da odredi koeficijente tog reda i time teoretski izrazi potencijal magnetskog polja Zemlje za bilo koju tačku na njoj. Prvi izvodi toga potencijala po određenim pravcima daju vrijednost inteziteta polja u tim pravcima i time je omogućeno da se odrede i elementi magnetskog polja.

Do 1634. godine pretpostavljalo se da se odstupanje magnetne igle od ravni geografskog meridijana mijenja samo od mjesta do mjesta, ali da se na određenom mjestu ne mijenja tokom vremena. Upoređujući mjerenja izvršena te godine u Londonu, na osnovu kojih je konstatovano da je deklinacija $+ 4^{\circ} 06'$ sa mjerenjem izvršenim 1780. godine koja je iznosila $- 11^{\circ} 15'$, utvrđena je promjena koja se nije mogla pripisati grešci mjerenja, nego se moralo pretpostaviti sistematsko mijenjanje deklinacije u toku vremena koja je kasnije dobila naziv "sekularna promjena".

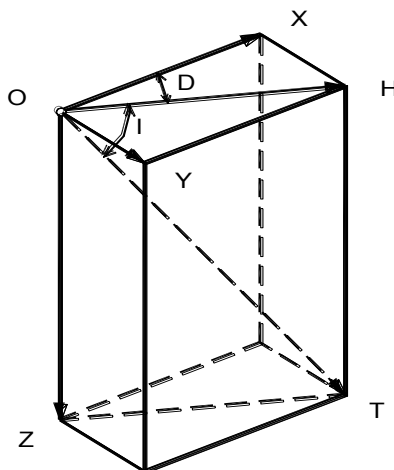
Tokom XVIII vijeka, kada su konstruisani osjetljivi pribori za mjerenje, uočene su promjene vrijednosti magnetskog polja Zemlje u toku kraćih vremenskih perioda i tako se došlo do saznanja o fenomenima dnevnih i drugih varijacija elemenata magnetskog polja Zemlje.

Dvadesetih godina XIX vijeka osnivaju se prve specijalno konstruisane opservatorije koje vrše sistematska osmatranja promjena elemenata magnetskog polja i dobijaju naziv magnetske opservatorije, u istom vijeku počela su intezivnija mjerenja magnetskog polja Zemlje. Tada se susrećemo i sa prvim magnetskim kartama.

1. ELEMENTI GEOMAGNETSKOG POLJA

Da bi se što bolje shvatili neki važniji elementi zemljinog magnetizma pokušaćemo da, u kratkim crtama, objasnimo neka ponašanja Zemlje kao magneta.

Zemlja se u prostoru ponaša kao magnet. Vektor jačine ili totalni intezitet njenog magnetskog polja (T) u izvjesnoj tački definiše se položajem umirene magnetne igle, postavljene tako da se može slobodno obrtati u svakom pravcu. Za njegovo razlaganje na komponente koristi se pravougli koordinatni sistem, čija se jedna osa (X) orijentiše u pravcu geografskog meridijana, druga (Y) osa u pravcu paralele, dok je treća (Z) osa vertikalna, (sl.1).



Sl. 1. Elementi zemljinog magnetskog polja

Pozitivni pravac (X) ose okrenut je prema sjeveru, (Y) ose prema istoku, a (Z) ose na dole. Projekcija vektora (T) na (X) osu naziva se sjeverna komponenta X , na (Y) osu istočna komponenta, na (Z) osu vertikalna komponenta ili vertikalni intezitet (Z), a na horizontalnu ravan (XY) horizontalna komponenta ili horizontalni intezitet (H).

Vertikalna ravan koja se definiše horizontalnom komponentom i pravcem (Z) ose predstavlja ravan magnetskog meridijana. Ugao između nje i ravni geografskog meridijana naziva se magnetska deklinacija (D). Što znači da je ugao (D) zapravo ugao koji horizontalna ravan komponente (H) vektora magnetnog polja (T) zaklapa sa $+X$ – osom. Ako je vektor (H) otklonjen u pravcu istoka, od X – ose onda je deklinacija (D) pozitivna ili istočna, a ako je vektor (H) otklonjen u pravcu zapada, u odnosu na X – osu, onda je deklinacija (D) negativna ili zapadna. Ugao između horizontalne ravni odnosno vektora (H) i vektora (T) je ugao (I) koji se zove inklinacija (sl. 1).

Horizontalna komponenta (H) može se razložiti na dvije međusobno okomite komponente tako da je

$$\vec{H} = \vec{X} + \vec{Y} \dots 1.1$$

Gdje je:

\vec{X} – projekcija (H) komponente na X – osu i naziva se sjevernom komponentom, a

\vec{Y} – projekcija (H) komponente na Y – osu i naziva istočnom komponentom.

Iz slike 1. vidimo da vektor (\vec{T}) sa horizontalnom ravni XOY zaklapa ugao I (ugao inklinacije magnetnog polja). Imamo:

$$\vec{H} = \vec{T} \cos I$$

$$\vec{X} = \vec{H} \cos D \dots\dots\dots 1.2$$

Na sličan način

$$\vec{Y} = \vec{H} \sin D$$

$$\vec{Z} = \vec{T} \sin I \dots\dots\dots 1.3$$

Projekcija vektora (T) na Z – osu naziva se vertikalna Z komponenta magnetskog polja. Deklinacija (D) i inklinacija (I), horizontalna (H), istočna (Y), sjeverna (X), (Z) komponenta i vektor (T) nazivaju se elementima magnetskog polja Zemlje.

Između elemenata magnetskog polja postoje relacije:

$$\vec{T} = \vec{H} + \vec{Z}$$

$$\vec{Z} = \vec{H} \operatorname{tg} I$$

$$\operatorname{tg} D = \frac{Y}{X} \dots\dots\dots 1.4$$

Intenzitet elemenata magnetskog polja H, Z, X i Y mjeri se u sistemu CGSM (Centralni sistem mjera), izraženo u ERSTEDIMA (Oe), odnosno u gamama, pri čemu je:

$$1 \text{ gama} = 10^{-5} \text{ ersteda}$$

Ersted je jedinica jakosti magnetskog polja koja djeluje silom od jednog dina.

$$1 \text{Oe} = \frac{1}{4\pi 10^{-3}} = 79,618 \text{ dina} \dots\dots 1.5$$

U literaturi se različito definiše jačina magnetskog polja. U brojnim radovima raspravlja se da li se mjeri jačina magnetskog polja (H) ili magnetne indukcije, a u vezi s tim da li se CGS sistemu polje treba izraziti u erstedima (Oe) ili u gausima (Ga).

Vrijednost deklinacije (D) i inklinacije (I) magnetskog polja izražava se u stepenima. Da bismo znali orijentaciju vektora (T) geomagnetskog polja u prostoru potrebno je poznavati tri nezavisne veličine, i to:

dva ugla i jednu komponentu, recimo D, I i Z ili D, I i H;

dvije komponente i jedan ugao, recimo H, Z i D ili X, Y i I;

tri komponente i to X, Y i Z.

U svim slučajevima vidimo da je potrebno poznavati deklinaciju (D), pa se klasičan metod određivanja orijentacije vektora (T) geomagnetskog polja sastoji u mjerenju apsolutnih vrijednosti horizontalne komponente (H), deklinacije (D) i inklinacije (I).

Karte koje pokazuju geografski raspored vrijednosti elemenata zemljinog magnetskog polja, dobijenih geomagnetskim premjerom i svedenih na isti vremenski trenutak, nazivaju se magnetske karte.

Na magnetskim karatama povučene su linije koje spajaju mjesta sa istim vrijednostima uzetog elementa. Prema tome postoje slijedeće karte:

Karte izogona (Izogone su linije koje spajaju mjesta na zemljinoj površini sa istim vrijednostima deklinacije).

Karte izoklina (Izokline su linije koje spajaju mjesta iste vrijednosti inklinacije).

Karte totalnih, sjevernih, istočnih, vertikalnih izodinama (**izodinama** su linije koje spajaju mjesta sa jednakim vertikalnim ili horizontalnim intezitetom, ili sa jednakim vrijednostima istočne odnosno sjeverne komponente).

Izogona koja ima vrijednost deklinacije nula stepeni naziva se **agona**. Agona dijeli Zemlju na područja istočnih plus i zapadnih minus deklinacija.

Aklina je izoklina sa vrijednostima inklinacije nula stepeni. Ona predstavlja klinički magnetski ekvator Zemlje koji presijeca geografski ekvator u tačkama 169° i 23° zapadne geografske dužine i odstupa od njega na zapadnoj hemisferi ka jugu, a na istočnoj ka sjeveru. Na mjestima na kojima je magnetska inklinacija ravna 90° nazivaju se magnetski polovi Zemlje. Njihov položaj mijenja se iz godine u godinu. Na primjer 1842. godine, sjeverni magnetski pol Zemlje nalazio se na 69,5° sjeverne širine i 97,5° zapadne geografske dužine, a južni na 72,4° južne geografske širine i 147,5° istočne geografske dužine. Sto godina kasnije, sjeverni magnetski pol, prema rezultatima do kojih je 1942. godine došla kanadska ekspedicija, bio je na 73° sjeverne širine i 100° zapadne geografske dužine, dok se južni, prema rezultatima mjerenja francuske ekspedicije iz 1952. godine, nalazio na 68,7° južne širine i 143° istočne geografske dužine.

Vrijednost totalnog inteziteta na magnetnim polovima je + 0,7 ersteda, a na dinamičkom magnetskom ekvatoru Zemlje, koji predstavlja izodinama s najmanjim vrijednostima totalnog inteziteta iznosi 0,4 ersteda. Vrijednosti horizontalnog inteziteta kreću se od 0,4 ersteda na magnetskom ekvatoru do 0 ersteda na magnetskim polovima, a vertikalnog inteziteta od nule na magnetskom ekvatoru do $\pm 0,7$ ersteda na magnetskim polovima.

Odstupanje stvarnog rasporeda zemljinog magnetskog polja od srednjeg za datu oblast nazivaju se magnetske anomalije.

Na primjer u oblasti Kurska (Rusija) vertikalni intezitet prelazi 2,0 ersteda, a deklinacija se mijenja za 180° na rastojanju svega od nekoliko metara. Na Jadranskom moru, predjeli sa magnetskim anomalijama, nalaze se oko ostrva Visa, Cresa i Lošinja.

Promjene zemljinog magnetskog polja koje utiču na deklinaciju mogu biti pravilne i nepravilne. Pravilne se zovu magnetske varijacije, a nepravilne magnetske oluje. Magnetske varijacije mogu biti:

- dnevne;
- godišnje;
- dvanaesto godišnje (11,8 godišnje) i
- vjekovne.

Dnevne promjene se dešavaju usljed promjene naelektrisanosti zemljine jonosfere, zbog dnevnog obrtaja Zemlje oko svoje ose.

Godišnje promjene nastaju uslijed promjene naelektrisanosti zemljine jonosfere zbog kretanja Zemlje oko Sunca.

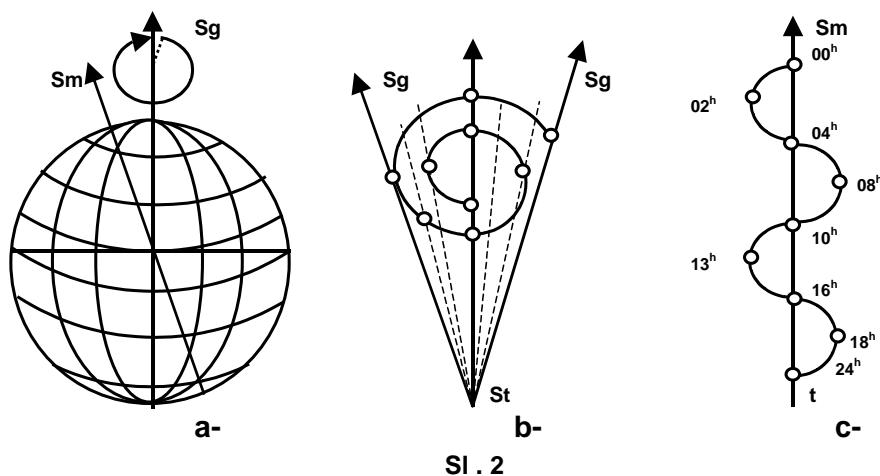
Dvanaesto - godišnja promjena nastaje uslijed cikličkih pojava sunčevih pjega.

Vjekovna pojava nastaje zbog oscilacije magnetskih i geografskih polova Zemlje.

Ove promjene su postupne ali imaju znatnu veličinu. Na primjer, krajem XVII vijeka deklinacija na teritoriji bivše Jugoslavije iznosila je oko -20° a sada iznosi oko $\pm 3^\circ$. U periodu od 1905. do 1940. godine u Pavlovsku (Rusija) horizontalni intezitet promjenio se za 13×10^{-3} ersteda tj. za 10%. Linije koje spajaju tačke sa istim vrijednostima promjene magnetskog elementa nazivaju se izopore.

Nepravilne promjene magnetske deklinacije su magnetne oluje, one su obično intezivne i traju od nekoliko sati do nekoliko dana. Do njih dolazi najčešće i najviše zbog povećanja emisije naelektrisanosti magnetskih čestica sa površine Sunca, što ima za posljedicu intezivne promjene gustine naelektrisanosti u visokoj atmosferi a uslijed toga i naglu privremenu promjenu pravca i jačine zemljinog magnetskog polja. Isto tako na nepravilnu promjenu magnetne deklinacije utiče i sastav Zemljine površine na kojoj se nalazimo. Ako mjesto na kome se nalazimo i vršimo mjerenja magnetne deklinacije ima željeznu rudu ili neka druga antimagnetska tijela onda se tu deklinacija nenormalno ponaša. Zbog toga deklinacione stanice tj. stajne tačke na kojima mjerimo deklinaciju moraju biti udaljene minimum 100 metara od antimagnetskih tijela.

Oscilacija geomagnetskog pola prikazana je na Sl. 2. a. i b. , a na Sl. 2. c. prikazana je dnevna oscilacija magnetske deklinacije.



Na slici 2c vidimo da nam magnetska igla pokazuje magnetski sjever u 00; 04; 10; 16; i u 24 časa. Ostalo vrijeme ona oscilira i to je dnevna promjena.

2. ODREĐIVANJE MAGNETSKE DEKLINACIJE

Za određivanje magnetske deklinacije treba da odredimo pravac geografskog i magnetskog sjevera, koji zaklapaju ugao koji se zove magnetska deklinacija (D). Za određivanje tog ugla moramo prethodno odrediti dva azimuta sa stajne tačke na neku drugu tačku tj. treba odrediti geografski (a_g) i magnetski azimut (a_m), čija razlika predstavlja magnetsku deklinaciju (D)

$$D = a_g - a_m \dots \dots \dots 2.1$$

Za određivanje magnetske deklinacije vrši se geomagnetski premjer svake pete godine gdje se koriste specijalni instrumenti kao što su:

- torzioni magnetometar (Šmitova magnetna vaga);
- saturacioni magnetometar (fluksni "Gulfov");

Ovo su stari tipovi instrumenata, koji su prevaziđeni pojavom novog digitalnog instrumenta, koji se zove Protonski magnetometar.

Geografski se azimut određuje metodom astronomskih mjerenja, postoji i žiro teodolit sa kojim se dosta tačno može izmjeriti geografski azimut. Geografski se azimut može odrediti i matematički.

Ako imamo pravougle koordinate stajne tačke A i tačke B na koju opažamo, iz koordinata tih tačaka, možemo na osnovu obrnutog geodetskog zadatka u trigonometrijskom obrascu br.8 sračunati pravougli azimut sa stajne tačke A na opažanu tačku B. Ugao koji zaklapa pravac geografskog sjevera sa pravcem pravouglog sjevera zove se konvergencija (K) i on se može sračunati po formuli:

$$K = I \cdot \sin f \dots \dots \dots 2.2$$

gdje je: **I** razlika geografske dužine između dodirnog meridijana odgovarajuće zone i geografske dužine stajne tačke na kojoj vršimo mjerenje, a **f** je geografska širina te iste stajne tačke. Geografska širina **f** i dužina **I**, mogu se sa zadovoljavajućom tačnošću očitati sa karte što krupnije razmjere. Napominjem da je ovo približna formula koja može služiti za određene svrhe, a za tačno određivanje vrijednosti konvergencije postoje tačne formule za čije izvođenje treba dosta prostora.

Magnetni azimut se mjeri magnetskim teodolitom koji je za tu svrhu konstruisan. Kada se odredi veličina magnetske deklinacije ona se svodi na epohu.

Epoha može biti ma koja godina za koju je poznata bazna vrijednost nekog elementa magnetskog polja Zemlje u određenom trenutku dobijenog na osnovu mjerenja tog elementa.

Magnetska deklinacija se određuje na cijeloj teritoriji jedne države. Prvo se odrede područja na kojima se izaberu deklinacione stanice, jedna stanica na sektoru 15 x 25 km. U ta područja moraju biti uključeni aerodromi, radarske i radio-goniometrijske stanice.

Magnetska deklinacija se na aerodromima mjeri svakih 5 godina radi baždarenja kompasa na letelicama, u tu svrhu se određuju takozvane kompezacione ploče 15 x 25 km gdje se pravilno stabilizuje više tačaka na kojima se mjeri deklinacija. Deklinacija i konvergencija se upisuju na zrakoplovne karte R=1: 500 000 i na topografske karte R = 1: 25000, 1: 50000 i 1: 100 000.

Sažetak

Otkrićem Zemljinog magnetizma i njegove zakonitosti kao i magnetne igle, riješeno je pitanje orijentacije na Zemljinoj površini u svako doba dana i noći i po bilo kakvom vremenu.

Dvadeseti vijek je donio mnoga nova saznanja o geomagnetskim fenomenima, a korištenjem vještačkih Zemljinih satelita omogućilo je upoznavanje i strukture magnetosfere i njene interakcije s radijacijama Sunca i približilo nas je spoznaji suštine jednog od najranijih upoznatih geofizičkih fenomena, a i omogućilo tačniju orijentaciju i kretanje u prostoru.

MAGNETIC FIELD OF THE EARTH**CONCLUSION**

The discovery of the Earth magnetism and its legality as well as discovery of a magnetic needle has explained the question of orientation on Earth, regardless of the time and day or the weather.

20 th century has brought many discoveries on geo – magnetic phenomenon and by using the Earth artificial satellites, it was made possible to discover the structure of magnetic sphere, as well as its interection with the Sun s radiation.

It has also made us closer to discovery one of the earliest geo – physical phenomenons and orientation and movement in space itself was made easier.

Literatura:

Klak, S.: Geofizika. Sveučilište -Zagreb 1963. godine.

Stefanović, D.: Geomagnetske metode istraživanja, Rudarsko-Geološki fakultet Beograd - 1978. godine.

Vojna enciklopedija knjiga br.5