

# Zgodovinski pregled geomagnetnih meritev in raziskav

Stegel Robert \*

## Povzetek

Sprva so geomagnetne meritve imele predvsem tehnični in s tem tudi ekonomski pomen, kajti omejene so bile na določanje smeri in položaja, ki je omogočal pomorščakom in popotnikom osvajanje novih dežel in kasneje tudi trgovanje. Sčasoma pa so geomagnetne meritve pridobivale tudi vse večji znanstveni pomen. Raziskovanje geomagnetizma se je pričelo leta 1600 z objavo Williama Gilberta, da je Zemlja magnet. Sledila sta postopen napredek v merilnih metodah in instrumentih ter razlagah zemeljskega magnetizma in ustanavljanje prvih geomagnetnih observatorijev. V 19. stoletju je Carl Friedrich Gauss s svojim sodelavcem Wilhelmom Webrom vpeljal absolutno metodo merjenja jakosti magnetnega polja, kasneje pa postavil še temelje matematične analize geomagnetnega polja, ki je omogočila, skupaj s teorijo elektromagnetnega polja Jamesa Clerka Maxwella, nagel razvoj geomagnetnih raziskav. Na začetku 20. stoletja je sir Joseph Larmor nakazal, da bi lahko bil samovzbudni dinamo mehanizem izvor geomagnetnega polja, ob koncu prejšnjega tisočletja pa je ta mehanizem oziroma model postal najširše sprejet, tudi s pomočjo raziskav na podlagi računalniških simulacij in satelitskih meritev.

## Začetki geomagnetnih meritev

Leta 1600 izdana knjiga angleškega znanstvenika Williama Gilberta z naslovom *O magnetu, magnetnih telesih in o velikem magnetu Zemlji* (De magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure) ali krajše *De Magnete* velja za začetek obdobja geomagnetnih raziskav. V njej je namreč objavljena prelomna trditev, da je Zemlja magnet, ki jo je Gilbert postavil z za tiste čase izjemnim eksperimentalnim raziskovanjem pojava magnetne inklinacije na modelu Zemlje – magnetni krogli, ki jo je poimenoval Terrella - Zemljica. S tem je tudi ovrigel tedaj veljavno prepričanje, da so vzrok sile, ki deluje na magnetno iglo, nebesne sile ali magnetna gora na polu.

Gilbertovo delo je temeljilo na predhodnih opazovanjih splošnega magnetizma, ki so se v Evropi začela že v antiki, nadaljevala pa konec 12. stoletja s prvimi zapisi o magnetnem kompasu in njegovi uporabi, predvsem pa z raziskavami in odkritji francoskega inženirja Pierra de Maricourta, bolj znanega kot Petrusa Peregrinusa. Ta je leta 1269 v Pismu o magnetu (*Epistola de magnete*), ki ga je pisal svojemu prijatelju Sigerumu de Foucaucourtu, med drugim prvič omenil severni in južni magnetni pol, da se magnetnih polov magneta ne da ločiti in da je najmanjši delec magneta tudi sam magnet.

Pojav magnetne inklinacije je sicer že pred Gilbertom, leta 1544, opisal nemški fizik, jezuitski duhovnik Georg Hartmann, leta 1581 pa izmeril izdelovalec kompasov, Anglež Robert Norman. Da magnetna igla ne kaže proti geografskima poloma, je bilo že dolgo znano. Kotu med magnetnim polom, v katerega smeri kaže magnetna igla, in pravim – geografskim polom Zemlje danes pravimo magnetna deklinacija.

Krištof Kolumb je na svoji poti čez Atlantik leta 1492 prvi opisal, da je deklinacija na različnih mestih različna. Ugotovitev, da se ta spreminja tudi s časom, pa je nakazovala, da se zemeljska magnetna pola premikata, zaradi česar Zemlja ni permanenten magnet. Ta

---

\* Robert Stegel, univ.dipl.inž.tehnol.prom., VSS Sežana, Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo, Kraška ulica 2, 6210 Sežana.

pojav, ki ga danes imenujemo sekularna variacija, je opazil leta 1634 angleški astronom in matematik Henry Gellibrand na podlagi primerjave meritev, izmerjenih v časovnem obdobju nekaj desetletij. Poleg sekularnih pa obstajajo tudi dnevne variacije, ki jih je prvi opisal leta 1722 George Graham, angleški izdelovalec merilnih instrumentov. Danes vemo, da so sekularne variacije posledica dogajanja v zunanjem jedru Zemlje, dnevne pa vpliva Sonca na magnetosfero in ionosfero ter s tem na geomagnetno polje.

### **Napredek v merilni tehniki**

V drugi polovici 18. stoletja je prišlo do napredka v merilnih instrumentih in metodah, razlagah zemeljskega magnetizma, ustanovljeni pa so bili tudi prvi geomagnetni observatoriji. Pomembno izboljšavo merilnega instrumenta je prispeval francoski inženir Charles Coulomb, ko je magnetno iglo obesil na nitko in tako odpravil trenje pri vrtenju na osi. Leta 1778 je francoski matematik Jean Charles de Borda vpeljal dodatno meritev poleg magnetne deklinacije in inklinacije, takrat imenovano jakost zemeljskega magnetizma. Da se tudi ta časovno in krajevno spreminja, je na začetku 19. stoletja odkril nemški raziskovalec Alexander von Humboldt, ki je s svojim tedanjim vplivom dosegel tudi ustanavljanje mnogih geomagnetnih observatorijev po svetu z namenom sistematičnega opazovanja geomagnetnega polja.

V tridesetih letih 19. stoletja je k raziskavam geomagnetizma pristopil eden največjih znanstvenikov tistega časa, nemški matematik, astronom in fizik Carl Friedrich Gauss. S sodelavcem Wilhelmom Webrom sta raziskovala geomagnetizem le šest let, kljub temu pa predstavlja njuno delo eno od prelomnic v raziskavah s tega področja. Izboljšala sta merilnik jakosti zemeljskega magnetnega polja, magnetometer, in vpeljala absolutno metodo merjenja jakosti magnetnega polja, kjer je bil merilni rezultat določen na podlagi dodatne meritve s pomožno magnetno iglo in ne s primerjavo z referenčno jakostjo, kot je bilo to pri relativni metodi, ki jo je vpeljal že omenjeni Borda. Prednost absolutne merilne metode je bila v tem, da so bili tako izmerjeni rezultati iz različnih observatorijev med seboj enakovredni in primerljivi. Poleg tega je Gauss postavil temelje matematične analize geomagnetnega polja. S svojim ugledom je veliko pripomogel tudi k ustanavljanju in predvsem povezovanju observatorijev z namenom izmenjave rezultatov geomagnetnih meritev. Leta 1841 je bilo delujočih že 53 observatorijev od Severne Amerike in južne Afrike do Sibirije in Avstralije, največ pa jih je bilo v Evropi.

Ob koncu 19. stoletja, leta 1873, je bila postavljena še ena prelomnica, ne le na področju geomagnetnih raziskav, ampak tudi obče fizike. Takrat je škotski matematik in fizik James Clerk Maxwell postavil temelje teorije elektromagnetnega polja z objavo dela Razprava o elektriki in magnetizmu (Treatise on Electricity and Magnetism), v kateri je s tako imenovanimi Maxwellovimi enačbami opisal lastnosti in povezavo električnega in magnetnega polja.

### **Teorija samovzbudnega dinama**

Na podlagi raziskav, povezanih z magnetnim poljem Sonca in sončnih peg, je leta 1919 irski fizik sir Joseph Larmor objavil, da bi lahko te nastale na osnovi samovzbudnega dinamo mehanizma. Teorija se je, glede na tedanja predvidevanja o zgradbi in dogajanju v notranjosti Zemlje, pokazala tudi kot možna razlaga izvora geomagnetnega polja. Do tedaj je bilo na podlagi Gaussovih matematičnih analiz znano le, da je večji del geomagnetnega

polja dipolne oblike z izvorom v Zemlji, še dlje pa je veljalo, da magnetni materiali v njeni notranjosti zaradi temperatur, ki so višje od Curiejeve, niso vzrok geomagnetnega polja.

Danes najširše sprejeto teorijo oziroma model o izvoru geomagnetnega polja, tako imenovan alfa - omega dinamo model, ki temelji na prej omenjeni Larmorjevi objavi z začetka prejšnjega stoletja, je leta 1946 razvil nemški fizik, delujoč v ZDA, Walter Elsasser, leta 1964 pa dopolnil ruski fizik Stanislav Braginsky. Alfa - omega dinamo model predpostavlja, da magnetno polje ustvarjajo električni toki, nastali zaradi lastnega magnetnega polja in gibanja tekočega ter električno prevodnega zunanjšega jedra Zemlje. Do tega pride zaradi vrtenja Zemlje in Coriolisovega učinka ter konvekcije in vzgona ob postopnem strjevanju zunanjšega jedra, s sproščanjem latentne toplote in ob izločanju lažjih spojin iz meje notranjega jedra.

Na potek raziskav in meritev geomagnetnega polja je v drugi polovici prejšnjega stoletja bistveno vplival hiter napredek na področju elektronike, predvsem računalniške in vesoljske tehnike. Tako je razvoj superračunalnikov omogočil izvajanje numeričnih simulacij zapletenih procesov, ki se dogajajo v tekočem zunanjem jedru in so povezani z izvorom glavnega magnetnega polja Zemlje. Eno takšnih tridimenzionalnih simulacij zemeljskega dinamo mehanizma sta izdelala leta 1997 ameriška znanstvenika Gary A. Glatzmaier in Paul H. Roberts.

Med potekom simulacije je prišlo do presenetljive, nevsiljene zamenjave geomagnetnih polov. Takšna zamenjava se je že večkrat zgodila tudi zemeljskima magnetnima poloma, nazadnje pred približno 780.000 leti. Obrati geomagnetnih polov so znani že sto let. Leta 1906 je pri meritvah magnetnih polj vulkanskih kamenin Francoz Bernard Brunhes opazil, da je magnetno polje na nekaterih delih usmerjeno celo nasprotno od sedanjega zemeljskega magnetnega polja in sklepal, da je bila med njihovim strjevanjem takratna smer zemeljskega magnetnega polja obratna kot danes. Na začetku petdesetih let prejšnjega stoletja je bila na podlagi meritev magnetnih anomalij kamnin na oceanskem dnu potrjena teorija nemškega znanstvenika Alfreda Wegenerja iz leta 1912 o nastanku oziroma premikanju celin.

### **Doba vesoljskih raziskav**

Doba vesoljskih poletov se je začela 4. oktobra leta 1957 z izstrelitvijo satelita Sputnik 1. Satelitske meritve in opazovanja so med drugim potrdile domnevo angleškega fizika Eugena Parkerja, ki je leta 1958 na podlagi izračunov napovedal, da se tok plazme, imenovan sončni veter, nenehno širi iz sončne korone in ne le ob magnetnih nevihtah, kot sta pojav leta 1930 pojasnila angleški matematik in geofizik Sydney Chapman in Vincenzo C. A. Ferraro. Prav tako je bilo s satelitskimi meritvami ugotovljeno, da se magnetosfera oziroma prostor, kjer deluje geomagnetno polje, ne razprostira daleč v vesolje in je zaradi delovanja sončnega vetra na prisojni strani nekoliko sploščena, na osojni pa se zaključuje v obliki dolgega repa.

Satelitske meritve so omogočile vpogled v magnetna polja ostalih planetov našega sončnega sistema. Poleg Zemlje in Sonca imajo magnetno polje tudi vsi ostali planeti razen Venere. Štirje veliki planeti Jupiter, Saturn, Uran in Neptun imajo magnetna polja, katerih gostote so približno takšne, kakršna je gostota magnetnega polja Zemlje, le Jupitrova je približno 14-krat večja in je med vsemi planeti največja. Izvor magnetnega polja je najverjetneje tudi pri teh planetih dinamo mehanizem, ki bi pri največjima, Jupitru in Saturnu, lahko nastal v jedru stisnjenem kovinskem, električno prevodnem, vodiku. Ker velikost Urana in Neptuna ni takšna, da bi se v jedru lahko ustvaril kovinski vodik in ker je navidezno središče magnetnega polja zelo zamaknjeno od središča obeh planetov, se

predvideva, da bi lahko dinamo mehanizem potekal v tanjših plasteh plašča planeta. Magnetno polje Merkurja je glede izvora zelo podobno Zemeljskemu. Najverjetneje ga ustvarja dinamo mehanizem, ki nastaja v tekočem zunanem delu jedra, le gostota magnetnega polja je približno stokrat manjša kot na Zemlji. Mars, tako kot tudi Luna, nimata magnetnega polja, ki bi ga ustvarjal dinamo mehanizem. Imata pa področja z izvorom magnetnega polja v namagnetenih materialih pod njunim površjem, ki so najverjetneje ostali kot posledica nekoč obstoječega dinamo mehanizma.

Prav tako so sateliti omogočili natančne in predvsem celovitejšje meritve geomagnetnega polja. Prve je opravil ameriški satelit Magsat leta 1980. Danes stalno merijo geomagnetno polje trije sateliti, danski Ørsted od leta 1999, nemški CHAMP in argentinski SAC-C od leta 2000, avstralski FedSat pa je meritve opravljal med letoma 2002 in 2007. Najstarejši med njimi, satelit Ørsted je bil izstreljen 23.2.1999 in kljub temu, da je bila predvidena doba njegovega delovanja 14 mesecev, bo letos desetletnica njegovega delovanja. Večina merilnih instrumentov na njem še vedno deluje, med njimi tudi oba magnetometra, vektorski CSC (Compact Spherical Coil) in Overhauserjev skalarni magnetometer. Da na njune meritve ne bi vplivala motilna magnetna polja zaradi delovanja drugih naprav in materialov na satelitu, sta magnetometra nameščena na posebno, 8 m dolgo roko. Leta 2010 pa je predviden pričetek delovanja nove generacije geomagnetnih satelitov v okviru projekta Evropske vesoljske agencije (ESA), imenovanega SWARM, ki ga bodo sestavljali trije sateliti, in sicer bosta dva letela eden ob drugem na nižji orbiti (450 km), tretji pa na nekoliko višji (550 km).

### **Pomen sodobnih geomagnetnih meritev**

Meritve geomagnetnega polja, opravljene iz satelitov, letal, ladij ali observatorijev, imajo večplastni pomen. Tako se na podlagi meritev trenutnih vrednosti in sprememb v predhodnih obdobjih pripravlja geomagnetne modele, kot sta IGRF (International Geomagnetic Reference Field) in WMM (World Magnetic Model), s katerimi so predvidene vrednosti posameznih parametrov zemeljskega magnetnega polja za obdobje petih let. Ti podatki se uporabljajo za popravke posameznih parametrov izmerjenih rezultatov, kot je na primer magnetna deklinacija pri navigacijskih kompasih.

Geomagnetne meritve so ključnega pomena tudi za raziskovanje geomagnetizma, saj so laboratorijski poizkusi na tem področju skoraj nemogoči in zato redki. Tako se na primer lahko z meritvami na površini Zemlje dobi podatke za izračun sprememb gostote magnetnega polja na različnih razdaljah od njenega središča, vse do tako imenovane meje jedro – plašč, ali pa se, na podlagi izmerjenih sprememb gostote magnetnega polja, sklepa o hitrosti in načinu gibanja gmot v tekočem jedru, ki sta ena ključnih dejavnikov pri izvoru in sekularnih variacijah geomagnetnega polja...

Geomagnetne meritve pa so lahko sestavni del raziskav tudi na drugih področjih, kot so geologija, arheologija, magnetobiologija...

### **Literatura**

- BROTHER, Arnold. The letter of Petrus Peregrinus on the magnet, A.D. 1269. McGraw Publishing Company, 1904, New York. Available also from Internet in PDF format: <http://ia331311.us.archive.org/1/items/letterofpetrusp00pierrez/letterofpetrusp00pierrez.pdf>
- GLATZMAIER, Gary A., OLSON, Peter. Probing the geodynamo. Scientific American, April 2005, 292, 51-57.

- JONKERS, R. T. JACKSON, Andrew. MURRAY, Anne. Four Centuries of Geomagnetic Data From Historical Records. *Reviews of Geophysics*, 2003, vol. 41, no.2 / 1006. [http://homepages.see.leeds.ac.uk/~earaj/pubs/rev\\_geophys.pdf](http://homepages.see.leeds.ac.uk/~earaj/pubs/rev_geophys.pdf).
- MULTHAUF, Robert P. GOOD, Gregory. A Brief History of Geomagnetism and a Catalog of the Collections of the National Museum of American History. Number 48. Washington (DC, US): Smithsonian Studies in History and Technology, 1987.: <http://www.sil.si.edu/SmithsonianContributions/HistoryTechnology/>.
- STERN, David P. A Millennium of Geomagnetism. *Reviews of Geophysics*, 40(3), p.1-1 to 1-30, Sept 2002. Available also from Internet: [http://www.phy6.org/earthmag/mill\\_1.htm](http://www.phy6.org/earthmag/mill_1.htm) .