

Geomagnetne meritve na geomagnetni referenčni točki na Predmeji

Rudi Čop, Jernej Kocen *

Povzetek

Na ozemlju Republike Slovenije so bila za organizacijo in izvedbo prvih meritev vseh komponent zemeljskega magnetnega polja predhodno izbrana področja na osnovi analize GIS (geographic information system) in geološke sestave tal. Primernost izbranih lokacij se je nato še dodatno preverjalo na osnovi njihove oddaljenosti od umetnih virov motenj naravnega zemeljskega magnetnega polja. Na robu vasi Predmeja, v zahodnem delu Slovenije, je bilo narejenih več vrst predhodnih testov in več vrst meritev zemeljskega magnetnega polja: testiranje gradienta homogenosti skalarne vrednosti zemeljskega magnetnega polja, določevanje pozicij z uporabo omrežja SIGNAL (Slovenija-Geodezija-NAvigacija-Lokacija), orientacija v prostoru s pomočjo opazovanja Sonca ter merjenje absolutnih vrednosti in registracija sprememb zemeljskega magnetnega polja komponent: X, Y, Z in F.

Uvod

Za izvajanje geomagnetnih meritev so bile na področju Slovenije v prvi fazi izbrane tri lokacije. Izbor je bil narejen na osnovi tehnologij GIS (geografski informacijski sistem) z upoštevanjem značilnosti geologije. Lokacije so bile določene glede na vpliv posameznih umetnih virov, ki lahko vplivajo na meritve magnetnega polja, kot so: električne železnice, avtoceste, ceste, električni daljnovodi, televizijski oddajniki, oddajniki operaterjev mobilne telefonije, letališča, radarji in drugo. Visokošolsko središče Sežana – Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo je v sodelovanju z dvema raziskovalcema iz geomagnetnega observatorija Grocka v Srbiji izvedlo geomagnetne meritve na referenčni točki na Predmeji. Skupina raziskovalcev je opravila naslednje meritve: merjenje homogenosti gradienta totalne intenzitete magnetnega polja, merjenje azimuta na osnovi opazovanja sonca, absolutna, bazna in trokomponentna geomagnetna merjenja. Izvedena so bila snemanja dnevni variacij komponent geomagnetnega polja.

Geomagnetna merjenja in snemanja

Lokacija na Predmeji je izpolnjevala pogoje, ki so bili postavljeni za izbor lokacije za geomagnetno referenčno točko, na kateri so izvedena trokomponentna merjenja in snemanje dnevni variacij komponent geomagnetnega polja. Poleg tega, dostopnost bližina poti in potrebne infrastrukture, omogoča enostaven dostop in delo na geomagnetni referenčni točki.

Na geomagnetni referenčni točki na Predmeji smo naredili geomagnetna merjenja z variometrično metodo. Pri navedeni metodi potekajo konstantna merjenja in snemanje posameznih komponent geomagnetnega polja od tri do pet dni. Za snemanje variacij smo na magnetno homogenem področju na lokaciji geomagnetne referenčne točke postavili digitalni

* Visokošolsko središče Sežana, Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo, Kraška ulica 2, 6210 Sežana,

trokomponentni magnetometer. Snemanje smo izvedli z intervalom zajema podatkov 1 podatek/sek. Poleg trokomponentnega magnetometra smo na geomagnetno referenčno točko postavili tudi protonski magnetometer za opazovanje dnevnih variacij totalne intenzitete geomagnetnega polja z intervalom snemanja 1 sek/podatek. V tabeli 1 je predstavljena oprema, ki smo jo uporabljali za izvedbo geomagnetnih meritev na geomagnetni referenčni točki na Predmeji od 24. do 30. septembra 2008.

Med potekom meritev dnevnih variacij geomagnetnega polja na geomagnetni referenčni točki, smo na bazni točki izvedli merjenja absolutnih vrednosti komponent geomagnetnega polja. Za izvedbo teh meritev smo uporabljali standardni DI magnetometer za merjenje magnetne deklinacije D in inklinacije I ter protonski magnetometer.

Tabela 1: Pregled instrumentov in opreme

Magnetometer	GMF-komponente	Način zapisa	Hitrost zapisovanj	Merilna občutljivost	Vrednosti
magnetometer Flux-gate MAGSON 11 (variometer)	X,Y,Z	digitalen, neprekinjen in avtomatski	1 sec.; 1 min.	0.1 nT	relativne in/ali absolutne
GSM-19.fg and/or GSM-19.gw (scalar)	F	digitaen, neprekinjen in avtomatski	1 sec.; 1 min.	0.01 nT	bazne in/ali gradiometer
DIM Bartington Mag - 01H	D,I	absolutne meritve	1 min.	0.1 nT	

Postavljanje magnetometra

Na osnovi merjenja gradienta totalne intenzitete geomagnetnega polja na mikrolokaciji referenčne točke smo postavili trokomponentni magnetometer MAGSON 11 (variometer) in Overhauserjev protonski magnetometer GSM-19. Položaj variometra je bil $Y = 413591.73$; $X = 89204.81$; $H = 879.74$ m (Slika 1), protonskega magnetometra pa $Y = 413580.79$; $X = 89203.95$; $H = 877.15$ m (Slika 2). Koordinate opisanih položajev so navedene v Gauss-Krüegerjevem koordinatnem sistemu.



Slika 1: Položaj postavljanja trokomponentnega magnetometra MAGSON 11 (senzor)

Območje položaja geomagnetne referenčne točke na Predmeji leži na kraškem terenu. Na mikrolokaciji geomagnetne referenčne točke je sloj zemlje debel le 10-15 cm, zato je bilo postavljanje senzorja magnetometra, ki mora biti vkopan 35-40 cm oteženo. Podstavek smo postavili na skalo in ga utrdili s peskom in zemljo, nanj pa postavili senzor trokomponentnega magnetometra flux-gate MAGSON 11. Na razdalji 10 m od senzorja MAGSON 11, smo na lesen steber pritrdili Overhauserjev protonski magnetometer GSM-19 (Tabela 1; Slika 2). Do šotora, ki je bil od senzorja variometra in protonskega magnetometra oddaljen 20-25 m, smo postavili kable, preko katerih sta bila magnetometer flux-gate MAGSON 11 in Overhauserjev protonski magnetometer GSM-19 priklopljena na sprejemnika s spominsko enoto in preko akumulatorja na neprekinjeno napajanje.

Postopek postavljanja instrumentov je bil zaključen okrog 11 : 45 UTC, 25. septembra 2008 okrog 12 : 00 UTC, pa smo pričeli prva merjenja in snemanje dnevnih variacij komponent X, Y, Z in F geomagnetnega polja na geomagnetni referenčni točki na Predmeji.

Snemanje dnevnih variacij komponent geomagnetnega polja

Snemanje dnevnih variacij komponent geomagnetnega polja smo izvedli v intervalu 1 podatek/sek. Na Sliki 3 so prikazana snemanja dnevnih variacij komponent geomagnetnega polja (dX/dt ; dY/dt ; dZ/dt ; dF/dt) v razdobju od 25. do 30. septembra 2008 na geomagnetni referenčni točki na Predmeji.

Prvih 10 do 15 ur snemanja variacij je potrebnih, da se senzor popolnoma mehansko in temperaturno stabilizira na razmere, ki vladajo v okolici. Potrebno je zmanjšati senzorski in magnetometrski hod (angl. drift) v snemanju dnevnih variacij. Temperatura v sprejemniku magnetometra MAGSON 11 se mora stabilizirati glede na temperaturo v okolici.

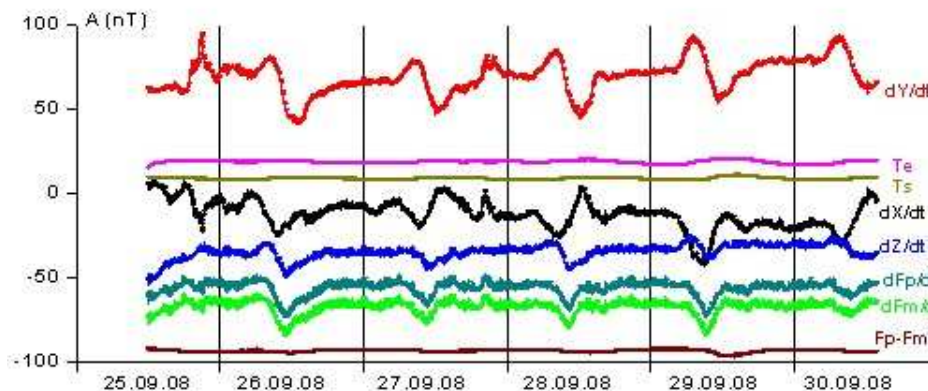


Slika 2: Postavljen in zaščiteno Overhauserjev protonski magnetometer GSM-19 (senzor)

Po intervalu mehanske in temperaturne stabilizacije variometra v obdobju od 26. do 30. septembra 2008 na geomagnetni referenčni točki na Predmeji so prikazani rezultati snemanja in skupina dnevni variacij geomagnetnega polja (Slika 3). Morfologija dnevnih variacij komponent geomagnetnega polja, snemanih na referenčni točki na Predmeji, se lahko primerja z dnevnimi variacijami, snemanimi na observatorijih srednjih geomagnetnih širin.

Komponente, prikazane v Sliki 3, so:

- dY/dt ; dX/dt ; dZ/dt : snemanje variacij geomagnetnega polja s trokomponentnim magnetometrom flux-gate (variometrom) MAGSON 11 (relativne vrednosti) ;
- dF_p/dt : podatki totalne intenzitete magnetnega polja merjene, z Overhauserjevim protonskim magnetometrom (absolutne vrednosti);
- dF_M/dt : spremembe totalne intenzitete geomagnetnega polja, izračunane iz snemanih podatkov magnetometra MAGSON 11;
- $F_p - F_M$: razlika med vrednostmi variacije totalne intenzitete magnetnega polja;
- T_e , T_s : temperature sprejemnika in sensorja trokomponentnega magnetometra MAGSON 11.



Slika 3: Variacije komponent geomagnetnega polja v terminu od 25. do 30. septembra 2008 na geomagnetni referenčni točki na Predmeji

Absolutna merjenja geomagnetnega polja

Na osnovi merjenja homogenosti gradienta totalne intenzitete geomagnetnega polja, na mikrolokaciji geomagnetne referenčne točke na Predmeji smo v magnetno homogenem delu izbrali mesto za točko absolutnih merjenj na geomagnetni referenčni točki, na kateri smo izvedli merjenja absolutnih vrednosti komponent geomagnetnega polja. Položaj točke absolutnih merjenj na geomagnetni referenčni točki je $Y = 413558.37$; $X = 89285.44$; $H = 895.11$ m podan v Gauss–Krügerjevem koordinatnem sistemu.

Točka absolutnih merjenj na geomagnetni referenčni točki je stabilizirana z granitnim kamnom dimenzij 20 x 20 x 60 s podzemnim centrom. Na točki so izpolnjeni vsi pogoji za izvajanje geodetskih in geomagnetnih meritev ter opazovanj, kot so določanje azimuta z opazovanjem sonca, opazovanje smeri na določene referenčne oznake (fiksne točke) in izvajanje absolutnih geomagnetnih merjenj.

Določanje azimuta na osnovi opazovanja sonca

Na točki absolutnih merjenj na geomagnetni referenčni točki na Predmeji smo uporabili astronomske metode za določanje azimutov referenčnih oznak (fiksni točk). Izvedli smo opazovanje sonca in na tej osnovi določili azimute na referenčne oznake.

Pri opazovanju sonca smo uporabili metodo čas – kot. Ta metoda pomeni odčitavanje vrednosti horizontalnih kotov DI-magnetometra in svetovnega časa UT. Koti na horizontalnem krogu se odčitavajo, ko ena stran sonca koincidira z vertikalno nitjo. Pri merjenju je potrebno zelo natančno določiti trenutek odčitavanja časa UT. Trenutek odčitavanja mora biti natančnejši od ene sekunde, natančnost odčitavanja kotov pa je pogojena z natančnostjo DI-magnetometra. Določanje azimuta na osnovi opazovanja sonca se izvaja zjutraj, ko je sonce na vzhodnem delu horizonta in popoldan, ko je na zahodnem delu.



Slika 4: Absolutne meritve komponent D, I in F geomagnetnega polja na točki absolutnih merjenj na geomagnetni referenčni točki, na Predmeji

Na bazni točki na Predmeji smo za astronomska opazovanja sonca v prvi seriji uporabljali teodolit THEO 10B (magnetometer DI 810), v drugih serijah merjenja pa teodolit Wild T1 (Bartington DI-magnetometer Mag-01H) s filtri za opazovanje sonca. Merjenje časa smo izvedli s pomočjo signala GPS s protonskim magnetometrom GSM-19.

Absolutna merjenja vrednosti komponent geomagnetnega polja

V obdobju od 26. do 29. septembra 2008 smo izvedli absolutna merjenja komponent geomagnetnega polja na točki absolutnih merjenj na geomagnetni referenčni točki na Predmeji. Uporabljena metoda zajema merjenje komponente D, I in F geomagnetnega polja, z uporabo DI-magnetometra in protonskega preciznega magnetometra.

Za absolutna merjenja kotnih elementov geomagnetnega polja, deklinacije D, inklinacije I in za merjenje totalne intenzitete vektorja geomagnetnega polja je uporabljen naslednji protokol:

- snemanje totalne intenzitete vektorja geomagnetnega polja na točki absolutnih merjenj na geomagnetni referenčni točki v časovnem intervalu 10 minut (pred absolutnimi merjenji),
- če vremenske razmere dopuščajo, se izvede astronomsko opazovanje sonca,
- opazovanje kotov referenčnih oznak / fiksnih točk v prvi krožni legi (pred absolutnimi merjenji),
- merjenje kotov deklinacije v štirih položajih; koti deklinacije se odčitavajo v trenutku (hh : mm), ko na teodolitu DI-magnetometru flux-gate nastavimo amplitudo v totalni intenziteti $\Delta F = \pm 0.00$ nT (zero read method) v trenutku (hh : mm),
- opazovanje kotov referenčnih oznak / fiksnih točk v drugi krožni legi (po absolutnih merjenjih),
- izračunavanje srednje vrednosti kota deklinacije D s štirih položajev,
- nastavljanje teodolita DI magnetometra v položaj magnetnega meridiana tako, da se na horizontalnem krogu nastavi srednja vrednost kota deklinacije,
- opazovanje kota inklinacije I na vertikalnem krogu v štirih položajih: koti inklinacije se odčitavajo v trenutku (hh : mm), ko na DI-magnetometru flux-gate nastavimo amplitudo v totalni intenziteti $\Delta F = \pm 0.00$ nT (angl. zero read method) v trenutku (hh : mm),
- izračun srednje vrednosti kota inklinacije štirih opazovanj.

Serije absolutnih opazovanj se izvedejo v jutranjih in popoldanskih urah, ko je najmanjši vpliv korekcije na dnevno variacijo na absolutna in bazna merjenja. Na točki absolutnih merjenj na geomagnetni referenčni točki na Predmeji sta bili vsak dan, dokler so trajale kontinuirane meritve dnevnih variacij, izvedeni dve seriji absolutnega merjenja. Protokol merjenja kotov deklinacije D in inklinacije I se je v drugi seriji ponovil. Po opravljenih meritvah deklinacije in inklinacije se je izvedla še meritev vektorja totalne intenzitete magnetnega polja v časovnem intervalu 10 minut.

Zaključek

Geomagnetna referenčna točka na Predmeji je odmaknjena od vseh večjih izvorov motenj v magnetnem polju. Za enostaven dostop do točke se lahko uporabi mreža regionalnih in lokalnih poti. Leži v magnetno mirnem in homogenem območju, kar so pokazala merjenja gradienta totalne intenzitete magnetnega polja na mikrolokaciji referenčne točke.

Prve meritve dnevnih variacij komponent geomagnetnega polja (X, Y, Z in F) na geomagnetni referenčni točki na Predmeji so pokazale glavne karakteristike vektorja geomagnetnega polja. V podlagi terena so prisotni sloji apnenca. Ti povzročajo kratkoperiodične šume v periodi mirne geomagnetne aktivnosti, ki jih v signalu dnevnih variacij lahko opredelimo tudi kot lokalne karakteristike signala. Vektor geomagnetnega polja na geomagnetni referenčni točki na Predmeji ni kontaminiran z variacijami, ki so posledica nehomogenosti geofizičnih parametrov geoloških formacij, niti ni kontaminiran z magnetnimi šumi umetnih izvorov.

Predmeja je izpolnjevala osnovne pogoje, ki so bili postavljeni za izbor lokacije za geomagnetno referenčno točko, na kateri so bila izvedena trokomponentna merjenja in snemanja dnevnih variacij geomagnetnega polja. Dnevne variacije, registrirane na geomagnetni referenčni točki pri dani morfologiji in strukturi, se lahko primerjajo s spreminjanjem dnevnih variacij komponent geomagnetnega polja na geomagnetnih observatorijih srednjih geomagnetnih širin.

Literatura:

- WIENERT, K.A. *Notes on geomagnetic observatory and survey practice*. Earth sciences. Brussels: UNESCO, 1970.
- JANKOWSKI, J. SUCKSDORFF, C. *IAGA Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice*. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, 1996. ISBN: 0965068625.
- NEWITT, L.R. BARTON, C.E. BITTERLY, J. *IAGA Guide for Magnetic Repeat Station Surveys*. International Association of Geomagnetism and Aeronomy, 1997. ISBN: 0965068617.
- Intermagnet Technical Reference Manual*. Version 4.2. Edited by: Benoît St-Louis. Denver (CO, US): U.S. Geological Survey; Denver Federal Center, 2004. Available also from Internet in PDF format: <http://www.intermagnet.org/im_manual.pdf>.
- Geomagnetics for Aeronautical Safety: A Case Study in and around the Balkans*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. 1 edition. Editors Jean L. Rasson and Todor Delipetrov. Dordrecht (NL): Springer, 2006. ISBN: 1402050240.
- MIHAJLOVIĆ, J. Spomenko. *Morfologija varijacija geomagnetskog polja registrovanih na Geomagnetskoj opservatoriji Grocka u periodu 1958 - 1990 godine*. Monograph in Serb language. Beograd: Geomagnetski institut Grocka, 1996. ISBN: 8682725010.
- RIKITAKE, Tsuneji. *Developments in solid earth geophysics 2: Electromagnetism and the earth's interior*. Chapter 19. Conductivity anomaly in the crust mantle. Amsterdam; London; New York: Elsevier Publishing, 1966. ASIN: B0006BMSSA.