

UDK 550.384.3(497.5):537.67:528.024.8

Hrvatska geomagnetska mreža sekularnih točaka

Mario BRKIĆ¹, Danijel ŠUGAR², Milan REZO³,
Danko MARKOVINOVIĆ⁴, Tomislav BAŠIĆ⁵ – Zagreb

Prikazana je uspostava mreže primarnih sekularnih geomagnetskih točaka na teritoriju Republike Hrvatske. Točke za istraživanje sekularne varijacije projektirane su sukladno preporukama Coordination Committee for Common European Repeat Station Surveys, kriterijima International Association of Geomagnetism and Aeronomy – IAGA te iskustvima europskih zemalja. Konačne lokacije sekularnih točaka izabrane su evaluacijom kriterija na samom terenu. U tu svrhu razvijene su i testirane metode određivanja gradijenata totalnog intenziteta uključujući potrebnu programsku podršku. Iz ispitivanja različitih materijala uslijedio je izbor kamene stabilizacije. Točke mreže stabilizirane su ukopavanjem stabilizacije standardnim geodetskim postupcima. Status svake točke mreže dokumentiran je obrascima Položajnog opisa i Geomagnetskih parametara.

Ključne riječi: geomagnetska mreža, sekularna točka, geomagnetski model, gradijenti totalnog intenziteta, stabilizacija.

1. Geomagnetske mreže

Sustavna geomagnetska izmjera nacionalnog teritorija pretpostavlja postojanje mreža *primarnih* i *sekundarnih* sekularnih točaka te mnogo gušće mreže *geomagnetskih točaka* površinske vektorske izmjere. Te se točke pri izmjeri koriste *pomoćnim točkama* te *orijentacijskim točkama*, a za redukciju opažanja oslanjaju se na *geomagnetski opservatorij* i/ili mrežu *variometarskih postaja* (Newitt i dr. 1996). Pojam *sekularna* ili *ponavljana geomagnetska točka* (engl. *geomagnetic repeat station*) odnosi se na točku na fizičkoj površini Zemlje, na kojoj se periodično izvode mjerenja geomagnetskih elemenata radi određivanja *sekularne varijacije*. Ta dugodobna promjena dana je prvom vremenskom derivacijom *normalnog* polja (koje uključuje doprinose glavnog polja, remanentni magnetizam

¹ doc. dr. sc. Mario Brkić, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb

² Danijel Šugar, dipl. ing., Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb

³ Mr. sc. Milan Rezo, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb

⁴ Mr. sc. Danko Markovinović, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb

⁵ Prof. dr. sc. Tomislav Bašić, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb

kore te magnetizam kore induciran glavnim poljem) i obično je izražena kao *godišnja promjena* vrijednosti geomagnetskog elementa. Kontinuitet opažanja geomagnetskog polja na nekom području osigurava sekundarna sekularna točka kao zamjenska u slučaju uništenja, oštećenja ili magnetskog onečišćenja *primarne* točke. Geomagnetske točke površinske izmjere vektorskog polja (engl. *vector field ground-surveys*) koriste se pak isključivo za njegovo prostorno kartiranje. Pomoćna točka, koja služi kao stajalište *protonskog precesijskog magnetometra* (PPM), omogućuje istovremeno opažanje deklinacije (D) ili inklinacije (I) i totalnog intenziteta (F) geomagnetskog polja. Radi potrebe prostorne orijentacije mjernog instrumenta, nemagnetičnog teodolita, pri apsolutnom opažanju deklinacije i inklinacije, potrebno je odrediti dogledive referentne ili orijentacijske točke. Ne zaboravimo tu ni permanentne opservatorije odnosno variometre, koji registriraju promjene geomagnetskih elemenata u vremenu, te tako čine bitnu komponentu u geomagnetskoj izmjeri jer daju korekcije za kratkotrajne, tranzientne promjene polja (engl. *transient field variation*). Uspostava, održavanje geomagnetske mreže te izmjera podrazumijeva odgovarajuću dokumentaciju statusa mreže i izvješćivanje.

2. Kriteriji mreže sekularnih točaka

Navedimo sada temeljne kriterije uspostave geomagnetske sekularne točke opisane u (Newitt i dr. 1996). *Vrijednosti magnetskih elemenata trebaju biti reprezentativne za regiju*. Magnetske anomalije uzrokovane remanentnom magnetizacijom kore gotovo su nepromjenjive u vremenu i ne utječu na sekularnu varijaciju. Ipak, prisutnost velikih magnetskih anomalija može upućivati na nehomogenu električnu vodljivost podpovršine. *Podpovršina u okolnoj regiji trebala bi biti električki homogena*. Kao dominantni izvori nehomogenosti električne vodljivosti izdvajaju se velika mora i oceani. *Geomagnetsko polje na određenoj lokaciji ne bi smjelo biti pod utjecajem magnetskih anomalija uzrokovanih geološkim strukturama*. Horizontalni i vertikalni gradijenti totalnog intenziteta na sekularnoj točki i oko nje moraju biti manji od nekoliko nT po metru. U slučaju prihvatljivih gradijenata (< 5 nT/m) potrebna *položajna točnost* je unutar 10 cm, a inače unutar milimetra. Treba izbjegavati *civilizacijske izvore* magnetskih polja. *Orijentacijske točke* jasno su vidljivi dominantni objekti udaljeni najmanje 200 m i ravnomjerno raspoređeni po horizontu. Uobičajeno je da su to već postojeće točke trigonometrijske mreže i/ili novostabilizirane i GPS-om (*Global Positioning System*) određene točke. Postizanje *visoke točnosti* (realno oko 5 nT po komponentama polja ili oko 1' za D i 0,5' za I) najvažnije je pitanje prilikom mjerenja. *Pomoćne točke* moraju zadovoljavati većinu uvjeta kao i primarne. Uz to, prilikom uspostave moraju se izvesti i mjerenja razlika između postaja tako da se opažanja na pomoćnoj postaji mogu reducirati na primarnu postaju. Kada se stabilizira nova sekularna točka, poželjno je postavljanje i *sekundarne točke*, dovoljno udaljene od primarne tako da ne postoji opasnost od njihova uništenja ili kontaminacije u isto vrijeme. Mjesta sekularnih točaka trebala bi biti *uporabljiva* nekoliko desetljeća. Sekularna točka mora biti *trajno označena*, obično stupom, brončanom pločom ili klinom postavljenima u betonu, a može biti i trajno urezana u stijenu. Materijal upotrijebljen za izgradnju stupa postaje ili oznake na tlu mora biti što je više mogu-

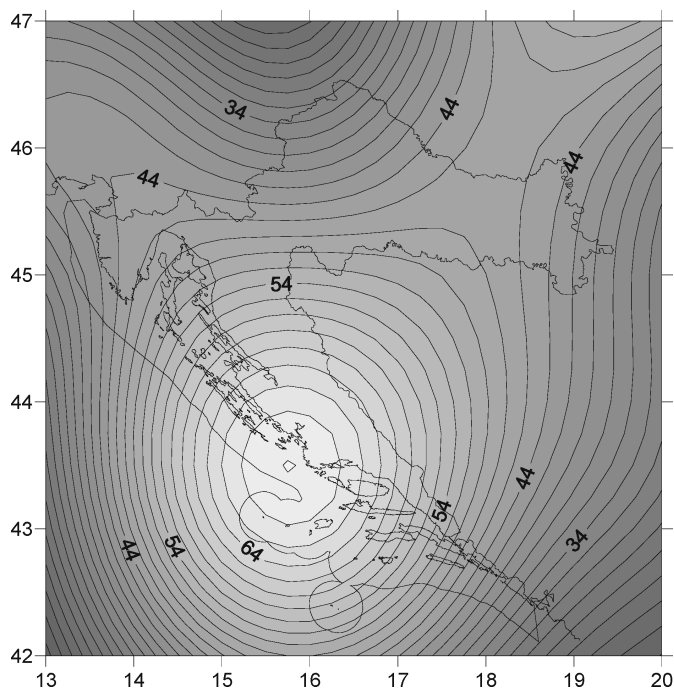
će *nemagnetičan*. Ako je moguće, točke općenito treba postavljati na takvim lokacijama kojima je u bilo koje doba godine omogućen što jednostavniji *pristup*, a samim time i transport opreme.

Kao kriterij uspostave mreže *International Union of Geodesy and Geophysics – IUGG* preporučuje *razmak* točaka od oko 200 km. Na radionici u veljači 2003. godine u *Adolf Schmidt-Observatory for Geomagnetism Niemegek* (URL1) predložena je poželjna minimalna gustoća od jedne točke na 15 000 km², odnosno srednja udaljenost od približno 125 km. Uz navedeno, odlučeno je da mreža pokriva cijeli državni teritorij i tako osigura dobru interpolaciju podataka. U svrhu potpore zajedničkog istraživanja, *Coordination Committee for Common European Repeat Station Surveys* 2003a i 2003b donio je preporuke za datum prve europske izmjere u 2004. godini te dvogodišnjeg intervala ponavljanja izmjere. Tom smo se prilikom i mi obvezali obaviti izmjeru 2004. godine.

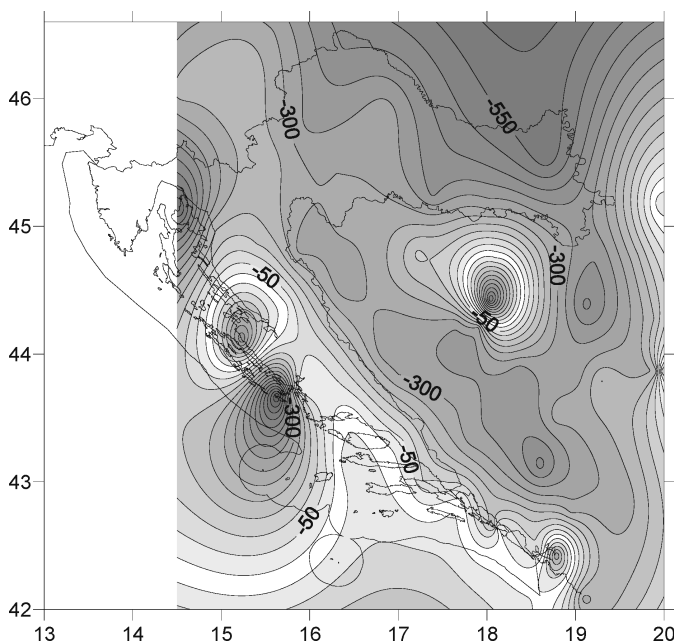
3. Projektiranje mreže sekularnih točaka

Nacionalne mreže europskih zemalja većinom se temelje na naprednom poznavanju geomagnetskog polja (vidi npr. Schulz i dr. 1997, Korte i Fredow 2001, Istituto Nazionale di Geofisica 1995, Cotichia i dr. 2001, Kovács i Körmendi 1999 te URL1). Nažalost, saznanja o izmjerama, geomagnetskim anomalijama i električnim vodljivostima na prostoru Hrvatske nedostupna su. Budući da su točni položaji i položajni opisi geomagnetskih točaka bivše države također nepoznati, a da trigonometrijske, gravimetrijske i GPS točke općenito ne zadovoljavaju gornje kriterije, dizajnirana je potpuno nova mreža sekularnih točaka.

U idealnom bi slučaju uspostavi geomagnetske mreže prethodilo detaljno kartiranje polja. S iznimkom mjerenja totalnog intenziteta u srednjem dijelu sjeverne Hrvatske koje je krajem 2003. godine poduzeo Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, GO PMF (*prof. dr. Vladis Vujnović, priv. komunik.*), raspoloživi geomagnetski podaci korišteni pri dizajnu mreže datiraju od sredine XX. stoljeća ili su čak i stariji (vidi npr. Brkić i dr. 2003b). Poznavanje kratkovalnog magnetskog polja jedan je od uvjeta uspostave sekularne točke. Je li raspoloživi model magnetskog polja litosfere iskoristiv prilikom dizajna mreže? Nažalost, litosferski model MF3 (dan jedino za epohu 2001), nastao u prvom redu na temelju podataka *CHAMP*-a (*CHALLENGING Minisatellite Payload*), daje samo dio dugovalnog litosferskog magnetskog polja, valnih duljina od oko 3000 do oko 500 km, tj. od 15-og do 90-og stupnja razvoja u red sfernih harmonika (URL2). Pomoću koeficijenata razvoja te modificiranoga *GEOMAG* fortranskog programa (Quinn 2000) izrađeni su MF3 modeli za teritorij Hrvatske kao u (Brkić i dr. 2003a). Iako je doprinos razmatranog polja litosfere zanemariv (maksimalno 70 nT) u ukupnom polju, MF3 model gradijentom u akvatoriju Šibenika (slika 1) asocira na povijesne podatke Mokrovića i Goldberga. Međutim, usporedbe mjerenja sa (satelitskim) modelima općenito treba uzeti s rezervom, budući da sami modeli drastično ovise o metodama, korekcijama i interpretacijama (Maus 2002). Posebice u našem slučaju usporedbe MF3 modela i povijesnih podataka nisu pouzdane jer se ne uspoređuju istovrsne koordinate, epohe, valne duljine, odnosno visine podataka. Dalje je računani IGRF globalni model za epohu 1927,5 i oduzet od izvornih Mokrovićevih podataka totalnog intenziteta (slika 2). Tako dobivena karte anomalija totalnih intenziteta upućuje na (1)



Slika 1. Totalni intenzitet [nT] na 8. km visine, litosferski model MF3, epoha 2001,0.



Slika 2. Anomalije totalnog intenziteta [nT], epoha 1927,5.

po sekularnu točku povoljna područja malih iznosa i gradijenata anomalija, te (2) najveći gradijent u Hrvatskoj između Zadra i Žirja iznosa 1 nT/51 m. Sličan maksimalni gradijent, duboko unutar IAGA standarda, daje i karta razlika totalnih intenziteta mjerenja GO PMF u srednjem dijelu sjeverne Hrvatske i IGRF modela za epohu 2003,8. Iznosi gradijenata općenito ovise o rasteru mreže, tako da će lokalno ispitivanje gradijenata biti presudno za konačan izbor točke. Usporedba totalnih intenziteta GO PMF i Mokrovića iz 1928. godine općenito potvrđuje potrebu za detaljnim i sustavnim kartiranjem polja (tj. za mrežom geomagnetskih točaka).

Iz tako identificiranih povoljnih područja izuzeti su lokaliteti s geološkim šumom. Prema poznatim podacima, ležišta i pojave željeznih ruda na području Hrvatske nejednoliko su raspršena i s geološkog stajališta neočekivano brojna (Bašić i dr. 2002). Takva obilježja nose npr. dijelovi Gorskoga kotara i Like. Magnetske su anomalije na tim mjestima uzrokovane magnetitom, dok su na Velebitu, u Gorskom kotaru, Samoborskom gorju, Banovini (Petrova gora, Zrinska gora) i susjednom Srijemu (Fruška gora) isti učinci izazvani povećanim koncentracijama hematita. Pojave i manja ležišta limonita znana su na Trgovskoj i Petrovoj gori, te u Gorskom kotaru. U slavonskim gorama (npr. Papuk, Psunj) i na Fruškoj gori magnetska svojstva izazvana su granatima (almadin, spesartin), a na Fruškoj gori još i pojavom kromita. Jugozapadno od Ričica u Lici uočena je pozitivna magnetometrijska anomalija za koju se pretpostavlja da je nastala putem magmatske aktivnosti. Anomalna područja uočena su i na prostoru Jadranskog mora, gdje se ekstremi javljaju nad Maunskim kanalom te vulkanskim otocima Brusnik i Jabuka (Goldberg i dr. 1952).

S obzirom na uvjet električne homogenosti izabrana područja sekularnih točaka udaljena su 10-ak km od mora odnosno vodenih površina, gdje je to moguće (Wiener 1970). Pri projektiranju sekularnih točaka izolirani su i veliki izvori civilizacijskog šuma (postojeća i planirana elektroenergetska postrojenja i vodovi, pruge i prometnice itd.), tj. takvi koji su uočljivi na službenim TK 1:25 000 i ortofoto snimkama, te na kartama prostornog uređenja. Imajući u vidu što bolju interpolaciju mjerenja, definirane su makrolokacije primarnih sekularnih geomagnetskih točaka. Konačna odluka konkretnog položaja točaka mreže slijedila je terenskom evaluacijom kriterija, gdje je kritično bilo određivanje gradijenata totalnog intenziteta polja.

4. Metode određivanja gradijenata

Dva su razloga određivanja gradijenata (*Dr. Juergen Matzka, priv. komunik.*): (1) pretpostavimo točnost mjerenja instrumentom 0,5 nT i točnost ponovnog postavljanja senzora u položaj za opažanje od 10 cm. Ta neodređenost položaja senzora odgovara gradijentu polja od 5 nT/m i valja ju izbjeći; (2) postojanje magnetskih anomalija u blizini sekularne točke. Anomalije su problem ako su promjenjive u vremenu. To je slučaj npr. kada se komadići željeza nalaze par metara od točke. Tijekom desetljeća ti komadići oksidiraju, što posljedično daje krivu sekularnu varijaciju.

Prostorna promjenjivost geomagnetskog polja u blizini točke ispitivana je pomoću *GEMSyS GSM-19G Overhauser Protonsko Precesijskog Magnetometra* (PPM), odnosno *gradiometra* (ako se koriste dva senzora), uređaja nužnog pri uspostavi i održavanju mreže.

Po pronalazhenju potencijalne lokacije točke najprije se izvodi grubo ispitivanje lokacije *metodom križa*: očitavaju se vrijednosti polja i vertikalnih gradijenata u kardinalnim smjerovima (N-S i E-W), na udaljenostima od približno 1 m (tj. jednog koraka), sve do 10-ak m od središnje točke. Po prihvaćanju rezultata metode križa (gradijenti manji od 5 nT / 1 m), PPM se ostavlja nakratko u baznom načinu rada. Time se dobivaju *kratki magnetogrami totalnog intenziteta* koji se iscrtavaju i statistički obrađuju. Mirno polje i nepostojanje neobičnih skokova na magnetogramima može potvrditi odsutnost civilizacijskog šuma. U slučaju malih poremećaja tj. malih K-indeksa taj način može pokazati prikladnost lokacije, tako da se dalje može pristupiti sustavnoj izmjeri gradijenata.

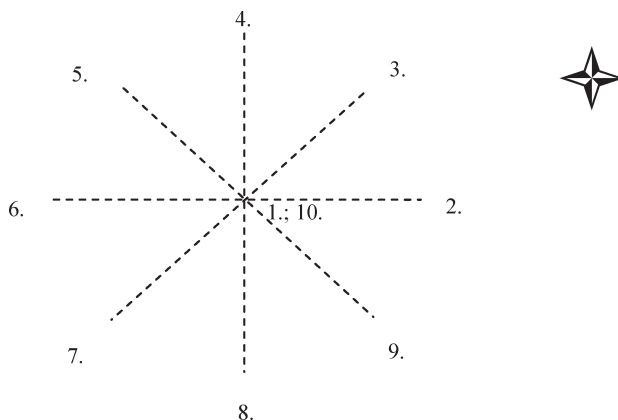
Razvijena su dva pristupa sustavnom određivanju gradijenata, ovisno o tome koliko je raspoloživih uređaja. Prvi pristup pretpostavlja uporabu jednoga gradiometra i jednoga baznog magnetometra, koji pritom služi za vremensku redukciju opažanja. Uz pretpostavku brze izvedbe nizova mjerenja gradijente je moguće odrediti samo jednim gradiometrom. Dalje je prikazan taj drugi pristup, koji uključuje četiri izvorno zamišljene metode s odgovarajućim fortranskim programima. Pri određivanju gradijenata nužno je držati se navedenog redoslijeda, budući da neprihvaćanje lokacije kao posljedice rezultata neke metode isključuje ispitivanje preostalim metodama.

Metoda određivanja vertikalnoga gradijenta iznad geomagnetske točke

Najprije se određuju vertikalni gradijenti totalnog intenziteta F iznad geomagnetske točke tako da se opažaju vrijednosti polja vertikalno iznad oznake točke, od 20-og cm iznad tla sve do 200 cm visine, na intervalima po 20 cm. Prvo i zadnje opažanje izvode se na 20-om cm, a pomoću njih određuju se koeficijenti linearnog odnosa $F = at + b$, koji se koristi za predikciju F u početnoj točki za sve sljedeće trenutke opažanja. Opažanja se reduciraju s obzirom na početnu točku tako da vrijedi $F_{\text{korigirani}} = F_{\text{opažani}} - F_{\text{predicirani}} + \text{datum}$, gdje je datum srednja vrijednost svih opažanja. Da bi pretpostavka linearnog odnosa vrijedila, sva opažanja valja izvesti što brže, unutar par minuta. Pri obradi mjerenja primjenjuje se program QUICKPOINTZGRAD. Kao kriterij prihvaćanja lokacije definiran je gradijent manji od 3 nT/m. Datoteka rezultata sadrži zapise mjerenja totalnog intenziteta i pripadne kvalitete signala, geomagnetski datum, mjerenja totalnog intenziteta korigirana za vremensku varijaciju, temeljnu statistiku korigiranih vrijednosti totalnog intenziteta, izračunane gradijente totalnog intenziteta te trajanje opažanja. U slučaju neprihvaćanja rezultata nužno je potražiti novu lokaciju.

Metoda određivanja gradijenata okolice geomagnetske točke

Tom se metodom unutar polumjera 10 m određuju horizontalni i vertikalni gradijenti totalnog intenziteta. Prvo i zadnje opažanje gradiometra izvode se na središnjoj točki i služe pri vremenskoj redukciji (slično kao kod prethodne metode), a preostala očitavanja izvode se u E, NE, N itd. točkama (slika 3). Sva opažanja



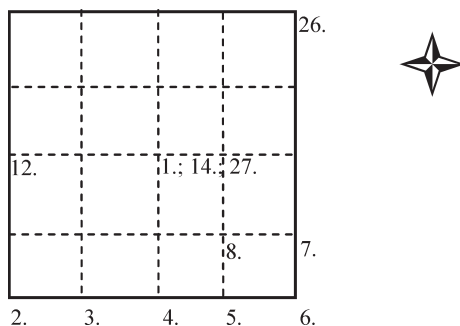
Slika 3. Metoda određivanja gradijenata okolice geomagnetske točke.

valja izvesti što brže, unutar par minuta. Pri obradi primjenjuje se program QUICKAREAGRAD. Kao kriterij prihvaćanja definiran je gradijent manji od 50 nT unutar polumjera 10 m oko točke. U slučaju neprihvaćanja rezultata nužno je potražiti novu lokaciju.

Metoda određivanja gradijenata unutrašnje mreže

Kod te metode određuju se horizontalni i vertikalni gradijenti totalnog intenziteta u iskolčenoj mreži veličine 2 m × 2 m (slika 4) oko geomagnetske točke.

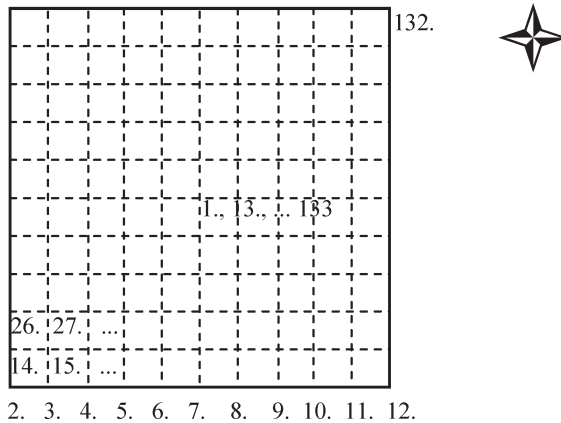
Prvo je opažanje gradiometra na središnjoj, geomagnetskoj točki, 2. do 6. opažanje izvode se od W prema E po S-rubu mreže svakih $\frac{1}{2}$ m, 7. do 11. opažanje u redu pomaknutom za $\frac{1}{2}$ m prema N, u smjeru E prema W, 12. do 16. opažanje izvode se od W prema E itd., a zadnje (27.) opažanje ponovo je na središnjoj točki. Niz od 1. do 14. mjerenja, pa od 14. do 27. valja izvesti što brže tako da mogu poslužiti za vremensku redukciju. Mjerenja se obrađuju programom QUICKINNGRIDGRAD. Prihvatljivi gradijenti moraju biti manji od 3 nT/m. U slučaju neprihvaćanja rezultata nužno je potražiti novu lokaciju.



Slika 4. Metoda određivanja gradijenata unutrašnje mreže.

Metoda određivanja gradijenata vanjske mreže

Kod te metode određuju se horizontalni i vertikalni gradijenti totalnog intenziteta u iskolčenoj mreži veličine $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ (slika 5). Prvo opažanje gradiometra izvodi se na samoj geomagnetskoj točki, sljedećih 11 svakih 1 m u redu od W prema E, pa 13. opažanje na središnjoj točki, sljedećih 11 u novom redu pomaknutom za 1 m prema N, pa 25. opažanje na geomagnetskoj točki itd., a zadnje, 133. opažanje ponovo na geomagnetskoj točki. Ta metoda pretpostavlja da se nizovi od 1. do 13. mjerenja, pa od 13. do 25. itd. izvode što brže tako da mogu poslužiti za vremensku redukciju. Rezultate mjerenja daje program QUICKOUTGRIDGRAD. Kao kriterij prihvaćanja definiran je gradijent manji od 3 nT/m . U slučaju neprihvaćanja rezultata nužno je potražiti novu lokaciju.



Slika 5. Metoda određivanja gradijenata vanjske mreže.

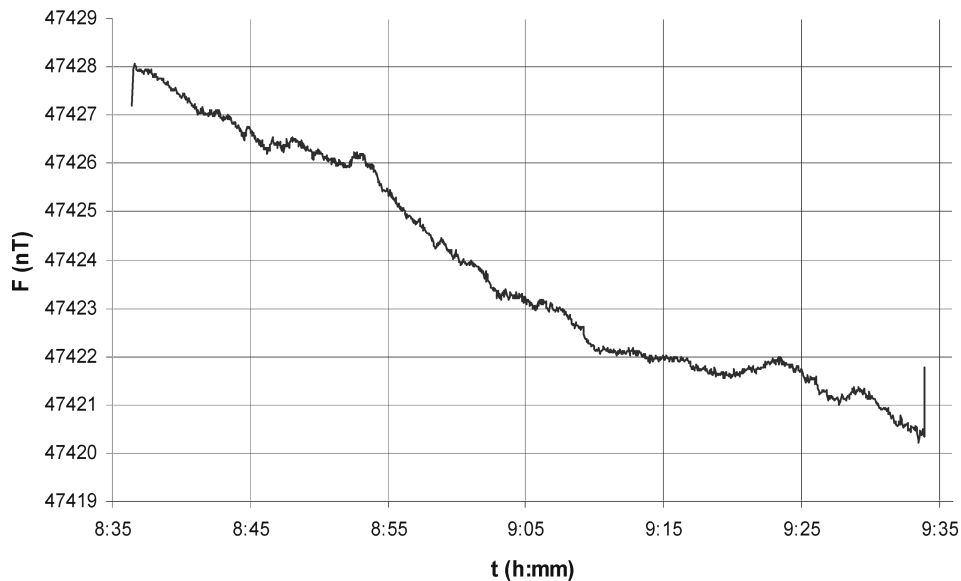
5. Uspostava mreže sekularnih točaka

Unutar projektirane makrolokacije, konkretno mjesto stabilizacije sekularne točke valjalo je potražiti na polju ili, po mogućnosti, košenoj livadi, napuštenoj ili u vlasništvu države. Takva mjesta bila su provjerena za izvore civilizacijskog šuma, kao što su dalekovodi, transformatori, (ne)elektrificirane pruge, automobili, bliske žičane ograde, teško uočljivi metalni predmeti u blizini, smetlišta i odlagališta otpada i sl. (vidi npr. Newitt i dr. 1996, Jankowsky i Sucksdorff 1996, Gregl 1997, ili Breiner 1973).

Imajući u vidu i *osobnu magnetsku higijenu*, tj. potpunu nemagnetičnost odjeće i obuće te ostalih osobnih predmeta, na potencijalnoj lokaciji određivani su magnetogrami i gradijenti (slike 6 i 7). To se u pravilu radilo rano ujutro ili kasno navečer, a to je isto tako i doba dana kada valja provoditi D-I-F izmjeru. Određivanje gradijenata kod svih osam sekularnih točaka rezultiralo je zanemarivo malim vrijednostima. Tablica 1 ilustrira vrijednosti gradijenata za točku u Pokupskom. Napomenimo da je mjerenjima uvijek prethodilo razmatranje prognoze Sunčeve

aktivnosti, prognoza geofizičke aktivnosti i procijenjenoga Kp-indeksa poremećaja (URL3).

Pokupsko 19.07.2004.



Slika 6. Kratki magnetogram u Pokupskom pokazuje dnevnu varijaciju totalnog intenziteta. Na početku i na kraju mjerenja vidljiv je učinak približavanja operatera PPM-u.



Slika 7. Određivanje gradijenata: (a) vertikalnoga iznad točke, (b) unutrašnje i (c) vanjske mreže.

Tablica 1. *X, Y i Z gradijenti totalnog intenziteta vanjske mreže sekularne točke u Pokupskom.*

X-GRAD F [nT/m]										
-0,05	0,15	0,08	-0,63	-2,60	2,76	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,45	-0,09	-0,07	0,09	0,95	-1,30	0,09	0,05	0,00	-0,03	
0,36	0,02	-0,11	0,50	-1,08	0,05	-0,03	0,09	-0,11	0,27	
0,03	0,35	0,08	1,27	-1,84	-0,21	0,12	-0,02	-0,02	0,42	
-0,05	-0,17	0,22	0,66	-1,14	0,55	-0,43	0,23	0,14	-0,22	
0,10	-0,10	0,49	0,29	-1,20	-0,14	0,25	0,12	0,07	-0,16	
0,29	0,04	0,14	0,86	-1,16	-0,25	-0,25	0,36	0,20	0,12	
-0,05	-0,11	-0,09	0,20	0,57	1,78	-2,80	-0,22	0,01	0,54	
0,13	0,17	-0,08	-0,07	0,02	0,08	1,59	-1,74	-0,34	0,05	
0,20	-0,15	0,18	-0,15	0,16	0,01	-0,01	1,25	-1,57	0,05	
-0,16	0,12	0,18	-0,91	0,87	-0,02	0,11	0,21	0,13	1,17	
Y-GRAD F [nT/m]										
0,38	-0,12	0,11	0,26	-0,46	-4,01	0,05	-0,04	-0,09	-0,09	-0,07
-0,15	-0,06	-0,16	-0,11	-0,52	1,51	0,16	0,28	0,24	0,36	0,06
0,11	0,44	0,11	-0,09	-0,86	-0,09	0,17	0,02	0,13	0,04	-0,11
-0,14	-0,07	0,45	0,32	0,92	0,21	-0,55	0,00	-0,25	-0,41	0,22
0,12	-0,03	-0,10	-0,38	0,00	0,05	0,74	0,07	0,17	0,24	0,18
0,36	0,18	0,05	0,40	-0,17	-0,20	-0,09	0,41	0,18	0,05	-0,23
-0,53	-0,20	-0,05	0,18	0,84	-0,89	-2,92	-0,37	0,21	0,39	-0,02
0,11	-0,08	-0,36	-0,37	-0,10	0,45	2,14	-2,24	-0,72	-0,37	0,11
0,14	0,07	0,39	0,13	0,20	0,06	0,13	1,73	-1,27	-0,04	-0,03
-0,02	0,35	0,09	0,09	0,85	0,14	0,18	0,06	1,10	-0,60	-1,73
Z-GRAD F [nT/m]										
-0,17	0,21	0,17	0,66	0,30	-2,82	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08
0,16	0,33	0,16	0,03	0,10	0,33	0,05	0,16	0,41	-0,30	-0,30
0,12	0,19	0,82	0,28	0,25	0,01	0,10	-0,03	0,82	-0,01	0,55
-0,19	0,21	-0,21	0,10	0,85	-0,05	0,44	0,33	0,53	0,30	0,50
0,50	0,39	0,03	0,00	0,03	-0,69	0,53	-0,08	0,92	0,17	0,14
0,12	0,37	0,42	0,00	0,35	-0,23	0,19	0,17	0,07	0,25	0,46
-0,14	0,14	0,35	0,14	-0,05	-0,33	-0,16	-0,80	-0,41	-0,01	-0,14
0,01	0,37	-0,07	-0,87	-0,05	0,33	1,92	-0,21	-0,08	0,32	0,16
-0,23	0,58	-0,10	0,17	-0,35	-0,25	-0,50	0,58	0,19	-0,23	-0,23
0,01	-0,05	-0,76	0,08	-0,23	0,17	-0,26	0,21	0,25	-0,53	-0,60
0,32	-0,66	-0,05	0,46	-1,19	-0,44	-0,32	-0,03	0,19	-0,44	0,37

Stabilizacija

Za stabilizaciju sekularne točke kritično je bilo izabrati nemagnetičan materijal. ‘Gruba’ metoda ispitivanja nemagnetičnosti materijala sastojala se u približenju senzora materijalu na prethodno utvrđenom nemagnetičnom tlu. Ispitivane betonske stabilizacije pokazivale su promjene od više desetaka nT u odnosu na ‘mirnu’ okolinu, tipične za magnetsku kontaminaciju, te su stoga odbačene. S druge strane, niske vrijednosti magnetskog susceptibiliteta *vapnenca* upućivale su na *kamenu stabilizaciju* kao odgovarajuće rješenje. Kao najkvalitetnije rješenje za predviđenu svrhu izabran je tvrdi vapnenac iz kamenoloma ‘*Kanfana*’ u središnjoj Istri. ‘Gruba’ ispitivanja pokazala su nemagnetičnost materijala (slika 8a), što je naknadno potvrđeno metodom određivanja gradijenata unutrašnje mreže, pri horizontalnom i vertikalnom položaju kamena (slika 8 b i c).



Slika 8. Ispitivanje nemagnetičnosti stabilizacije (a) ‘grubom’ metodom, (b) i (c) metodom određivanja gradijenata unutrašnje mreže.

Stabilizacija sekularne geomagnetske točke sastoji se iz bloka oblika kvadra dimenzija $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 60\text{ cm}$, mase $36,45\text{ kg}$, te dva podzemna centra dimenzija $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, mase $3,04\text{ kg}$, svi s urezanim križem na gornjoj plohi. Postupak stabilizacije i njezina opisa uobičajen je u geodetskoj praksi (slika 9). Opis stabilizacije sastavni je dio položajnog opisa točaka. Napomenimo još i to da je na svakom lokalitetu pijesak korišten pri stabilizaciji točke također ispitivan na nemagnetičnost.



Slika 9. Stabilizacija.

Dokumentacija

Jedinstveno imenovanje točaka sekularne mreže definirano je na sljedeći način:

##SV_PRM## primarna sekularna točka,
 ##SV_SEC## sekundarna sekularna točka,
 ##SV_AUX## pomoćna točka pridružena sekularnoj točki,
 ##SV_GOT## geomagnetska orijentacijska točka pridružena sekularnoj točki,

gdje vodeći ## označava redni broj sekularne točke, a završni ## redni broj primarne, sekundarne itd. točke.

Sukladno normama opisa geomagnetskih točaka, za svaku epohu i sekularnu točku, popunjava se niz obrazaca koji zajedno čine *Status geomagnetske točke*: položajni opis PRM sekularne točke (slika 10); položajni opisi GOT; položajni opis SEC se-

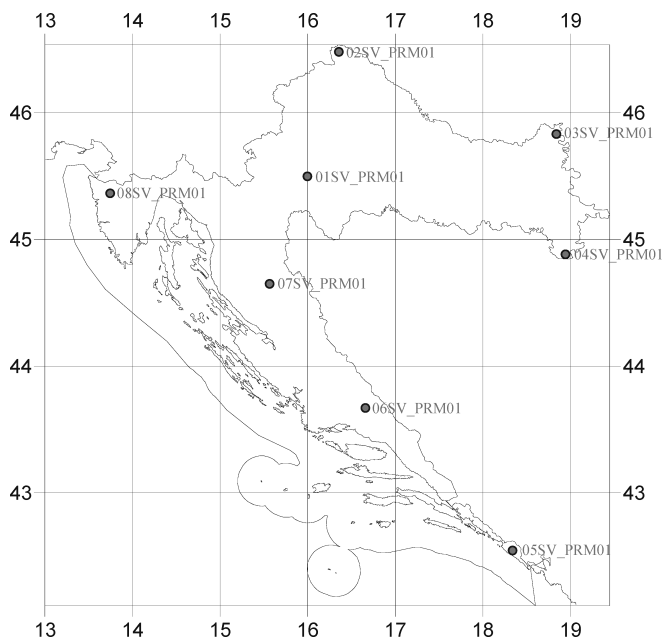
REPUBLIKA HRVATSKA Državna geodetska uprava		POLOŽAJNI OPIS GEOMAGNETSKE TOČKE	
Županija : Zagrebacka	TK 50	Ime geomagnetske točke	
Nasele - grad : Pokupsko	Karlovac 2 (370-2)	01SV_PRM01	
Mesto : Pokupsko			
Rudna : Lug			
Kopija karte M 1:50000		KOORDINATE (približne)	
		HR 1901 (Bessel 1841)	
		$\varphi = 45^{\circ} 28' 24''$ $\lambda = 15^{\circ} 59' 00''$ $H = 105 \text{ m}$ ETRS89 (GRS80) $\varphi =$ $\lambda =$ $H =$ m HTRS96/TM $y =$ m $x =$ m $h =$ m	
		Veze prema geomagnetskim orijentacijskim točkama (GOT)	
Stabilizacija kamen vapnenač 15 x 15 x 60 cm sa urezanim križem	Fotografija 	PRIMJEDBE:	
Stabilizirali: Brkić M., Rezo M., Šugar D. Dana: 19.07.2004. Opis izradio: Danijel Šugar, dipl. ing. geod.			

Slika 10. Položajni opis točke u Pokupskom.

kularne točke; položajni opis AUX točke; položajni opis referentne variometarske VAR točke ili opservatorija; te geomagnetski parametri opisa geomagnetske točke: gradijenti totalnog intenziteta F ; razlike geomagnetskih elemenata PRM i SEC točke; razlike totalnog intenziteta F za AUX i PRM (i SEC) točke; nizovi vremena, opažanih vrijednosti te pridruženih pogrešaka D , I F ; K -indeksi; visine na kojima se izvode D - I opažanja; reducirane D i I , te F ; geološki opis; te bilješke o fizičkom stanju točke i mogućim izvorima magnetske kontaminacije. Obrasce o Statusu sekularne točke valja popunjavati periodično, prilikom odnosno nakon svake izmjere geomagnetskog polja.

Geomagnetska mreža primarnih sekularnih točaka Republike Hrvatske

Stabilizirano je i dokumentirano ukupno osam primarnih sekularnih točaka (slika 11). Najmanji razmak susjednih točaka mreže iznosi 93 km, a najveći 183 km. Točke mreže primarnih sekularnih točaka definirane su nazivom, položajnim opisom i geomagnetskim parametrima:



Slika 11. Geomagnetska mreža primarnih sekularnih točaka Republike Hrvatske.

6. Zaključak

Definitivnu prikladnost neke sekularne točke tek treba ustanoviti periodičnim ispitivanjem gradijenata na točki i oko nje tijekom višegodišnjeg razdoblja. Primarne sekularne točke, zajedno s orijentacijskima, omogućit će određivanje sekularne varijacije odnosno godišnje promjene deklinacije periodičnim, preporučljivo dvogodišnjim izmjerama uz redukciju pomoću najbližih opservatorija. Međutim, do uspo-

stave hrvatskog opservatorija i/ili mreže variometarskih točaka, rezultate svih izmjera trebat će interpretirati s oprezom. Bilo da je namjera istraživati sekularnu varijaciju, ili kontinuirano obnavljati godišnju promjenu deklinacije na kartama, nužno je uspostaviti i sekundarne sekularne točke koje bi zamijenile primarne u slučaju njihova uništenja ili kontaminacije. Osim toga, za obnovu deklinacije na službenim (i vojnim) zemljovidima nužna je i izmjera na mnogo gušćoj mreži geomagnetskih točaka.

ZAHVALA. Autori zahvaljuju Državnoj geodetskoj upravi Republike Hrvatske na financiranju znanstveno-stručnog projekta "Osnovna geomagnetska mreža Republike Hrvatske – za potrebe službene kartografije – I. faza", u okviru kojega je nastao i ovaj rad.

Literatura

- Bašić, T., Brkić, M., Hećimović, Ž., Šljivarić, M., Markovinović, D., Rezo, M., Jungwirth, E., Viher, M. i Horvat, S. (2002): Osnovna mreža geomagnetske deklinacije Republike Hrvatske, – prethodna studija, Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, Institut za obrambene studije, istraživanja i razvoj, Zagreb.
- Brkić, M., Bašić, T. i Verbanac, G. (2003b): Geomagnetism in Croatia – a Historical Overview, predavanje održano 15. svibnja 2003. godine na Ludwig-Maximilians-Universität München, Geodetski list 2003, 183–194.
- Brkić, M., Hećimović, Ž. i Bašić, T. (2003a): Geomagnetna deklinacija na prostoru Hrvatske na temelju globalnih geomagnetskih modela, Geodetski list, 1, 1–15, Zagreb.
- Breiner, S. (1973): Applications manual for portable magnetometers, Geometrics, San Jose, California, USA.
- Coordination Committee for Common European Repeat Station Surveys (2003a): European repeat station surveys (URL1).
- Coordination Committee for Common European Repeat Station Surveys (2003b): Recommendations for European repeat magnetic station surveys (URL1).
- Coticchia, A., De Santis, A., Di Ponzio, Dominici, G., Meloni, A., Pierozzi, M. i Sperti, M. (2001): La Rete Magnetica italiana e la Carta Magnetica d'Italia al 2000.0, Estratto dal "Bollettino di Geodesia e Scienze Affini", Rivista dell'Istituto Geografico Militare, Anno LX, N. 4.
- Goldberg, J., Baturić, J., Mokrović, J. i Kasumović, M. (1952): Određivanje magnetske deklinacije u jugoslavenskom području Jadranskog mora 1949. Rasprava građa Inst. pov. prir.-matem. med. nauka Jugosl. akad. znan. umjetn., 1/2, 13–43, Zagreb.
- Gregl, T. (1997): Analiza kvalitete geomagnetskih istraživanja s obzirom na utjecaj dnevnih promjena i bliskih magnetskih materijala, disertacija, 147 str., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Istituto Nazionale di Geofisica (1995): Geomagnetism at the Istituto Nazionale di Geofisica Rome, Italy, 1991–1994 Activity Report (Prepared for 1995 IUGG Boulder, Colorado, USA)
- Korte, M. i Fredow (2001): Magnetic repeat station survey of Germany 1999/2000, Scientific Technical Report STR01/04, GeoForschungsZentrum Potsdam.

- Kovács, P. i Körmendi, A. (1999): Geomagnetic Repeat Station Survey in Hungary during 1994–1995 and the Secular Variation of the Field between 1950 and 1995. *Geophysical Transactions*, 42, 3–4, pp. 107–132.
- Jankowski, J., Sucksdorff, C. (1996): Guide for magnetic measurements and observatory practice, IAGA, Warsaw, Poland.
- Maus, S., Rother, M., Lühr, H. i Haak, V. (2002): Kartierung des Magnetfeldes der Lithosphäre mit CHAMP, *Zweijahresbericht GeoForschungsZentrum Potsdam*.
- Mokrović, J. (1928): Razdioba glavnih elemenata zemaljskog magnetizma u kraljevini Srba, Hrvata i Slovenaca. *Rad Geofiz. zavoda u Zagrebu*, 3–14, Zagreb.
- Newitt, L. R., Barton, C. E., i Bitterly, J. (1996): Guide For Magnetic Repeat Station Surveys, IAGA, Boulder, USA.
- Quinn, J. M. (2000): GEOMAG, National Geomagnetic Information Center U.S. Geological Survey.
- Schulz, G., Beblo, M i Gropius, M. (1997): The 1982.5 Geomagnetic Normal Field of the Federal Republic of Germany and the Secular Variation Field from 1965 to 1992, *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, Volume 49, Number 1.
- Wienert, K. A. (1970): Notes on geomagnetic observatory and survey practice, UNESCO.
- URL 1: <http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/GeoMag/eurepstat.html>
- URL 2: <http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/SatMag/me.html>
- URL 3: <http://sec.noaa.gov/today.html>

Croatian Geomagnetic Repeat Stations Network

The establishment of primary geomagnetic repeat stations on the territory of the Republic of Croatia was presented. Stations for secular variation study were designed in accordance to recommendations of the Coordination Committee for Common European Repeat Station Surveys, criteria of the International Association of Geomagnetism and Aeronomy – IAGA, as well as experiences of the European countries. Final locations of the repeat stations were determined by the field evaluation of the criteria. For that purpose, the total intensity gradients survey methods, along with required software, were developed. Following the testing of various materials, the rock monument was selected. The network points were setup by digging in the monument using standard geodetic procedures. The Status of the each network point was documented in Position Description and Geomagnetic Parameters forms.

Key words: geomagnetic network, repeat station, geomagnetic model, total intensity gradients, monument setup.