

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

V zbirki je izvirna različica izdajatelja.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

University  
of Ljubljana  
Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is a publisher's version PDF file.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Paliska, D., Čop, R., Fabjan, D., Drobne, S. 2010. Izbira lokacije za postavitve geomagnetnega observatorija v Sloveniji = Site selection for a permanent geomagnetic observation station in Slovenia. *Geodetski vestnik*, 54, 3: 469-480.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2010.03.469-480>  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/3814/>

Datum arhiviranja / Archiving Date: 16-10-2014

# IZBIRA LOKACIJE ZA POSTAVITEV GEOMAGNETNEGA OBSERVATORIJA V SLOVENIJI

SITE SELECTION FOR A PERMANENT GEOMAGNETIC OBSERVATION STATION IN SLOVENIA

*Dejan Paliska, Rudi Čop, Daša Fabjan, Samo Drobne*

UDK: 004.6:061.6:550.38:659.2:91

## IZVLEČEK

Raziskave na področju geomagnetizma lahko označimo kot prve raziskave na področju geofizike. Opazovanje geomagnetnega polja je bistvenega pomena za razumevanje temeljnih postopkov v središču Zemlje, njeni skorji in bližnji okolici planeta Zemlja. V prispevku je predstavljena metodologija izbire lokacije za postavitve geomagnetnega observatorija na ozemlju Republike Slovenije. Izbira temelji na večstopenjskem in večkriterijskem modelu odločitve. Prvi del je zasnovan v okolju GIS kot postopek analize in vrednotenja prostora ter opredelitve lokacije glede na predhodno postavljena merila. Nadaljnja analiza temelji na metodi utežne vsote, saj moramo upoštevati različne skupine parametrov, ki v končni oceni primernosti lokacije nimajo enakega pomena. Pri zasnovi modela je bil poseben poudarek na izločitvi območij, kjer je mogoče pričakovati višje ravni elektromagnetnega šuma. Na potencialno primernih območjih so bili opravljeni terenski ogledi in preliminarne meritve homogenosti gradienta totalne intenzitete magnetnega polja ter absolutne, bazne in trikomponentne meritve geomagnetnega polja.

## KLJUČNE BESEDE

geofizika, geomagnetizem, geografski informacijski sistemi (GIS), večkriterijsko odločanje, observatorij, izbira lokacije, kras

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.01

## ABSTRACT

The study of geomagnetic fields is one of the earliest studies in the field of geosciences. At present, measurement of the geomagnetic field is concerned with answering the fundamental questions about the Earth's deep interior, mantle conductivity, structure and the thermo-mechanical properties of its crust, its lithosphere and the near-Earth environment. This paper presents a method that addresses the problem of site selection for a new geomagnetic field observatory in the Republic of Slovenia. The method relies on a multi-stage multi-criteria decision model. The Geographic Information System (GIS) was used as a platform enabling the management of the criteria data, spatial analysis, cartographic modelling and production of map layers. Feasible areas were produced using a Boolean overlay, followed by the application of the multi-criteria evaluation (MCE) method on feasible areas to select the best one. Furthermore, preliminary measurements of geomagnetic fields were observed, including the measurement of the total-intensity gradient of the magnetic field vector, the measurement of the geomagnetic field at a base-point, as well as the absolute and the three component measurements of the geomagnetic field.

## KEY WORDS

geophysics, geomagnetism, geographic information systems (GIS), multi-criteria evaluation (MCE), observatory, site selection, karstic region

## 1 UVOD

Za potrebe opazovanja zemeljskega magnetnega polja na območju nekdanje Jugoslavije je bil leta 1956 postavljen geomagnetni observatorij v vasi Grocka v bližini Beograda. V njem so izvajali tudi vse stalne in občasne meritve geomagnetnega polja v Sloveniji. Na ozemlju današnje Republike Slovenije so se izvajale ciklične meritve geomagnetnega polja na 36 enakomerno razporejenih ponavljalnih postajah, od katerih sta bili dve razreda B ali tako imenovani sekularni postaji. Na sekularnih postajah se meritve ponavljajo v petletnih ciklih. Druge ponavljalne postaje so bile razreda C ali ponavljalne postaje tretjega reda. Tam se ponavljajo meritve vsakih deset let. Merilni rezultati so bili reducirani na Geomagnetni observatorij Grocka. Normalne vrednosti zemeljskega magnetnega polja so bile interpolirane s polinomom drugega reda. Na podlagi izračunanih koeficientov polinoma se je v letih cikličnih meritev na sekularnih točkah interpoliral model magnetnega polja za celotno ozemlje Jugoslavije.

Po razpadu skupne države je Slovenija ostala brez geomagnetnega observatorija. Meritve geomagnetnega polja na ozemlju današnje Republike Slovenije so bile zanemarjene oziroma se niso izvajale sistematično, opravljali pa so jih merilci iz tujih observatorijev v naši bližini. Zaradi pomembnosti podatkov za vojaške namene je Ministrstvo za obrambo RS razpisalo projekt »Določitev magnetne deklinacije za območje Slovenije in primerjava z globalnimi modeli zemeljskega magnetnega polja« (Fefer in sod., 2010). V okviru tega projekta so bile izdelane nekatere analize magnetno čistih območij za postavitev geomagnetnega observatorija (Paliska in sod., 2008; Fefer in sod., 2010), vendar v postopkih niso upoštevali vseh pomembnih meril za optimalno zagotovitev izbire primerne in sprejemljive lokacije z najmanjšo mogočo stopnjo elektromagnetnega šuma.

Rezultati meritev geomagnetnega polja so uporabni predvsem na področju navigacije, telekomunikacij, geologije, klimatologije itd. Poleg tega so meritve in rezultati pomembni za različne znanstvene raziskave, predvsem na že omenjenih področjih.

Podatki o geomagnetnem polju so posebnega pomena za varnostne sisteme in navigacijo v vojnem letalstvu ter mornarici. Prav zaradi tega so bili v skupni državi Jugoslaviji podatki meritev geomagnetnega polja zaupni. Zaradi lastnosti geomagnetnega polja se morajo rezultati meritev v posameznem observatoriju primerjati z rezultati meritev bližnjih observatorijev. To omogoča nadzor nad kakovostjo meritve in skupaj s podatki, pridobljenimi iz merilnih instrumentov, ki so nameščeni na satelitih, izdelavo globalnega modela geomagnetnega polja. Observatoriji se združujejo v informacijsko mrežo INTERMAGNET (INTERNational Real-time MAGnetic Observatory NETWORK). Da bi bil observatorij lahko vključen v omenjeno mrežo in pošiljal podatke o srednjih minutnih vrednostih geomagnetnega polja, mora ustrezati tehničnim priporočilom mednarodne organizacije IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) in mreže INTERMAGNET.

Predvsem zaradi napredka v merilnih tehnikah in instrumentih, ki že omogočajo merilno točnost pod 0,1 nT, pri mednarodnem združenju IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics), IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) in mreži

INTERMAGNET priporočajo, da so observatoriji za opazovanje normalnega magnetnega polja na zemeljski površini medsebojno oddaljeni približno 200 km (Vestine, 1961).

Osnovna naloga geomagnetnega observatorija je takšno spremljanje kratkoročnih in dolgoročnih sprememb v geomagnetnem polju, da so zajeti podatki reprezentativni na širšem območju (Wienert, 1970). Uporabnost izmerjenih vrednosti geomagnetnega polja v observatoriju in kakovost redukcije zajetih podatkov sta odvisni tudi od homogenosti magnetnega polja v bližini observatorija in morebitnih anomalij v magnetnem polju, ki so lahko naravnega ali umetnega izvora. Zelo pomembno je, da lokacija observatorija magnetno predstavlja širšo regijo, saj lahko le tako kakovostno spremljamo sekularne in kratkoročne spremembe v geomagnetnem polju (Jankowski, 1996). Ugotovimo lahko, da je izbira lokacije za postavitve geomagnetnega observatorija ključnega pomena, posledica napačne izbire pa so slabi oziroma kontaminirani podatki o geomagnetnem polju.

## 2 METODA IN REZULTATI

V okolju je nenehno prisotno elektromagnetno sevanje, ki ga pri opazovanju Zemljinega magnetnega polja zaznavamo kot šum ali motnjo. Motnja je lahko naravnega ali umetnega izvora. Izvor naravnega elektromagnetnega šuma večinoma pripišemo atmosferskim pojavom in pojavom v vesolju. Nenaravni ali umetni elektromagnetni šum pa povzročamo ljudje s tehnološkimi aplikacijami. Zaradi tehnološkega razvoja je dandanes skoraj nemogoče najti kraj na Zemlji, kjer ni prisotno elektromagnetno sevanje umetnega izvora. V zadnjih desetletjih je izredno narasla stopnja elektromagnetnega sevanja, ki ga povzroča človek, in je v urbanih okoljih in večjih industrijskih conah celo preseгла raven naravnega geomagnetnega sevanja (Bianchi in Meloni, 2007). Tipične elektromagnetne motnje zemeljskega geomagnetnega polja v urbanih okoljih ustvarjajo različni viri, kot so avtomobili, električna omrežja in stikala, gradbeni materiali (predvsem železobetonske konstrukcije), elektromagnetna polja, ki jih povzročajo telefonija in druge telekomunikacije, daljnovodi in elektrificirana železnica. Med naštetimi imajo velik vpliv na meritve elektromagnetnega šuma predvsem daljnovodi in elektrificirane železnice. Vpliv enosmerne elektrificirane železnice je tako velik, da se elektromagnetno sevanje širi več deset kilometrov daleč. Elektrificirana železnica na izmenični tok nima tako močnega vpliva na meritve, saj je izmenična frekvenca zunaj območja opazovane periode intervala in blodeči tokovi ne povzročijo velikih tokovnih zank (Yanagihara, 1977). Vseeno pa je tudi elektrificirana železnica na izmenični tok pomemben vir motenj; predvsem zaradi kompleksnosti variabilnosti v šumu, ki nastaja in ga tudi s sodobnimi metodami za izločanje šuma ne moremo popolnoma odpraviti (Fontes, 1988; Egbert, 2000; Padua, 2001). Predvsem zaradi visoke ravni elektromagnetnega šuma v urbanih središčih so številne opazovalnice geomagnetnega polja Zemlje prestavili z urbanih na ruralna območja, kjer je raven motenj manjša (Tsunomura, 2005).

Na splošno bi lahko ocenili, da je raven umetno ustvarjenega elektromagnetnega sevanja na posameznih območjih močno odvisna od oddaljenosti od vira sevanja. Ugotovimo lahko tudi, da umetno ustvarjeno elektromagnetno sevanje ni konstantno v času, variira pa tudi v frekvenci in moči. Zato je umetno ustvarjeno elektromagnetno sevanje velika težava pri opazovanju geomagnetnega polja Zemlje. Harada in sodelavci (2004), Villante in sodelavci (2004) ter Masci

in sodelavci (2007) so opozorili na pomembne težave pri odkrivanju, opredelitvi in izločanju šuma umetnega izvora. Glede na izsledke nekaterih raziskav (poročilo CCIR/ITU, 1990; Bianchi in Meloni, 2007) je smiselno izbrati lokacijo za postavitve geomagnetnega observatorija na ruralnem območju, kjer je v povprečju (upoštevaje tudi frekvenco) raven umetno ustvarjenega elektromagnetnega sevanja od 20 do 30 dB nižja od ravni elektromagnetnega sevanja v urbanih okoljih.

Pri opazovanju geomagnetnega polja Zemlje ne smemo zanemariti sprememb v elektromagnetnem sevanju, ki so posledica seizmičnih aktivnosti. Bakhmutov in sodelavci (2007) menijo, da v verigi Sonce-medplanetarni prostor-magnetosfera-ionosfera-atmosfera-tektonosfera obstajajo zapleteni, dinamični in nelinearni odnosi, v katerih visokoenergijski pojavi povzročajo različne zapletene postopke na Zemlji. Tako lahko seizmične pojave na zemeljski skorji in v zgornjih plasteh obravnavamo kot del zapletenega sistema Sonce-Zemlja. Kar nekaj raziskovalcev (Bakhmutov in sod., 2007; Sobolev in sod., 2001; Rulev, 1991; Zakrzhevskaya in sod., 2002) je preučevalo povezanost fizičnih procesov sončnega sistema in seizmologije. Rezultati teh študij se precej razlikujejo. V navedeni literaturi ni mogoče najti enoznačnih rezultatov, ki bi v postopku vrednotenja območij, kjer je mogoče postaviti geomagnetni observatorij, omogočili postavitev determinističnih kvantitativnih meril. Kljub temu je mogoče na podlagi navedene literature ugotoviti, da obstaja povezava med vplivom sprememb v geomagnetnem polju in seizmičnimi pojavi.

Zgoraj navedena dejstva potrjujejo ugotovitev, da je izbira območja in končne lokacije za referenčne meritve geomagnetnega polja Zemlje na ozemlju Republike Slovenije večstopenski, sestavljen postopek, saj mora lokacija ustrezati različnim merilom, ki so povezana z njenimi prostorsko-funkcionalnimi in geološkimi značilnostmi, stopnjo elektromagnetnega šuma na lokaciji, topografskimi in drugimi tehničnimi značilnostmi. Pomemben dejavnik pri izbiri je tudi družbena sprejemljivost v širšem okolju, na lokalni ravni in na ravni posameznika.

Postopek umeščanja geomagnetnega observatorija za merjenje geomagnetnega polja Zemlje vključuje postopek analize in vrednotenja prostora ter opredelitve lokacije glede na predhodno postavljena merila. Pri prostorskem načrtovanju, kjer je glavni cilj iskanje primerne lokacije, gre za vrednotenje ustreznosti prostora. S takšnim vrednotenjem je mogoče določiti ugodne oziroma manj ugodne kraje za postavitve geomagnetnega observatorija. Postopek vrednotenja ustreznosti prostora lahko razdelimo v tri stopnje: (1) pridobivanje podatkov, (2) raziskave okolja in prostora glede na postavljena merila ter (3) postopek končne izbire lokacije. Prva in druga razvojna stopnja sta sestavljeni predvsem iz zbiranja računalniško podprtih zbirk prostorskih podatkov oziroma informacijske podpore z odločitvenimi metodami znotraj okolja geografskega informacijskega sistema (GIS). Zadnja stopnja pa vključuje terenske ogleda, aktivnosti v postopku zagotavljanja družbene sprejemljivosti v širšem in ožjem okolju, iskanje primerne parcele, izvedbo preliminarnih meritev in podobno.

## 2.1 Postopek vrednotenja prostora

Prvi del postopka izbire lokacije je bil zasnovan kot preprosta prostorska analiza, ki smo jo izvedli v GIS-okolju. Pri tovrstnih analizah gre predvsem za postopek vrednotenja prostora na podlagi vnaprej poznanih mejnih vrednosti posameznega merila. Območje na podlagi mejne vrednosti merila označimo za primerno oziroma neprimerno. S prekrivanjem vseh območij, ki ustrezajo postavljenim mejnim vrednostim posameznih meril, dobimo končni rezultat, to je karto območij, ki ustrezajo vsem merilom. Območja, ki niso izpolnjevala deterministično postavljenih meril, so bila izločena iz nadaljnje analize. Slabost tovrstne analize, ki temelji na Booleanovi logiki, je predvsem, da ne ponuja analitične možnosti za primerjavo posameznih območij, ki so bila izbrana kot ustrezna. Zato smo v nadaljevanju uporabili še metodo utežnih vsot. Ta je primerna predvsem, kadar želimo ovrednotiti različna kvantitativna in kvalitativna merila z različno stopnjo pomembnosti.

Izhodiščna območja smo iskali na celotnem ozemlju Republike Slovenije. Merila za iskanje potencialno primernih območij smo razvrstili v tri skupine: (1) prostorske značilnosti, (2) tehnično-praktične značilnosti ter (3) družbeni in regionalni dejavniki. Glej preglednico 1.

1. Prostorska merila (vrednotenje prostora na podlagi meril, ki izključujejo območja s potencialno višjo ravniyo umetnega geomagnetnega sevanja):
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. vsaj 30 km od elektrificirane železniške proge,</li> <li>b. vsaj 10 km od neelektrificirane železniške proge,</li> <li>c. vsaj 10 km od 110, 220 in 400 kV daljnovodov,</li> <li>d. zunaj območij pogostih potresov (območij, ki so ocenjena z več kot 7 po lestvici MSK-64),</li> <li>e. vsaj 10 km od državne meje (možnost vpliva na postavitve virov umetnih motenj v prihodnosti).</li> </ul>
2. Tehnično-praktična merila:
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. blizu naselja (možnost napajanja merilnih instrumentov),</li> <li>b. geometrijsko središčna lokacija v Sloveniji,</li> <li>c. dobra dostopnost.</li> </ul>
3. Družbena in regionalna merila:
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. družbena sprejemljivost,</li> <li>b. možnost vključitve v mrežo regionalnih observatorijev,</li> <li>c. ustrezna parcela (velikost parcele, možnost dogovora z lastnikom),</li> <li>d. možnost zavarovanja območja pred morebitnim elektromagnetnim sevanjem.</li> </ul>

Preglednica 1: Merila za določitev potencialno primernih območij

### 2.1.1 Postopek vrednotenja prostora glede na prostorska merila

Na podlagi izbranih meril je bil na prvi stopnji vrednotenja prostora v programskem paketu ArcMap 9.3 izdelan večparametrski model odločitve. Model temelji na postopkih kartografske algebre, predvsem Booleanovi logiki in enostavnih poizvedovanjih, kot so vmesna območja, razdruževanje objektov, filtriranje rastrskih podob itd. Cilj postopka kartografskega modeliranja je bil določiti primerna območja, ki bi bila sprejemljiva glede na zahteve iz prve skupine meril (prostorska merila). Rezultat takšnega kartografskega modeliranja je bila rastrska podoba štirih potencialno primernih območij za postavitve observatorija; glej sliko 1.



Slika 1: Štiri potencialno primerna območja za postavitev geomagnetnega observatorija v Republiki Sloveniji glede na prostorska merila.

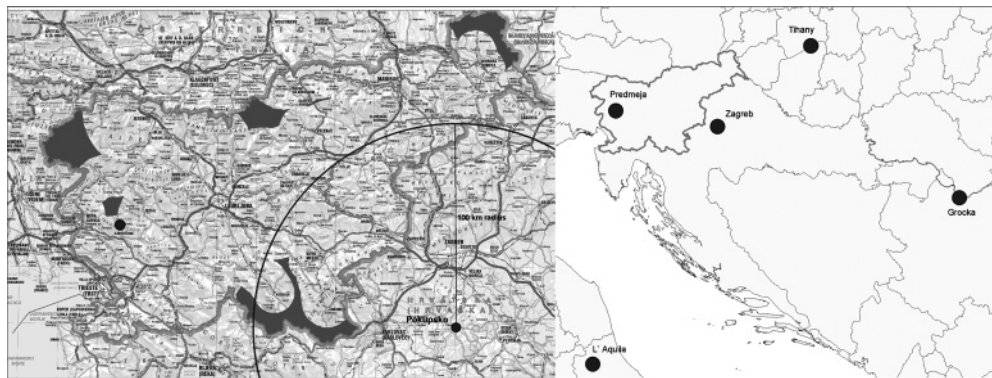
### 2.1.2 Postopek vrednotenja prostora glede na tehnično-praktična ter družbena in regionalna merila

V nadaljevanju smo primerna območja glede na prostorska merila (slika 1) ovrednotili še glede na merila iz drugih dveh skupin. Merila iz tretje skupine so predvsem kvalitativna in ocena samega parametra ter pomembnosti parametra v analizi dopušča subjektivnost ocenjevalca. Pri parametru družbene sprejemljivosti okolja je ključnega pomena usklajevanje interesov v prostoru, prav tako ni mogoče na vseh območjih teh meril obravnavati enako, saj se lahko pojavijo zapleti tudi v nadaljnjem postopku postavitve observatorija. Vrednotenje potencialno primernih območij smo izvedli z metodo utežne vsote. Najprej smo vsakemu parametru določili stopnjo koristnosti in relativni pomen glede na ostale parametre v postopku izbora. Pri tem koraku so nam bile v pomoč predvsem izkušnje tujih observatorijev ter priporočila in nasveti uveljavljenih strokovnjakov na področju geomagnetizma (J. Rasson, J. Matcke, S. Mihajlovič; osebna komunikacija v obdobju 2006–2010). Vsak posamezni parameter smo ocenili glede na stopnjo primernosti z ocenami od 1 do 5, kjer vrednost 1 pomeni zelo neprimerno lokacijo, vrednost 5 pa zelo primerno lokacijo. Vsi parametri nimajo enakega pomena, zato je treba oceno parametra utežiti. V modelu vrednotenja so bila merila utežena z lestvico od 1 do 5, kjer je zelo pomembno merilo ocenjeno s 5, zelo nepomembno pa z 1. V preglednici 2 so podane ocene modela vrednotenja analiziranih parametrov iz skupin tehnično-praktičnih ter družbenih in regionalnih meril.

	Parameter 2-a	Parameter 2-b	Parameter 2-c	Parameter 3-b	Parameter 3-c	Skupna ocena primernosti območja
Območje 1	5	2	4	5	4	76
Območje 2	4	3	3	3	4	64
Območje 3	5	2	2	3	1	49
Območje 4	3	2	2	3	1	39
Ocena parametra	5	2	3	3	5	

Preglednica 2: Določitev primernosti območja glede na tehnično-praktična ter družbena in regionalna merila po metodi utežne vsote (območja od 1 do 4 so prikazana na sliki 2, šifre meril parametrov so v preglednici 1).

Presoja območij po metodi utežne vsote je pokazala, da je glede na izbrana merila vrednotenja najbolj primerno območje 1, to je območje v okolici vasi Predmeja; glej sliko 1. Območji 2 in 3 sta se, predvsem zaradi slabše dostopnosti, pokazali kot manj primerni. Ključni parameter, ki najbolj vpliva na nizko skupno oceno primernosti območja, je omejena velikost (pomembna pri parametru 3-c in 3-d) – kar še posebej velja za območji 3 in 4. Omeniti velja še, da vsi podatki za vrednotenje morebitnih primernih območij glede na merilo 3-c niso bili na voljo za vsa analizirana območja, zato to merilo ni bilo v celoti upoštevano na tej stopnji ocenjevanja primernosti potencialnih območij. Visoko skupno oceno je dobilo tudi območje 2, vendar zaradi slabše ocene v parametru 3-b (bližina observatorija na ozemlju Republike Hrvaške) zaostaja za območjem 1.



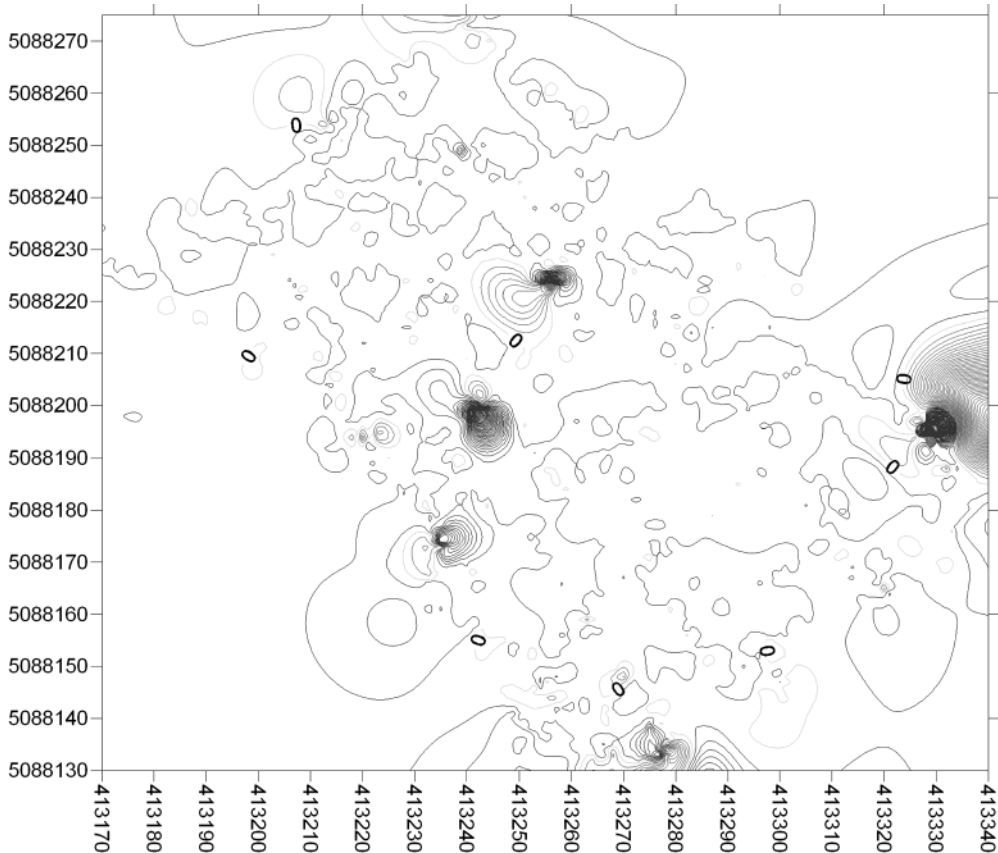
Slika 2: Prikaz možnosti za umestitev observatorija v obstoječo mrežo INTERMAGNET.

Na območju 1 (v okolici vasi Predmeja) je bil pozneje opravljen ogled na terenu in izveden postopek za vključevanje in informiranje lokalne skupnosti. Odzivi so bili pozitivni, tako na ravni občine kot na ravni krajevne skupnosti. Na podlagi ogleda potencialnih lokacij in predhodnih meritev na terenu (rezultati meritev na izbrani lokaciji 1 so prikazani na sliki 3) je bila določena končna lokacija geomagnetnega observatorija v Republiki Sloveniji.



### 3 VZORČNE MERITVE KOMPONENT GEOMAGNETNE POLJA NA IZBRANI LOKACIJI

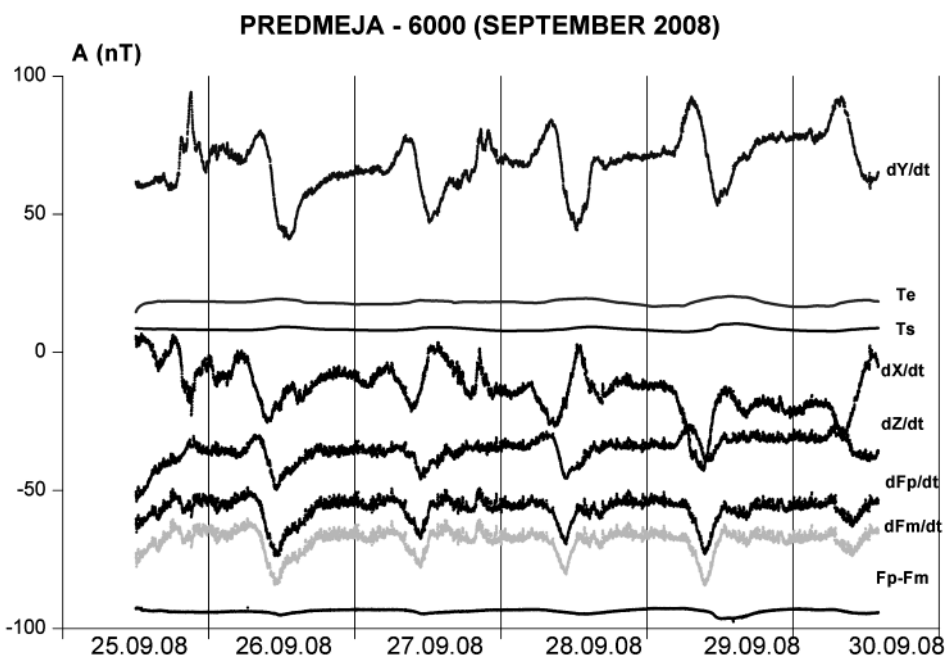
Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo Sežana je skupaj z raziskovalci iz Geomagnetskega zavoda Grocka (GCK) v septembru 2008 na izbrani lokaciji v okolici vasi Predmeja opravil preliminarne meritve homogenosti gradienta totalne intenzitete magnetnega polja, absolutne meritve, bazne meritve, meritve trikomponentnega geomagnetnega polja in meritve dnevni variacij komponent geomagnetnega polja. Uporabljena je bila naslednja merilna oprema: trikomponentni magnetometer-variometer MAGSON 11 (merilna občutljivost 0, nT), Overhauserjev protonski magnetometer GSM-19 (merilna občutljivost 0,01 nT) in Bartington DI (deklinacijsko-inklinacijski) magnetometer Mag-01H (merilna občutljivost 0,1 nT). Rezultati meritev so pokazali, da je v okolici lokacije, kjer je bil postavljen variometer, in v okolici lokacije, kjer so bila izvedena merjenja absolutnih vrednosti komponent geomagnetnega polja, geomagnetno polje homogeno. Iz rezultatov meritve gradienta F komponente geomagnetnega polja je mogoče sklepati, da območje ni magnetno kontaminirano z elektromagnetnim šumom ali šumom, ki nastane zaradi nehomogenosti parametra električne prevodnosti geološke strukture tal. Edini vir značilnejših sprememb v vertikalni komponenti gradienta F geomagnetnega polja so bili ostanki



Slika 3: Vertikalna homogenost gradienta F geomagnetnega polja,  $d=100$  cm,  $e=10$  nT.

odvržene žice v kamniti meji med parcelama. Tu je bilo zaznati anomalije velikosti reda do 20 nT. Slika 3 prikazuje rezultat meritev vertikalne homogenosti gradienta F geomagnetnega polja ( $d=100$  cm,  $e=10$  nT).

Meritve dnevni variacij komponent geomagnetnega polja so bile opravljene z magnetometrom Flux-gate (DI) MAGSON 11 in protonskim magnetometrom GSM-19. Rezultati meritev na izbrani lokaciji so prikazani na sliki 4. Komponente  $dX/dt$ ,  $dY/dt$ ,  $dZ/dt$ ,  $dF/dt$  so prikazane kot relativne vrednosti, izmerjene z magnetometrom Flux-gate MAGSON 11, kjer je  $F_p$  absolutna vrednost vektorja geomagnetnega polja, merjena z magnetometrom GSM-19,  $F_m$  spremembe v absolutni vrednosti vektorja geomagnetnega polja, preračunane iz zajetih meritev z variometrom MAGSON 11,  $T_e$  in  $T_s$  pa temperatura v ohišju trikomponentnega variometra MAGSON 11.

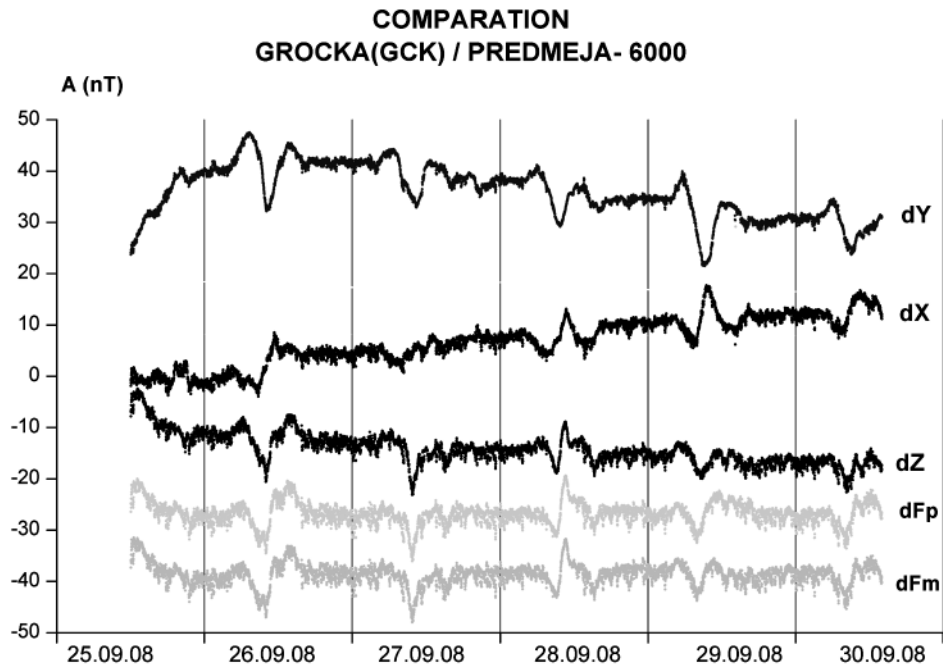


Slika 4: Magnetogram dnevni variacij komponent geomagnetnega polja.

Iz slike 4 je razvidno, da je variacija komponente Y geomagnetnega polja pravilne, sinusne oblike. Amplituda te komponente je približno 50 nT. Signal dnevne variacije X komponente geomagnetnega polja je pravilno razvit z amplitudo 30 nT, vendar je v njem mogoče opaziti kratkoperiodične spremembe, ki pomenijo šum. Podobno velja za komponento Z geomagnetnega polja. Ta šum lahko pripišemo morfološkim in geološkim značilnostim kraške pokrajine.

Primerjava rezultatov meritev dnevne variacije komponent geomagnetnega polja, izmerjene na lokaciji 1 v okolici vasi Predmeja, in rezultatov meritev v geomagnetnem observatoriju Grocka (GCK) pokaže, da je raven kratkoperiodičnih motenj večja na Predmeji. Razhajanje lahko

opazimo predvsem v komponentah X in Z geomagnetnega polja Zemlje (slika 5). V opazovanem obdobju dnevne variacije geomagnetnega polja v observatoriju Grocka (GCK) označimo kot mirne dneve (q-quiet days), kratkoperiodične spremembe na lokaciji Predmeja pa pripišemo lokalnim značilnostim signala.



Slika 5: Magnetogram razlike v dnevni variacijah komponent geomagnetnega polja .

#### 4 SKLEP

Kombiniran večstopenjski postopek izbire primerne lokacije za umestitev geomagnetnega observatorija v Republiki Sloveniji je bil v začetni fazi usmerjen predvsem v zbiranje in analiziranje strokovnih podlag in podatkov, v nadaljevanju pa je bilo treba opraviti obsežno delo na terenu. Pri izbiri lokacije za postavitev observatorija smo želeli predvsem zagotoviti nizko raven elektromagnetnega šuma na lokaciji. Zato smo na prvi stopnji raziskave na podlagi ustreznih podatkov in postopkov kartografskega modeliranja, pri katerih smo upoštevali predvsem prostorska merila, izključili iz nadaljnje obravnave neprimerna območja. Skupine meril in parametri, ki smo jih upoštevali v raziskavi, so bili strokovno določeni na podlagi znanstvene in strokovne literature in nasvetov priznanih strokovnjakov v okviru združenja INTERMAGNET. Na izbrani lokaciji so bila izvedena obširna merjenja vseh komponent geomagnetnega polja. Pokazalo se je, da lokacija stoji v magnetno mirnem in homogenem okolju. V vektorju intenzitete geomagnetnega polja niso prisotni šumi, ki bi lahko bili posledica nehomogenosti geofizičnih parametrov geoloških oblik ali umetnih elektromagnetnih sevanj. Tudi izmerjene vrednosti v spremembi gradienta F komponente magnetnega polja so v mejah dovoljenega za postavitev

stalne postaje. Če bi se v nadaljevanju postopka postavitve in zaščite merilnega mesta izbrana mikro lokacija izkazala kot manj primerna, je smiselno iskati nadomestno lokacijo znotraj predlaganega območja.

## Literatura:

- Bakhmutov, V. G., Sedova, F. I., Mozgovaya, T. A. (2007). *Geomagnetic Disturbances and Earthquakes in the Vrancea Zone*, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 43( 11), 931–937.
- Bianchi, C., Meloni, A. (2007). *Natural and man-made terrestrial electromagnetic noise: An outlook*, *Annales of Geophysics*, 50(3), 435–444.
- CCIR/ITU (1990). *Man-made radio noise, Rep. 258-5, Int. Radio Consultative Comm., Int. Telecommun. Union, Ženeva, Švica*.
- Egbert, G. D., Eisel, M., Boyd, O. S., Morrison, H. F. (2000). *DC trains and Pc3s: Source effects in mid-latitude geomagnetic transfer functions*, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 25–28.
- Fefer, D., Beguš, S., Čop, R., Radovan, D., Štern, A., Bilc, A. (2010). *Določitev magnetne deklinacije za območje Slovenije in primerjava z globalnimi modeli zemeljskega magnetnega polja, končno poročilo (projekt ARRS CRP MIR - M4-0225)*. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko; Fakulteta za pomorstvo in promet; Geodetski inštitut Slovenije.
- Fontes, S. L. (1988). *Electromagnetic induction studies in the Italian Alps*, Ph.D. thesis, Univ. of Edinburgh, 351 pp.
- Harada, M., Hattori, H., Isezaki, N. (2004). *Transfer function approach to signal discrimination of ulf geomagnetic data*, *Elsevier, Phys. Chem. Earth*, 29, 409–417.
- Jankowski, J., Sucksdorf, C. (1996). *I.A.G.A Guide for magnetic measurements and observatory practice*, IAGA.
- Madon, I. (2000). *Basic geodynamic model in the western Slovenia with emphasis on tectonic structure in Gorica surroundings*, *RMZ*, 47(3-4), 277–317.
- Masci, F., Palangio, P., Di Persio, M., C. Di Lorenzo, C. (2007). *The development of the ingv tectonomagnetic network in the frame of the MEM project*, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 473–478.
- Padua, B. M., Padilha, L., Vitorello, I. (2001). *Disturbances on magnetotelluric data due to DC electrified railway: A case study from southeastern Brazil*, *Earth Planets Space*, 54, 591–596.
- Paliska, D., Fabjan, D., Čop, R. (2008). *Site selection for permanent geomagnetic observatory in Slovenia. Predstavljeno na International scientific conference on Magnetism-Geomagnetism-Biomagnetism MGB – 2008. Sežana: VSS Sežana. Dostopno v obliki PDF kot MGB08\_pres.ppt*.
- Prattes, G., Schwingenschuh, K., Eichelberger, H. U., Magnes, W., Boudjada, M., Stachel, M., Vellante, M., Wesztergom, V., Nenovski, P. (2008). *Multi-point ground-based ULF magnetic field observations in Europe during seismic active periods in 2004 and 2005*, *Natural Hazards and Earth System Science*, 8(3), 501–507.
- Rulev, B. G. (1991). *Annual Periodicity in the Emission of Microearthquakes and the Irregularity of the Earth's Rotation*, Nauka Moscow.
- Sobolev, G. A., Zakrzhevskaya, N. A., Kharin, E. P. (2001). *On the Relation between Seismicity and Magnetic Storms*, *Izvestiya, Phys. Solid Earth*, 37, 917–927.
- Tokumoto, T., Tsunomura, S. (1984). *Memoirs of the Kakioka Magnetic Observatory (Translated to English from paper in Japanese)*, 20(2), 33–44.
- Tsunomura, S., Tokumoto, T. (2005). *Man-made electromagnetic noises causing difficulty in geomagnetic and geoelectric observations in city area*, *Bomedicine & Pharmacotherapy*, 59, dod.1, S15–S19.
- Vestine, E. H. (1961). *Instruction manual on world magnetic survey*, IUGG-IAGA Monograph, 11a.
- Villante, U., Vellante, M., Piancatelli, A., Di Cienzo, A., Zhang, T. L., Magnes, W., Wesztergom, V., Meloni, A. (2004). *Some aspects of man-made contamination on ulf measurements*, *Ann. Geophys.*, 22, 1335–1345.
- Yanagihara, K. (1977). *Magnetic field disturbance produced by electric railway*, *Mem. Kakioka Mag. Obs.*, 38, 17–34.
- Zakrzhevskaya, N. A., Sobolev, G. A. (2002). *On the Seismicity Effect of Magnetic Storms*, *Izvestiya, Phys. Solid Earth*, 38, 249–261.
- Wienert, K. A. (1970). *Notes on Geomagnetic Observatory and Survey Practice*, Unesco, Bruselj, 217.

**Prispelo v objavo: 15. april 2010**

**Sprejeto: 12. julij 2010**

**viš. pred. dr. Dejan Paliska, univ. dipl. inž. tehn. prom.**

Visokošolsko središče Sežana

Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo

Kraška cesta 2, SI-6210 Sežana

e-pošta: dejan.paliska@viviss.si

**doc. ddr. Rudi Čop, univ. dipl. fiz.**

Visokošolsko središče Sežana

Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo

Kraška cesta 2, SI-6210 Sežana

e-pošta: rudi.cop@viviss.si

**viš. pred. mag. Daša Fabjan, univ. dipl. inž. tehn. prom.**

Univerza na Primorskem

Fakulteta za turistične študije Portorož - Turistica

Obala 11a, SI-6320 Portorož

e-pošta: dasa.fabjan@turistica.si

**viš. pred. mag. Samo Drobne, univ. dipl. inž. geod.**

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Jamova 2, SI-1000 Ljubljana

e-pošta: samo.drobne@jgg.uni-lj.si