

Začetne meritve variacij geomagnetnega polja v Sloveniji

Rudi Čop¹, Damir Deželjin¹, Spomenko J. Mihajlović², Pavel Kosovac¹

¹ Visokošolsko središče Sežana, Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo, Kraška ulica 2, 6210 Sežana
E-pošta: rudi.cop@viviss.si

² Geomagnetski observatorij Grocka, Put za Umčare 3, 11306 Beograd-Grocka, Srbija
E-pošta: mihas@sezampro.rs

Povzetek. V članku so obravnavane začetne zvezne meritve zemeljskega magnetnega polja na bodočem geomagnetnem observatoriju v Sloveniji, ki je postavljen pod Sinjim vrhom nad Ajdovščino. Preverjeno je bilo delovanje protonskega magnetometra v daljših časovnih obdobjih. Ta instrument meri absolutno vrednost vektorja zemeljskega magnetnega polja. Njegove meritve so izhodišče tako za zvezne variabilne meritve spremembe zemeljskega magnetnega polja kot tudi za enakomerno ponavljajoče se absolutne meritve. Merilni rezultati začetnih meritev absolutnih vrednosti sprememb vektorja geomagnetnega polja so bili obravnavani kot signali. Rezultatom obdelave so bile dodane tudi osnovne geofizikalne razlage. Sklepi, ki sledilo iz začetnih meritev, bodo uporabljeni za nadaljnje dopolnjevanje merilne opreme observatorija, za njegovo formalno potrditev in nato za njegovo vključitev v mednarodno informacijsko mrežo.

Ključne besede: geomagnetni observatorij, geomagnetne meritve, protonski magnetometer, obdelava signalov.

Preliminary Measurements of Geomagnetic-field Variations in Slovenia

The paper describes preliminary measurements of the Earth magnetic field made at the future geomagnetic observatory in Slovenia located at the bottom of the mountain peak Sinji Vrh above the town of Ajdovščina. Operation of the proton magnetometer has been verified for longer periods. This instrument is used to indicate the absolute value of the geomagnetic-field vector. These measurements provide the basis for continuous three-axis measurements of changes in the geomagnetic field as well as for evenly distributed, recurrent absolute measurements. Measuring results of the preliminary measurements of the absolute values of changes in the geomagnetic-field vector were treated as signals. The basic geophysical explanations were added to the results of data processing. Conclusions drawn from the preliminary measurements will be used for the future measuring equipment of the observatory necessary for its formal operational licensing and for its integration with the international information network.

1 GRADNJA GEOMAGNETNEGA OBSERVATORIJA V SLOVENIJI

Gradnja geomagnetnega observatorija v Sloveniji (v nadaljevanju: observatorij) poteka v okviru Laboratorija za geomagnetizem in aeronomijo pri Visokošolskem središču Sežana. Laboratorij je bil vpisan v knjigo raziskovalnih organizacij pri ARRS v Ljubljani januarja 2009, delovati pa je začel že dve leti prej [1]. Izbrano mesto za observatorij pod Sinjim vrhom nad Ajdovščino

($\varphi = 045,90011^\circ$ N, $\lambda = 013,93895^\circ$ E, $h = 866$ m) je optimalna rešitev (slika 1), ki je nastala po triletnem iskanju primerne mesta zanj in dogovarjanju z vsemi prizadetimi ob njegovi gradnji [2].

Rezultati geomagnetnih meritev se neposredno uporabljajo na enajstih različnih področjih: v navigaciji, geologiji in rudarstvu, geotehniki, arheologiji, telekomunikacijah, energetiki, seizmologiji in meteorologiji, klimatologiji in ekologiji, prometu, medicini ter magnetobiologiji in biomagnetiki. Natančne meritve zemeljskega magnetnega polja se uporabljajo v navigaciji za izdelavo letalskih in pomorskih zemljevidov. Brez njih bi bil promet manj varen ali celo nemogoč v času, ko satelitski navigacijski sistemi ne delujejo: v času vojne, okvare satelitov in sončnih viharjev. V geologiji in rudarstvu se s pomočjo magnetometrov odkrivajo rudna in naftna ležišča, ležišča zemeljskega plina, geotermalni vrelni in zaloge talne vode. V energetiki pa se z meritvami sprememb geomagnetnega polja določa njegov vpliv na naftovode, plinovode, daljnovode in energetske transformatorje.

Čeprav imajo meritve zemeljskega magnetnega polja že več kot štiristoletno tradicijo [3, 4], se s postavitvijo observatorija pri nas le-te šele prav začenjajo. Uspešno delovanje geomagnetnega observatorija bo omogočilo nadaljevanje raziskovalnega dela na področju geomagnetizma in aeronomije na domačih in mednarodnih projektih ter njegovo vključitev v mednarodno informacijsko mrežo INTERMAGNET.

Mreža INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network) je bila postavljena leta 1987 kot mednarodna informacijska mreža za izmenjavo merilnih podatkov digitalnih geomagnetnih observatorijev [5]. Danes so v ta sistem vključeni geomagnetni observatoriji 44 držav, ki vsako minuto pošiljajo merilne podatke v šest vozlišč, Pariz v Franciji in Edinburg na Škotskem sta pooblaščen za Evropo.



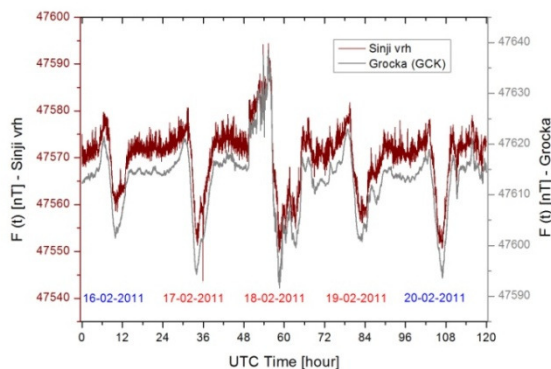
Slika 1: Začasna baraka z merilnim stebrom za absolutne meritve zemeljskega magnetnega polja in astronomska opazovanja na observatoriju pod Sinjim vrhom nad Ajdovščino

2 PRIMERJAVA IZMERJENIH VREDNOSTI IN NJIHOVA OBDELAVA

Za merjenje absolutne vrednosti vektorja zemeljskega magnetnega polja na observatoriju je bil uporabljen protonski magnetometer Overhouser GSM-19GW s serijsko številko 7112566 kanadskega izdelovalca GEM Systems. Jeseni leta 2009 so bile na geomagnetnem observatoriju Institute Royal Meteorologique de Belgique – Centre de Physique du Globe a Dourbes (Belgija) s tem instrumentom opravljene primerjalne meritve. Te so potrdile, da Overhouserjev protonski magnetometer GSM-19GW s serijsko številko 7112566 ustreza mednarodnim priporočilom kot absolutni instrument za meritve na observatoriju [6].

Začetne variabilne meritve s protonskim magnetometrom so se na observatoriju začele 25.11.2010 in po petih zaporednih obdobjih končale 24.02.2011. Instrument je bil ves čas napajen iz akumulatorja 12 V, 110 Ah, ki so ga po vsakem končanem obdobju zamenjali z napolnjenim. Magnetometru se je najprej skrajšal čas vzorčenja s petih sekund na eno sekundo, preverjalo mesto postavitve njegovega senzorja in antene GPS, nato pa spremljalo njegovo delovanje. Instrument je vsakokratni merilni rezultat zapisal v svoj statični spomin v kodi ASCII: časovna oznaka v času UTC v standardni obliki, absolutna vrednost vektorja zemeljskega magnetnega

polja $F(t)$ v 10^{-9} T in ocena kakovosti signala SQ (Signal Quality).



Slika 2: Registracija magnetne nevihte nastala zaradi izbruha v koroni Sonca 15-02-2011 na observatoriju v Sloveniji in na geomagnetnem observatoriju Grocka (GCK) v Srbiji

Kot izhodišče za preverjanje delovanja protonskega magnetometra so bile izbrane meritve v času, ko je bila na observatoriju registrirana magnetna nevihta. Le-ta je bila že v naprej napovedana in je nastala zaradi izbruha v skupini sončevih peg AR1158 dne 15.02.2011, ki je bil ocenjen s stopnjo X2 [7]. Kot posledica tega izbruha na Soncu je nastala na Zemlji geomagnetna nevihta, ki je Evropo dosegla 17.02.2011 v popoldanskih urah (slika 2).

Na podlagi dvostranskega sporazuma o poslovno-tehničnem in znanstvenem sodelovanju med Visokošolskim središčem Sežana in Geomagnetnim zavodom Grocka iz Srbije, podpisanega leta 2008, je bila narejena izmenjava merilnih rezultatov za ves čas začetnih meritev variacij zemeljskega magnetnega polja na observatoriju. Oba observatorija sta v srednjih zemljepisnih širinah Evrope in sta zato geofizikalno med seboj primerljiva. Med seboj sta primerljiva tudi po rezultatih meritev sprememb absolutne vrednosti vektorja zemeljskega magnetnega polja $F(t)$ v času geomagnetne nevihte v februarju 2011 (slika 2). Razlike so nastale zaradi različnih zemljepisnih dolžin, geološke strukture tal in trenutnih vremenskih razmer.

Tehnologija obdelave digitalnih signalov (Digital Signal Processing) se od drugih področij razlikuje po enkratni vrsti podatkov, ki jih obdeluje – po signalih. V večini primerov so signali merilni podatki iz realnega sveta, ki jih posredujejo različni senzori. Ti signali s pomočjo tehnologij obdelave digitalnih signalov postanejo manjši po količini, so lažje razpoznavni in lažje dostopni, ali na kratko – postanejo uporabni. Tako kot se za vsako znanstveno in tehnično področje razvija posebna tehnologija dela, matematika in računalniški algoritmi, se razvija tudi posebna tehnologija obdelave digitalnih signalov.

3 SREDNJA VREDNOST IN STANDARDNA DEVIACIJA

Če so vse meritve opravljene z enako pozornostjo in v enakih razmerah, potem je najbolj verjetna prava vrednost merjene veličine μ aritmetična srednja vrednost vseh meritev. Merilni pogrešek je odstopanje posamezne meritve od najbolj verjetne vrednosti merjene veličine. Vsota vseh merilnih pogreškov posamezne skupine meritev je enaka nič, zato je med rezultati enakovrednih meritev njihova srednja vrednost najbližja pravi vrednosti [8].

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Srednja vrednost signala μ [9] pomeni enosmerno časovno nespremenljivo vrednost, ki opisuje izključno enosmerni prenos energije. Okoli te srednje vrednosti se spreminja izmenična komponenta signala, ki dejansko nosi informacijo.

Varianca σ^2 ali povprečni absolutni odklon je vsota kvadratov odstopanja posameznega pogreška od srednje vrednosti μ . Ker je varianca izražena s kvadratom merske enote, je razumljivejši standardni odklon σ .

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2$$

Standardni odklon ali standardna deviacija σ je srednja vrednost moči izmeničnih komponent. V nekaterih primerih standardna deviacija ni pomembna sama za se, temveč le v razmerju s srednjo vrednostjo. V teh primerih je srednja vrednost dejanska merjena vrednost, standardno odstopanje pa šum in drugi interferenčni vplivi. Razmerje med standardno deviacijo in srednjo vrednostjo podaja razmerje SNR (signal-to-noise ratio) in to razmerje, podano v odstotkih, je koeficient variacije CV (coefficient of variation).

V tabeli (tabela 1) so podani rezultati statistične obdelave merilnih rezultatov prvih treh ur v izbranih dneh testnih meritev absolutne vrednosti vektorja zemeljskega magnetnega polja $F(t)$ iz tretjega obdobja začetnih meritev na observatoriju. V tem obdobju, ki je trajalo polne tri tedne, od srede 12.01.2011 do srede 02.02.2011, je protonski magnetometer trikrat samodejno povečal časovno oznako meritve, dne 14.01.2011 za dve in nato za eno sekundo in dne 19.01.2011 za dve sekundi. Po zadnjem preskoku v oznaki časa se je po petih dneh normalnega delovanja najprej spremenil koeficient SQ z normalne vrednosti 99 na 72 in naslednji dan še neustrezno prestavil datum registracije datoteke. Zato so bile podrobneje analizirane meritve od četrta, 20.01.2011, do vključno torca, 25.01.2011.

Tabela 1: Statistična obdelava merilnih podatkov za prve tri ure v posameznem dnevu tretjega testnega cikla

| Dan | Srednja vrednost μ | Standardna deviacija σ | Koeficient variacije CV |
|--------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| [dd.mm.llll] | [nT] | [nT] | [%] |
| 20.01.2011 | 47591,15 | 1,17 | 0,002 |
| 21.01.2011 | 47593,02 | 1,28 | 0,003 |
| 22.01.2011 | 47592,06 | 1,69 | 0,004 |
| 23.01.2011 | 47592,05 | 1,28 | 0,003 |
| 24.01.2011 | 47593,23 | 1,33 | 0,003 |
| 25.01.2011 | 385767,47 | 79585,00 | 20,630 |

Za zanesljivo merjenje sprememb absolutne vrednosti vektorja zemeljskega magnetnega polja morata na geomagnetnem observatoriju vzporedno delovati dva protonska magnetometra. Redno morata biti vzdrževana in vsak dan nadzorovana s sprotno statistično obdelavo merilnih podatkov v prvih treh urah novega merilnega dne. Ta se začenja popolnoči po času UTC, ko je Slovenija na osovni strani Zemlje in zato pod najmanjšim vplivom geomagnetnih motenj iz vesolja.

4 KORELACIJA IN ODVISNOST

Pri obdelavi signalov je križna korelacija merilo za podobnost dveh signalov kot funkcija časovne zakasnitve nad enim od dveh obravnavanih signalov. Najpogosteje se uporablja za določitev celotnega signala na podlagi njegovega poznanega dela. Križna korelacija je kot operacija nad signali zelo podobna konvoluciji. Slednja se najpogosteje uporablja pri proučevanju vpliva sistema na njen vhodni signal [9, 10].

Za zvezni funkciji $f(t)$ in $g(t)$ je splošni izraz za križno korelacijo določena z:

$$\Phi_{fg} = (f * g)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f^*(\tau) g(t + \tau) d\tau,$$

kjer pomeni $f^*(t)$ kompleksno konjugirano vrednost funkcije $f(t)$. Podobno je za diskretno določeni funkciji definirana križna korelacija:

$$\Phi_{fg} = (f * g)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N f[n] g[n+m] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f^*[m] g[n+m].$$

Križna korelacija je lahko namesto v kompleksnem spektru izražena kot varianca. Varianca pri obdelavi signalov podaja nihanje okoli srednje vrednosti in je merilo za moč vseh prisotnih izmeničnih komponent:

$$\gamma_{fg} = (f * g)[n] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N (f[n] - \overline{f[n]})(g[n+m] - \overline{g[n]}).$$

Križna korelacija se včasih želi podati kot koeficient križne korelacije. Izračuna se ga z normalizacijo križne korelacije dveh signalov, z močjo teh dveh signalov in postavitevjo časovnega zamika $m = 0$. Koeficient križne

korelacije leži med vrednostjo -1 in +1 in z možnostjo vrednosti 0, ki pomeni, da med signaloma ni nobene povezave:

$$l_{fg}[m] = \frac{\Phi_{fg}[m]}{[\Phi_{ff}[0] \cdot \Phi_{gg}[0]]^{1/2}}$$

Koeficient križne korelacije se v statiki uporablja kot koeficient korelacije r ali Pearsonov koeficient [11]. Pearsonov koeficient določa medsebojno linearno odvisnost dveh spremenljivk X in Y z vrednostjo med -1 in +1.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Algoritem za izračun koeficienta križne korelacije je bil predhodno preizkušen s postopnim računanjem in preverjanjem rezultatov. Šele nato je bil vključen v program za obdelavo in skladiščenje merilnih podatkov.

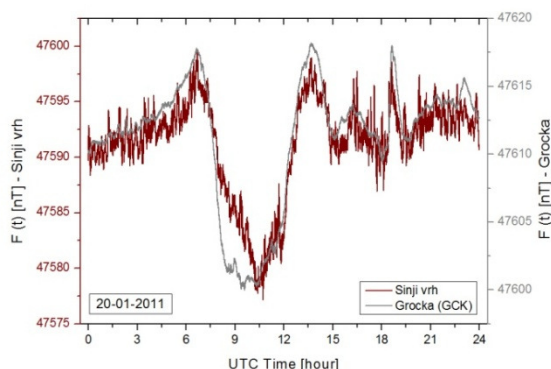
5 PREVERJANJE ALGORITMA ZA DOLOČANJE KOEFICIENTA KORELACIJE

Za preverjanje algoritma za določitev koeficienta korelacije [12, 13] so bili uporabljeni merilni podatki protonskega magnetometra v času tretjega cikla testiranja tega instrumenta. Za referenco je bil izbran magnetno miren dan 20-01-2011 s kvaliteto merilnega signala $SQ = 99$ (slika 3). Ker so podatki za referenčni dan sami sebi enaki, je korelacijski koeficient za ta dan $r = 1,00000$ (avto-korelacija). V tej seriji meritev se od referenčnega dne najbolj razlikuje 25-01-2011 (slika 4) s kakovostjo merilnega signala $SQ = 72$ in korelacijskim koeficientom (križna korelacija) $r = -0,16289$.

Tabela 2: Korelacijski koeficienti posameznih dni iz tretjega testnega cikla

| Dan [dd.mm.lllll] | Korelacijski koeficient r | |
|----------------------|-----------------------------|----------------|
| | Sinji vrh | Grocka (GCK) |
| 20.01.2011 | 1,00000 | 0,92880 |
| 21.01.2011 | 0,73914 | 0,83943 |
| 22.01.2011 | 0,82041 | 0,84288 |
| 23.01.2011 | 0,80229 | 0,80662 |
| 24.01.2011 | 0,35404 | 0,01337 |
| 25.01.2011 | -0,16289 | 0,55334 |

Korelacijski koeficient s številko podaja podobnost med dvema dnevnima spremembama absolutne vrednosti zemeljskega magnetnega polja (tabela 2), podane v obravnavanem primeru z dvema diskretnima časovna funkcijama $f(t)$ in $g(t)$. Večina izračunanih koeficientov korelacije je pozitivnih $r \geq 0$ ali linearna odvisnost obeh funkcij je pozitivna. To pomeni, da pri povečani vrednosti prve časovne funkcije sledi povečanje tudi druge in zmanjšanje prve časovne funkcije sledi zmanjšanje tudi druge. Koeficient korelacije obenem podaja tudi stopnjo odvisnosti časovnih funkcij. Večji ko je ta koeficient, večja je stopnja medsebojne odvisnosti obeh časovnih funkcij.



Slika 3: Sprememba absolutne vrednosti zemeljskega magnetnega polja $F(t)$ v izbranem referenčnem dnevu in tretjem ciklu testnih meritev

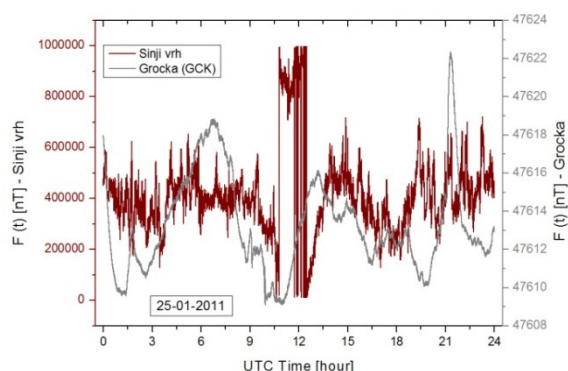
Tako kot že izračun srednja vrednost signala μ in standardni odklon σ (tabela 1) napovedujeta slabo meritev za dan 25.01.2011 tako tudi korelacijski koeficient $r = -0,16289$ (tabela 2). Meritve tega dne nimajo nobene podobnosti z referenčnimi meritvami z dne 20.01.2011. Zato so bili izračunani še korelacijski koeficienti za meritve na geomagnetnem observatoriju Grocka. Pri tem izračunu pa se je izkazalo, da meritve na tem observatoriju dne 24.01.2011 zelo odstopa od referenčnih, čeprav so bile meritve ocenjene s $SQ = 99$.

Izhodiščna časovna funkcija za nadaljnji izračun koeficienta korelacije je lahko meritev spremembe zemeljskega magnetnega polja v izbranem dnevu v magnetno mirnem obdobju ali predhodni dan. Posamezni korelacijski koeficient se ob koncu posamezne meritve ob izteku dneva naloži v datoteko za vsak tekoči mesec, lahko pa se tudi doda v ime same datoteke z merilnimi podatki.

6 FOURIEROVA TRANSFORMACIJA IN FREKVENČNA ANALIZA

Pri izračunavanju konvolucije, križne korelacije, avto-korelacije ali korelacije z računalnikom lahko nastanejo problemi zaradi dolgega računalniškega časa potrebnega za izračun obsežne matrike z medsebojnimi produkti vseh vzorcev obravnavanih signalov [9, 14]. To se rešuje z nadomestilom števil s plavajočo ničlo z navadnimi števili z omejeno dolžino ali pa z namenskim računalnikom prilagojenim za to vrsto izračunov.

Izbira boljših algoritmov najbolj poveča hitrost izvajanja vseh operacij nad signali. S preslikavo funkcij iz časovnega (time domain) v frekvenčni prostor (frequency domain) se dobi popolnoma enak končni rezultat vendar v krajšem času. So pa ti algoritmi za Fourierovo transformacijo FFT (Fast Fourier transform) zelo zahtevni in posebno zanimivi pri proučevanju in primerjanju frekvenčnih spektrov izjemnih dinamičnih pojavov v geomagnetnem polju in pri proučevanju njihovega vpliva na naše življenje [15].



Slika 4: Sprememba absolutne vrednosti zemeljskega magnetnega polja $F(t)$ v tretjem ciklu testnih meritev v dnevni s kakovostjo merilnega signala $SQ = 72$

7 SKLEP

Prednosti, ki jih prinaša sprotna obdelava merilnih rezultatov kot signale, so navedene že pri izračunu srednje vrednosti signala μ in standardnega odklon σ (tabela 1) ter pri preverjanju algoritma za določitev koeficienta korelacije r (tabela 2). Primerjava izmerjenih vrednosti in njihova obdelava dokazujeta, da je izbrano mesto postavitve observatorija primerno in da bo lahko služil svojemu namenu. Lastnosti meritve sprememb zemeljskega magnetnega polja na observatoriju, ki nastaja zaradi značilne geološke sestave tal (slika 2), je treba upoštevati pri absolutnih meritvah z ustrežno izbiro načina obdelave merilnih podatkov.

Za ugotavljanje vpliva okolice na geomagnetne meritve na observatoriju bi bilo treba obstoječo in načrtovano merilno opremo dopolniti še z avtomatskimi meritvami:

- vremenoslovno postajo na observatoriju za ugotavljanje korelacije med spremembami vremena in geomagnetnega polja,
- hidrografske postajo na izviri reke Hubelj, ki izvira na nadmorski višini okoli 200 m pod observatorijem,
- merilec pospeškov za ugotavljanje seizmoloških vplivov na geomagnetne meritve.

Postavitev geomagnetnega observatorija pod Sinjim vrhom nad Ajdovščino in njegov nadaljnji razvoj je pomemben tako za razvoj znanja na področju geomagnetizma v okviru Visokošolskega središča Sežana kot tudi za vso Slovenijo. Meritve zemeljskega magnetnega polja so namreč v razvitih državah sveta na ravni meteoroloških, hidroloških in seizmoloških meritev.

LITERATURA

- [1] Čop Rudi "Gradnja geomagnetnega observatorija pod Sinjim vrhom nad Ajdovščino", *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2010 : zbornik predavanj*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2011, p. 59–64.
- [2] Paliska Dejan, Čop Rudi, Fabjan Daša "The use of GIS-based spatial multi-criteria evaluation in the selection process for the new Slovenian geomagnetic observatory site", *Annales, Series historia naturalis*, 2010, vol. 20, no. 1, p. 67–74. ISSN: 1408-533X.
- [3] Stern P. David "A Millennium of Geomagnetism", *Reviews of Geophysics*, September 2002, vol. 40, no.3, p. B-1-B-30.
- [4] Stegel Robert, Čop Rudi "Štiri stoletja meritev zemeljskega magnetnega polja", *Življenje in tehnika*, oktober 2009, vol. 60, no. 10, p. 23–32.
- [5] Kerridge David "INTERMAGNET: Worldwide Near-Real-Time Geomagnetic Observatory Data", Edinburgh (UK): British Geological Survey, 2001.
- [6] Čop Rudi, Kosovac Pavel "Primerjalne meritve Overhouserjevega protonskega gradiometra", *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2009 : zbornik predavanj*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2010, p. 23–29.
- [7] "First X-flare of the New Solar Cycle", <http://spaceweather.com/archive.php?view=1&day=15&month=02&year=2011>.
- [8] Thomson William (Lord Kelvin), Tail P. Guthrie, *Principles of mechanics and dynamics (formerly titled Treatise on Natural Philosophy) in two parts*. Part I. New York : Dover Publication, 1962.
- [9] Smith W. Steven, *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. California Technical Pub, 1997. ISBN: 9780966017632.
- [10] Hinton Oliver. *Digital Signal Processing*. Chapter 6. Describing Random Sequences. EEE305/801. Newcastle upon Tyne (UK): University of Newcastle upon Tyne: School of Electrical, Electronic and Computer Engineering, 2002.
- [11] Manson L. Robert, Gunst F. Richard, Hess L. James. *Statistical Design and Analysis of Experiments, with Application to Engineering and Science*. 2 edition. Wiley – Interscience, 2003. ISBN: 047137216.
- [12] Gjendemsjø Anders, Baraniuk Richard, *Convolution - Complete example*, <http://cnx.org/content/m11541/latest/>.
- [13] Trochim M. K. William, *Correlation*. <http://www.socialresearchmethods.net/kb/statcorr.php>.
- [14] Lyons G. Richard, *Understanding Digital Signal Processing*. Reading (MA, US): Addison Wesley Longman, 1997. ISBN: 0201634678.
- [15] Čop Rudi, Mihajlović J. Spomenko, Cander R. Ljiljana, "Magnetic storms and their influence on navigation", *Pomorstvo (Rij., 1999)*, 2008, vol. 22, no. 1, p. 89–99.

Rudi Čop je doktoriral leta 2003 na Fakulteti za pomorstvo in promet v Portorožu in naslednje leto še na Fakultetu elektrotehnike i računarstva v Zagrebu. Področje njegovega dela so merilni instrumenti, meritve in obdelava signalov. Je predstojnik Laboratorija za geomagnetizem in aeronomijo pri Visokošolskem središču Sežana in vodi projekt gradnje geomagnetnega observatorija pod Sinjim vrhom nad Ajdovščino.

Damir Deželjin končuje magistrski študij računalništva na Fakulteti za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije v Kopru. Že več kot deset let uspešno povezuje teorijo s prakso na področju informacijskih tehnologij IT. V zadnjem času je zaposlen pri enem večjih podjetij IT v Sloveniji kot arhitekt rešitev na področju informatike. Z Laboratorijem za geomagnetizem in aeronomijo pri Visokošolskem središču Sežana sodeluje na področju zajemanja, daljinskega prenosa in obdelave merilnih podatkov.

Spomenko J. Mihajlović je leta 1996 doktoriral na Rudarsko-geološkem fakultetu v Beogradu. Je tehnični direktor Geomagnetskega observatorija Grocka (GCK) v Grocki pri Beogradu. Udeležen je pri večjem številu projektov s področja proučevanja in uporabe zemeljskega magnetnega polja. Z Laboratorijem za geomagnetizem in aeronomijo pri Visokošolskem središču Sežana sodeluje na področju geomagnetnih meritev in pripravi projektov.

Pavel Kosovac je zaposlen v geodetskem podjetju v Sežani kot geodet z dolgoletnimi izkušnjami na geodetskih meritvah. Z Laboratorijem za geomagnetizem in aeronomijo pri Visokošolskem središču Sežana sodeluje na področju geomagnetnih in astronomskih meritev in obdelavi merilnih podatkov.