

# Geomagnetne meritve na ozemlju Republike Slovenije

Rudi Čop<sup>1</sup>

## Povzetek

Geomagnetne meritve na ozemlju Republike Slovenije so v članku predstavljene na osnovi dosegljivih dokumentov vse od leta 1848 pa do danes. V tem obdobju je to ozemlje pripadalo najprej Avstro–Ogrski monarhiji, nato Kraljevini Jugoslaviji in del tudi Kraljevini Italiji, ter po koncu druge svetovne vojne nekdanji Jugoslaviji. Leta 1890 so bile na štirih mestih na ozemlju Slovenije izpeljane prve uporabne geomagnetne meritve. Takoj po koncu prve svetovne vojne so bile ponovljene na istih merilnih mestih. Da so bile to edine geomagnetne meritve na ozemlju Slovenije vse do sredine dvajsetega stoletja je predvsem posledica razmer v Kraljevini Jugoslaviji, ki je bila edina država v takratni Evropi brez svojega geomagnetnega observatorija. Sistematične meritve zemeljskega magnetnega polja po celotnem ozemlju Slovenije so bile narejene šele v nekdanji Jugoslaviji. Stanje teh meritev v ostalih republikah, nastalih po razpadu nekdanje Jugoslavije, so opisane v zaključku tega članka.

**Ključne besede:** geomagnetne meritve, Slovenija

**Key words:** geomagnetic measurements, Slovenia

## Uvod

V 19. stoletju se je povečalo zanimanje za zemeljsko magnetno polje in njegovo proučevanje. Alexander von Humboldt (1769–1859) je na svojih dolgih potovanjih po Latinski Ameriki in Rusiji, ki so se začela leta 1798, sistematično meril deklinacijo, inklinacijo in relativno jakost geomagnetnega polja. Proučeval je pojave magnetnih neviht in s svojim pionirskim delom veliko prispeval k razumevanju lastnosti zemeljskega magnetnega polja, merjenega na površini Zemlje (Mandea et al, 2010).

Karel Kreil (1798–1861) je leta 1837, še kot upravnik observatorija v Pragi, opravil prve terenske meritve geomagnetnega polja v Evropi in sicer na področju beneških lagun (Courtillet & Le Mouel, 2007). Kot prvi direktor Osrednjega zavoda za meteorologijo in geomagnetizem na Dunaju pa je vodil obsežne meritve na področju Avstro–Ogrske monarhije, južne Evrope, obal Jadranskega in Črnega morja ter Anatolije. Rezultati teh meritev, ki so bili objavljeni kot geomagnetni zemljevid dobe 1850.0, so se uporabljali za navigacijo v pomorstvu in kot izhodišče za nadaljnje raziskave v tedanji Avstro–Ogrski monarhiji.

Tako Alexander von Humboldt kot tudi Karel Kreil sta bila člana Magnetnega kluba (nem. Magnetischer Verein), ki je bil ustanovljen v Goettingenu leta 1838 v takratni Prusiji. Najvidnejši član tega kluba je bil Carl Friedrich Gauss (1777–1855) (Garland, 1979).

## Geomagnetne meritve na ozemlju Slovenije pred drugo svetovno vojno

Leta 1848 je bil na Dunaju ustanovljen Osrednji zavod za meteorologijo in geomagnetizem, ki je pokrival tudi slovenske dežele, takrat kot del Avstro–Ogrske monarhije (Zbornik, 1979). Leta 1860 je bil v Trstu ustanovljen prvi hidrografski zavod na

---

<sup>1</sup> Zavod Terra Viva, Sv. Peter 115, 6333 Sečovlje

področju Jadranskega morja, ki pa so ga leta 1866 ukinili. Njegova oprema je bila preseljena v Pulj, kjer je bil nato leta 1869 ustanovljen Hidrografski zavod Cesarsko kraljeve Vojne mornarice (Dobrić, 2009). V okviru tega Hidrografskega zavoda je deloval tudi Astronomski observatorij – Zvezdarnica, ki so ga sestavljali: astronomski, meteorološki in geomagnetni observatoriji ter observatorij za morsko plimovanje. Leta 1895 je Hidrografski zavod v Pulju dobil tudi oddelek za geofiziko.

Cesarsko kraljeva Vojna mornarica je od leta 1866 do leta 1870 opravila kartografske meritve vzhodne obale Jadranskega morja. Na osnovi teh meritev so nato v Pulju in na Dunaju izdelali pomorske zemljevide vzhodnega dela Jadrana. Pomorski zemljevidi Cesarsko kraljeve Vojne mornarice so omogočali varno plovbo po Jadranu in so bili osnova za vse nadaljnje jugoslovanske in italijanske pomorske zemljevide. Na Jadranskem morju je Hidrografski zavod iz Pulja v letih 1889 in 1890 izpeljal geomagnetne meritve. Leta 1890 so bile narejene geomagnetne meritve tudi v Celju, Ljubljani, Mariboru in Novem mestu. Na teh štirih merilnih mestih je leta 1918 Osrednji zavod za meteorologijo in geomagnetizem z Dunaja meritve ponovil (Mokrović, 1948).

Po razpadu Avstro–Ogrske monarhije je leta 1919 v Ljubljani nastal Zavod za meteorologijo in geodinamiko, po drugi svetovni vojni pa iz tega Meteorološki zavod Republike Slovenije. Že iz nazivov teh ustanov je moč razbrati, da se je področje geomagnetizma na ozemlju Sloveniji omejeno razvijalo le v času Avstro–Ogrske monarhije in to v glavnem za potrebe Cesarsko kraljeve Vojne mornarice. Tudi vzdrževanje objektov za pomorski promet tako v Kraljevini Italiji kot tudi v Kraljevini Jugoslaviji ni doseglo nivoja iz časov Avstro–Ogrske (Volpi–Lisjak, 1997). Kraljevina Madžarska, ki ji je do uveljavitve Trianonske pogodbe iz leta 1920 pripadalo Prekmurje, pa je imela na področju geomagnetnih meritev zelo bogato tradicijo. Meritve zemeljskega magnetnega polja se na Madžarskem sistematično opravljajo že od leta 1768 (Csontos et al, 2007).

### **Meritve vertikalne komponente na področju Slovenije**

Geomagnetne raziskave po drugi svetovni vojni so prispevale predvsem k boljšemu poznavanju ležišč rudnih bogastev in geološke zgradbe ozemlja. Celoten projekt meritev in izdelavo regionalne magnetične karte Slovenije je izpeljal Geološki zavod Ljubljana. Za te meritve so uporabili torzijski magnetometer za merjenje vertikalne komponente zemeljskega magnetnega polja ali magnetno tehtnico (Haalck, 1956) (Slika 1).

V letih od 1951 do 1964 je bil podrobno izmerjen jugozahodni in severovzhodni del Slovenije (Miklič, 1968). Na Primorskem in na delu Notranjske je bila izmerjena vertikalna komponenta zemeljskega magnetnega polja južneje od zveznice Anhovo – Trnovski gozd – Nanos – Rakek – Rupa, v Prekmurju z delom Štajerske pa severneje od zveznice Šentilj – Rače – Hudinja – Konjice – Planina – Sevnica – Bizeljsko ob Sotli. Na teh dveh delih je bilo opravljeno preko 13.500 meritev ali 2 meritvi na vsak 1 km<sup>2</sup>. Pri meritvi osrednjega dela Slovenije v letih 1968 in 1969 so zaradi čimbolj enakomerne porazdelitve merilnih mest 30% vseh meritev opravili na težje dostopnih krajih. Gostota meritev je bila tokrat v povprečju 1 meritev na 5 km<sup>2</sup>. Nekoliko redkeje so bila razporejena merilna mesta v Alpah in na težje dostopnih krajih ter v okolici Ljubljane. Tam so se morali izogibati mest z močnim vplivom enosmerne električne železnice.

Dnevna variacija geomagnetnega polja je bila izmerjena delno na samem merilnem mestu, delno z uporabo magnetometra na bazni postaji. Sekularne spremembe so bile upoštevane na osnovi variometričnih meritev na geomagnetnem observatoriju Tihany ob Blatnem jezeru na Madžarskem. Ocenjena merilna točnost je bila okoli 10 nT. Vse meritve

komponente  $Z$  so bile naknadno reducirane na takratno mrežo ponavljalnih postaj razreda B (Jankowski & Sucksdorff, 1996), enakomerno razporejenih po ozemlju nekdanje Jugoslavije.

Za končno poročilo vseh meritev vertikalne komponente zemeljskega magnetnega polja v Sloveniji, opravljenih v obdobju od leta 1951 do leta 1969, je bila njegova normalna komponenta izračunana po enačbi (EEMP, 1997):

$$Z_n = Z_0 + a \Delta\varphi + b \Delta\lambda + c (\Delta\varphi)^2 + d (\Delta\lambda)^2 + e \Delta\varphi\Delta\lambda,$$

kjer so:

$Z_n, Z_0$  ... normalna vrednost vertikalne komponente izmerjene na določeni  $\varphi$  in  $\lambda$ ;

$\Delta\varphi, \Delta\lambda$  ... odstopanje od referenčne zemljepisne širine  $\varphi$  in zemljepisne dolžine  $\lambda$ .

Koeficienti  $a, b, c, d$  in  $e$  so bili določeni za merilno obdobje 1950.5 in 1956.5 ter za  $44^\circ\text{N} < \varphi < 48^\circ\text{N}$  in  $12^\circ\text{E} < \lambda < 18^\circ\text{E}$ . S pomočjo linearne ekstrapolacije so bili ti koeficienti izračunani še za merilno obdobje 1969.0



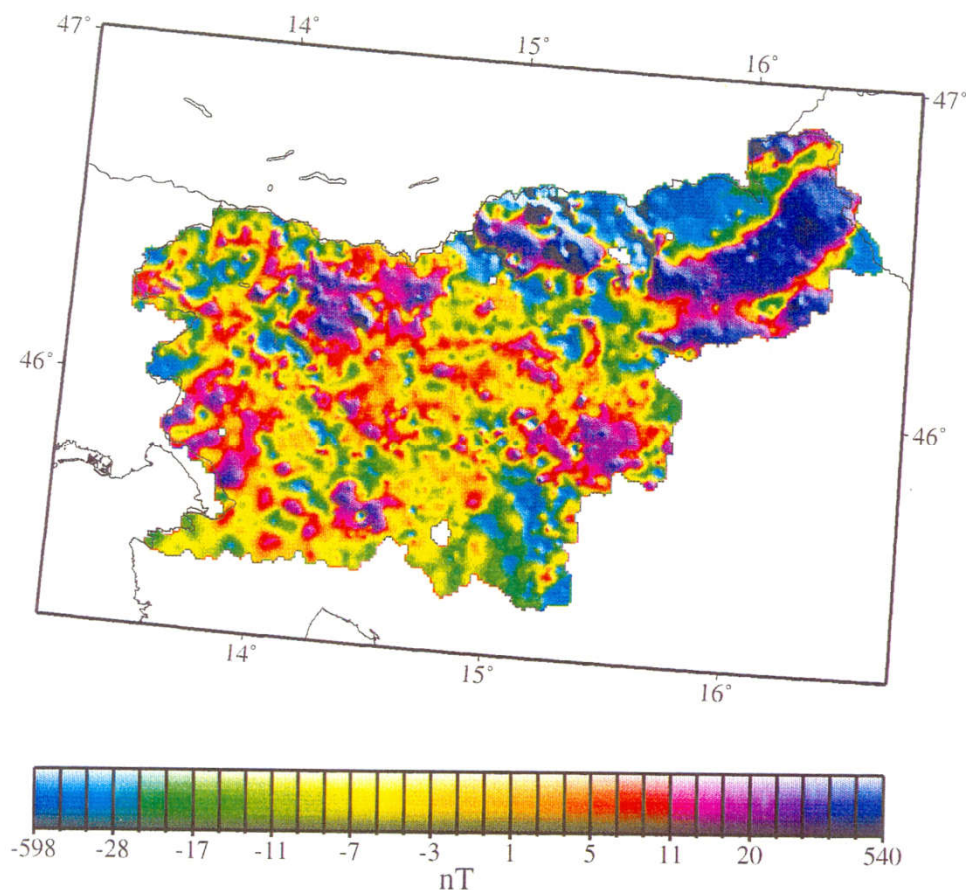
*Slika 1: Magnetna tehnica, ki jo je podjetje Askania Werke A.G. iz Berlina izdelovalo serijsko.*

### **Regionalna magnetična karta Slovenije**

Meritve vertikalne komponente geomagnetnega polja so bile osnova za izdelavo regionalne magnetične karte Slovenije v letu 1969. Iste meritve so bile nato uporabljene pri izdelavi zemljevida anomalij vertikalne komponente celotnega ozemlja nekdanje Jugoslavije v letu 1971 (Stojković et al, 1974).

Geomagnetna območja Slovenije se ne ujemajo z geotektonskimi enotami, ki so se oblikovale v geološki preteklosti (Slika 2). Anomalije vertikalne komponente geomagnetnega polja so odraz sedanjega stanja v geodinamičnem razvoju tega ozemlja. So rezultat razmerja med zgornjim pokrivnim plaščem in posameznimi plastmi v zemeljski skorji.

Glede na anomalije vertikalne komponente geomagnetnega polja Slovenijo sestavljajo tri območja: Alpidi, Dinaridi in Panonska nižina. Tako za Alpe kot za Dinaride so značilne visoke gorske verige, ki so se dvignile v neogenu in kvartarju. Za Dinaride so značilne izrazite anomalije geomagnetnega polja spremenljivega predznaka, ki pa so omejene na manjša področja v obliki otokov. Na njihovih površjih so sicer nemagnetne karbonatne geološke formacije, vendar so v globinah magmatske kamenine, ki prevladujejo s svojim magnetizmom. Te anomalije se ne prekinjajo niti na velikih geoloških prelomih.



Slika 2: Sprememba vertikalne komponente zemeljskega magnetnega polja  $\Delta Z$  [nT] v Sloveniji (EEMP, 1997). Izmerjena je bila  $\sim 1,7$  m nad površino zemlje v mreži merilnih točk v medsebojni razdalji 1 km.

Alpidi so le v severnem delu Slovenije nad prelomnico, ki se iz Avstrije vleče čez Črno in Mozirsko planino ter se nadaljuje proti vzhodu na Madžarsko. K pravim Alpidom spadajo le Pohorje ter nižji hribi severno od zveznice Črna – Šoštanj – Maceljski Hribi. Vzdolž te meje se pojavljajo močnejše poudarjene anomalije z negativnim in pozitivnim predznakom. Tam prihajajo na površje starejše geološke formacije in magmatske

kamenine, ki povzročajo anomalije precej večjih vrednosti, kot so bile izmerjene na področju sosednjih Dinaridov. V podaljšku Alpidov v Panonsko nižino ima prevladujoči vpliv zgornja plast zemeljske skorje. Na njej so debeli sloji terciarnih sedimentov: konglomeratov, peščenjakov in laporja. Debelina teh zgornjih plasti zemeljske skorje odloča o velikosti anomalije vertikalne komponente geomagnetnega polja.

### **Projekt EEMP, Report 9: Slovenia**

Report 9: Slovenia (EEMP, 1997) iz decembra 1997 je bil izdelan v okviru projekta Eastern Europe Magnetic Project – EEMP. Namenjen je bil pregledu anomalij vertikalne komponente geomagnetnega polja v državah nekdanje Vzhodne Evrope, ki so se takrat želele vključiti v Evropsko Unijo. Zbrani in obdelani so bili vsi razpoložljivi podatki meritev komponente Z in združeni v poenotene in med seboj primerljive digitalne baze podatkov, ki so namenjene odkrivanju nahajališč nafte in mineralov.

Pri projektu EEMP je sodeloval tudi Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko iz Ljubljane. Poleg merilnih podatkov, ki so bili že uporabljeni za izdelavo regionalnega zemljevida anomalij vertikalne komponente geomagnetnega polja na ozemlju Republike Slovenije izdelanem v letu 1969, so bili pri tem projektu uporabljeni tudi merilni podatki meritev zemeljskega magnetnega polja iz leta 1988 in 1989 (Slika 2). Na področju severno od črte Tržič – Kamnik – Velenje – Mežica je bilo takrat merjeno s sodobnimi merilnimi instrumenti in s pomočjo letala. Za izračun normalnega magnetnega polja se je uporabljal način izračunavanja Geomagnetnega observatorija Grocka za merilno obdobje 1960.0. Kvadratna srednja vrednost pogreška teh meritev je znašala  $\pm 1$  nT pri napaki določitve pozicije letala znotraj razdalje 100 m.

### **Geomagnetne meritve od leta 1958 do leta 1989 - GMO Grocka**

Prve sodobne tri komponentne meritve geomagnetnega polja so bile narejene v času nekdanje Jugoslavije v obdobju od leta 1958 do leta 1960 (Mihajlovic et al., 2006). V Sloveniji so bile tedaj narejene meritve prvega reda na 34 ponavljalnih postajah (repeat stations) razreda C. Te so bile enakomerno porazdeljene po njenem ozemlju v medsebojni razdalji približno 30 km. Na vsaki od teh postaj je bilo eno samo merilno mesto za absolutne meritve. Meritve na ponavljalnih postajah razreda C se ponavljajo vsakih deset let (Jankowski & Sucksdorff, 1996).

Dve ponavljalni postaji za sekularne meritve razreda B sta bili tudi na ozemlju Slovenije: Kranjska gora in Lendava. Vsako tako ponavljalno postajo sestavljata dve merilni mesti v medsebojni razdalji do 5 km. Na enem merilnem mestu potekajo neprekinjene meritve vseh treh komponent geomagnetnega polja, na drugem merilnem mestu pa se po protokolu opravlja dvakrat dnevno absolutne meritve zemeljskega magnetnega polja. Posamezna meritev traja neprekinjeno najmanj tri dni. V času od leta 1960 do leta 1989 se je na ponavljalnih postajah razreda B ponavljalo merjenje v razdobjih od treh do petih let. Te meritve so bile osnova za spremljanje sekularnih sprememb geomagnetnega polja na celotnem ozemlju nekdanje Jugoslavije.

V času od leta 1958 do leta 1990 so bile narejene redukcije merilnih vrednosti geomagnetnega polja na ozemlju nekdanje Jugoslavije za devet obdobj: 1960.0, 1965.0, 1971.0, 1974.0, 1977.5, 1980.0, 1983.5, 1986.5 in 1989.5. Vse merilne vrednosti so bile reducirane na referenčne meritve v Geomagnetnem observatoriju Grocka (GCK), ki deluje od leta 1958 v vasi Brestovik poleg Grocke, okoli 36 km vzhodno od Beograda. Na

geomagnetnem observatoriju tečejo meritve vseh komponent geomagnetnega polja nepretrgoma preko celega leta in se opravljajo absolutne meritve vsaj enkrat tedensko. Stalne meritve na observatoriju so zato najbolj zanesljiv vir podatkov o spremembah zemeljskega magnetnega polja (Newitt et al., 1997).

### **Geomagnetne meritve leta 1998 - ZAMG Dunaj**

Centralni inštitut za meteorologijo in geodinamiko – ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) iz Dunaja je pri geomagnetnih meritvah v obdobju 1995 – 1998 uporabil pristop, ki se je zadnjih dvajset let razvijal v delovni skupini MagNetE (Magnetic Network of Europe) pri mednarodni organizaciji IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy). Ponavljalne postaje se obravnavajo enakovredno in imajo zato vektorski značaj (De Michelis & Duma, 2012). Od 19. do 22. oktobra 1998 so merilci ZAMG-a izmerili vrednosti geomagnetnega polja na štirih ponavljalnih postajah na ozemlju Republike Slovenije: Beltinci, Rogoza, Letališče Jožeta Pučnika Ljubljana in Kobarid (Duma, 1998). Te postaje so od 30 do 50 km južno od meje z Avstrijo. Pri njihovi določitvi so sodelovali Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko ter Geodetska uprava Republike Slovenije iz Ljubljane. Vse izmerjene vrednosti deklinacije, inklinacije ter absolutne vrednosti geomagnetnega polja, ki so bile leta 1998 izmerjene na ozemlju Slovenije, so bile reducirane na srednjo vrednost geomagnetnega polja (obdobje 1997.0), izmerjenega dne 21. oktobra 1998 na observatoriju Wien – Kobenzl (WIK) pri Dunaju (Berger et al., 2008).

### **Geomagnetne meritve v Sloveniji po letu 2000**

Na Javno agencijo za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije ARRS je bil 2006 neuspešno naslovljen predlog raziskovalno–razvojnega projekta 'Daljinsko merjenje anomalij zemeljskega magnetnega polja' (Čop & Fefer, 2006). Naslednje leto pa je bila na isto agencijo uspešna prijava projekta z naslovom 'Določitev magnetne deklinacije za območje Slovenije in primerjava z globalnimi modeli zemeljskega magnetnega polja' v okviru ciljnega raziskovalnega projekta Znanje za varnost in mir 2006–2010 (M4-225). Vodstvo tega projekta je prevzela Fakulteta za elektrotehniko pri Univerzi v Ljubljani, sodelovali pa so še Geodetski inštitut Slovenije in Fakulteta za pomorstvo in promet (Čop et al., 2008). Eden od rezultatov tega projekta je bil Model magnetne deklinacije za Slovenijo, ki ga je v končni obliki financirala Kontrola zračnega prometa Slovenije (Žagar & Radovan, 2012).

Vzporedno s projektom, ki ga je financirala ARRS, je potekalo iskanje primernege mesta za geomagnetni observatorij na ozemlju Slovenije (Paliska et al., 2010). Postavitev geomagnetnega observatorija je bila del aktivnosti ob ustanavljanju Visokošolskega središča Sežana, kjer je bil organiziran tudi Laboratorij za geomagnetizem in aeronomijo. Geomagnetni observatorij Sinji vrh se je začel postavljati po zaključku projekta M4-225 leta 2009. Njegova gradnja je potekala v dveh fazah in se je zaključila z njegovo vključitvijo v mednarodno informacijsko mrežo INTERMAGNET (*International Real-time Magnetic Observatory Network*) za izmenjavo merilnih podatkov o stanju zemeljskega magnetnega polja v skoraj realnem času. Observatorij je bil vključen v vozlišče EDI (Edinburgh, Scotland) kot observatorij TEST (Čop et al., 2011).

Po ukinitvi Visokošolskega središča Sežana in s tem tudi Geomagnetnega observatorija Sinji vrh so se začela pripravljala dela za postavitev geomagnetnega observatorija na robu

vasi Sv. Peter nad Dragonjo. Z mednarodno kodo PIA (Piran, Slovenia) je začel 1. januarja 2015 redno pošiljati merilne podatke o stanju geomagnetnega polja v mednarodno vozlišče EDI (Čop, 2015b). Za zanesljivo in varno delovanje tega observatorija je bilo potrebno razviti in zgraditi zanesljivo zaščito pred atmosferskimi razelektritvami (Čop et al, 2014) in proučiti vpliv Sonca na mobilno telefonijo (Čop, 2016a). Ker stoji observatorij v jugozahodnem delu Slovenije, v predelu z največjo gostoto strel v Evropi, se je temu prilagodila tudi enkratna konstrukcija triosnega magnetometra fluxgate zgrajenega posebej za observatorij PIA (Flux–Gate, 2014). Zato je ta observatorij postal vzorčni primer geomagnetnega observatorija za področja z veliko pogostostjo atmosferskih razelektritev (Čop, 2019). Pri njegovi gradnji je s svetovanjem in z merilnimi instrumenti za absolutne meritve (Jankowski & Sucksdorff, 1996; Čop, 2016b) sodeloval tudi V-OBS (IAGA Division V Working Group) (Support, 2019). Na njem so se izpeljale tudi originalne raziskave naravnih izvorov šuma v geomagnetnem polju: vpliv vremenskih front (Čop, 2015a) in vpliv napetosti Jadranske tektonske mikroplošče (Čop, 2017), na kateri je observatorij PIA skupaj z observatorijem CTS (Castello Tesino, Italy) edino merilno mesto te vrste.

## Zaključek

Geomagnetni zavod Grocka je v nekdanji Jugoslaviji skrbel za geomagnetne meritve na celotnem njenem ozemlju. Po razpadu Jugoslavije je Geomagnetni zavod Grocka nadaljeval meritve na ozemlju Srbije in Črne gore (Mihajlović et al., 2006). V preteklem desetletju je bil vključen v mednarodno informacijsko mrežo INTERMAGNET kot observatorij IMO (INTERMAGNET Observatory).

Prizadevanja, da bi se tudi v drugih republikah nekdanje Jugoslavije nadaljevalo z geomagnetnimi meritvami in postavilo geomagnetne observatorije, so se v preteklem desetletju začela v Hrvaški, v Severni Makedoniji (Delipetrov, 2006) in v Sloveniji. Njihov razvoj je bil v vseh treh državah precej podoben in prepuščen tako imenovanemu prostemu trgu. Dogajanja v Sloveniji je opisano v predhodnem poglavju. V Severni Makedoniji so raziskovalci na področju geomagnetizma iz te države, kljub dobrim začetkom, ostali pri terenskih meritvah na ponavljalnih postajah (Delipetrov et al., 2013). Na Hrvaškem ozemlju so geomagnetne meritve na ponavljalnih postajah naredili sodelavci Fakultete za geodezijo Univerze v Zagrebu (Brkić et al., 2012). Člani Geofizikalnega oddelka Prirodoslovne fakultete Univerze v Zagrebu pa so postavili geomagnetni observatorij v Lonjskem polju z mednarodno kodo LON (Mandic et al., 2016). Ta observatorij je bil v tem desetletju vključen tudi v mednarodno informacijsko mrežo INTERMAGNET kot observatorij IMO. Vzdržujejo ga usposobljeni in mednarodno priznani merilci geomagnetnega polja iz generacije srednjih let (Mandic & Korte, 2017).

## Literatura

- Berger, J. Duma, G. Leichter, B. (2008). Geomagnetic Measurements in Slovenia 1998 Performed during the Geomagnetic Survey of Austria 1995-1998. Presented on International scientific conference on Magnetism-Geomagnetism-Biomagnetism MGB – 2008. Sezana: VSS Sezana.
- Brkić, M. Šugar, D. Pavasović, M. Vujić, E. Jungwirth, E. (2012). Croatian geomagnetic field maps for 2008.5 epoch. *Annals of geophysics*, 55 (6), 1061–1069.
- Courtillot, V., Le Mouel, J-L. (2007). The study of Earth's magnetism (1269–1950): a foundation by Peregrinus and subsequent development of geomagnetism and paleomagnetism. *Reviews of Geophysics*, 45, RG3008.

- Csontos, A. Hegymegi, L. Heilig, B. Kovács, P. Merényi, L. Szabó, Z. (2007). 50 Years of History of the Tihany Geophysical Observatory. Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences. Monographic Volume C-99 (398). Editor Jan Reda. XII IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory, Instruments, Data Acquisition and Processing. Belsk, 19-24 June 2006. Warszawa; Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk, 32–37.
- Čop, R. (2015a). Snowstorm at the geomagnetic observatory. *Geoscientific Instrumentation Methodes and Data Systems*, 4, 155–159.
- Čop, R. (2015b). Zemeljsko magnetno polje in njegov vpliv na telekomunikacije. Kritična infrastruktura in IKT. Zbornik referatov. Uredil Tomi Mlinar. VITEL – Enaintrideseta delavnica o telekomunikacijah; 11. in 12. maja 2015 Brdo pri Kranju, Slovenija. Ljubljana: Elektrotehniška zveza Slovenije; Slovensko društvo za elektronske komunikacije, 29–33.
- Čop, R. (2016a). Vpliv Sonca na prenos merilnih podatkov v realnem času po omrežju mobilne telefonije. *Geodetski vestnik*, 60 (2), 197–211.
- Čop, R. (2016b). Absolutne meritve zemeljskega magnetnega polja. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2015. Uredniški odbor. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 73–84.
- Čop, R. (2017). Sprememba gostote energije v zemeljskem magnetnem polju. *Elektrotehniški vestnik*, 84 (4), 148–154.
- Čop, R. (2019). Poletna nevihta na geomagnetnem observatoriju. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2018. Uredniški odbor. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 7–14.
- Čop, R. Bilc, A. Beguš, S. Fefer, D. Radovan, D. (2008). Magnetne nevihte in njihov vpliv na navigacijo. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2007. Urednik Miran Kuhar. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 71–80.
- Čop, R. Deželjin, D. Mihajlović, J. S. Kosovac, P. (2011). Preliminary Measurements of Geomagnetic-field Variations in Slovenia. *Elektrotehniški vestnik*, 78 (3), 96–101.
- Čop, R. Fefer, D. (2006). Nature of Earth's magnetic field and its application for commercial flight navigation. *Geomagnetics for Aeronautical Safety. A Case Study in and around the Balkans. NATO Security through Science Series*. Editors: Jean L. Rasson, Todor Delipetrov. Dordrecht (Netherlands): Springer Netherlands, 115–126.
- Čop, R. Milev, G. Deželjin, D. Kosmač, J. (2014). Protection against lightning at a geomagnetic observatory. *Geoscientific Instrumentation Methodes and Data Systems*, 3, 135–141.
- Delipetrov, M. (2006). Activities completed toward establishing a geomagnetic observatory in the Republic of Macedonia. *Geomagnetics for Aeronautical Safety. A Case Study in and around the Balkans. NATO Security through Science Series*. Editors: Jean L. Rasson, Todor Delipetrov. Dordrecht (Netherlands): Springer Netherlands, 309–324.
- Delipetrov, M. Novkovski, N. Delipetrov, T. (2013). New geomagnetic measurements in the Republic of Macedonia. *Annals of geophysics*, 56 (3), R0327.
- De Michelis, P. Duma, G. (2012). Preface. 5th European Repeat Station (MagNetE) Workshop Rome, Italy 2011. *Annals of Geophysics*, 55 (6), 1051.
- Dobrić, B. (2009). Zbivanje u Puli krajem prvog svjetskog rata. Reformiranje Carske i kraljeve Ratne Mornarice i potopanje bojnog broda Viribus Unitis. *Storia Iustinopolitana, Annus II*, 1 (1), 43-64. Koper: Osrednja Knjižnica Srečka Vilharja.
- Duma, G. (1998). Results of geomagnetic measurements in Slovenia. Internal raport. Wien: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.
- EEMP. (1997). Eastern Europe Magnetic Project; Report 9: Slovenia. Report Number: G9753, Contract Code: G3594. Leeds (UK): University of Leeds; Department of Earth Sciences; Geophysical Exploration Technology (GETECH).
- Flux–Gate Magnetometer LEMI-022\_SI. (2014). User Manual; S/N: 021. Lviv (Ukraine): KMS Technologies; Laboratory for Electromagnetic Innovations.
- Garland, G. D. (1979). The contributions of Carl Friedrich Gauss to geomagnetism. *Historia Mathematica*, 6, 5–29.
- Haalck, F. (1956). A Torsion-Magnetometer for Measuring the Vertical Component of the Earth's Magnetic Field. *Geophysical Prospecting*, 4, 4, 424 - 441.



- Jankowski, J. Sucksdorff, C. (1996). IAGA Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice. International Association of Geomagnetism and Aeronomy.
- Mandea, M., Korte, M., Soloviev, A., Gvishiani, A. (2010). Alexander von Humboldt's charts of the Earth's magnetic field: an assessment based on modern models. *History of Geo- and Space Sciences*, 1, 63–76.
- Mandic, I. Korte, M. (2017). On the possibility of producing definitive magnetic observatory data within less than one year. *Acta Geophysica*, 65 (2), 275–286.
- Mandic, I. Vujic, E. Heilig, B. Pelajic, I. Herak, D. (2016). Recent efforts toward the establishment of the Lonjsko Polje Geomagnetic Observatory. *Acta Geophysica*, 64 (5), 1311–1339.
- Mihajlovic, J. S. Popeskov, D. Lazovic, C. Smiljanic, N. (2006). Geomagnetic Field Measurements at Magnetic Repeat Stations in Former Yugoslavia. *Geomagnetics for Aeronautical Safety. NATO Security through Science Series*. Edited by Jean L. Rasson and Todor Delipetrov. Dordrecht (NL): Springer Netherlands, 43-60.
- Miklič, F. (1968). Letno poročilo o regionalni magnetometrični izmeri območja centralne Slovenije in izdelavi regionalne magnetične karte SR Slovenije: 4. kvartal 1968. Opr. št. 222/1. Ljubljana: Geološki zavod.
- Mokrović, J. (1948). K problemu geomagnetizma u FNRJ. *Geodetski list, glasilo geodetskih sekcija Saveza inženjera i tehničara F. N. R. Jugoslavije*, II (718), 177–186.
- Newitt, L.R. Barton, C.E. Bitterly, J. (1997). IAGA Guide for Magnetic Repeat Station Surveys. International Association of Geomagnetism and Aeronomy.
- Paliska, D. Čop, R. Fabjan, D. Drobne, S. (2010). Izbira lokacije za postavitev geomagnetnega observatorija v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 2010, 54 (3), 469–480.
- Stojković, M. Ćirić, B. Damjanović, K. (1974). Tolmač za geomagnetno katro SFR Jugoslavije, Anomalije vertikalne komponente, 1:500 000. Izdelal Geomagnetni inštitut Grocka. Beograd: Zvezni geološki zavod.
- Support for observatories. (2019). International Union of Geodesy and Geophysics – IUGG; International Association of Geomagnetism and Aeronomy – IAGA; DIVISION V: Geomagnetic observatories, surveys and analyses – V-OBS, 2014. <https://www.bgs.ac.uk/iaga/vobs/> (17.10.2019)
- Volpi–Lisjak, B. (1997). Uporaba vulkanske zemlje z otoka Santorina za pomorske gradnje na vzhodnem in severnem Jadranu v času Avstrijske oblasti (Iz Državnega arhiva v Trstu). *Annales, Anali za istrske in mediteranske študije; Series historia et sociologia* 4, 10, 163–174.
- Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike; History reviews-science and technology. (1979). Zvezek 4. Ljubljana: Slovenska matica.
- Žagar, T. Radovan, D. (2012). Model magnetne deklinacije za Slovenijo. *Geodetski vestnik*, 56 (2), 267–274.