

Poletna nevihta na geomagnetnem observatoriju

Rudi Čop¹

Povzetek

Na geomagnetnem observatoriju telekomunikacijsko, računalniško ali merilno opremo delno ali popolnoma uničujejo udari strel, požari, vandalizmi ali poplave. Tako materialno izgubo se da nadomestiti le v daljšem časovnem obdobju. V tem obdobju pa se zgubijo merilni podatki in se zato ne ustvarjajo tudi produktov iz njih. To pa zniža stopnjo uporabnosti observatorija in zanesljivosti njegovega delovanja.

Atmosferske razelektritve so najpogostejši vzrok uničenja opreme geomagnetnih observatorijev. V območju Srednje in Južne Evrope je zaradi strele prizadet eden od observatorijev na vsake dve leti. Zato je dobra zaščita teh objektov pred prenapetostmi tisto, kar omogoča njihovo zanesljivo obratovanje.

Ključne besede: geomagnetni observatorij, udari strel, posledice.

Key words: geomagnetic observatory, lightning's strokes, consequences.

Geomagnetni observatorij

Magnetno polje Zemlje se zaključuje v vesolju v neposredni bližini planeta, v magnetosferi. Nanj deluje medplanetarno magnetno polje, ki ga sončni veter raznaša od Sonca po celotni heliosferi. Meritve sprememb zemeljskega magnetnega polja zato segajo od središča Zemlje do središča Sonca in zavzemajo prostor s premerom 1 astronomske enote (1 AU = 149,60E6 km). V zadnjih petindvajsetih letih so se geomagnetni observatoriji zelo spremenili zaradi razvoja računalniških in telekomunikacijskih tehnologij ter merilne tehnike (Korte et al., 2009; Matzka et al., 2010). Zmanjšalo se je število sodelavcev na observatoriju, močno pa povečala količina razpoložljivih merilnih podatkov. Te je potrebno še dodatno obdelati in preoblikovati v uporabno obliko, v produkte observatorija.

Pri izbiri primernege mesta za postavitev novega geomagnetnega observatorija na ozemlju Republike Slovenije so bila izhodišča priporočila mednarodnih organizacij IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) in INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network) (Paliska et al., 2010) ter izkušnje, pridobljene pri gradnji in obratovanju geomagnetnega observatorija pod Sinjim vrhom (Čop, 2011; Čop & Deželjin, 2012; Čop et al., 2011). Zaradi večje prisotnosti šuma od pričakovanega na Gori nad Ajdovščino sem dodatno naredil ustrezne meritve od obale Jadranskega morja do Sinjega vrha na petih mestih približno enako oddaljenih med seboj in na približno enaki zemljepisni dolžini. Pri tem sem odkril geomagnetno najmirnejši predel na ozemlju Slovenije ob južni obali njenega morja, ki ga predhodne meritve (Čop & Kocen, 2009) in analize GIS (geographic information system) niso pokazale (Paliska et al., 2010).

Geomagnetni observatorij PIA (Piran, Slovenia) (v nadaljnjem besedilu: Observatorij) sem s sodelavci postavil na izbranem zemljišču pri vasi Sveti Peter (v nadaljnjem besedilu: Sv. Peter) v Občini Piran (Čop, 2017). Ta vas je značilna stara istrska gručasta vas na skrajnem robu Šavrinskega gričevja (Istra, 1988; Čop, 2003). To flišno gričevje sestavlja Slovensko

¹ Zavod Terra Viva, Sv. Peter 115, 6333 Sečovelje

Istro med rekama Rižana in Dragonja in je zaradi prevladujočih sivih laporjev tudi del sive Istre. Sleme, na katerem je vas Sv. Peter, je med dolinama potoka Drnice na severu in reke Dragonje na jugu. Sestavlja jo nekaj že združenih in nekaj ločenih zaselkov. Med njimi je tudi zaselek, ki leži na gornji tretjini pobočja nad reko Dragonjo. Na pobočju nad zaselkom sta značilna istrska kala, ki dajeta vodo v izvire v dolini reke Dragonje pod vasjo Krkavče. Vas Krkavče je na nasprotno ležečem slemenu. Njen osrednji del s cerkvijo in vaškim zvonikom je postavljen na tršo kamnito plast apnenca, ki je vrinjena med ostale plasti peščenjakov. Poleg hidroloških, meteoroloških in seizmoloških lastnost tega območja, je prav njegova geologija tista, ki je najbolj pomembno vplivala na izbiro lokacije za Observatorij in na njegovo zgradbo. Pomemben je namreč prenos potresnih valov po posameznih plasteh kamenin in potek podzemnih vod (NIB, 2003).



Slika 1 – Glavni jašek na geomagnetnem observatoriju PIA (Piran, Slovenija) po končani 1. fazi njegove gradnje v januarju 2015.

Observatorij PIA (Piran, Slovenija)

Poleg tega, da je področje Slovenske Istre tudi potresno področje, je bilo pri postavitvi Observatorija potrebno upoštevati poplave površinskih vod in tokove podtalnice. Način njegove gradnje pa je bil v prvi vrsti pogojen z zaščito pred atmosferskimi razelektritvami in razelektritvami v ionosfero (Čop, 2015). Zato je vkopan v zemljo (Slika 1). Zaradi take nestandardne izvedbe je bilo zanj enostavneje pridobiti vsa potrebna soglasja in ustrezno mnenje upravne enote za njegovo gradnjo. Tudi njegova gradnja je bila enostavnejša in cenejša od klasične oblike geomagnetnega observatorija. Meteorološke in klimatološke razmere na Observatoriju dovoljujejo absolutne meritve geomagnetnega polja (Čop, 2016) na merilnih stebrih brez dodatnih paviljonov in ogrevanja. Dostopen je preko celega leta, ima zanesljive telekomunikacijske povezave (Čop & Deželjin, 2013 in zanesljiv vir električne energije. Je na robu kmetijskih zemljišč in v območju Nature 2000 (MOP, 2007).

Projektiranje in priprave na gradnjo Observatorija so se začele v februarju 2014. Pri tem je bilo potrebno uravnotežiti želje, znanje in izkušnje, finančne in pravne možnosti ter

politične in socialne pogoje. Odločujoči pa so bili pogoji, ki se jih v naprej točno ne da določiti. So rezultat trenutnega ekonomskega, sociološkega, psihološkega in političnega trenda v okolici. Odvisni so od ljudi, ki neposredno in posredno sodelujejo pri gradnji observatorija ali lahko vplivajo na to gradnjo. Observatorij je začel poizkusno obratovati v jeseni 2014 in 1. januarja 2015 je kot testni observatorij (TEST Observatory) začel redno pošiljati merilne podatke v mednarodno mrežo INTERMAGNET.

Lastnosti Observatorija so: a) leži na Jadranski tektonski mikroplošči (Weber et al., 2010; Cuffaro et al., 2010); b) je neposredno in redno vključen preko vozlišča GIN EDI (Edinburgh, Scotland) v mednarodno informacijsko mrežo INTERMAGNET za izmenjavo merilnih podatkov v skoraj realnem času (Technical, 2012); c) še naprej sodeluje pri razvoju magnetometrov in razvija svoj merilni instrument za elektromagnetne valove ULF (ultra low frequency) (Čop & Henigman, 2018).

Meritve sprememb lokalnega magnetnega polja na Observatoriju ter osnovni rezultati njihove obdelave (bazne vrednosti, geomagnetni indeksi) so uporabni na različnih področjih znanosti, tehnike in vsakdanjega življenja.

1) Observatorij ustreza priporočilom mednarodnih organizacij in so zato njegove meritve uporabne v geofiziki pri proučevanju geomagnetnega dinamika in vpliva sončnega vetra nanj (Čop et al. 2008). Predvsem pa je primeren za spremljanje sprememb geomagnetnega polja na svoji lokaciji zaradi posebnosti okolja, v katerem je Observatorij postavljen in v katerem živimo.

2) Nobena dosedanja civilizacija ni bila tako odvisna od stanja geomagnetnega polja kot prav sedanja. Med najbolj občutljive spadajo telekomunikacije (Čop, 2015a; Čop, 2016a) in pa radijski satelitski navigacijski sistemi.

3) Z razvojem satelitske navigacije je magnetna navigacija postala sekundarna oblika (Čop et al., 2008a). Današnje opravičilo za obstoj in nadaljnji razvoj geomagnetnih observatorijev je prav v nepopolnosti satelitskih navigacijskih sistemov (Petersen & Hurst, 2018). Za sekularne spremembe geomagnetnega polja, ki se običajno upoštevajo pri magnetni navigacije, je prvi uporabni model postavil že Friedrich Gauss v prvi polovici 19. stoletja (Glassmeier & Tsurutani, 2014; Manda et al, 2010). Uporaba sodobnih modelov globalnega geomagnetnega polja zahteva ustrezno znanje in preverjanje dobljenih rezultatov (Chulliat et al., 2015; Thébaud et al., 2015). Je pa magnetna navigacija še vedno primarna oblika za varnostne sisteme in pri geoloških vrtnanjih (Buchanan et al. 2013).

4) Biološke raziskave so na nivoju raziskave bioloških magnetnih senzorjev pri bakterijah (Blakemore, 1982; Matsunaga et al. 2007). Medicinske raziskave na tem področju so šele v začetni fazi (Campbell, 1995; Dezeljin & Cop, 2013).

5) V okviru Observatorija je bila narejena študija o vplivu cikla sončnih peg in geomagnetnih neviht na našo ekonomijo in družbo (Jere Jakulin & Čop, 2017).

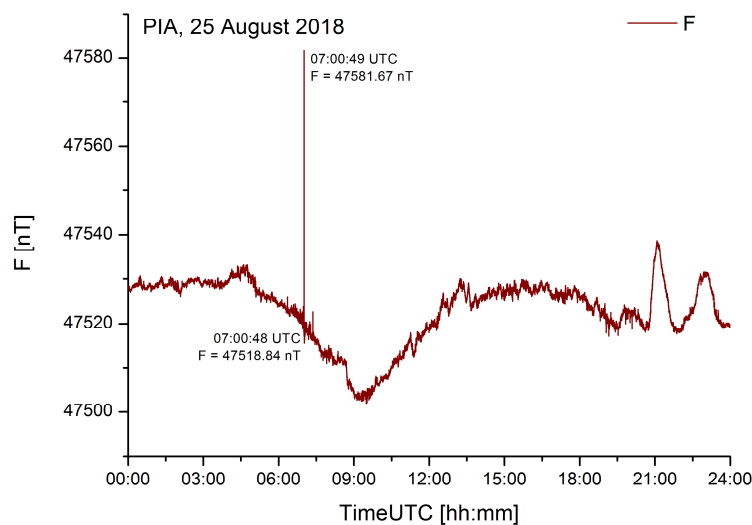
6) Lega Observatorij na Jadranski tektonski mikroplošči omogoča bazične raziskave na področju spremembe energije v geomagnetnem polju ob spremembi napetosti te plošče (Čop, 2017a).

7) Vliv cikličnih sprememb geomagnetnega polja je del raziskav za potrebe razumevanja sprememb v klimatologiji in hidrologiji (Friis-Christensen, 2018; Čop, 2015b).

Zaščita pred atmosferskimi razelektritvami

Sistem zaščite pred delovanjem strele po obstoječih tehničnih smernicah mora omejiti okvare električnih, telekomunikacijskih in drugih oskrbovalnih sistemov ter zagotoviti nizke napetosti dotika in koraka (TSG-N-003, 2013). Enostavne objekte (Uredba, 2013) po teh tehničnih smernicah ni potrebno zaščititi pred strelo. Vendar ima geomagnetni

observatorij, če sodi v to skupino zgradb, svoj lastni energijski vir, od observatorija pa se zahteva visoka stopnja zanesljivosti delovanja. Glede na sprejemljiv riziko je za geomagnetni observatorij priporočljiv sistem zaščite pred delovanjem strele najzahtevnejšega razreda. Da so stroški zaščite takega objekta pred strelo v razumnih mejah, je napajalni sistem za električno energijo kot tudi komunikacijski sistem galvansko izoliran. Sami električni instalaciji, tako izmenične nizke napetosti kot tudi enosmerne male napetosti, sta zahtevni (TSG-N-002, 2013). Osnovno napajanje je iz javnega niskonapetostnega omrežja s sistemom zaščite pred strelo z neposrednimi galvanskimi povezavami in preskoki ter prenapetostnimi zaščitnimi napravami.



Slika 2 – Magnetogram izmerjen 25. avgusta 2018 na geomagnetnem observatoriju PIA (Piran, Slovenia).

Triosni magnetometer fluxgate (v nadaljnjem besedilu: variometer) (Flux-gate, 2014) je že proizvajalec prilagodil razmeram, ki vladajo v jugozahodnem delu Slovenije, kjer se Observatorij nahaja. Na tem področju so uničujoče atmosferske razelektritve predvsem ob izteku poletja, na koncu sušnega obdobja, ko se ozemljitvena upornost ozemljil izredno poveča. V variometru je zato vgrajena galvanska ločitev sekundarne napajalne napetosti in prenapetostna zaščita vseh povezav med njegovo elektroniko in senzorjem. Napajalni sistem tega merilnega instrumenta pa mora biti pred atmosferskimi razelektritvami vseeno še dodatno zaščiten. Z vso to zaščito variometer ni zavarovan pred uničenjem v primeru neposrednega udara strele v povezovalne kable za njegovo osnovno napajanje.

Za prenapetostno zaščito napajanja Observatorija z električno energijo je bil izbran kombiniran sistem s prenapetostnimi odvodniki, galvansko izolacijo z ločilnimi transformatorji in elektrostatično zaslombo vseh žičnih vodov z neposredno ozemljitvijo te zaščite (Čop et al. 2013a; Čop et al. 2014). Ta zaslomba se je dosegla z vkopavanjem vseh povezovalnih kablov in celotnega merilnega mesta v zemljo. Komunikacijska povezava med variometrom in zapisovalcem merilnih podatkov (angl. data-logger) je galvansko izolirana z optičnim kablom. Povezava Observatorija z internetom je prav tako galvansko ločena z lokalnim informacijskim omrežjem LAN (local area network) oziroma z neposredno povezavo v omrežje mobilne telefonije.

Poletna nevihta na Observatoriju 25. avgusta 2018

1. julija 2014 je strela udarila neposredno v telefonski kabel pred zaselkom v vasi Sv. Peter, ki leži na pobočju nad reko Dragonje. Kabel je v dolžino preko 30 m popolnoma izparel. Od poletja 2014 so prebivalci zaselka pred začetkom neviht začeli izključevati vse elektronske naprave, ki so bile neposredno priključene na električno in na telefonsko napeljavo. Tudi pred nevihto 25. avgusta 2018 so prebivalci tega zaselka izključili komunikacijske modeme, vendar po njihovi ponovni vključitvi niso vsi delovali. Do takrat uporabljen način zaščite pred udarom strele je tokrat odpovedal.

Ob udaru strele 25. avgusta 2018 je bil na Observatoriju uničen senzor za temperaturo v senzorju variometra. Variometer je do tega dne deloval nepretrgoma in brez okvare že polna štiri leta in v tem času ni bila registrirana dnevna sprememba temperature celotnega senzorja večja od 0,5 °C na dan. Dokler bo njegov senzor v dosedanem jašku, do takrat bo magnetometer še nadaljnje normalno deloval. Je pa ta merilni instrument registriral 25. avgusta 2018 ob 07:00:49 UTC udar strele z doslej največjo izmerjeno amplitudo (Slika 2).

Poročilo o udarih strele izmerjenih s sistemom SCALAR

Sistem SCALAR so začeli razvijati leta 1997 na Elektroinštitutu Milan Vidmar v Ljubljani. Danes ga sestavlja deset senzorjev po Sloveniji in Zahodnem Balkanu in je vključen v evropsko združenje za detekcijo strel EUCLID (European Cooperation for Lightnih Detection) (SCALAR, 2018).

Poročilo o strelah 25. avgusta 2018 na območju vasi Sv. Peter, ki jih je izmeril sistem SCALAR, je izdal EiMV (Poročilo, 2018). Iz tega poročila sledi, da je na območju Observatorija trajala poletna nevihta od 06:23:55 do 07:09:15 UTC, oziroma 45 minut in 20 sekund. V tem času se je na tem območju sprostil 146 strel. Od teh strel so bile tri take (2,03 %), pri katerih so električni tok prevajali pozitivni ioni (14,2 kA; 30,3 kA; 13,4 kA). V vseh ostalih primerih so električni tok strel sestavljali negativni elektroni. Taka negativna strela z najmočnejšim električnim tokom -85,1 kA je bila od Observatorija oddaljena 4410 m.

Tabela 1 – Zaporedje strel, ki so udarile v bližini Observatorija

Številka	Datum [dd.mm.yyyy]	Čas [HH:mm:ss.### UTC]	Amplituda [kA]	Razdalja	
				SCALAR [m]	Variometer [m]
1	25.08.2018	07:00:48.864	-20,30	98,46	100,6
2	25.08.2018	07:00:48.888	-8,50	26,80	152,9
3	25.08.2018	07:00:49.198	-37,10	54,67	87,8
4	25.08.2018	07:00:49.241	-12,60	25,17	120,8

Ob času 07:00 UTC je v neposredni bližini Observatorija udaril snop strel (angl. flash) in ne le posamična strela (angl. stroke) (Tabele 1). Strela z amplitudo -37,10 kA je udarila le nekaj metrov od nezahtevnega objekta, kjer je priključek observatorija na nizkonapetostno napajanje ter vsa njegova računalniška in telekomunikacijska oprema. Razdalje udarov strel sem preračunal na mesto variometra in jih dodal na koncu tabele (Tabela 1 - Variometer). V povprečju je mesto udara snopa strel 25. avgusta 2018 ob 07:00:49 UTC oddaljeno od variometra 115,5 m.

Zaključki

3. septembra 2018 je strela udarila v geomagnetni observatorij GCK (Grocka, Srbia) in uničila vse takrat delujoče magnetometre ter sistem za zajemanje merilnih podatkov in za neprekinjeno napajanje (Mihajlović, 2018). Mesec pred tem je strela že uničila električne kable za dovod energije hišicam za meritve na tem observatoriju, kar pa so uspešno sanirali. Atmosferske razelektritve torej uničujejo tudi observatorije na področjih Srednje in Južne Evrope, kjer je sicer letna gostota strel na kvadratni kilometer zemeljske površine nizka.

25. avgusta 2018 je snop strel udaril v neposredno bližino geomagnetnega observatorija PIA (Piran, Slovenija). Po tem udaru observatorij še vedno normalno obratuje. Način njegove prenapetostne zaščite je primer ustreznega ukrepanja za povečanje zanesljivosti delovanja takega merilnega mesta.

Z optično ločitvijo je uspešno rešljiv tudi problem zaščite v primeru neposrednega udara strele v napajalni vod, ki dovaja električno energijo merilnim instrumentom (Rosolem, 2017). Taka zaščita omogoča nemotene meritve sprememb lokalnega magnetnega polja tudi na mestih z zelo visoko letna gostota strel na kvadratni kilometer zemeljske površine. Na takih območjih običajne alternativne oblike napajanja z električno energijo ne pridejo v poštev. Alternativni viri zahtevajo obsežno, relativno drago in pogosto malo učinkovito zaščito pred delovanjem strel.

Literatura

- Blakemore, P. R. (1982). Magnetotactic bacteria. *Annual Reviews of Microbiology*, 36, 217–238.
- Buchanan, A. Finn, A. C. Love, J. J. Worthington, E. W. Lawison, F. Maus, S. Okewunmi, S. Poedjono. B. (2013). Geomagnetic Referencing – The Real-Time Compass for Directional Drilling. *Oielfield Review*, 25 (3), 32–47.
- Campbell, H. W. (1995). *Geomagnetism Applications*. U.S. Geological Survey Circular 1109. Washington (DC, US): U.S. Geological Survey.
- Chulliat, A. MacMillan, S. Alken, P. Beggan, C. Nair, M. Hamilton, B. Woods, A. Ridley, V. Maus, S. Thomson, A. (2015). *The US/UK World Magnetic Model for 2015-2020*. Technical Report. Boulder (US): NOAA National Geophysical Data; Edinburgh (UK): British Geological Survey.
- Cuffaro, M. Riguzzi, F. Scrocca, D. Antonioli, F. Carminati, E. Livani, M. Doglioni, C. (2010). On the geodynamics of the northern Adriatic plate. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, (Suppl 1), S253–S279.
- Čop, R. (2003). Additional exploitation of solar energy in ancient house of Istria. *Proceedings : ISES Solar World Congress 2003, Solar Energy for a Sustainable Future, June 14-19, Göteborg, Sweden*. Göteborg: International Solar Energy Society.
- Čop, R. (2011). Gradnja geomagnetnega observatorija pod Sinjim vrhom nad Ajdovščino. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2010. Zbornik predavanj*. Urednik Miran Kuhar. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 59–64.
- Čop, R. (2015). Razelektritve v ionosferi. *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2014. Zbornih del*. Uredniški odbor. Ljubljana: Univerza v Ljubljani; Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 7–14.
- Čop, R. (2015a). Zemeljsko magnetno polje in njegov vpliv na telekomunikacije. *Kritična infrastruktura in IKT. VITEL Zbornik referatov*. 31. delavnica o telekomunikacijah. Brdo pri Kranju, 11. In 12. maj 2015. Ljubljana; Slovensko društvo za elektronske komunikacije; Elektrotehniška zveza Slovenije, 29–33.
- Čop, R. (2015b). Snowstorm at the geomagnetic observatory. *Geoscientific Instrumentation Methodes and Data Systems*, 4, 155–159.

- Čop, R. (2016). Absolutne meritve zemeljskega magnetnega polja. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2015. Zbornih del. Uredniški odbor. Ljubljana: Univerza v Ljubljani; Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 73–84.
- Čop, R. (2016a). Vpliv Sonca na prenos merilnih podatkov v realnem času po omrežju mobilne telefonije. Impact of the Sun on the transmission of measuring data in real time by a mobile telephone network. In Slovenian language. Geodetski vestnik, 2016, 60 (2), 197–211.
- Čop, R. (2017). Geomagnetne nevihte ob koncu cikla sončnih peg. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2016. Zbornik predavanj. Uredniški odbor. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 69–80.
- Čop, R. (2017a). Sprememba gostote energije v zemeljskem magnetnem polju. Elektrotehniški vestnik, 84 (4), 148–154.
- 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. Zbornik predavanj. Urednik Miran Kuhar. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 71–80.
- Čop, R. Mihajlović, S. Cander, R. L. (2008a). Magnetic Storms and their Influence on Navigation. Pomorstvo, 22 (1), 89–99.
- Čop, R. Kocen, J. (2009). Geomagnetne meritve na geomagnetni referenčni točki na Predmeji. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2008. Zbornik predavanj. Urednik Miran Kuhar. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 69–76.
- Čop, R. Deželjin, D. Mihajlović, J. S. Kosovac, P. (2011). Začetne meritve variacij geomagnetnega polja v Sloveniji. Elektrotehniški vestnik, 78 (3), 96–101.
- Čop, R. Deželjin, D. (2012). Preizkusno obratovanje geomagnetnega observatorija Sinji vrh. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2011. Zbornik predavanj. Urednik Miran Kuhar. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 57–62.
- Čop, R. Deželjin, D. (2013). Transmission of the measurement data from the Sinji vrh geomagnetic observatory. HEJDA, Pavel (editor). Proceedings of the XVth IAGA workshop on geomagnetic observatory instruments, data acquisition, and processing, June 4th - 14th, 2012, Real instituto y observatorio de la armada San Fernando, Cádiz, Spain : extended abstract volume. San Fernando: Ministerio de defensa, 160–164.
- Čop, R. Milev, G. Deželjin, D. (2013a). Vpliv neviht na geomagnetne meritve na Gori nad Ajdovščino. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2012. Zbornik predavanj. Urednik Miran Kuhar. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 105–110.
- 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.
- Čop, R. Henigman, F. (2018). Sprejemnik za elektromagnetne valove frekvenc pod 50 Hz. Elektrotehniški vestnik, 86, 155–161.
- Deželjin, D., Čop, R. (2013). IT systems for Alarming of Possible Health Risks Caused by Geomagnetic Storms. Global Telemedicine and eHealth Updates: Knowledge Resources, Editors Malina Jordanova and Frank Lievens. Luxemburg; International Society for Telemedicine & eHealth (ISfTeH), 6, 512–515.
- Flux-gate Magnetometer LEMI-022. (2014). User Manual Rev.1. Quality control: A. Prystai. Lviv (Ukraine): KMS Technologies; LEMI Laboratory for Electromagnetic Innovations, 15 April 2014.
- Friis-Christensen, E. (2018). Global Change, Space Weather, and Climate. Global Change and Future Earth: The Geoscience Perspective. Edited by Tom Beer, Jiaping Li and Keith Alverson. Special Publications of the International Union of Geodesy and Geophysics. Cambridge (UK): Cambridge University, 28–39.
- Glassmeier, K.-H. Tsurutani, B. T. (2014). Carl Friedrich Gauss – General Theory of Terrestrial Magnetism – a revised translation of the German text. History of Geo- and Space Sciences, 5, 11–62.
- Istra. (1988). Ljubljana; Mladinska knjiga, 1988.
- Jere Jakulin, T. Čop, R. (2017). Sunspot Cycles Impacts on Tourism and Quality of Life. International Journal for Quality Research, 11 (3), 717–728.
- Korte, M. Manda, M. Linthe, H.-J. Hemshorn, A. Kotzé, P. Ricaldi, E. (2009). New geomagnetic field observations in the South Atlantic Anomaly region, Annals of Geophysics, 52 (1), 65–81.

- 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*, 2010, 1, 63–76.
- Matsunaga, T. Suzuki, T. Tanaka, M. Arakaki, A. (2007). Molecular analysis of magnetotactic bacteria and development of functional bacterial magnetic particles for nano-biotechnology. *Trends Biotechnology*, 25 (4), 182–188.
- Matzka, J. Chulliat, A. Mandea, M. Finlay, C. C. Qamili, E. (2010). Geomagnetic Observations for Main Field Studies: From Ground to Space. *Space Science Reviews*, 155 (1), 29–64.
- Mihajlović, S. (2018). Subject: Obavestjenje-Geomagnetska opservatorija Grocka (GCK). From: Spomenko Mihajlović <mih@orion.rs>; To: rudi <rudi@artal.si>; Date: Sep 18, 2018 at 8:07 AM (22.09.2018)
- MOP. (2007). Natura 2000 in Slovenia. The Treasures of Slovenian Nature. Ministrstvo za okolje in prostor. <http://www.natura2000.si/en/publications/> (24.7. 2016).
- NIB. (2003). Poročilo o sledilnih poskusih ze ugotovitev virov fekalnega onesnaženja izvira Lokva v Sv. Petru nad Dragonjo. 2. faza. Nosilec naloge dr. Mihael Breclj. Ljubljana; Nacionalni inštitut za biologijo; Laboratorij za toksikologijo, 2003.
- Paliska, D. Čop, R. Fabjan, D. Drobne, S. (2010). Izbira lokacije za postavitev geomagnetnega opservatorija v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 54 (3), 469–480.
- Petersen, T. Hurst, T. (2018). The Scott Base Geomagnetic Observatory. Poster. XVIIIth IAGA WorkShop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing, 2018. Conrad Observatory (Austria): Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – ZAMG, 24–29 June 2018.
- Poročilo o atmosferskih razelektritvah št SLO-2018-09-11-9. (2018). Report of atmospheric discharges No. SLO-2018-09-11-9. SCALAR. Ljubljana; Elektroinštitut Milan Vidmar EiMV, 11. september 2018.
- Rosolem, B. J. (2017). Power-Over-Fiber Applications for Telecommunications and for Electric Utilities. *Optical Fiber and Wireless Communications*. Chapter 13. Edited by Rastislav Róka. London (UK): IntechOpen.
- SCALAR. (2018). EIMV – Elektroinštitut Milan Vidmar. <https://www.scalar.si/sl/>; <https://www.scalar.si/en/>. (27.09. 2018)
- Technical Reference Manual. (2012). Version 4.6. Edited by: Benoît St-Louis. Edinburgh (UK): INTERMAGNET c/o British Geological Survey.
- Thébault et al. (2015). International Geomagnetic Reference Field: the 12th generation. *Earth, Planets and Space*, 67, 79.
- TSG-N-002. (2013). Nizkonapetostne električne inštalacije. Tehnična smernica za graditev. Izdaja 2. Ljubljana: Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, 2013.
- TSG-N-003. (2013). Zaščita pred delovanjem strele. Tehnična smernica za graditev. Izdaja 2. Ljubljana: Ministrstvo za infrastrukturo in prostor.
- Uredba o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje. (2013). Uradni list Republike Slovenije, 18, 2483–2493.
- Weber, J. Vrabec, M. Pavlovčič-Prešeren, P. Dixon, T. Jiang, Y. Stopar, B. (2010). GPS-derived motion of the Adriatic microplate from Istria Peninsula and Po Plain sites, and geodynamic implications. *Tectonophysics*, 483, 214–222.