

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

Rudi Čop

UDK: 550.3
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01
Prispelo: 28. 10. 2015
Sprejeto: 4. 4. 2016

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2016.02.197-211
SCIENTIFIC ARTICLE
Received: 28. 10. 2015
Accepted: 4. 4. 2016

IZVLEČEK

Merilni podatki se iz geomagnetnega observatorija PLA (Piran, Slovenija) do njegovega strežnika prenašajo po omrežju digitalne mobilne telefonije. Zaradi občasnih izpadov je ta del prenosne poti ozko grlo v celotnem sistemu zajemanja, prenosa, shranjevanja in obdelave merilnih podatkov o spremembi geomagnetnega polja. Omogoča pa galvansko ločitev observatorija in s tem njegovo zaščito pred atmosferskimi prenapetostmi. Zato smo v prvih desetih efektivnih obratih Sonca v letu 2015, poleg izpadov samodejnega prenosa merilnih podatkov po omrežju mobilne telefonije, spremljali tudi podatke o stanju Sonca in vremena v slovenskem delu Istre. V opazovanem obdobju je bilo iz observatorija v povprečju prenesenih 91,6 % vseh merilnih podatkov. Velika večina izpadov je nastala ob povečani aktivnosti Sonca. Rezultate opazovanj smo na observatoriju uporabili za povečanje zanesljivosti prenosa merilnih podatkov. Koristni pa so lahko tudi vsem tistim, ki uporabljajo mobilno telefonijo za prenos merilnih podatkov v realnem času.

KLJUČNE BESEDE

meritve, omrežje mobilne telefonije, prenos v realnem času, prekinitev

ABSTRACT

The measuring data from the PLA geomagnetic observatory (Piran, Slovenia) to its server are transmitted via a mobile telephone network. From time to time, this communication is interrupted. For this reason, the wireless communication from the observatory to its server is the bottleneck of the entire system of collection, transmission, storage and processing of measuring data. However, wireless communication offers galvanic isolation of the observatory and protects it against the atmospheric electrical discharges. In the first ten effective rotations of the Sun in 2015 we registered the interruption of transmission and also collected the data about the conditions of the Sun and the conditions of the local weather in the Slovenian part of Istria. In the observed period, 91.6% of all measuring data were transmitted from the observatory to its server. The majority of interruptions of transmission were caused by the higher activity of the Sun. We shall use the results of analysis of all collected data to improve the reliability of the transmission of measuring data from the observatory. They are useful also for the other users of mobile telephone network for transmission of measuring data in the real time.

KEY WORDS

measurements, mobile telephone network, real-time transmission, interruption

1 TELEMETRIJA NA GEOMAGNETNEM OBSERVATORIJU

V letu 2014 smo pri vasi Sv. Peter nad Sečovljami v okviru geofizikalnega observatorija Sikuri postavili osnovni geomagnetni del opreme. V prvi polovici decembra 2014 smo ga vključili v vozlišče INTERMAGNET (angl. INTERnational Real-time MAGnetic observatory NETwork) v Edinburgu na Škotskem kot testni observatorij s kodo IAGA (angl. International Association of Geomagnetism and Aeronomy): PIA (Piran, Slovenia). Deluje kot observatorij IMO (angl. *INTERMAGNET Magnetic Observatory*), za katerega mora biti zagotovljena visoka zanesljivost prenosa merilnih podatkov o spremembi zemeljskega magnetnega polja (INTERMAGNET, 2012).

Merilne podatke iz observatorija PIA prenašamo na strežnik po omrežju digitalne mobilne telefonije, kar je v danih razmerah najboljša rešitev. Na mesec se prenese do 30 MB merilnih podatkov v kodi ASCII v stisnjeni obliki oziroma 0,9 MB na dan (Deželjin in Čop, 2012). Brezžični prenos merilnih podatkov, ki omogoča tudi galvansko ločitev observatorija od komunikacijskega omrežja (Čop et al., 2014), je enostavna, cenena in standardizirana rešitev, ki ne zahteva dodatnih vzdrževalnih del in stroškov. Observatorij PIA je na robu dosega signala ponudnika storitev mobilne telefonije. Zato smo lahko uporabili že predhodno pridobljene izkušnje glede registracije izpadov prenosa merilnih podatkov v realnem času po omrežju mobilne telefonije z območja z zelo slabim signalom.

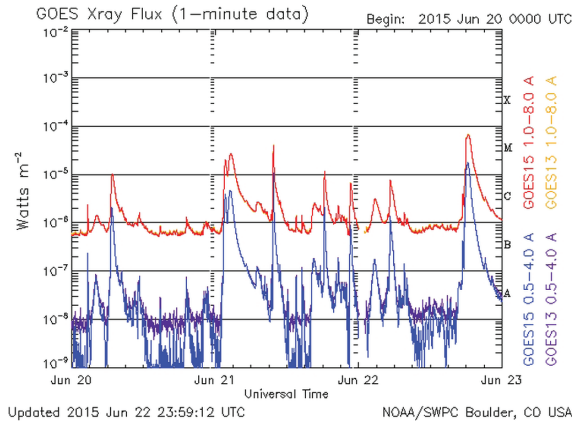
Na observatoriju PIA se za telemetrijo uporablja digitalni brezžični komunikacijski sistem za mobilno telefonijo GSM (angl. Global System for Mobile communications) nosilnih frekvenc v območju UHF (angl. Ultra High Frequency), Band 900 ($l = 1/3$ m). Po standardu IEEE (IEEE, 2003) konkretno frekvenčno območje elektromagnetnih valov uvrščamo v področje mikrovalov. Na observatoriju se iz zapisovalnika podatkov (angl. *data logger*) prek komunikacijskega usmerjevalnika in modema za digitalno mobilno komunikacijo na strežnik prenašajo datoteke preteklega dne z enosekundnimi merilnimi podatki o spremembi zemeljskega magnetnega polja. Ta prenos je bil namenoma organiziran enkrat dnevno, in to takoj po 02:00 UTC, ko je Slovenija še v repu magnetosfere in je omrežje mobilne telefonije najmanj obremenjeno. Zato smo bili na izpad samodejnega prenosa bolj pozorni in smo lahko sproti spremljali še druge parametre, kot so stanje aktivnosti Sonca, stopnja geomagnetne aktivnosti celotnega našega planeta in njegove ionosfere, lokalne vremenske razmere, geomagnetne razmere na observatoriju ter stanje merilne in komunikacijske opreme.

Zaradi občasnih izpadov prenosa merilnih podatkov iz observatorija PIA na strežnik smo v prvih 270 dneh leta 2015 naredili sistematično raziskavo vseh izpadov samodejnega prenosa merilnih podatkov. Rezultate raziskave smo uporabili za povečanje zanesljivosti samodejnega prenosa merilnih podatkov na strežnik observatorija. Prenos digitalnih merilnih podatkov po omrežju mobilne telefonije v realnem času uporabljajo tudi: a) pri določanju položaja visoke točnosti v realnem času (Petovello, 2011; Rizos in Han, 2003) z metodo RTK (angl. *Real Time Kinematic*) izmere GNSS (angl. *Global Navigation Satellite System*), b) za radionavigacijo, c) za samodejni prenos podatkov iz signalno-varnostnih sistemov in d) pri prenosu signala za klic na pomoč. V vseh naštetih primerih se morajo podatki prenesti z visoko zanesljivostjo v realnem času. Pri meritvah položaja visoke točnosti se je v praksi celo izkazalo, da je izpad prenosa merilnih podatkov po omrežju mobilne telefonije, ki se širijo v atmosferi (angl. *surface waves*), vsaj tako problematičen, kot je sprememba širjenja mikrovalov od satelitov GNSS skozi ionosfero (angl. *sky waves*) (Štern in Bešter, 2012). Brezžično komunikacijsko zvezo namreč najamemo, za uporabo in

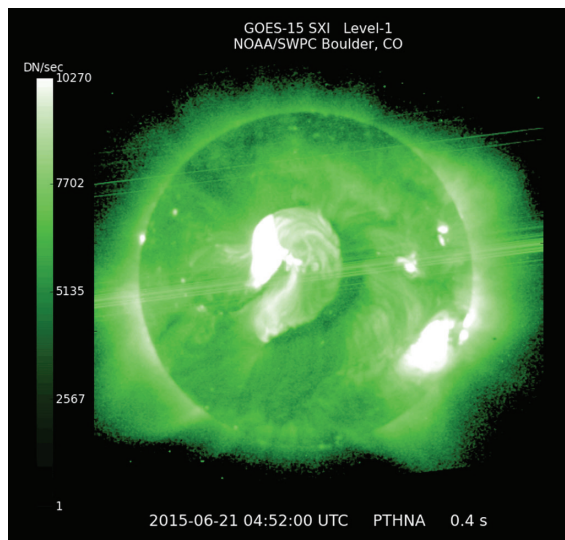
pravilnost informacij pa smo sami odgovorni, zato moramo poznati lastnosti prenosa merilnih podatkov po mikrovalovnih zvezdah. Na osnovi statistične obdelave meritev spremembe lokalnega geomagnetnega polja in vzporednih meritev lastnosti ionosfere je mogoče večino izpadov zaradi povečane aktivnosti Sonca tudi napovedati.

2 PRVIH DESET EFEKTIVNIH OBRATOV SONCA V LETU 2015

Čas rotacije Sonca je odvisen od solarne širine. V ekvatorialnem delu se zavrti v 24 dneh, področja okoli njegovih polov pa se zavrtijo v 34 dneh. Nam najbližja zvezda se torej vrti diferencialno. Če pri določevanju časa rotacije Sonca upoštevamo njegov vpliv na Zemljo, potovanje Zemlje okoli Sonca in njeno rotacijo okoli svoje osi, potem je učinkoviti čas rotacije Sonca 27 dni. Os Sonca je glede na Zemljino ekliptično ravnino nagnjena za 7°, zato lahko opazovalec na Zemlji v času enega njegovega učinkovitega obrata vidi večino njegove površine (Air, 1985).



Slika 1: Sevanje žarkov X iz Sonca, merjeno na geostacionarnem satelitu GEOS-15 od 20. do 22. junija 2015 (SWPC, 2015c).



Slika 2: Sonce 21. junija 2015 ob izbruhu v skupini sončnih peg AR 2371, posnetem s satelita GEOS-15 s teleskopom na žarke X (SWPC, 2015c).

Sončne pege so začeli opazovati s teleskopom v začetku sedemnajstega stoletja (Galilei in Scheiner, 2010). Pomembno astronomsko odkritje, da se sončne pege pojavljajo ciklično, je utemeljil Heinrich Schwabe (1789–1875) (Arlt et al., 2013). Cikli so v povprečju dolgi 11,4 leta (Air, 1985). Da pa je pojav geomagnetnih neviht vezan na sončne cikle, je ugotovil Sir Edward Sabine (1788–1883) (Sabine, 1852). Cikel geomagnetnih neviht je v maksimumu zamaknjen za eno do treh let za ciklom sončnih peg in v minimumu najmanj za eno do dveh let. Izbruh v sončni pegi je prvi opazoval Richard Carrington (1826–1875) (Carrington, 1859; Cliver in Dietrich, 2013). Predvidel je tudi vpliv teh izbruhov na Zemljo in na pojav polarnih sijev na njej ter ugotovil, da se Sonce vrti diferencialno (angl. *Carrington rotation*).

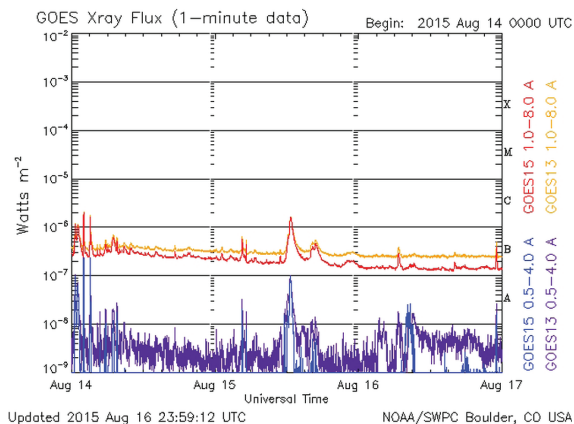
Opazovano obdobje od 1. januarja 2015 do 27. septembra 2015 obsega 270 dni ali deset efektivnih obratov Sonca. Obdobje se nanaša na začetek druge polovice 24. cikla sončnih peg (SILSO, 2015), ki se je začel januarja 2008. Ti cikli se štejejo od leta 1755, ko se je začelo sistematično zapisovati število opaženih sončnih peg. Trenutni sončni cikel je primerljiv s cikli z najnižjim številom registriranih sončnih peg. Zadnji tak je bil 14. cikel v začetku 20. stoletja, najnižji po Daltonovem minimumu (1790–1830) (Eddy, 1976; Anet in sod. 2014).

V opazovanem obdobju prvih desetih efektivnih obratov Sonca v letu 2015 je aktivnost upadala, se pa je pogostnost geomagnetnih neviht povečevala. Zato je bilo v opazovanem obdobju zelo neugodno razmerje med pojavnostjo sončnih peg in izbruhi na Soncu ter številom registriranih geomagnetnih neviht. Tako stanje se bo predvidoma nadaljevalo še naslednji dve leti, nato se bo 24. sončni cikel na koncu tega desetletja predvidoma končal.

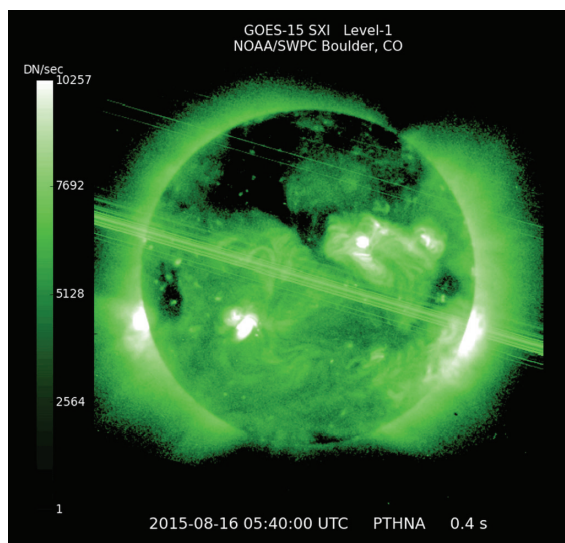
3 GEOMAGNETNA AKTIVNOST

V relativno mirni atmosferi Sonca, imenovani korona, se občasno pojavljajo izbruhi (angl. *flares*). Izbruhi na Soncu nastajajo v bližini sončnih peg in tudi v aktivnejših delih njegove atmosfere z močno popačenim magnetnim poljem. So najmočnejše eksplozije v celotnem solarnem sistemu. Običajno ne trajajo več kot 10 minut, pri čemer pride do povečanega sevanja radijskih valov, ultravijoličnih žarkov, mehkih in trdih žarkov X (slika 1) ter žarkov gama. Pogosto, vendar ne vedno, spremljajo te izbruhe tudi izbruhi v koroni Sonca CME (angl. *Coronal Mass Ejection*), ki imajo izvor v globljih plasteh Sonca in ne samo v njegovi koroni (slika 2). Ti izbruhi odnesejo v medplanetarni prostor precej materije. Znanje o njih smo pridobili šele v zadnjih desetletjih s pomočjo instrumentov na umetnih satelitih (Lang, 2009).

Izbruhi žarkov X (angl. *X-ray flares*) na Soncu so merjeni na geostacionarnih satelitih GEOS (angl. *Geostationary Operational Environmental Satellite*) (National, 2009), in to na dveh valovnih področjih (slika 1, slika 3): od 0,1 do 0,8 nm in od 0,05 do 0,4 nm. Glede na največjo gostoto sevanja v valovnem področju od 0,1 do 0,8 nm (1–8 Angstrom) so izbruhi žarkov X razvrščeni v pet razredov: A ($< 10^{-7}$ W/m²), B (10^{-7} – 10^{-6} W/m²), C (10^{-6} – 10^{-5} W/m²), M (10^{-5} – 10^{-4} W/m²) in X ($> 10^{-4}$ W/m²). Znotraj posameznega razreda je linearna skala od 1 do 9. Tako je izbruh M2 dvakrat bolj močan kot izbruh M1 in štirikrat bolj kot izbruh C5. Izbruhi žarkov X razreda A, B in C le manj vplivajo na Zemljo, izbruhi žarkov X razreda M in X povzročajo krajše oziroma daljše prekinitev radijskih zvez na Zemlji.



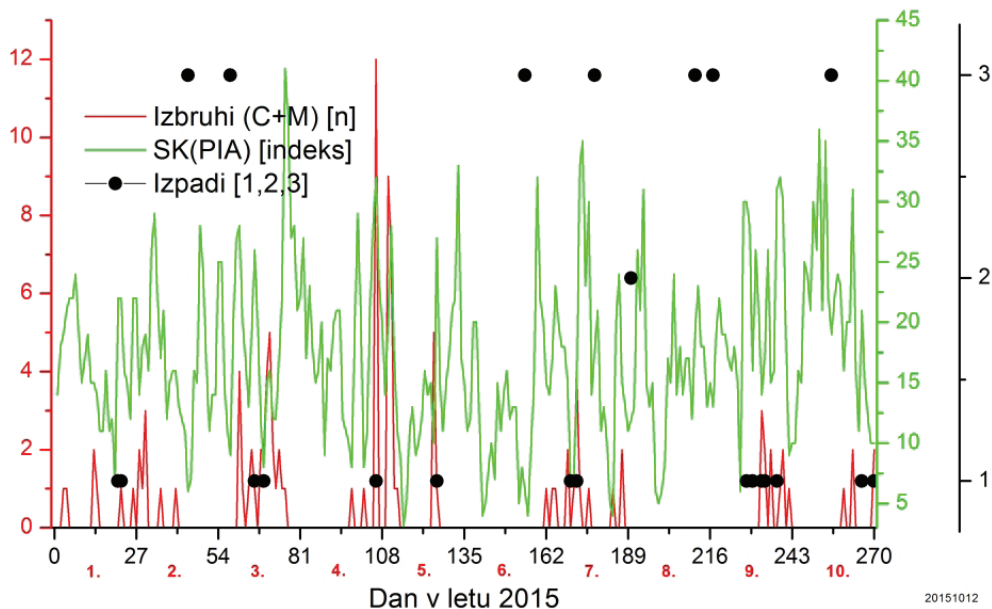
Slika 3: Sevanje žarkov X iz Sonca, merjeno na geostacionarnem satelitu GEOS-15 od 14. avgusta do 16. avgusta 2015 (SWPC, 2015c).



Slika 4: Sonce z luknjami v koroni, posneto 16. avgusta 2015 z geostacionarnega satelita GEOS-15 s teleskopom na žarke X (SWPC, 2015c).

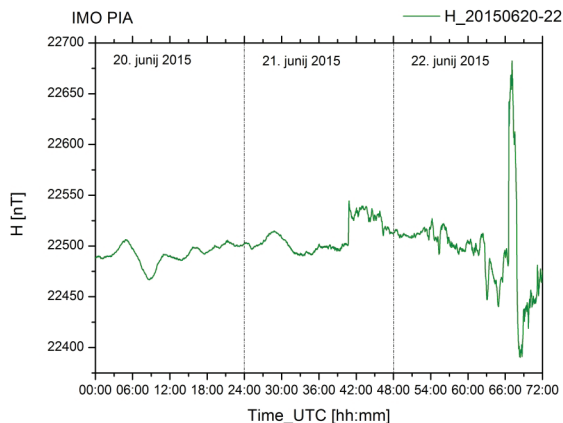
Sončni veter, ki napolnjuje heliosfero, je podaljšek zunanje atmosfere Sonca v medplanetarni prostor. Je tok naelektrnih elementarnih delcev, ki v obliki električno nevtralne plazme iz Sončevih zunanjih plasti potuje po celotnem osončju. Obstajata dve njegovi osnovni obliki: hitri s tipično hitrostjo, večjo od 600 km/s, in počasni s tipično hitrostjo, manjšo od 400 km/s. Med seboj se razlikujeta tudi po gostoti, sestavi in temperaturi. Hitri sončni veter izhaja iz lukenj v koroni Sonca z odprto strukturo magnetnega polja (slika 4), ki doseže največje hitrosti ob izbruhih v koroni Sonca CME (slika 2). Struktura medplanetarnega prostora je tako v času kot v prostoru določena s stanjem Sončeve korone. Iz nje izhaja tako počasni kot tudi hitri sončni veter v obliki tokovnic. Na mejah med temi tokovnicami se oblikujejo prehodne cone CIR (angl. *Co-rotating Interacion Region*). Zaradi rotacije Sonca se te cone v medplanetarnem prostoru

oblikujejo v spirale in se z njim tudi vrtijo (Balogh in Bothmer et al., 1999; Tappin in Howard, 2009). Ko taka prehodna cona doseže Zemljo, zadene ob njeno magnetosfero v obliki udarnega vala, ki mu sledi sončni veter z večjo hitrostjo. Ker je izbruh v koroni Sonca CME prehodni pojav, ta v medplanetarnem prostoru ne oblikuje prehodnih con CIR, temveč le udarni val, ki se širi v sončnem vetru (Webb in Howard, 2012).

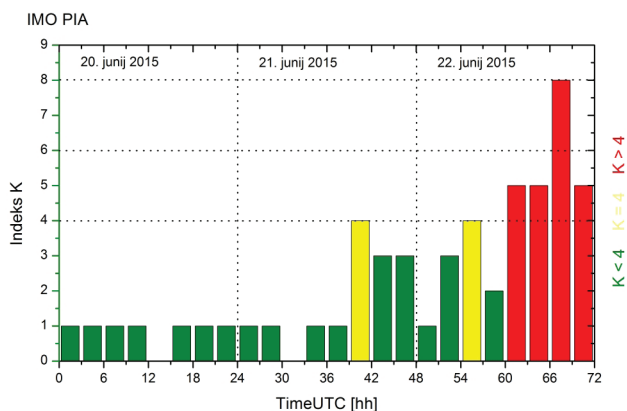


Slika 5: V prvih desetih efektivnih obratih Sonca v letu 2015 doseženo v posameznem dnevu: a) skupno število izbruhov žarkov X na Soncu razreda M in C; b) vsota vseh osnih geomagnetnih indeksov K posameznega dne za observatorij PIA (Piran) in c) tri vrste izpadov prenosa merilnih podatkov.

Na geomagnetnem observatoriju na površini Zemlje se geomagnetna aktivnost spremlja z merjenjem vrednosti horizontalnih komponent vektorja zemeljskega magnetnega polja. Opisuje se z lokalnim geomagnetnim indeksom K (nem. *Kennziffer*). Je neimenovano število: od 0 za najbolj miren dan do 5, ko nastopa najmilejša oblika geomagnetne nevihte, pa vse do 9 za opis razmer, ko je zemeljsko magnetno polje najbolj razburkano. Indeks K zajema le neciklične spremembe zemeljskega magnetnega polja, ki jih v triurnem časovnem intervalu povzročajo elementarni delci, izsevani s Sonca. Vse ostale ciklične in neciklične spremembe zemeljskega magnetnega polja kot tudi vsi ostali vplivi Sonca na Zemljo niso vključeni v geomagnetni indeks K (Mayaud, 1980; Čop, Deželjin in De Reggi, 2015). Med te vplive spadajo predvsem neposredni vplivi radiacij ultravijoličnih žarkov in žarkov X, ki spreminjajo količino hladne plazme v ionosferi. Geomagnetno aktivnost celotne Zemlje podaja planetarni geomagnetni indeks K_p (nem. *planetarische Kennziffer*). Ta je srednja vrednost lokalnih geomagnetnih indeksov K na trinajstih izbranih observatorijih na srednjih zemljepisnih širinah na obeh zemeljskih poloblah (GFZ, 2015b). Ta indeks se najprej ocenjuje in podaja kot ocenjeni K_p (angl. *estimated Kp*) s časovno zakasnitvijo do največ treh ur (SWPC, 2015a) in nato postprocesiran s časovno zakasnitvijo mesec dni (GFZ, 2015a). Ponavljanje obdobji s povečano geomagnetno aktivnostjo sovpadajo z rotacijo Sonca.



Slika 6: Magnetogram geomagnetne nevihte stopnje G4 (*severe*), izmerjene na observatoriju PIA z začetkom 21. junija 1925 ob 16:42 UTC.



Slika 7: Vrednosti geomagnetnih indeksov K za observatorij PIA od 20. junija do 22. junija 2015.

Geomagnetna aktivnost v prvih desetih učinkovitih obratih Sonca v letu 2015 je predstavljena na grafu (slika 5) z vsoto SK vseh osmih geomagnetnih indeksov K za posamezni dan. Ti indeksi so bili izračunani na podlagi meritev sprememb zemeljskega magnetnega polja na observatoriju PIA. Izhodišče tega grafa je vsota izbruhov žarkov X na Soncu razreda C im M posameznega dne. Poleg izbruhov žarkov X na Soncu smo vzporedno spremljali tudi razvoj ionosferskih neviht z globalnim modelom D-RAP (angl. *D-Region Absorption Product*) (Akmaev, 2010; SWPC, 2015b). Ta model obravnava spremembo širjenja radijskih valov frekvenc od 3 do 30 MHz, ki se odbijajo od ionosfere in se na tej poti tudi delno absorbirajo. Model je kombinacija dveh empiričnih modelov absorpcije radijskih valov visokih frekvenc zaradi vpliva Sonca: model absorpcije zaradi sevanja žarkov X v srednjih in višjih geografskih širinah ter model absorpcije zaradi sipanja protonov visokih energij SEP (angl. *Solar Energetic Particles*) okoli magnetnih polov. Prvi del modela D-RAP je rezultat sprotih meritev večjega števila ionosond na srednjih geografskih širinah. Rezultati tega modela so predvsem uporabni za kakovostno indikacijo ob zelo razburkanih razmerah v ionosferi.

4 PRIMERA GEOMAGNETNIH NEVIHT RAZREDA G4 IN G1

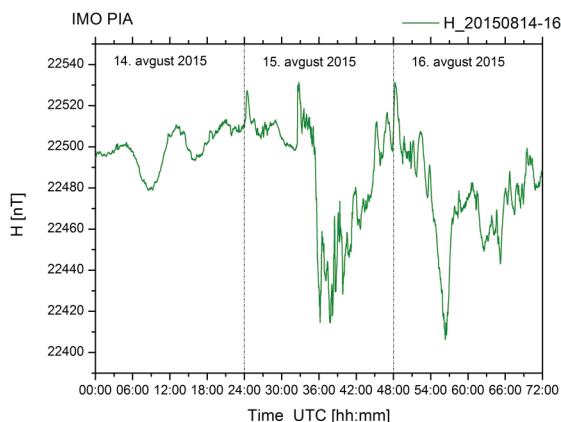
Prekinitev prenosa po omrežju mobilne telefonije 21. junija je sovpadala z dodatnimi izbruhi CME na Soncu v skupini sončnih peg AR 2371 v prvih urah tega dne (slika 1, slika 2), ki so povzročili geomagnetno nevihto 25. junija 2015 razreda G1 (*minor*) (SWPC, 2011). Dan za navedeno prekinitev komunikacije pa je nastala najmočnejša geomagnetna nevihta v prvi polovici leta 2015 razreda G4 (*severe*), ki se je nadaljevala še 23. junija 2015. Nastala je zaradi izbruha CME v isti skupini sončnih peg v prvih urah 18. junija 2015.

Vsak izbruh CME na Soncu povzroči na Zemlji (Langhoff in Straume, 2011; Viberg et al., 2012):

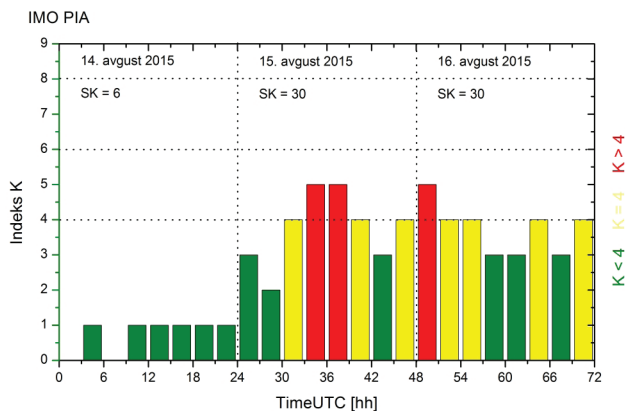
- povečano radiacijo žarkov X, ki Zemljo doseže v 8 minutah po izbruhu na Soncu;
- občasno dodatno sipanje pozitivno naelektrenih težjih elementarnih delcev SEP z energijo nad 1 MeV, ki Zemljo dosežejo v 10 do 30 minutah;
- sunke sončnega vetra, ki Zemljo dosežejo v 18 do 96 urah, če je izbruh na Soncu v bližini njegovega osrednjega meridiana glede na Zemljo (slika 2). Ti vplivajo na njeno magnetno polje in lahko povzročijo geomagnetno nevihto (slika 6). V tem primeru se poveča tako planetarni geomagnetni indeks K_p kot lokalni indeks K (slika 7).

Od 19. do 30. junija 2015 se je dodatna ionizacija ionsofske plasti D iz srednjih geografskih širin postopoma prestavila v območje magnetnih polov (Čop, 2015a). Protone in elektrone iz Sonca je namreč magnetno polje Zemlje zavrtinčilo v ti dve področji. To dogajanje se je dalo spremljati tudi z modelom D-RAP.

Luknja v koroni Sonca CH 88, ki se je 9. avgusta 2015 pojavila na sončnem disku ob vzhodnem limbu tik pod ekvatorjem, se je v naslednjih dneh povečevala in je bila 16. avgusta že v bližini zahodnega solarnega limba (slika 4). Iz nje je izhajal sončni veter večje hitrosti, ki je v medplanetarnem prostoru povzročil cone CIR. Te so v več zaporednih valovih dosegle Zemljo (slika 8) in povzročile geomagnetne nevihte na njej (slika 9). 15. avgusta je nastopila geomagnetna nevihta, ki se je nadaljevala tudi naslednji dan. Na observatoriju PIA je bila izmerjena geomagnetna nevihta razreda G1 (*minor*), na planetarni ravni pa razreda G3 (*strong*). V magnetosferi so nastale razpoke, skozi katere je vdrl sončni veter in povzročil nevihte v ionsoferi razreda R1 (angl. *radio blackouts*), kar je bilo mogoče spremljati tudi z modelom D-RAP. Te ionsofske nevihte so 16. avgusta povzročile prekinitev mikrovalovne zveze med observatorijem PIA in njegovim strežnikom.



Slika 8: Magnetogram geomagnetne nevihte stopnje G1 (*minor*), izmerjene na observatoriju PIA 15. in 16. avgusta 2015.



Slika 9: Vrednosti lokalnih geomagnetnih indeksov K za observatorij PIA od 14. do 16. avgusta 2015.

5 IZPAD PRENOSA MERILNIH PODATKOV

V prvih devetih mesecih leta 2015 je bilo povprečno vsak mesec samodejno prenesenih 91,6 % vseh merilnih podatkov iz observatorija PIA na njegov strežnik prek omrežja mobilne telefonije. Ta prenos se je izkazal kot najmanj zanesljiv v juniju 2015, ko je bil 86,7 %, in v mesecu avgustu 2015, ko je bil 80,6 %. Od prvih devetih mesecev v letu 2015 je bilo le v teh dveh mesecih samodejno prenesenih pod 90 % datotek. Primerjava srednjih vrednosti vsote vseh geomagnetnih indeksov SSK v posameznem mesecu (preglednica 1) kaže, da je bil prenos zanesljivejši v geomagnetno manj aktivnih mesecih (preglednica 2). Ko je bila srednja vrednost vsote geomagnetnih indeksov SSK večja od 16, je bil v posameznem mesecu več kot enkrat zabeležen izpad samodejnega prenosa merilnih podatkov, in to v času povečane geomagnetne aktivnosti ali nevihte v ionosferi.

V prvih desetih efektivnih obratih Sonca v letu 2015 od 270 datotek z enosekundnimi merilnimi podatki ni bilo prenesenih 23 ali 8,5 % (preglednica 2). Izpade smo razvrstili v tri skupine (slika 5):

1. Izpadi, nastali v času povečane aktivnosti Sonca v spektru žarkov X ali v času, ko je nastala samo ionsferska nevihta.
2. Izpadi, nastali v času lokalnih ploh dežja, ki so bile tudi registrirane na najbližji meteorološki opazovalnici.
3. Izpadi, ki jih ni bilo mogoče uvrstiti v nobeno od predhodnih dveh skupin.

Preglednica 1: Srednja vrednost vsote lokalnih geomagnetnih indeksov SSK za observatorij PIA v letu 2015.

Mesec:	januar	februar	marec	april	maj	junij	julij	avgust	september
SSK:	16,8	16,8	19,7	15,7	14,5	16,7	14,9	19,3	20,6

Med izpadi iz tretje skupine sta bila dva, ki sta nastala zaradi lokalnih ploh dežja in smo ju opazovali tudi z vremenslovnim radarjem. Vendar ti plohi nista bili registrirani na najbližji meteorološki opazovalnici. Preostalih pet iz te skupine ali 21,7 % vseh izpadov (> 2/10) pa nismo mogli zanesljivo uvrstiti v nobeno od predhodnih dveh skupin. Ti izpadi prenosa podatkov so nastali zaradi lokalnih vzrokov tehnične narave. Ponudnik storitve mobilne telefonije je potrdil, da v obdobju opazovanja na bazni postaji, ki

pokriva področje geomagnetnega observatorija PIA, niso bili registrirane nobene prekinitve delovanja. Če se je komunikacija prekinila zaradi trenutnega izpada modema na observatoriju PIA, je sledil samodejni zagon, ki je bil v modemu registriran (Čop, 2015b).

Zanesljivo pa je bil 9. julija 2015 močan kratkotrajni naliv dežja na območju Sv. Petra v slovenskem delu Istre, ki je bil tudi registriran na najbližji vremenoslovni postaji. To je bila tudi prva potrditev opažanj, da izpadi prenosa nastajajo ob močnih in kratkotrajnih plohah dežja, ki zadušijo signal sistema mobilne telefonije. Prenos merilnih podatkov v realnem času po omrežju mobilne telefonije pa spremljamo vse od aprila 2012.

Izpadov iz prve skupine v prvih desetih učinkovitih obratih Sonca v letu 2015 je bilo petnajst ali 65,2 % vseh izpadov v tem obdobju ($> 6/10$). V to skupino smo uvrstili vse izpade, ki niso bili tehnične narave ali niso nastali zaradi lokalnih deževnih ploh. Prvo skupino izpadov smo oblikovali na podlagi astronomskih opazovanj ter meritev sevanja žarkov X in sipanja elementarnih delcev velikih energij SEP iz Sonca, izmerjenih na geostacionarnih satelitih GEOS (SWPC, 2015a). Tem podatkom smo dodali še razmere v ionosferi na Zemlji, določene z modelom D-RAP (tabela 2). Za primerjavo smo za posamezni dan, v katerem je nastal izpad prenosa merilnih podatkov, dodali še vsoto SK vseh osmih lokalnih geomagnetnih indeksov K za observatorij PIA. Tudi te vsote kot tudi geomagnetne indekse v posameznih dneh smo uporabili za ovrednotenje izpadov iz prve skupine.

6 DUŠENJE MIKROVALOV V ATMOSFERI

V našem primeru se za prenos merilnih podatkov od modema na observatoriju do najbližje bazne postaje omrežja mobilne telefonije uporabljajo mikrovalovi. Jakost signala v anteni sprejemnika je odvisna od izhodne moči oddajnika in njegove frekvence, oblike in prevodnosti površine, prek katere se to elektromagnetno valovanje širi, ter od lokalnih vremenskih razmer (Navy, 1999). Zaradi oblike reliefa med observatorijem in bazno postajo se lahko za prenos uporabijo le mikrovalovi, ki se na različne načine odbijajo (refleksija), razpršujejo (angl. *scattering*) ali ukrivljajo zaradi lokalne spremembe lomnih količnikov vzdolž poti razširjanja (refrakcija). Zato lahko signal do sprejemne antene prihaja istočasno po več različnih poteh. V anteni sprejemnika nastajajo interferenčni pojavi, ki lahko povzročijo, da signal v njej zelo oslabi ali celo izgine. Signal tudi ne doseže sprejemne antene, če se na poti širjenja popolnoma odbije ali popolnoma zaduši, čemur pravimo absorpcija. Sam prenos slabšajo tudi motnje, ki nastanejo ob atmosferskih razelektritvah, razelektritvah v ionosferi in v žepih magnetosfere Zemlje (angl. *whistles*) (Singh et al., 2009).

Na širjenje mikrovalov vplivajo tudi izbruhi na Soncu, vendar jih z globalnimi parametri stanja magnetosfere in ionosfere zelo težko vrednotimo. Zato se morajo vedno obravnavati le lokalne razmere na prenosni poti, vključno s spremembami okolice te poti, ki neposredno vplivajo na način širjenja mikrovalov.

Teoretično so zelo dobro obdelani in s praktičnimi meritvami dokazani primeri širjenja mikrovalov skozi okolico enostavnih geometrijskih oblik in z enotno električno prevodnostjo (Exslie, Lagace in Strong, 1975). V primerjavi s tem primeri so matematični modeli, ki se uporabljajo za projektiranje omrežij mobilne telefonije, bolj empirične narave. Kateri od teh modelov je najbolj uporaben, odloča končni cilj projektiranja. Tako se splošni modeli uporabljajo v začetni fazi projektiranja, ko kraj postavitve bazne postaje še ni točno znan. Oblika takega splošnega modela je podana v enačbi (1) (Graham, Kirkman in Paul, 2007).

Preglednica 2: Izpadi samodejnega prenosa merilnih podatkov v prvih desetih efektivnih obratih Sonca v letu 2015.

Izpadi prenosov		Razmere na Soncu in na Zemlji		Razdelitev v skupine	
zaporedni dan v letu	datum	izbruhi žarkov X (B, C, M) / Kp	ionosferske (R) in protonske (S) nevihte	skupina (1, 2, 3)	dnevna vsota SK
21	2015-01-21	C2,9	R1	1	22
22	2015-01-22	C1,7	R1	1	22
44	2015-02-13	B9,6	-	3	6
58	2015-02-27	-	-	3	9
66	2015-03-07	C1,0	R1	1	26
69	2015-03-10	C2,2	R1	1	9
106	2015-04-16	-	-	1	32
126	2015-05-06	C3,9	-	1	27
155	2015-06-04	-	-	3	6
170	2015-06-19	C2,8	-	1	7
172	2015-06-21	M2,0	R1, S1	1	14
178	2015-06-27	-	-	3	18
190	2015-07-09	-	-	2	12
211	2015-07-30	-	-	3	19
217	2015-08-05	-	-	3	13
228	2015-08-16	Kp = 6	-	1	30
230	2015-08-18	B2,9	-	1	16
233	2015-08-21	M1,2	R1	1	14
234	2015-08-22	C2,0	R1	1	17
238	2015-08-26	C1,5	R1	1	31
256	2015-09-13	-	-	3	19
266	2015-09-23	B5,6	-	1	21
270	2015-09-27	-	R1	1	10

$$E_r = -\gamma \cdot \log(d) + K(P_{BS}, E, H_{BS}, H_{MS}) \tag{1}$$

kjer so:

E_r ... jakost signala v sprejemni anteni mobilne postaje v dBm/m;

d ... dolžina poti signala v km;

γ ... inverzni eksponent uporabljen pri dolžini poti;

K ... kompenzacija, odvisna od oddajniške moči bazne postaje *P_{BS}* v dBW ali dBm, uporabljene frekvence *f* v MHz ter višin postavljenih anten bazne postaje *H_{BS}* in mobilne postaje *H_{MS}* podanih v metrih iznad zemeljske površine.

Za bolj natančno analizo posamezne prenosne poti so bolj uporabni modeli, ki upoštevajo tako obliko kot tudi električne lastnosti površin, prek katerih se širi signal. Nobeden od teh modelov pa ne upošteva

sprememb električnih lastnosti, nastalih vzdolž teh poti zaradi različne aktivnosti Sonca. Ta se upoštevajo pri proučevanju širjenja signala na večje razdalje, ko se prostorski val odbija in lomi v ionosferi. Podrobnejše analize refrakcije radijskih valov zelo visokih frekvenc so bile narejene za prve satelitske radio-navigacijske sisteme (Yionoulis, 1998). V atmosferi nastajajo refrakcije mikrovalov v njenih ioniziranih delih ter zakasnitev v neioniziranih delih. Ker prispevka neioniziranih delov atmosfere niso mogli izmeriti z dvema različnima nosilnima frekvencama, so v matematičnih modelih za refrakcijo prostorskega vala zelo visokih frekvenc upoštevali troposfero kot nespremenljivo plast zraka okoli Zemlje. Rezultati, pridobljeni na podlagi matematičnih modelov zakasnitve elektromagnetnega signala v troposferi, se v več kot 90 % primerih pokrivajo z dejanskimi meritvami.

Pri hitri spremembi načina širjenja in absorpcije mikrovalov zaradi različne aktivnosti Sonca nastanejo spremembe v signalih v amplitudi (angl. *amplitude scintillation*), v fazi (angl. *phase scintillation*) in v skrajnem primeru tudi občasne prekinitev celotnega prenosa (angl. *cycle slips*). Čeprav se ti pojavi proučujejo že od prvih začetkov uporabe hiperboličnih navigacijskih sistemov in radarja v drugi svetovni vojni, njihovega vpliva še vedno popolnoma ne obvladujemo (Langhoff in Straume, 2011; Skolnik, 1990; SBAS, 2010).

7 SKLEP

Za sodoben digitalni geomagnetni observatorij je zanesljiva in robustna telemetrija potrebna ne le za prenos merilnih podatkov, temveč tudi za daljinski nadzor delovanja merilnih instrumentov in celotnega observatorija. Ta zahteva izhaja iz sedanje oblike organizacije geomagnetnih observatorijev. Pogojena je z rezultati razvoja merilne tehnike na področju meritev zemeljskega magnetnega polja, telekomunikacij in računalništva. Cilj je zagotoviti zanesljivo in neprekinjeno registracijo vrednosti komponent zemeljskega magnetnega polja ter prenos merilnih rezultatov ob sprejemljivih stroških.

V prvih desetih učinkovitih obratih Sonca v letu 2015 smo na observatoriju PIA testirali opremo za zajemanje, shranjevanje in prenos merilnih podatkov o spremembi zemeljskega magnetnega polja. V tem obdobju na tej opremi nismo odkrili nobenih tehničnih napak. Na celotni prenosni poti od observatorija do vozlišča mednarodne informacijske mreže INTERMAGNET pa je bilo omrežje digitalne telefonije tisto, ki je v celotni telemetriji pomenilo ozko grlo. To ozko grlo smo ustvarili namenoma na podlagi predhodnih izkušenj z registracijo izpadov prenosa merilnih podatkov v realnem času po omrežju mobilne telefonije. Kljub vsemu znanju pa obstaja možnost, da je bil spregledan kateri od vplivnih faktorjev. Vendar ta možnost ni velika, ker so bili pridobljeni rezultati primerjani z rezultati meritev mreže ionosond D-RAP (Akmaev, 2010; SWPC, 2015b) in z lestvico prekinitev radijskih zvez zaradi vpliva vesolja (SWPC, 2015c).

Največ prekinitev prenosa merilnih podatkov v realnem času iz observatorija PIA do strežnika prek omrežja mobilne telefonije v prvih desetih učinkovitih obratih Sonca v letu 2015 je nastalo ob povečani aktivnosti Sonca. V ionosferi Zemlje se je zato povečala ionizacija ali se je povečala geomagnetna aktivnost. Ta dva vzroka za prekinitev prenosa sta lahko nastopila drug za drugim v razmiku od enega do treh dni oziroma istočasno. Njun pojav na Zemlji pa ni nujno povzročil tudi prekinitev prenosa na območju, ki ga pokriva observatorij PIA. Zato je pomembno spremljati te spremembe z lokalnimi meritvami.

Prekinitev prenosa v realnem času po omrežju mobilne telefonije na območju, ki ga pokriva observatorij PIA, je mogoče napovedati na podlagi statistične obdelave sprememb lokalnega geomagnetnega

indeksa K (Čop, Deželjin in De Reggi, 2015). Taka napoved velja vnaprej za obdobje enega učinkovitega obrata Sonca. Zanesljivost teh napovedi za naslednjih nekaj ur bi se močno povečala s sprotno obdelavo enosekundnih meritev spremembe zemeljskega magnetnega polja in analizo magnetnih impulzov, ki jih povzroča sprememba hitrosti sončnega vetra. Vendar samo napovedovanje spremembe lokalnega geomagnetnega indeksa K še ne bi zadoščalo za pravilno napovedovanje prekinitev prenosa. Šele z meritvami lastnosti ionosfere (Zolesi in Cander, 2014) bi tako kratkoročno napoved izboljšali do stopnje, ko bi lahko napovedali lastnosti ionosfere tudi nad posameznim delom območja, ki ga observatorij PIA pokriva s svojimi meritvami.

Izpadom prenosa merilnih podatkov iz geomagnetnega observatorija po omrežju mobilne telefonije se lahko izognemo: a) s povečanjem jakosti signala bazne postaje ponudnika storitev mobilne telefonije, b) z ustrežnejšim načinom prenosa merilnih podatkov prek celega dneva in z njihovim kodiranjem ter c) s prestavitvijo prenosa na vzporedne prenosne poti. Kot vzporedne prenosne poti smo imeli na voljo neposredni prenos prek evropskega geostacionarnega meteorološkega satelita METEOSAT ali prek obstoječega žičnega telefonskega omrežja. Ker je priključek obstoječega žičnega telefonskega omrežja že obstajal na najbližji hiši, smo se vključili v to omrežje prek njega. Galvansko ločitev komunikacijskih povezav smo zagotovili s postavitvijo lokalnega brezžičnega računalniškega omrežja na samem observatoriju, ki s signalom seže do najbližjega priključka na žično telefonsko omrežje. Po prehodu na vzporedno prenosno pot nismo več zabeležili izpadov prenosa merilnih podatkov in je sedaj zanesljivost prenosa najbolj odvisna le še od zanesljivosti delovanja strežnikov. Seveda pa pravi uporabniki mobilne telefonije nimajo vseh možnosti izboljšav, kot smo jih imeli na razpolago na geomagnetnem observatoriju, pri katerem se kraj postavitve ne spreminja.

Literatura in viri:

- Air Force Geophysics Laboratory (1985). *Geophysics Laboratory Handbook of Geophysics and the Space Environment*. Scientific editor Adolph S. Jursa. Springfield (VA, US): United States Air Force; Air Force system Command; Air Force Geophysics Laboratory.
- Akmaev, R. A. (2010). DRAP Model Validation: I. Scientific Report. For the Validation Team. Boulder (CO, US): National Oceanic and Atmospheric Administration; National Weather Service; National Centers for Environmental Prediction; Space Weather Prediction Center.
- Anet, J. G., Muthers, S., Rozanov, E. V., Raible, C. C., Stenke, A., Shapiro, A. I., Brönnimann, S., Arfeuille, F., Brugnara, Y., Beer, J., Steinhilber, F., Schmutz, W., Peter, T. (2014). Impact of solar versus volcanic activity variations on tropospheric temperatures and precipitation during the Dalton Minimum. *Climate of the Past*, 10(3), 921–938. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/cp-10-921-2014>
- Arit, R., Leussu, R., Giese, N., Mursula, K., Usoskin, I. G. (2013). Sunspot positions and sizes for 1825–1867 from the observations by Samuel Heinrich Schwabe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 433(4), 3165–3172. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/mnras/stt961>
- Balogh, A., Bothmer, V. et al. (1999). The Solar Origin of Co-rotating Interaction Regions and Their Formation in the Inner Heliosphere. Report of Working Group I. *Space Science Reviews of ISSI*, 89, 141–178. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-1179-1_11
- Carrington, C. R. (1859). Description of a Singular Appearance seen in the Sun on September 1, 1859. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 20(1), 13–15.
- Cliver, W. E., Dietrich, F. W. (2013). The 1859 space weather event revisited: limits of extreme activity. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 3, A31 (1–15). DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/swsc/2013053>
- Čop, R. (2015a). Razelektirive v ionosferi. V: M. Kuhar et al. (ur.), 20. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 29. januar 2015. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2014: zbornik del. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 7–14.
- Čop, R. (2015b). Zemeljsko magnetno polje in njegov vpliv na telekomunikacije. V: T. Mlinar (ur.), Enaintrideseta delavnica o telekomunikacijah VITEL, 11. in 12. maja 2015, Brdo pri Kranju. Krična infrastruktura in IKT: zbornik referatov. Ljubljana: Slovensko društvo za elektronske komunikacije, 129–133.
- Čop, R., Deželjin, D. (2012). Transmission of Measuring Data from the Sinji vrh Geomagnetic Observatory. *Proceeding of the XVth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition, and Processing*. Edited by: Pavel Hejda, Arnaud Chulliat, Manuel Catalan. Extended Abstract Volume. San Fernando; Cadiz (Spain): Real Instituto y Observatorio de la Armada, June 4th – 14 th, 2012. *Boletion Roa*, 3(13), 160–164.

- Čop, R., Deželjin, D., De Reggi, R. (2015). Določitev lokalnega geomagnetnega indeksa K. *Geodetski vestnik*, 59(4), 697–708. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2015.04.697-708>
- Čop, R., Milev, G., Deželjin, D., Kosmač, J. (2014). Protection against lightning at a geomagnetic observatory. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems (GI)*, 3(2), 135–141. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/gi-3-135-2014>
- Deželjin, D., Čop, R. (2015). Prenos merilnih podatkov iz geomagnetnega observatorija po obstoječem komunikacijskem omrežju. V: M. Kuhar et al. (ur.), 20. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 29. januar 2015. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2014: zbornik del. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 127–132.
- Eddy, A. J. (1976). The Maunder Minimum; The reign of Luis XIV appears to have been a time of real anomaly in the behavior of the sun. *Science*, 192(4257), 1189–1202. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.192.4245.1189>
- Escoubet, C. P., Taylor, M. G., Masson, A., Laakso, H., Volpp, J., Hapgood, M., Goldstein, M. L. (2013). Dynamical processes in space: Cluster results. *Annales Geophysicae*, 31(6), 1045–1059. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/angeo-31-1045-2013>
- Exslie, G. A., Lagace, L. R., Strong, F. P. (1975). Theory of the Propagation of UHF Radio Waves in Coal Mine Tunnels. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 23(2), 192–205.
- Galilei, G., Scheiner, C. (2010). On Sunspots. Translated and introduced by Eileen Reeves and Albert Van Helden. Chicago: University of Chicago.
- GFZ (2015a). Kp index archive. Potsdam (D): GFZ German Research Centre for Geosciences (Deutsche GeoForschungsZentrum) – Helmholtz Centre. <http://www.gfz-potsdam.de/en/section/earths-magnetic-field/services/kp-index/archive>, pridobljeno 30. 9. 2015.
- GFZ (2015b). Kp Sites List. Potsdam (D): GFZ German Research Centre for Geosciences (Deutsche GeoForschungsZentrum) – Helmholtz Centre. <http://www.gfz-potsdam.de/en/section/earths-magnetic-field/services/kp-index/explanation/kp-sites-list>, pridobljeno 9. 10. 2015.
- Graham, W. A., Kirkman, C. N., Paul, M. P. (2007). *Mobile Radio Network Design in the VHF and UHF Bands; A Practical Approach*. Chichester (UK): John Wiley & Sons.
- Hasegawa, H., Fujimoto, M., Phan, T.-D., Reme, H., Balogh, A., Dunlop, M. W., Hashimoto, C., TanDokoro, R. (2004). Transport of solar wind into Earth's magnetosphere through rolled-up Kelvin–Helmholtz vortices. *Nature*, 430(7001), 755–758. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature02799>
- IEEE (2003). IEEE Standard 521-2002: Standard Letter Designations for Radar-Frequency Bands. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IEEESTD.2003.94224>
- INTERMAGNET (2012). *INTERMAGNET Technical Reference Manual. Version 4.6*. Edited by: Benoit St-Louis. Edinburgh (UK): British Geological Survey.
- Lang, R. K. (2009). *The Sun from Space. Second Edition*. Berlin; Heidelberg (D): Springer-Verlag.
- Langhoff, S., Straume, T. (2011). Workshop Report on Space Weather Risks and Society. NASA/CP–2012-216003. Report of a workshop sponsored by and held at NASA Ames Research Center Moffett Field, California on October 15–16, 2011. Moffett Field (CA, US): National Aeronautics and Space Administration; Ames Research Center.
- Mayaud, P. N. (1980). *Derivation, Meaning, and Use of Geomagnetic Indices*. Geophysical monograph 22. Washington (DC, US): American Geophysical Union.
- National Environmental Satellite, Data, and Information Service (2009). *User's Guide for Building and Operating Environmental Satellite Receiving Stations*. U.S. Department of Commerce; National Oceanic and Atmospheric Administration; National Environmental Satellite, Data, and Information Service.
- Navy (1999). *Radio Operator's Handbook*. MCRP 3–40.3B. PCN 144 00067 00. Washington (DC, US): U.S. Marine Corps; Department of the Navy.
- Nykyri, K., Otto, A., Lavraud, B., Moukis, C., Kistler, L. M., Balogh, A., Reme, H. (2006). Cluster observations of reconnection due to the Kelvin–Helmholtz instability at the downside magnetospheric flank. *Annales Geophysicae*, 24(10), 2619–2643. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/angeo-24-2619-2006>
- Petovello, M. (2011). GNSS Solutions: What is a virtual reference station and how does it work? *InsideGNSS*. July/August 2011, 28–31.
- Rizos, C., Han, S. (2003). Reference Station Network Based RTK Systems – Concepts and Progress. *WUJNS, Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 8(2B), 566–574. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/bf02899820>
- Sabine, E. (1852). On Periodical Laws Discoverable in the Mean Effects of the Larger Magnetic Disturbances. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 142, 103–124.
- SBAS (2010). *Effect of Ionospheric Scintillations on GNSS – A White Paper*. Stanford (US): Stanford University; Global Positioning System (GPS) Lab; SBAS Satellite-based Augmentation Systems – Ionosphere Working Group.
- Siingh, D., Singh, A. K., Patel, R. P., Singh, R., Singh, R. P., Veenadhari, B., Mukherjee, M. (2009). Thunderstorms, lightning, sprites and magnetospheric whistler-mode radio waves. Varanasi (India): Banaras Hindu University, Department of Physics, Atmospheric Research Laboratory.
- SILSO (2015). Sunspot number series: latest update [online]. World Data Center for the production, preservation and dissemination of the international sunspot number. Brussels (Belgium): Royal Observatory of Belgium; SILSO – Sunspot Index and Long-term Solar Observations. <http://www.sidc.be/silso/home>, pridobljeno 30. 9. 2015.
- Skolnik, I. M. (1990). *Radar handbook*. Second edition. McGraw-Hill.
- SWPC (2011). *NOAA Space Weather Scales*. Boulder (CO, US): National Oceanic and Atmospheric Administration; National Weather Service; National Centers for Environmental Prediction; Space Weather Prediction Center.
- SWPC (2015a). *Space Weather Highlights*. SWPC PRF 2053 (29 December – 04 January 2015) – SWPC PRF 2091 (21 September – 27 September). The Boulder (CO, US): National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) – Space Weather Prediction Center (SWPC).
- SWPC (2015b). *Global D-region absorption prediction documentation*. Boulder (CO, US): National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) – Space Weather Prediction Center (SWPC). <http://www.swpc.noaa.gov/content/global-d-region-absorption-prediction-documentation>, pridobljeno 20. 10. 2015.
- SWPC (2015c). *NOAA Space Weather Scales*. Boulder (CO, US): National Oceanic and Atmospheric Administration; National Weather Service; National Centers for Environmental Prediction; Space Weather Prediction Center. <http://www.swpc.noaa.gov>, pridobljeno 18. 8. 2015.

- Štern, A., Bešter, J. (2012). Zasnova opozorilnega sistema na odstopanje GNSS. ERK'2012, Portorož, A, 57–60.
- Tappin, S. J., Howard, T. A. (2009). Direct Observation of a Corotating Interaction Region by Three Spacecraft. *The Astrophysical Journal*, 702, 862–870.
- Viberg, H., Khotyaintsev, Y., Vaivads, A., André, M. (2012). Observation of High-Frequency Waves in Relation to Magnetic Reconnection in the Magnetotail. Poster. Stockholm (Sweden): Svenska Rymdforskarens Samarbetsgrupp; Annual Meeting, 2012; KTH Royal Institute of Technology, 13–14 March, 2012.
- Webb, F. D., Howard, A. T. (2012). Coronal Mass Ejections: Observations. *Living Reviews Solar Physics*, 9(3), 1–83. DOI: <http://dx.doi.org/10.12942/lrsp-2012-3>
- Yionoulis, M. S. (1998). The Transit Satellite Geodesy Program. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 19(1), 36–42.
- Zolesi, B., Cander, R. L. (2014). *Ionospheric Prediction and Forecasting*. Heidelberg (D): Springer. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-38430-1>



Čop R. (2016). Vpliv sonca na prenos merilnih podatkov v realnem času po omrežju mobilne telefonije. *Geodetski vestnik*, 60 (2): 197-211.
DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2016.02.197-211

doc. ddr. Rudi Čop, univ. dipl. inž. elek.

Zavod Terra Viva

Sv. Peter 115, SI-6333 Sečovelje

e-naslov: rudi@artal.si