

# Magnetne nevihte in njihov vpliv na navigacijo

Rudi Čop<sup>\*</sup>, Andrej Bilc<sup>\*\*</sup>, Samo Beguš, Dušan Fefer<sup>\*\*\*</sup>, Dalibor Radovan<sup>\*\*\*\*</sup>

## Povzetek

Predstavljena je narava sončnega in zemeljskega magnetnega polja, njuna medsebojna povezava in njune anomalije. Cikli števila magnetnih neviht so enaki ciklu števila sončnih peg. Izbruhi na Soncu, ki izhajajo iz sončnih peg, povečujejo sončni veter in tako vplivajo na magnetno polje Zemlje in na njeno atmosfero. Kot primer te povezave je opisana največja magnetna nevihta iz zadnjih dveh sončnih ciklov, ki je trajala od 28. oktobra do 2. novembra 2003. Da je navigacija uspešna, je potrebno upoštevati tudi vse spremembe, ki jih na Zemlji povzročajo spremembe na Soncu.

## Sončni cikli

Nemški astronom Heinrich Schwabe (1789-1875) je leta 1843 objavil rezultate svojega večdesetletnega vsakodnevnega spremljanja sončnih peg. Opazil je, da število sončnih peg narašča in upada v neenakomernih ciklih, trajajočih približno po 10 let. Tudi širina področja, v katerem se te pege pojavljajo, se širi in krči. V bližini vrha takega sončnega cikla se v okolici sončnih peg sprošča velika količina energije v obliki žarkov X, radijskih valov in zelo hitro potujočih oblakov plazme. Ti oblaki plazme na Zemlji povzročajo magnetne nevihte. Izbruhe plazme na Soncu spremljajo nenadni bleski (solar flares). Prva opazovanja sončnih bleskov je s pomočjo teleskopa opravil angleški astronom Richard C. Carrington (1826-1875). Na osnovi opazovanja gibanja sončnih peg je tudi odkril, da se Sonce vrti različno hitro, odvisno od solarne širine. Sonce opravi popoln obrat okoli svoje osi glede na Zemljo približno v sedemindvajsetih dneh. Pri tem se njegov ekvatorialni predel vrti hitreje kot pa polarni. Ta neenakomernost v vrtenju skupaj z gibanjem plazme iz notranjosti Sonca proti površini je osnova za razlago nastanka njegovega magnetnega polja (Čop & Fefer, 2006). Sonce je po tej razlagi velik magnetni dinamo, ki zaradi nesimetrije širi svoje magnetno polje v interplanetarni prostor.

Področja na površini sonca s povečano gostoto magnetnega polja se v vidni svetlobi zaznajo kot sončne pege. Iz še ne pojasnjene razloga lahko močno magnetno polje v posamezni sončni pegi upočasni prehod toplote, zaradi česar je sončna pega hladnejša od svoje okolice. Močnejše in bolj nehomogeno magnetno polje Sonca nastaja ob večjem številu sončnih peg. Enajstletni cikel sončnih peg, ki pozna le pozitivne amplitude, se približno pokriva s ciklom magnetnega polja Sonca ali Halejevim ciklom. Skupaj s svojimi sodelavci je ta cikel odkril George Ellery Hale (1868-1938), graditelj astronomskega observatorija na gori Palomer v Kaliforniji. Sončev magnetni cikel ima pozitivne in negativne amplitude, kar pomeni zaporedno menjavanje magnetnih polov vsakih enajst let. Magnetni poli Sonca se postavijo ponovno v začetno lego po dveh takih menjavah.

---

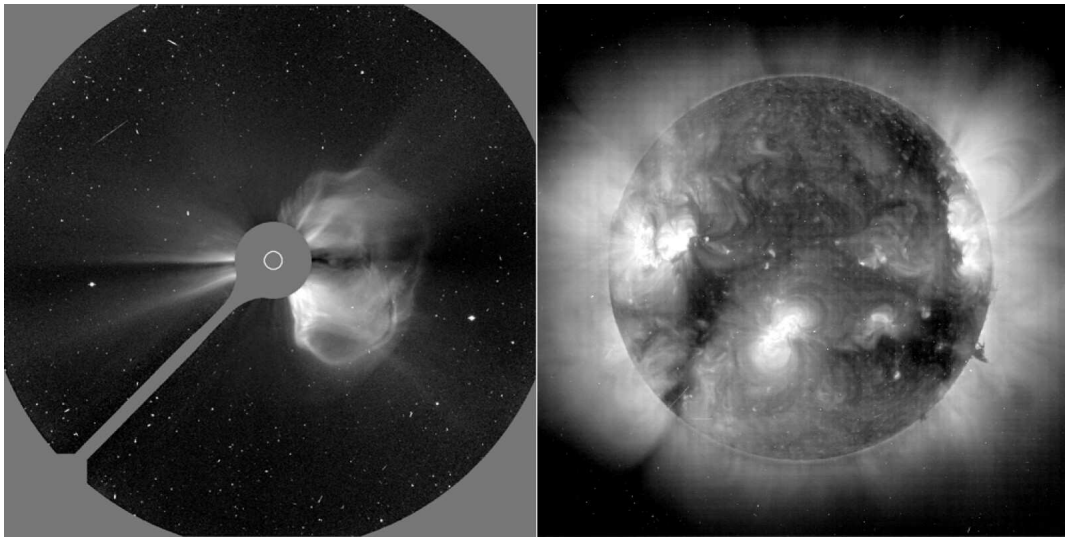
\* doc.ddr. Rudi Čop, Fakulteta za pomorstvo in promet Portorož, Pot pomorščakov 4, 6320 Portorož;

\*\* Andrej Bilc, univ.dipl.inž.geod., 2B geoinformatika d.o.o., Parmova 14, 1000 Ljubljana;

\*\*\* dr. Samo Beguš in prof.dr. Dušan Fefer, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za magnetna merjenja, Tržaška 25, 1000 Ljubljana;

\*\*\*\* mag. Dalibor Radovan, univ.dipl.inž.geod., Geodetski inštitut Slovenije, Jamova 2, 1000 Ljubljana.

V času popolnega sončnega mrka se opazita drugače slabo vidni zunanji plasti Sonca: rdečkasta kromosfera in nad njo v žarke oblikovana korona. Na področjih sončnih peg kot tudi na magnetnih polih so ti žarki vidno pod vplivom močnih magnetnih polj. Fotosfera, vidno področje solarne površine, dosega temperaturo okoli 6000 K. Korona, ki leži nekaj tisoč kilometrov nad fotosfero, pa dosega temperaturo preko  $2 \cdot 10^6$  K in gostoto delcev  $10^{14} \text{ m}^{-3}$ . Za ta pojav še ni zadovoljive razlage. Zgornja plast Sonca se namreč ne obnaša po pravilih običajnega prenosa toplote (Stern & Peredo, 2003).



Slika 1: Fotografiji Sonca iz vesoljske sonde SOHO: izbruh materije v koroni 20. 04. 1998 (levo) in sončna korona dne 19. 09. 2000 pri  $2 \cdot 10^6$  K (desno) (Berghmans, et al., 2000)

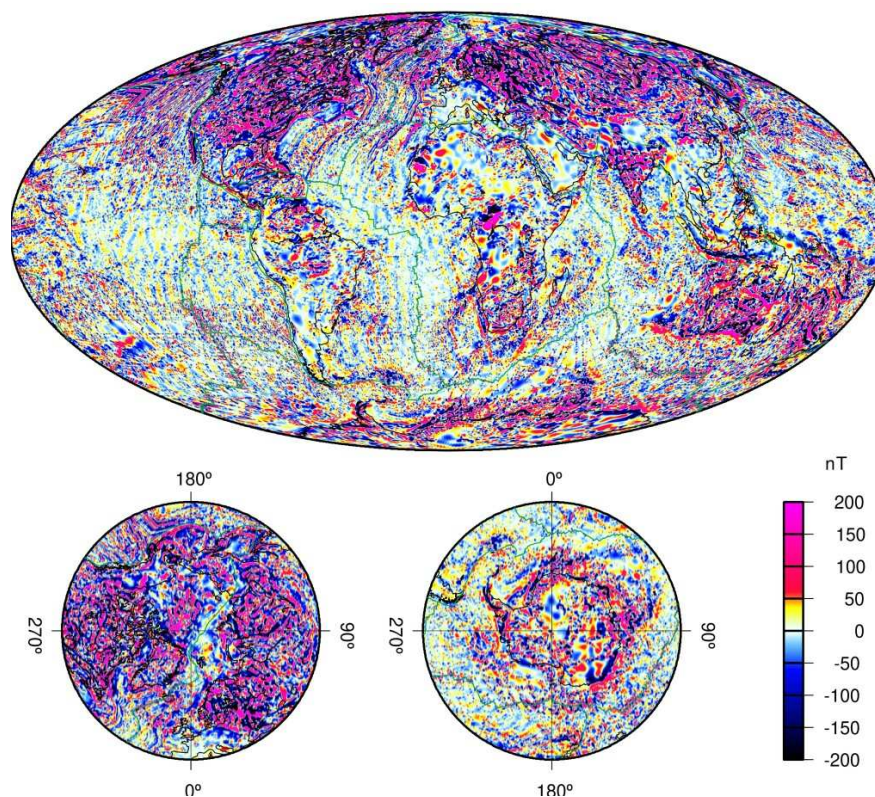
V nekaterih primerih nastanejo na Zemlji magnetne nevihte in močno povečanje sipanja osnovnih delcev iz Sonca tudi brez predhodnega pojava sončnih bleskov. Nad posameznim področjem sončnih peg se v takem primeru ustvari motnja v obliki balona, ki se z oddaljevanjem od svojega izvora vse bolj širi. Taki izbruhi materije v sončni koroni (coronal mass ejection, CME) so bili odkriti s pomočjo kamer na vesoljskih sondah konec sedemdesetih let prejšnjega stoletja (Slika 1).

### **Zemeljsko magnetno polje**

Zemeljsko magnetno polje se načrtno proučuje v geomagnetnih observatorijih več kot stoletje in pol. Zadnja tri desetletja se meri tudi s pomočjo vesoljskih sond. Odkrivajo se lastnosti notranjih in zunanjih izvorov zemeljskega magnetizma. Podatke o njegovih spremembah v preteklih geoloških obdobjih nam posreduje remanenčni magnetizem kamenin, lončenine in podobnih predmetov, ki so se namagnetili med njihovim ohlajanjem (Jarrard & Sclater, 1974; Mankinen & Wentworth, 2003).

Zemlja se od vseh notranjih planetov sončnega sistema vrti najhitreje. En obrat napravi v 23 urah in 56 minutah glede na zvezde stalnice oziroma v 24 urah glede na Sonce. Ima povprečni polmer 6371,2 km. Njeno jedro v stanju plazme zavzema ~84 % celotnega volumna, zunanja tekoča lupina pa ostalih ~16 %. Tekoča lupina predstavlja ~36 % celotne mase Zemlje in jo sestavljajo v glavnem kovine. Toplotna energija, ki se sprošča pri njenem ohlajanju, se odvaža v interplanetarni prostor s pomočjo prevajanja in konvekcije.

Do danes se je zaradi ohlajanja strdila zunanja skorja, ki predstavlja vsega ~4 % volumna celotne tekoče zunanje lupine.



Slika 2: Model vertikalne komponente magnetnega polja na površini Zemlje NGDC-720 (Geomagnetism, 2006)

Zunanja tekoča lupina zemlje je toplejša od temperature 1043 K, nad katero železo izgubi svoje feromagnetne lastnosti. Zato nastaja magnetno polje Zemlje samo zaradi električnih tokov, ki tečejo v njeni raztaljeni lupini. Konvekcijski tokovi v zunanji tekoči lupini povzročajo pretakanja ioniziranega materiala in so zato sestavni del magnetnega dinama. Poleg tega pa povzročajo tudi premikanje tektonskih plošč (Kious & Tilling, 1996). Zaradi razlike v gostoti in zaradi nesimetričnih konvekcijskih tokov tekoča lupina še dodatno samostojno niha, zaradi česar se s časom premika tudi zemeljsko magnetno polje (Russell & Luhmann, 1997). Danes je dejanski južni magnetni pol zemlje na severni polobli in se premika proti zahodu. Spremembe magnetne polaritete na severni polobli so se pred 60 milijoni let dogajala na vsakih 500 tisoč let. Pred 10 milijoni let so te spremembe postale trikrat pogostejše in se dogajajo na približno vsakih 150 tisoč let.

Približek dejanskemu magnetnemu polju Zemlje je magnetno polje, ki bi ga ustvarjal magnetni dipol v njenem središču. Kjer magnetna os tega dipola prebada zemeljsko površino, sta njena geomagnetna pola. Danes sta ta dva pola nagnjena za približno  $11,3^\circ$  glede na os rotacije Zemlje. Le v primeru, da bi bilo njeno resnično magnetno polje dipolno, bi se njena geomagnetna pola pokrivala z njenima magnetnima poloma, dejansko pa ti dve skupini polov ležita na različnih krajih (Slika 2). Zemeljska magnetna pola sta tam, kjer je inklinacija magnetnega polja  $90^\circ$  na severnem magnetnem polu in  $-90^\circ$  na južnem magnetnem polu. Ta dva pola se premikata neodvisno eden od drugega. Trenutno

je južni magnetni pol bolj oddaljen od južnega geografskega pola, kot pa je severni magnetni pol oddaljen od severnega geografskega pola.

Spremembo magnetnega polja Zemlje se lahko opiše s sferično harmonično vrsto, ki je rešitev Laplace-ove enačbe. V tej enačbi so zajeti le notranji izvori magnetnega polja in so predstavljeni s sekularnim magnetnim potencialom  $V(r, \varphi, \lambda, t)$ , katerega gradient sestavljajo tri osnovne vektorske komponente.

$$V(r, \varphi, \lambda, t) = R \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \left( \frac{R}{r} \right)^{n+1} \left[ g_n^m(t) \cos m\lambda + h_n^m(t) \sin m\lambda \right] P_n^m(\cos \Theta)$$

- $g_n^m, h_n^m \dots$  Gaussovi koeficienti
- $P_n^m(\cos \Theta) \dots$  pridružena Legendrova funkcija z normalizacijo po Schmidt-u
- Geografske komponente Zemlje so: povprečni polmer  $R$ , razdalja od njenega središča  $r$ , zemljepisna dolžina  $\lambda$  in  $\Theta = 90^\circ - \varphi$  (co-latitude), pri čemer je  $\varphi$  zemljepisna širina
- Stopnja in red sferične harmonične vrste določata koeficienta  $n$  in  $m$ .

Normalizacija pridružene Legendrove funkcije, narejena po Schmidt-u, je priporočena normalizacija za standardni matematični opis magnetnega polja Zemlje IGRF (International Geomagnetic Reference Field) (Geomagnetism, 2006). Prevladujoči sferični harmonični koeficient prve stopnje  $n = 1$  in nultega reda  $m = 0$  predstavlja magnetni moment vzdolž zemeljske rotacijske osi. Procesija tega magnetnega momenta je opisana s kombinacijo še drugih členov te stopnje.

Observatorij	Koda	Geografska širina
Panagjurishte	PAG	40.6°N
Ebro	EBR	40.8°N
L'Aquila	AQU	42.4°N
Grocka	GCK	44.6°N
Tihany	TIH	46.3°N
Chambon-la-Foret	CLF	50.1°N
Belsk	BEL	50.2°N
Niemegk	NGK	54.1°N
Wingst	WNG	54.5°N
Brorfelde	BFE	55.6°N

Tabela 1: Evropski geomagnetni observatoriji na srednjih geografskih širinah

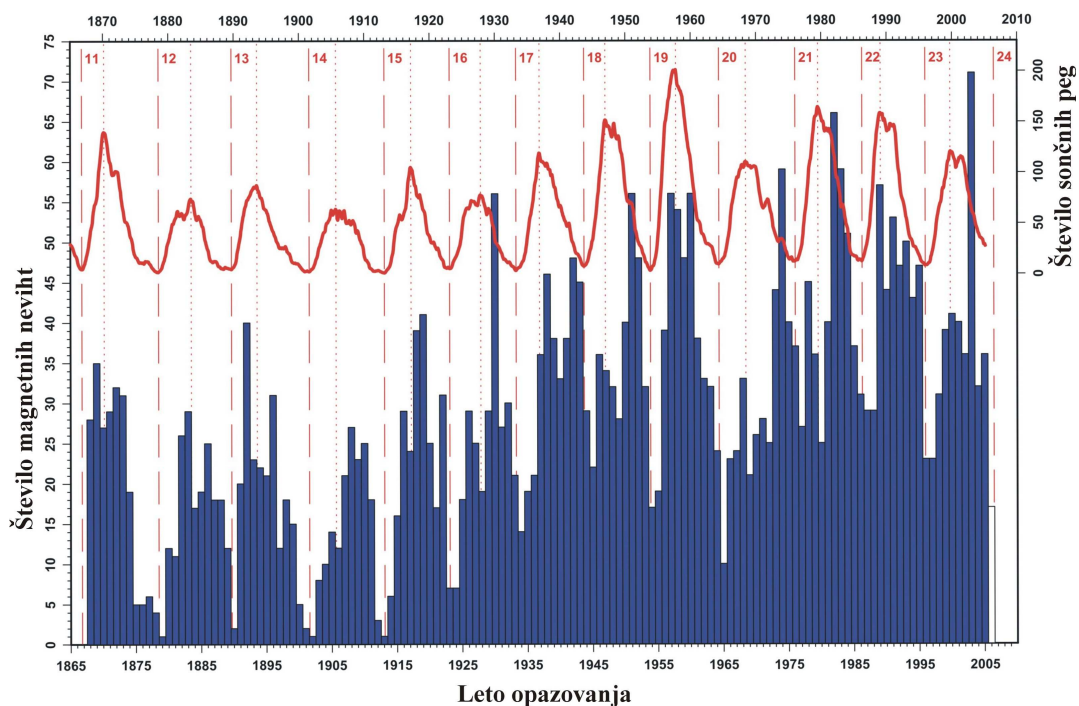
Matematični model zemeljskega glavnega magnetnega polja IGRF je na široko uporabljen pri proučevanju zemeljske notranjosti, njene skorje ter ionosfere in magnetosfere. Podaja letne spremembe geomagnetizma (secular variation) s predpostavko, da so te spremembe v obdobju petih let linearne. Najnovejša oblika tega matematičnega modela IGRF - 10 (revised 2005) je stopnje  $n_{\max} = 13$  in podaja izhodiščno statično obliko modela na 0,1 nT natančno. Omogoča napoved letne sekularne spremembe za petletno obdobje s stopnjo  $n_{\max} = 8$  z natančnostjo 0,1 nT na leto.

Moč sekularnega magnetnega potenciala je v zadnjih štiristo letih, odkar se meri (Tabela 1), padla za 20 %. Trenutno se zemeljski magnetni pol pomika proti zahodu s hitrostjo  $0,1^\circ$  in odmika od severnega geografskega pola proti jugu za  $0,02^\circ$  na leto (Wei & Xu, 2003; Rangarajan & Barreto, 2000). Da ostajajo vrednosti Gaussovih koeficientov tudi praktično uporabne za večino namenov, morajo biti ponovno izmerjene najmanj vsakih dvajset let. Merjenje sferičnih harmonskih koeficientov ni pomembno samo za določevanje sekularnih sprememb temveč tudi za določevanje lastnosti zemeljskega magnetnega

dinama. Za celoten vpogled v njegove lastnosti so poleg magnetnih meritev na površini Zemlje v občasnih točkah merjenja (repeat stations) pomembne tudi magnetne meritve s pomočjo vesoljskih sond na nizkih orbitah. Ta skupina magnetnih meritev se dopolnjuje s potresnimi meritvami v mreži seizmoloških opazovalnic. Čeprav sta ti dve skupini meritev iz dveh ločenih področij in različnih fizikalnih osnov, oblikujeta skupni rezultat: spremembe na magnetnem dinamiku Zemlje.

### Spremembe zemeljskega magnetnega polja

Vektor zemeljskega magnetnega polja se spreminja s časom in s krajem. Spremembe magnetnega polja Zemlje se v določenih obdobjih odvijajo enakomerno in pravilno, zato se lahko tem spremembam določi zakonitost. Obstajajo pa obdobja, v katerih se amplituda in perioda neprestano spreminjata. Na osnovi observatorijskih meritev so najprej določene normalne vrednosti geomagnetnega polja. To so letne srednje vrednosti, določene za daljše merilno obdobje, kot je na primer en sončni cikel. Normalna gostota magnetnega polja v Sloveniji je nekaj več kot 47000 nT (Weyand, 1984).



Slika 3: Sončni cikli (polna črta) in letno število geomagnetnih neviht (stolpci) (The Earth's Magnetic Field, 2007)

S pomočjo statistične analize so iz merilnih podatkov posameznega geomagnetnega observatorija nato določene spremembe magnetnega polja Zemlje, ki imajo svoj izvor v Zemlji ali na njeni površini. Spremembe zunanega izvora imajo svoje poreklo v spremembi aktivnosti Sonca, spremembi njegovega magnetnega polja in v sončnem vetru. Razdeli se jih lahko v več različnih razredov glede na njihovo obliko in velikost. Spremembe magnetnega polja, izmerjene v magnetno mirnih dneh, določajo stalno dnevno spremembo magnetnega polja Zemlje. Periodične spremembe te vrste z dolžino enega

solarnega dne se imenujejo stalna dnevna sprememba  $S_R$ . Ker je to osnovna oblika, ki določa geomagnetno aktivnost, se pri obravnavanju sprememb geomagnetnega polja izloča. Amplituda stalne dnevne spremembe  $S_R$  doseže svojo največjo vrednost v času poletnega solsticija, najmanjšo pa v času zimskega solsticija. Na geomagnetnih observatorijih srednje zemljepisne širine (Tabela 1) je stalna dnevna variacija okoli 60 nT v poletnem času, v zimskem času pa okoli 20 nT. S to ugotovitvijo je dokazan neposreden vpliv Sonca na magnetno polje Zemlje (Mihajlović & Lazović, 2006; Čop et al. 2007).

Magnetna nevihta	Začetek	Konec	Rang [nT]	Indeks g.m.a. K
1982, July 11	13.07.1982: 16 17 UT	15.07.1982: 22 00 UT	420 nT	9
1986, February 6	06.02.1986: 13 15 UT	10.02.1986: 23 45 UT	445 nT	9
1989, March 13	13.03.1989: 01 28 UT	15.03.1989: 21 50 UT	574 nT	9
1990, April 9	09.04.1990: 08 44 UT	15.04.1990: 06 00 UT	584 nT	9
1991, October 17	17.10.1991: 13 33 UT	21.10.1991: 19 20 UT	392 nT	9
2000, July 14	14.07.2000: 06 46 UT	17.07.2000: 13 54 UT	478 nT	9
2003, October 29	29.10.2003: 06 12 UT	01.11.2003: 21 00 UT	700 nT	9
2004, November 7	07.11.2004: 02 57 UT	11.11. 2004: 14 00 UT	500 nT	9

Tabela 2: Seznam največjih magnetnih neviht v 22. in 23. solarnem ciklu

V času enega sončnega ciklusa se na geomagnetnem observatoriju izmeri večje število nenadnih sprememb magnetnega polja Zemlje, ki so del sicer zelo pestro sestavljenega geomagnetnega polja. To so lahko tudi magnetne nevihte razreda z nenadnim začetkom ali magnetne nevihte razreda s postopnim začetkom. Magnetne nevihte so najbolj značilna zunanja motnja magnetnega polja Zemlje. Zanje je značilno, da njihova absolutna in relativna amplituda presega vrednost 100 nT.

Na osnovi analize dolgoletnih neprekinjenih meritev sončeve aktivnosti je bilo ugotovljeno, da se število sončnih peg povečuje in zmanjšuje ciklično v času enajstih let (Slika 3). Ta cikel je določen s časom med dvema zaporednima minimuma števila sončnih peg. Krivulja aktivnosti Sonca je sestavljena iz treh delov: osnovne periodične komponente enajstih let, komponente skoraj periodičnih sprememb približne dolžine enega leta in nenadnih sprememb, ki se odvijajo v času enega meseca. Skupna lastnost vseh solarnih ciklov je zelo hitra rast števila sončnih peg po minimumu in precej počasno upadanje po doseženem maksimumu. Meritve v času nekaj solarnih ciklov so dokazale, da obstaja neposredna povezava med spremembami aktivnosti Sonca in spremembami magnetnega polja Zemlje. Sprememba števila magnetnih neviht v posameznem letu je popolnoma usklajena s spremembami števila sončnih peg (Slika 3). V številu nenadnih sprememb geomagnetnega polja obstajajo prav tako cikli dolžine enajstih let, ki pa za solarnimi cikli zaostajajo za 15 do 18 mesecev.

## Geomagnetne nevihte v 22. in 23. sončnem ciklu

Za 22. in 23. sončni ciklus, ki obsegata časovno obdobje od leta 1986 do leta 2005, so bile na osnovi meritev evropskih geomagnetnih observatorijev srednje geografske širine (Tabela 1) narejene analize dnevne variacije geomagnetne aktivnosti, analiza geomagnetnih motenj in analiza razredov zelo močnih magnetnih neviht. Skupno je bilo analiziranih 37 magnetnih neviht z nenadnim začetkom SSC (Sudden Storm Commencement). Upoštevana sta bila njihova največja amplituda in čas trajanja. V času 22. in 23. sončnega cikla je posamezna magnetna nevihta povprečno trajala 72 ur. Med vsemi magnetnimi nevihtami iz opazovanega obdobje je bilo izbranih 8 (Tabela 2) z največjim rangom (Big Magnetic Storms). Te so bile nato primerjane z magnetnimi nevihtami registriranimi v japonskem observatoriju Kakioka (KAK), Memambetsu (MEM) in Kanoya (KNY) (Tsunomura et al, 1999). Primerjava je bila narejena tudi z mesečnim poročilom o registraciji naglih geomagnetnih sprememb, ki jih objavlja organizacija ISGI (International Service of Geomagnetic Indices) (Monthly Bulletin, 2003).

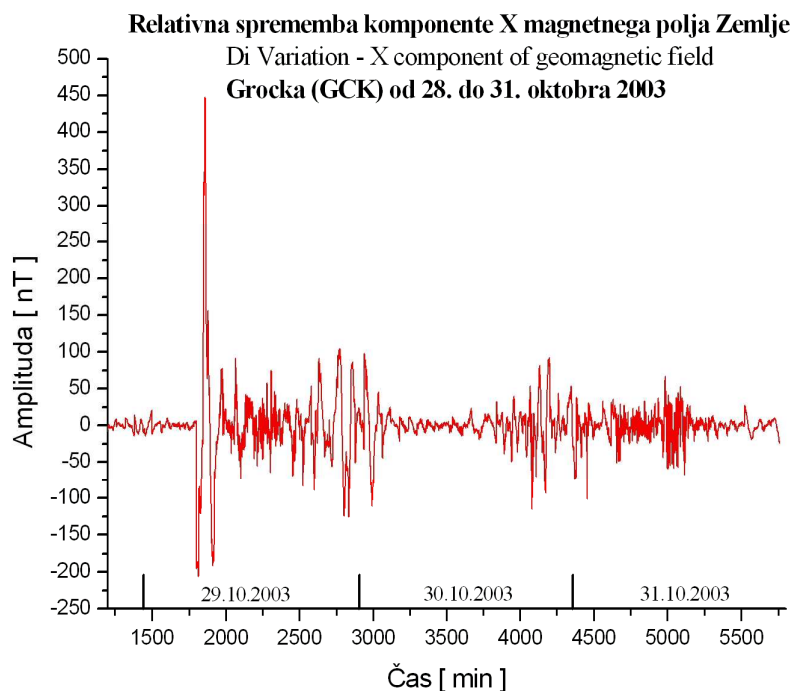
## Nenadne sončne in geomagnetne spremembe v oktobru 2003

V mesecu oktobru 2003 se je aktivnost Sonca spreminjala od nizkega nivoja v prvi polovici meseca do izjemno visokega v zadnjih desetih dneh meseca. Na površini Sonca je bilo zaznati nekaj večjih skupin sončnih peg, označenih kot katanjske grupe (Catania sunspots groups). Velika skupina sončnih peg Catania 70 se je pojavila na vzhodnem robu sončne površine 23. oktobra 2003. Zavzela je 0,23 % površine sončnega diska, kar je bilo največ med vsemi skupinami sončnih peg v 23. sončnem ciklu. V skupini sončnih peg Catania 70 je nastalo večje število izjemno močnih sončnih bleskov. Tisti, ki so nastali v okolici osrednjega sončnega meridiana, so povzročili izbruhe materije v sončni koroni CME (coronal mass ejection) v smeri Zemlje (Solar Influences Data Analysis, 2003). Sončni veter je 28. oktobra dosegel izjemno hitrost  $2125 \text{ km s}^{-1}$ , naslednja dva dni pa  $1950 \text{ km s}^{-1}$ . Interplanetarno magnetno polje je doseglo vrednost  $-50 \text{ nT}$ .

Vsi ti izjemno močni izbruhi CME so vplivali na magnetno polje Zemlje. 29. oktobra 2003 ob 06 12 UT je bil registriran začetni impulz, ki je napovedal eno od najmočnejših magnetnih neviht SSC (Sudden Storm Commencement) v zadnjih desetih sončnih ciklih (Slika 4). V času trajanja te magnetne nevihte je planetarni indeks geomagnetne aktivnosti dosegel ekstremne vrednosti. 29. oktobra je znašal  $\Sigma Kp = 58$  in 30. oktobra  $\Sigma Kp = 56$ . V nekaj triurnih intervalih so bili doseženi izjemni indeksi geomagnetne aktivnosti  $Kp = 7$ ,  $Kp = 8$  in  $Kp = 9$ . Magnetna nevihta je trajala do 01. novembra 2003. Njen rang je bil 700 nT, kar predstavlja največje odstopanje od srednje vrednosti geomagnetnega polja na srednjih geografskih širinah (Tabela 2).

Podrobnejša analiza urnih vrednosti indeksa  $D_{ST}$  za mesec oktober 2003 kaže, da je bil ta mesec glede geoaktivnosti razdeljen na tri dele. Z indeksom  $D_{ST}$  se opisuje urne vrednosti horizontalne komponente zemeljskega magnetnega polja  $H$  [nT]. Po tem indeksu je bil čas od 1. do 13. oktobra zelo miren, obdobje od 14. do 27. oktobra pa le zmerno moteno z doseženim indeksom  $D_{ST} < -100 \text{ nT}$ . V času od 28. oktobra do 2. novembra 2003 pa je bila geomagnetna aktivnost izjemno velika. Registrirane so bile tri zaporedne magnetne nevihte. Največji indeks  $D_{ST} = -401 \text{ nT}$  je bil registriran 30. oktobra ob 23,00 UT (Hourly Equatorial  $D_{ST}$  Values, 2003).





Slika 4: Relativna sprememba magnetnega polja Zemlje  $D_i(x)$  izmerjena na geomagnetnem observatoriju Grocka v času od 28. do 31. oktobra 2003

### Navigacija in navigacijski instrumenti

Navigacija je proces, pri katerem se potovanje organizira varno in prilagojeno danim razmeram. V osnovnem pomenu je to znanost načrtovanja, nadzorovanja in vodenja ladij od izhodiščnega do namembnega pristanišča. Danes pomeni navigacija znanost vodenja ladij, cestnih in tirnih vozil, letal in vesoljskih plovil v določenem času po najkrajši in najprimernejši poti. Teorija navigacije se danes naslanja na znanja iz več naravoslovnih in družbenih ved, matematike, teorije optimalnega vodenja in iz več področij tehnike (Bowditch, 2002; Benković et al, 1986). Navigator mora pri svojem vsakdanjem delu nujno upoštevati tudi vremenske in klimatske pogoje. Nanje pa imajo magnetne nevihte neposreden vpliv.

V času trajanja geomagnetne nevihte 30. in 31. oktobra 2003 so bile registrirane velike spremembe zemeljskega magnetnega polja (Largest Geomagnetic Storm, 2003). Zato je bil povzročen dodatni naključni pogrešek pri navigacijskih instrumentih za merjenje smeri. Ti instrumenti so danes v navigaciji sekundarnega pomena, vendar se obvezno uporabljajo v navigacijskih napravah s povečano točnostjo, zanesljivostjo in robustnostjo delovanja: integralni navigacijski sistemi, avto-piloti, radarji ARPA, sistemi za uravnavanje vrtnih platform. Prehod posamezne magnetne nevihte se danes že točno napove. To pomeni, da pogreški, ki jih taka nevihta povzroči na navigacijskih instrumentih, postanejo sistemski in zato obvladljivi.

Magnetna nevihta spremeni razmere v atmosferi in s tem način širjenja radijskih valov. Zato se spremenijo pogoji uporabe radionavigacijskih sistemov: satelitskih in hiperboličnih navigacijskih sistemov ter radijskih svetilnikov. Zato je poznavanje izjemnih sprememb v



magnetnem polju Zemlje pomembno tudi pri uporabi primarnih navigacijskih sistemov pasivne in aktivne vrste.

## **Zaključek**

V Evropi delujeta dva od šestih svetovnih centrov GIN (Geomagnetic Information Node) za zbiranje rezultatov geomagnetnih meritev v skoraj realnem času. Preko teh centrov je več kot osemdeset geomagnetnih observatorijev po vsem svetu povezanih v projekt Intermagnet (International Real-time Magnetic Observatory Network) (Kerridge; Intermagnet, 2004). Ta mednarodni projekt, ki deluje od leta 1991, omogoča zbiranje in shranjevanje rezultatov meritev sprememb magnetnega polja Zemlje na njeni površini. Zbrane podatke nato posreduje vsem observatorijem za geomagnetne meritve IMO (Intermagnet Magnetic Observatory) in drugim uporabnikom.

Postavitev geomagnetnega observatorija v Republiki Sloveniji bi pomenila ponovno vzpostavitev geomagnetnih meritev na njenem ozemlju, ki so že potekale od leta 1958 do leta 1991. Njegova vključitev v mednarodno mrežo Intermagnet pa bi mu omogočila sodelovanje v domačih in mednarodnih programih in projektih is področja geomagnetizma, astronomije, seizmologije, vremenoslovja, navigacije in varstva okolja.

## **Osnova članka**

V članku je predstavljeno eno od izhodišč raziskovalnega projekta 'Določitev magnetne deklinacije za območje Slovenije in primerjava z globalnimi modeli zemeljskega magnetnega polja', ki se od 01. 08. 2007 izvaja v okviru Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Finančna sredstva za ta projekt je zagotovilo ministrstvo Republike Slovenije pristojno za obrambo.

## **Literatura**

- Benković, F. et al. Terestrička i elektronska navigacija. Split: Hidrografski institut ratne mornarice, 1986. ISBN: 8670330016.
- Berghmans, David. et al. A new start for the SIDC. Brussel: Royal Observatory of Belgium; Department of Solar Physics; Solar Influences Data Centre (SIDC), [cited 28.08.2007]. Available from Internet in DOC format: <[http://www.sidc.be/publications/docs/Berghmans\\_2000\\_OSTC\\_SIDC.doc](http://www.sidc.be/publications/docs/Berghmans_2000_OSTC_SIDC.doc)>.
- Bowditch, Nathaniel. National Imagery and Mapping Agency. American practical navigator: "Bowditch". An epitome of navigation. Originally by Nathaniel Bowditch (1773-1838). Arcata (CA, US): Paradise Cay Publications, 2002. ISBN: 0939837544.
- Čop, Rudi. et al. The distribution of the K indices geomagnetic activity in 23 rd Sun`s cycles. Geophys. res. abstr., 2007, vol. 9, no. 1, 2 str.
- Čop, Rudi. Fefer, Dušan. Nature of Earth`s magnetic field and its application for commercial flight navigation. Edited by Jean L. Rasson and Todor Delipetrov. Geomagnetism for Aeronautical Safety: A Case Study in and around the Balkans. NATO Security through Science Series C: Environmental Security. Editors Jean L. Rasson and Todor Delipetrov. Dordrecht (NL): Springer, 2006, p. 115-126. ISBN: 1402050240.
- Geomagnetism: Geomagnetic Field Models [online]. National Geophysical Data Center: Main, crustal and magnetospheric field, Degree 720, Ver. 1.0 (Sep 2006). Available from Internet: <<http://geomag.org/models/index.html>>.

- Hourly Equatorial  $D_{ST}$  Values (Provisional). WDC-C2 Geomagnetism, Kyoto University. Bulletin Mensuel, October 2003, no. 03, vol.10.
- Intermagnet Technical Reference Manual. Version 4.2. Edited by: Benoît St-Louis. Denver (CO, US): U.S. Geological Survey; Denver Federal Center, 2004.
- Jarrard, D. Richard. Sclater, G. John. Preliminary paleomagnetic results, leg 22. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project covering Leg 22 of the cruises of the Drilling Vessel Glomar Challenger Darwin, Australia to Colombo, Ceylon January - March 1972. Science Editor Anthony C. Pimm. University of California; Scripps Institution of Oceanography, February 1974, vol. 22, p.369-375.
- Kerridge, David. Intermagnet: Worldwide near-real-time geomagnetic observatory data. Edinburgh (UK): British Geological Survey.
- Kious, W. Jacquelyne. Tilling, I. Robert. This Dynamic Earth: The Story of Plate Tectonics. Washington (DC, US): United States Government Printing, 1996. ISBN: 0160482208.
- Largest Geomagnetic Storm in 20 Years [online]. Edimburg (UK): Seismology and Geomagnetism Programme; BGS British Geological Survey; Natural Environment Research Council [cited 13.08.2007]. Available from Internet: <<http://www.geomag.bgs.ac.uk/storm29oct2003.html>>.
- Mankinen, A. Edward. Wentworth, M. Carl. Preliminary Paleomagnetic Results from the Coyote Creek Outdoor Classroom Drill Hole, Santa Clara Valley, California. Open-File Report 03-187. Menlo Park (CA, US): U.S. Department of the Interior; U.S. Geological Survey, 2003.
- Mihajlović, Spomenko. Lazović, Časlav. The Disturbances of the Solar-Geomagnetic Activity [CD-ROM]. MIHALIČ, Franc (urednik). EPE-PEMC 2006 : conference proceedings. [Piscataway]: IEEE, cop. 2006, 2006, p. 2045-2050. System requirements: Adobe Acrobat Reader; CD-ROM drive. IEEE Catalog Number: 06EX1282C. ISBN: 1424401216.
- Monthly Bulletin 2003 [online]. International Service of Geomagnetic Indices – ISGI; Publications Office, 2007 [cited 14.11.2007]. Available from Internet: <<http://isgi.cetp.ipsl.fr/bull03.html>>.
- Rangarajan, G. K. Barreto, L.M. Secular change in the location of the magnetic dip equator in the twentieth century. Geofisica Internacional, 2000, vol. 39, no. 4, p. 323-336.
- Russell, C. T. Luhmann, J. G. Earth: Magnetic Field And Magnetosphere Encyclopedia of Planetary Sciences. Edited by J. H. Shirley and R. W. Fainbridge, New York: Chapman and Hall, 1997. p.208-211.
- Solar Influences Data Analysis; Monthly Summary of Solar and Geomagnetic Activity. Sunspot Bulletin, 2003, no.10. Available also from Internet in PDF format: <<http://sidc.oma.be/html/SWAPP/monthlybulletin/monthlybulletin.html>>.
- Stern, P. David. Peredo, Mauricio. The Exploration of the Earth's Magnetosphere [online]. From the Sun to the Earth: Polar, Wind and Geotail; An educational web site. Greenbelt (MD, US): NASA Goddard Space Flight Center, Last updated 10 November 2003 [cited 28.08.2007]. Available from Internet: <<http://www-spop.gsfc.nasa.gov/Education/index.html>>.
- The Earth's Magnetic Field - An Overview [online]. Edimburg (UK): Seismology and Geomagnetism Programme; BGS British Geological Survey; Natural Environment Research Council [cited 13.08.2007]. Available from Internet: <<http://www.geomag.bgs.ac.uk/earthmag.html>>.
- Tsunomura, S. et al. A study of geomagnetic storm on the basis of magnetic observations in the Japanese chain observatories. Kakioka (J): Memories of the Kakioka magnetic observatory, 1999, vol. 27, p. 1- 105.
- Wei, Zi-Gang. Xu, Wen-Yao. Westward drift in secular variation of the main geomagnetic field inferred from IGRF. Earth Planets Space, 2003, no. 55, p. 131–137.
- Weyand, Kurt. Eine neues Verfahren zur Bestimmung des gyromagnetischen Koeffizienten des Protons, Braunschweig: PTB, 1984.