

Gimnazija Murska Sobota

Vidljivost polarnega sija iz Slovenije

Raziskovalna naloga

Avtorja: Nino Cmor

Darko Kolar

Mentor: doc. dr. Renato Lukač

Somentor: dr. Dunja Fabjan, center odličnosti Vesolje-SI

Murska Sobota 2012

Zahvala:

Zahvala je namenjena mentorju doc. dr. Renatu Lukaču za strokovno pomoč pri pripravi naloge, usmeritve in dobrodošle nasvete.

Prav tako se zahvaljujeva dr. Dunji Fabjan s centra odličnosti Vesolje-SI za strokovno pomoč.

Povzetek:

Polarni sij je eden izmed najlepših nebesnih pojavov, ki jih lahko opazujemo s prostim očesom. Pri opazovanju so v prednosti države višjih geografskih širin, saj polarni sij nastane v bližini magnetnih polov Zemlje. Opazujemo ga lahko tudi iz nižjih geografskih širin, če so izpolnjeni določeni pogoji. V Sloveniji je bilo do zdaj zapaženih in opisanih kar nekaj pojavov polarnega sija, od tega štirje večji.

V okviru naloge smo raziskali potrebne pogoje za vidljivost polarnega sija iz Slovenije. Za datume, ko je bil viden polarni sij v Sloveniji, smo preučili različne podatke za vesoljsko vreme in med njimi identificirali tiste, ki odločilno vplivajo na vidljivost polarnega sija iz naših krajev. Ugotovili smo, da so najbolj vplivni parametri določeni s Sončevimi in geomagnetnimi fizikalni količinami ter podatki za nekatere delce (protone in elektrone), ki so jih izmerili sateliti. Na podlagi takih parametrov smo določili potrebne pogoje za vidljivost polarnega sija v Sloveniji in preverili koliko polarnih sijej je v povprečju letno vidnih v naši državi.

Ključne besede: polarni sij, Sončev veter, magnetno polje, K-indeks

Abstract:

Aurora borealis is one of the most beautiful celestial phenomena that can be observed. Since aurora borealis occurs near the Earth magnetic poles, countries at higher latitudes are favored in observing it. It can also be observed at lower latitudes if certain conditions are met. So far in Slovenia a number of auroras, of which four stronger, were observed and described.

In this work we have studied the necessary conditions for the visibility of aurora from Slovenia. On dates when the aurora borealis have been seen in Slovenia, we have examined a variety of space weather data and have identified among them those which are relevant for aurora occurring at lower latitudes. We found that the most important parameters are determined by the solar and geomagnetic data together with physical quantities for certain particles (protons and electrons), which are measured by satellites. Based on these parameters we have determined the necessary conditions for the visibility of aurora in Slovenia and verified how many auroras can be seen per year in our country.

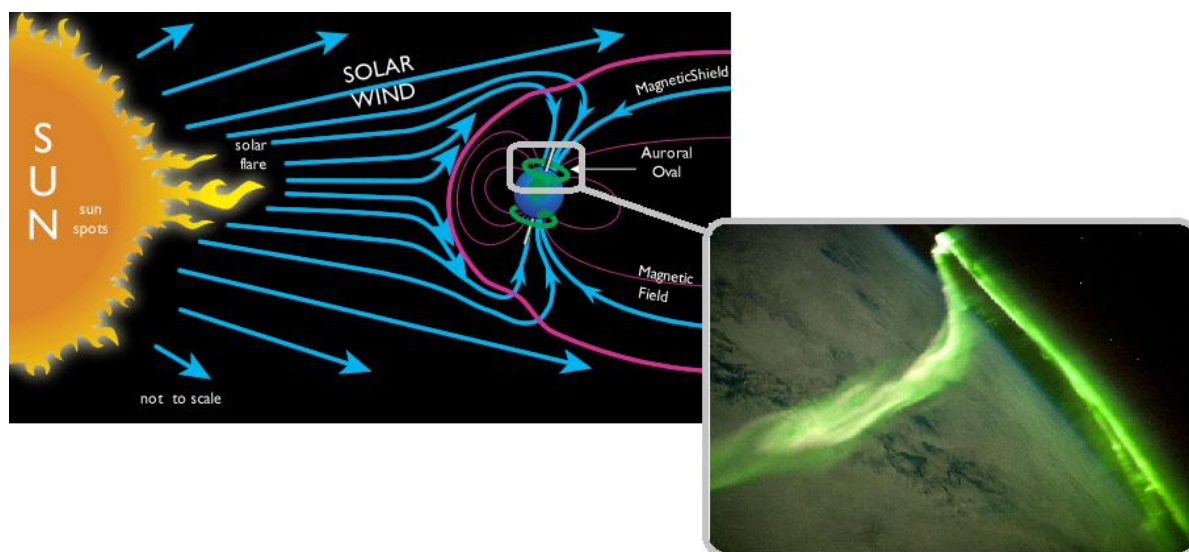
Key words: aurora borealis, solar wind, magnetic field, K-index

Kazalo

1. Uvod	5
2. Magnetno polje Zemlje in sklapljanje magnetnih silnic.....	7
3. Meritve in vrednotenje rezultatov	10
3.1. Ključni parametri za nastanek polarnega sija	12
3.2. Rezultati.....	16
3.2.1. 21. / 22. Januar 2005	16
4. Vrednotenje rezultatov.....	21
5. Zaključek.....	24
Literatura	25

1. Uvod

Po Sončevem sistemu se širi Sončev veter, ki ga sestavljajo delci različnih energij. Sončev veter se premika skozi medplanetarni prostor, tudi proti Zemlji, z nadzvočno hitrostjo od 300 km/s do 1000 km/s. Sončev veter izkrivlja Zemljino magnetno polje, kar povzroča kometno obliko magnetosfere - področje, ki ga v Sončevem vetru izklesuje Zemeljsko magnetno polje (Slika 1). Magnetno polje Zemlje predstavlja mehko oviro za Sončev veter, tako da se oblika magnetnega polja nenehno spreminja skladno s spreminjanjem intenzitete Sončevega vetra. Magnetno polje Zemlje predstavlja učinkovit ščit, saj prepusti le približno 0,1 % energije Sončevega vetra in le okoli 10 % električnega polja v Sončevem vetru. [1] Nekaj delcev se kljub temu ujame v Zemljinem magnetnem polju. Ti so potem pospešeni vzdolž magnetnega polja proti polarnim področjem, kjer pride do pojava, ki mu pravimo polarni sij.



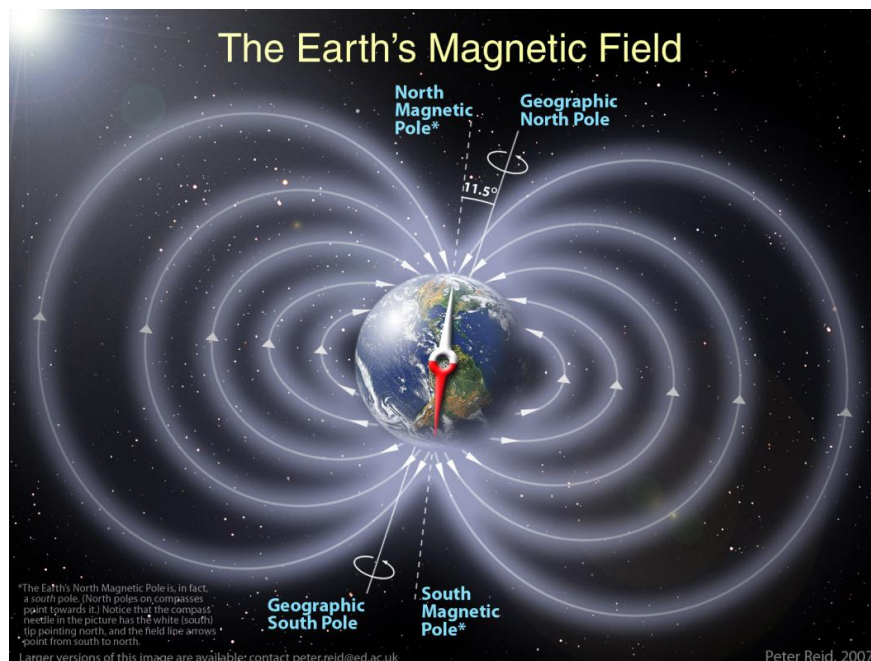
Slika 1: Prikaz kometne oblike Zemljinega magnetnega polja in pojav polarnega sija iz vesolja. Na levi ilustraciji so označeni Sončeve pege (ang. sun spots) in blišč (ang. Solar flare) na Soncu ter Sončev veter (ang. Solar wind), ki spreminja Zemljino magnetno polje, kjer sta označena magnetni ščit (ang. magnetic shield) in aurorin oval (ang. auroral oval) [2].

Polarni sij povzroči interakcija med visoko energetskimi delci (navadno elektroni) in nevtralnimi atomi ali molekulami v zgornji plasti Zemljine atmosfere (približno 100 km nad površjem Zemlje). Visoko energetski delci lahko vzburi valenčne elektrone, ki so vezani k nevtralnemu atomu v višja energijska stanja. Vzburjeni elektroni se potem vrnejo v nižje energijsko stanje in pri tem izsevajo foton. Barva polarnega sija je zato odvisna od vrste atmosferskih plinov in njihovega električnega stanja ter energije delca, ki zadane atmosferski plin. Atom kisika je tako odgovoren za barvi zelena (valovna dolžina 557,7 nm) in rdeča (630,0 nm), molekula dušika pa za rdečo (600,0 nm – 700,0 nm). Ostali elementi zaradi majhnega deleža v atmosferi nimajo pomembnejšega vpliva na barvo polarnega sija. [1]

2. Magnetno polje Zemlje in sklapljanje magnetnih silnic

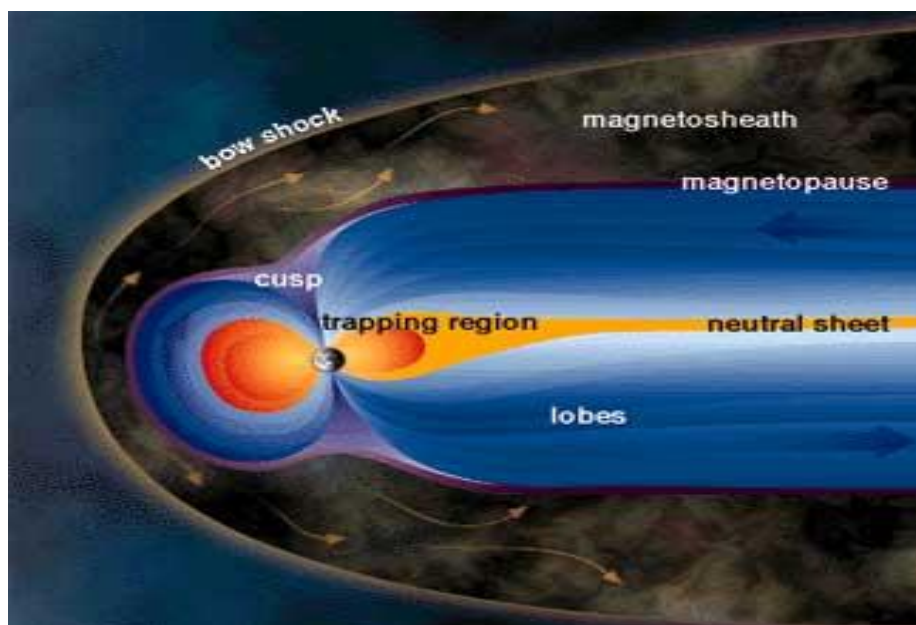
Magnetno polje Zemlje nastane zaradi tokov zunanje plasti jedra Zemlje. Ta efekt pogosto imenujemo dinamo efekt. Velikost polja se nekoliko spreminja po površini Zemlje in se giblje med $30 \mu\text{T}$ do $60 \mu\text{T}$. Magnetno polje torej ni enako veliko povsod po površini Zemlje, poleg tega pa ima tudi lokalne spremembe, predvsem na področjih, kjer je v Zemlji mnogo magnetita (naravnega feromagnetnega materiala – železovega oksida). [4]

Pojavnost polarnega sija je še posebno pogosta med geomagnetnimi nevihtami. Med geomagnetno nevihto pride do daljšega obdobja zmanjšanega Zemeljskega magnetnega polja, kar je posledica sprememb v Sončevem vetru. Povečan pritisk Sončevega vetra lahko na dnevni strani stisne magnetosfero tudi na polovico njene normalne velikosti in celo prestavi magnetopavzo znotraj geosinhronih satelitskih orbit. V tem primeru seveda magnetno polje Zemlje ne ščiti več satelitov, tako da jih Sončevi delci lahko poškodujejo. Prav tako se povečajo tokovi znotraj magnetosfere, kar vodi do povečanja področja polarnega sija, ki se v skrajnih primerih lahko razširi celo do tropskih zemljepisnih širin. [3]



Slika 2: Oblika Zemljinega magnetnega polja, če ne bi bil prisoten Sončev veter. Na sliki je narisana geografski pol (ang. geographic pole), ki je glede na magnetni pol (ang. magnetic pole) nagnjen za 11.5 stopinj [5].

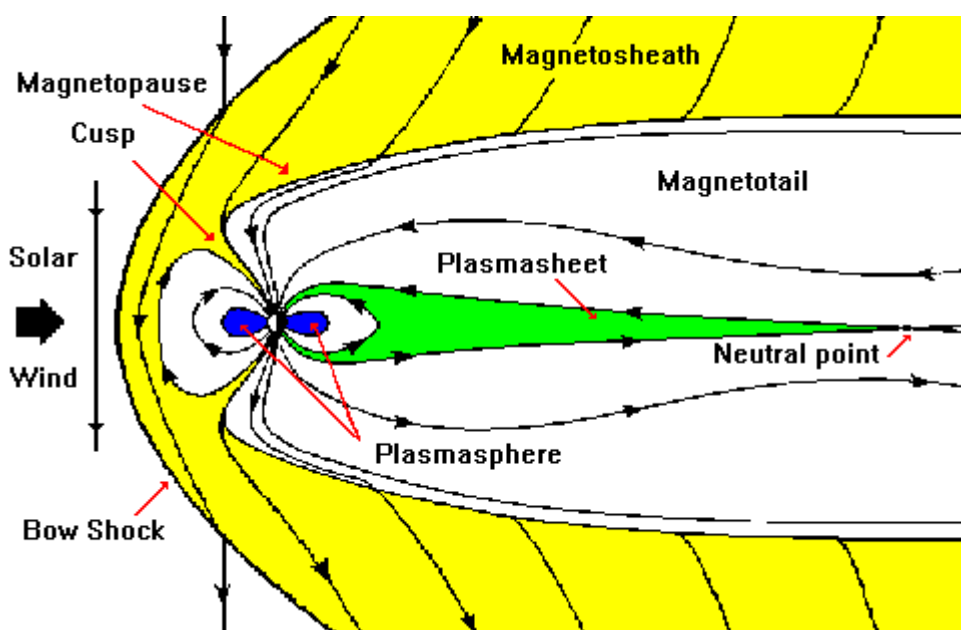
Magnetosfero in Sončev veter deli ozka mejna plast – magnetopavza (Slika 3). Zunaj magnetopavze je še ena precej bolj oddaljena mejna plast zaradi udarnega vala. Sončev veter ima nadzvočno hitrost, zato dobimo udarni val. Znotraj udarnega vala se plazma Sončevega vetra upočasni do podzvočnih hitrosti in segreje. Plazma ob normalnih razmerah skoraj ne prodre znotraj magnetopavze v magnetosfero Zemlje.[3]



Slika 3: Ilustracija magnetosfere, kjer so označeni magnetni ščit (ang. magnetosheath), magnetopavza (ang. magnetopause), udarni val (bow shock), obe odprti polarni regiji (ang. cusp). Magnetni rep (ang. magnetotail) je sestavljen iz dveh delov (lobes) in vmesno nevtralno plastjo (ang. neutral sheet). V bližini Zemlje so področja (ang. trapping regions), kjer se nahaja ujeta plazma [3].

Zemljino magnetno polje in medplanetarno magnetno polje, ki ga s sabo nosi Sončev veter, prideta v stik na področju magnetopavze. Zemljino magnetno polje je v magnetopavzi usmerjeno proti magnetnemu severnemu polu. Če je medplanetarno magnetno polje usmerjeno proti jugu lahko deloma izniči Zemljino magnetno polje na mestu, kjer pride do sklopitve magnetnih silnic (Slika 4).

Južno usmerjena vertikalna komponenta medplanetarnega magnetnega polja, ki jo znanstveniki označujejo z B_z , pogosto naznanja razširjen polarni sij. V tem primeru se poveča oval polarnega sija, območje kjer Sončevi delci trčijo v atmosfero in tudi verjetnost za pojav polarnega sija na nižjih geografskih širinah je višja. [6]



Slika 4: Shema medplanetarnega magnetnega polja, ki ga prenaša Sončev veter in njegove sklopitve z Zemeljskim magnetnim poljem. Na sliki so označeni Sončev veter (ang. Solar wind), udarni val (ang. bow shock), odprti polarni regiji (ang. cusp), magnetni ščit (ang. magnetosheath), magnetni rep (ang. magnetotail), področja z ujeto plazmo (ang. plasmasphere), plast plazme (ang. plasmasheet) in nevtralna točka (ang. neutral point) [6].

3. Meritve in vrednotenje rezultatov

Za datume, ko je bil polarni sij viden iz Slovenije je bilo potrebno poiskati točno določene vrednosti parametrov, ki so pomembni za vidljivost polarnega sija. Le-te smo našli na NOAA-ini spletni strani centra za napoved vesoljskega vremena - Space Weather Prediction Center [7], kjer so sortirani po letih.

Cilj naloge je bil ugotoviti najpomembnejše parametre za vidljivost polarnega sija iz Slovenije, zato smo se odločili, da za podatke vzamemo bistveno večji časovni razpon, kot le noč, ko je bil polarni sij zapažen. Kot primeren razpon smo izbrali še 10 dni pred pojavom in 10 dni po pojavu sija, zato da lahko primerno spremljamo spreminjanje parametrov, istočasno pa ni razpon prevelik, da se ne bi videlo sprememb. Spreminjanje parametrov smo prikazali grafično in jih ustrezno komentirali.

Na svetovnem spletu smo poiskali podatke za dneve, ko je bil iz Slovenije viden in dokumentiran polarni sij. Izkazalo se je, da je najbolj dosledno evidentiralo polarne sije Astronomsko Društvo Orion, katerega člani so izvedli opazovanja. Za polarne sije med leti 2000 in 2005 smo se odločili ne samo, ker so jih opazovali člani AD Orion (MBK Team), ampak tudi, ker spadajo v 23 Sončev cikel (naslednje opazovanje iste skupine je šele za leto 2011). Polarne sije so tudi fotografirali (Slika 5) in objavili poročila po datumih: [8]

- 15. / 16. julij 2000,
- 21. / 22. oktobra 2001,
- 30. / 31. oktobra 2003
- 20. / 21. november 2003,
- 7. / 8. do 9. / 10. november 2004 in
- 21. / 22. januar 2005.



Slika 5: Polarni sij viden v noči iz 20. na 21. november 2003 iz Radmirja pri Ljubnem ob Savinji [8].

3.1. Ključni parametri za nastanek polarnega sija

Za boljše razumevanje parametrov, ki vplivajo na nastanek polarnega sija, sledi razlaga le-teh. Razdelili smo jih na tiste, ki merijo aktivnost na Soncu in tiste, ki merijo aktivnost Sončevega vetra v bližini Zemlje.

Parametri, ki merijo aktivnost na Soncu:

Radijski tok (2800 MHz) je tok elektromagnetnega valovanja z valovno dolžino 10,7 cm, izražen v enoti 10^{-22} W/m²/Hz in ni prilagojen na razdaljo med Zemljo in Soncem, ki se zaradi ekscentričnosti orbite Zemlje spreminja s časom. Valovna dolžina 10,7cm je bila izbrana, ker so jo potrebovali pri izdelovanju modelov za ionosfero - modelov, ki so (bili) potrebni za navigacijo GPS satelitov.

SESC (The Space Environment Services Center) Sunspot Number je dnevno število Sončevih peg narejenih iz dnevnih povzetkov Sončevih območij. SESC število Sončevih peg se izračuna glede na Wolfovo število Sončevih peg $R = k (10 g + s)$, kjer je g število skupin Sončevih peg, s je skupno število peg v posameznih skupinah in k je variabilni faktor (običajno < 1), ki povzema skupne učinke opazovalnih razmer. Običajna vrednost je $k = 0,60$. [9]

Blišč je izbruh na Sončevem površju, ki se zgodi, ko se shranjena energija v prepletenem magnetnem polju (običajno nad Sončevo pego) nenadoma sprosti. Blišč povzroči sevanje v celotnem elektromagnetnem spektru, od radijske svetlobe do rentgenskih in gama žarkov. Znanstveniki delijo Sončeve izbruhe glede na valovno dolžino rentgenskih žarkov v valovni dolžini od 10 do 80 nm (Tabela 1) in sicer na X-razred, močni izbruhi ki povzročajo po celotnem planetu daljše izpade radijskih komunikacij ter radiacijske nevihte, M-razred, ki so srednje močni izbruhi in povzročajo krajše radijske izpade na polarnih področjih. Včasih jim sledijo srednje velike radiacijske nevihte. V C razred spadajo manjši Sončevi izbruhi, ki redko povzročajo omembe vredne posledice na Zemlji. Poleg tega obstajata še A in B razred sončevih izbruhov, ki pa na Zemljo nimata vpliva. [11]

Razred	W/m^2
A	$j < 10^{-7}$
B	$10^{-7} \leq j < 10^{-6}$
C	$10^{-6} \leq j < 10^{-5}$
M	$10^{-5} \leq j < 10^{-4}$
X	$j \geq 10^{-4}$

Tabela 1: Delitev Sončevih izbruhov na pet razredov glede na izmerjeni pretok delcev.

Tok rentgenskega ozadja je povprečni dnevni tok rentgenskih žarkov izmerjen s satelitom GOES-8. Zaradi boljših meritev se tok žarkov meri od 0800 UT do 1600 UT v enominutnih razmikih in se določi srednja vrednost. Vrednosti so izražene v enotah za delitev Sončevih izbruhov (A, B, C, M, X). Vrednosti pod B1 so nezanesljive zaradi vpliva energetskih elektronov. [11]

Parametri, ki merijo aktivnost Sončevega vetra v bližini Zemlje:

Pretok protonov: tu so zbrane dnevne meritve iz satelita GEOS8. Podatki so podani za tri energetske vrednosti protonov: > 1 MeV, > 10 MeV in > 100 MeV. [11]

Pretok elektronov: tu so zbrane dnevne meritve iz satelita GEOS8. Podatki so podani za dve energetske vrednosti elektronov: > 0.6 MeV in > 2 MeV. [11]

K indeks meri motnje horizontalnega dela magnetnega polja Zemlje. Vrednosti so lahko cela števila od 0 do 9 in predstavljajo triurna povprečja. K-indeks 5 ali več kaže na geomagnetno nevihto.

K	B [nT]
0	0-5
1	5-10
2	10-20
3	20-40
4	40-70
5	70-120
6	120-200
7	200-330
8	330-500
9	>500

Tabela 2: Povezava med K-indeksom in Zemljinim magnetnim poljem.

Kp-indeks	NOAA Skala stopenj geomagnetne nevihte
Kp=5	G1
Kp=6	G2
Kp=7	G3
Kp=8	G4
Kp=9	G5

Tabela 3: Povezava med Kp-indeksom in G-skalo.

Kp indeks v vrednostih od 0 do 4 se ne šteje za nevihto, oz. njegova G vrednost je G0. (Tabela 3)

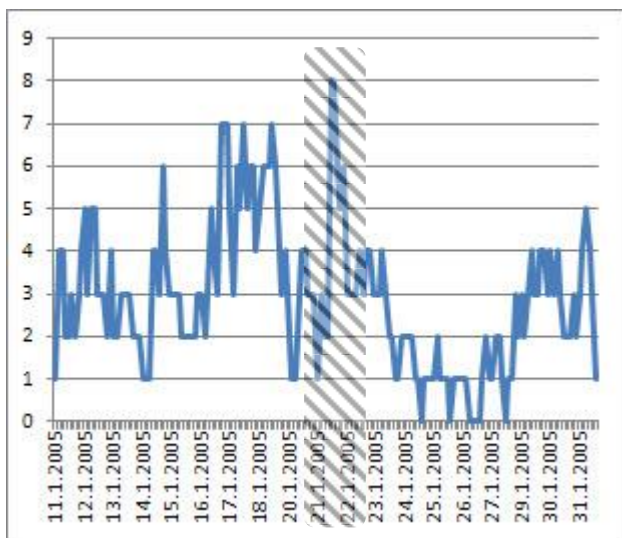
Na podlagi opisanih pogojev za nastanek polarnega sija smo izmed vseh zgoraj poiskanih podatkov izločili pretok elektronov. Zaradi pomanjkanja podatkov o elektronih smo se v nadaljnjem osredotočili samo na hitrost in gostoto protonov z uporabo podatkov iz NOAA-ine spletne strani.

Podatki, ki smo jih pridobili in med seboj primerjali so bili število Sončevih peg, tok radijskega elektromagnetnega valovanja z valovno dolžino 10,7 cm, magnetno polje (gostota magnetnega polja), za katerega sateliti merijo x, y in z komponente, blišči razredov C, M, X ter K-indeks.

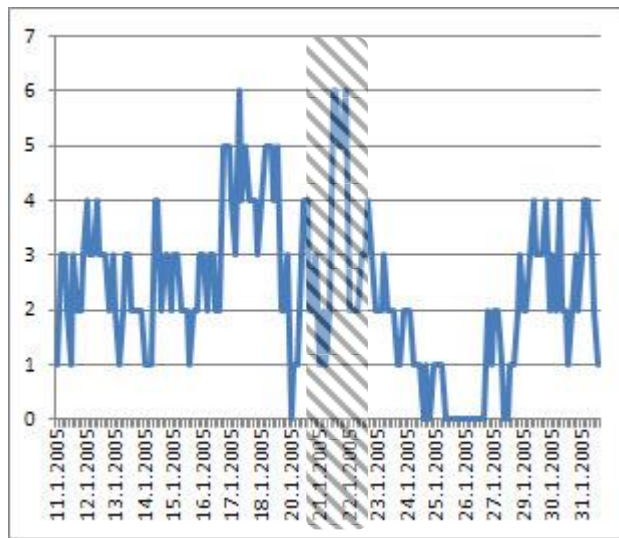
3.2. Rezultati

Zaradi obsežnosti podatkov smo se odločili, da v nalogi prikažemo samo grafe, ki najlepše prikazujejo spreminjanje parametrov v odvisnosti od časa. Tako smo se odločili za prikaz grafov za polarni sij 21/22. januarja 2005. Grafi za ostale datume pa so v prilogi.

3.2.1. 21. / 22. Januar 2005

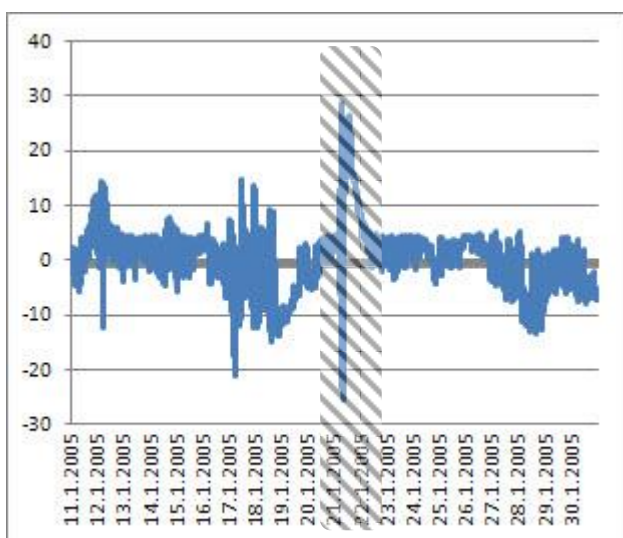


Graf 1: K-indeks za celotno Zemljo.

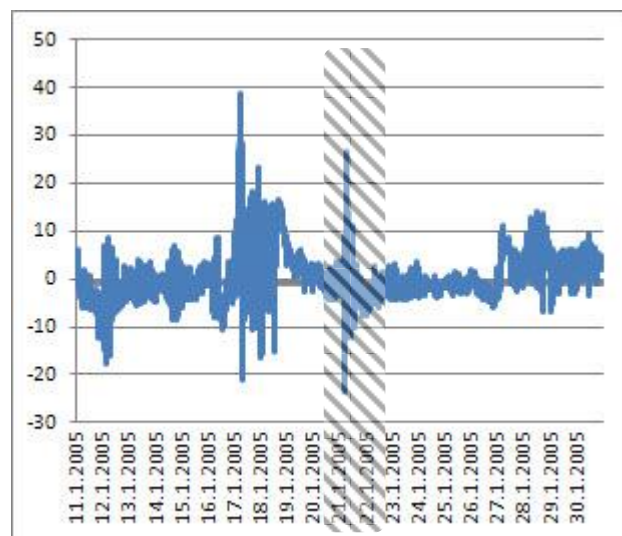


Graf 2: K-indeks za srednje geografske širine.

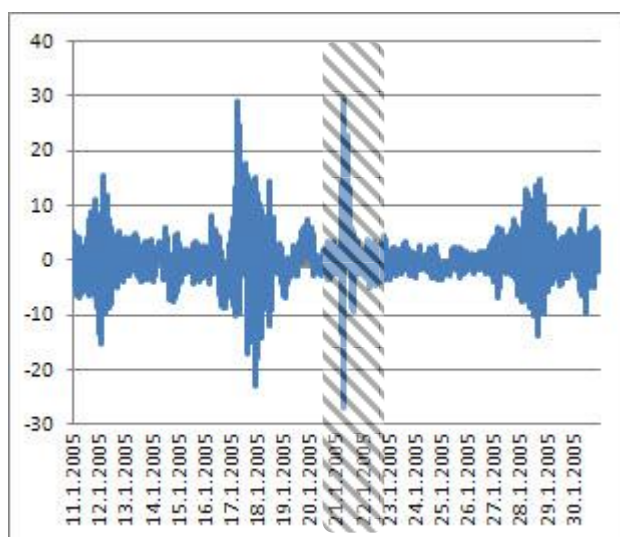
Grafi K-indeksov (Graf 1 in 2) v odvisnosti od časa prikazujejo izrazito povečanje ob času, ko je bil polarni sij viden iz Slovenije, tako v primeru globalnega indeksa kot za indeks, ki velja pri srednjih geografskih širinah. Vrednosti se razlikujejo: kljub visokemu globalnemu indeksu velikosti 8, je indeks za srednje geografske širine le 6.



a) V smeri Sonce – Zemlja [nT].



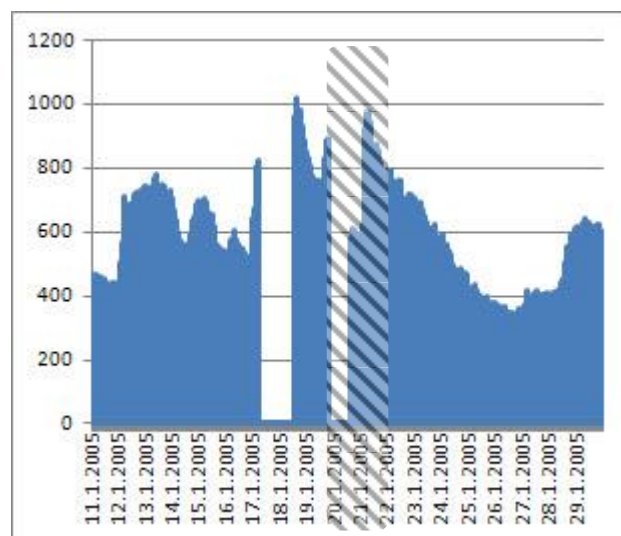
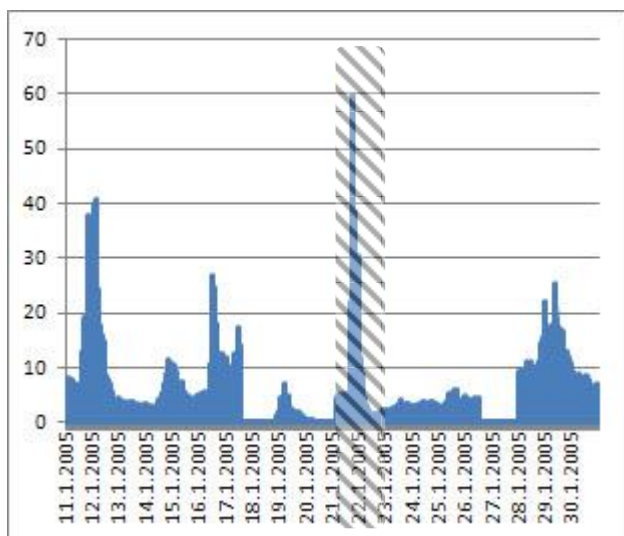
b) V smeri pravokotno na Zemljin dipol in pravokotno na smer Sonce – Zemlja [nT].



c) V smeri Zemljinega magnetnega polja [nT].

Graf 3: Gostota magnetnega polja.

Iz grafov gostote magnetnega polja Sončevega vetra v odvisnosti od časa (Graf 3) je vidno povečanje absolutne vrednosti gostote magnetnega polja Sončevega vetra. To je ravno primer ko se z-komponenta gostote magnetnega polja (B_z) obnaša tako kot bi radi, zato da pride do sklapljanja. Opazimo tudi, da pride v B_z (in ostalih dveh komponentah) do zelo hitrega in velikega preskoka v vrednostih in smeri hkrati.

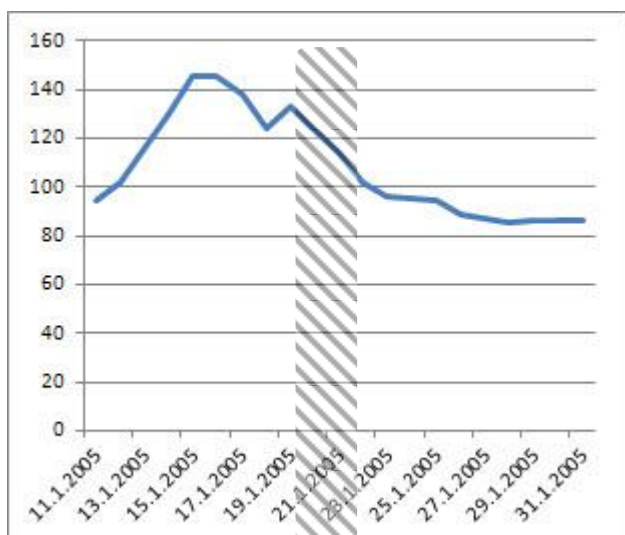


a) Gostota protonov Sončevega vetra [$1/\text{cm}^3$].

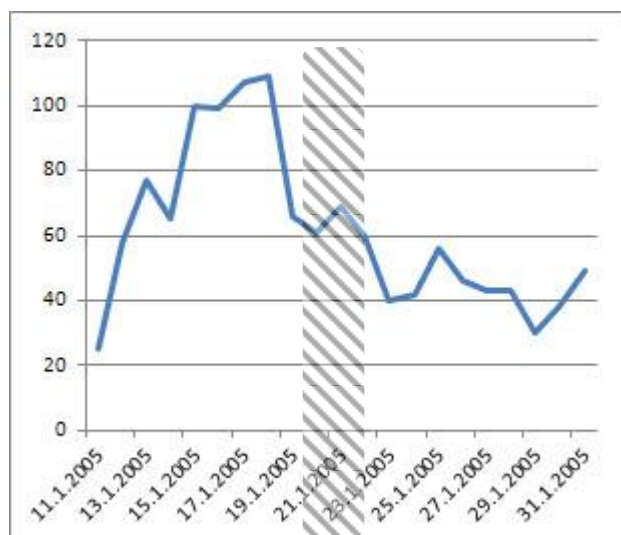
b) Hitrost protonov Sončevega vetra [km/s].

Graf 4: Protoni Sončevega vetra.

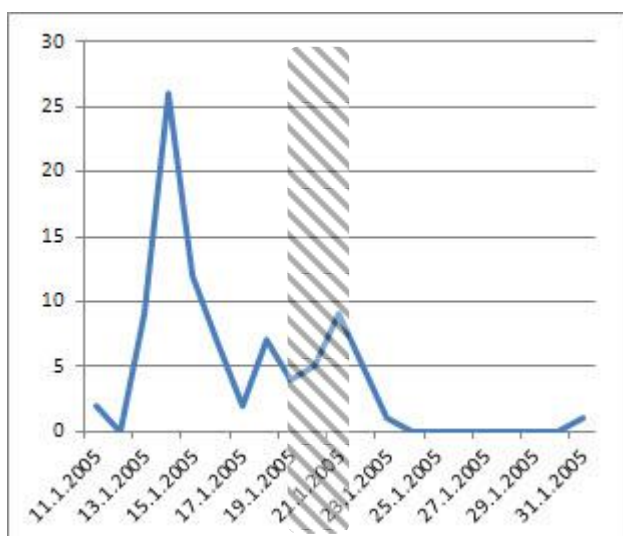
Pri grafih hitrosti in gostote protonov v odvisnosti od časa lahko opazimo tako imenovane blockoute oz. izpade, ki nakazujejo, da je bil tok delcev tako močan, da naprava na satelitih ni utegnila izvesti meritev. Skoraj v vseh primerih pa do tega ne pride ob najvišjih vrednostih oz. ob začetku geomagnetne nevihte. Opazimo lahko, da se predvsem gostota protonov Sončevega vetra sunkovito poveča.



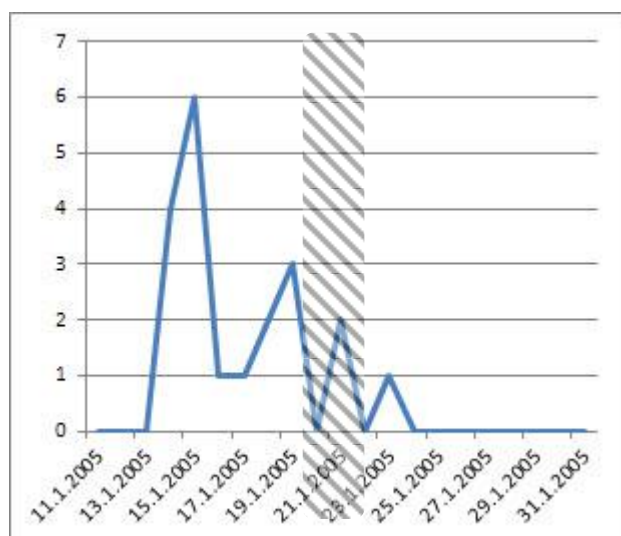
a) Radijski tok z valovno dolžino 10, 7 cm [10^{-22} W/m²/Hz].



b) Število sončevih peg.



c) Število bliščev C-razreda.



d) Število bliščev M-razreda.

Graf 5: Parametri Sončeve aktivnosti.

Pri grafih za blišče, radijske valove in število Sončevih peg lahko opazimo hkratno povečanje vseh parametrov. Za nekatere datume, ko je bil opažen polarni sij v Sloveniji, so na razpolago tudi kategorije bliščev za posamezni dan (Tabela 4) :

Datum polarnega sija	Kategorija blišča
15. / 16. julij 2000	Ni podatkov
21. / 22. oktobra 2001	X 1.6
30. / 31. oktobra 2003	X 10
20. / 21. november 2003	M 9
7./8. do 9. / 10. november 2004	X 2
21. / 22. januar 2005	X 7,1

Tabela 4: Kategorije bliščev za posamezni polarni sij v Sloveniji [12].

4. Vrednotenje rezultatov

Po pregledu grafov smo iz njih izluščili bistvene podrobnosti, ki so bile hkrati tudi pot do konkretnih rezultatov naloge.

Če se najprej dotaknemo delcev s Sonca in same Sončeve aktivnosti, ki jo najbolj ponazarja število Sončevih peg (Graf 5 b), je bistvena sprememba v povečanju vrednosti vseh parametrov, ki sodijo pod to kategorijo. Gre za število Sončevih peg, radijske valove z valovno dolžino 10,7 cm, blišče razredov C in M in protone s Sonca (Graf 4 in 5). Pri slednjih se spremeni hitrost in bistveno gostota ob datumih, ko je bil iz Slovenije viden polarni sij.

Če pogledamo hitrost protonov (Graf 4 a) lahko vidimo, da se v grobem poveča za faktor 2 glede na povprečno aktivnost Sonca za januar 2005, povprečna vrednost hitrosti protonov ob opaženih polarnih sijih v Sloveniji pa je približno 830 km/s. Ravno tako se poveča tudi gostota protonov (Graf 4 b), le da je pri tej sprememba velikosti bistveno večja in sunkovitejša, v grobem se vrednosti ob pojavu sija povečajo za faktor 10 in več glede na povprečje za januar 2005, povprečna vrednost gostote protonov ob opaženih polarnih sijih v Sloveniji pa je 50 protonov/cm³.

Pri radijskih valovih spremembe niso tako velike, vendar se jih vseeno da razbrati iz grafov. Tudi za blišče, pri katerih smo se odločili za razreda C in M (Grafa 5 c in d), velja podobno kot za radijske valove, saj se tudi ti povečajo. Pri grafih lahko opazimo zamik med maksimumom vrednosti radijskih valov, številom peg in številom bliščev C in M-razreda glede na maksimum protonov s Sonca. Slednje, z razliko od ostalih parametrov, merimo v bližini Zemlje in prispejo z zamudo enega do več dni, kar pa ni čudno, saj se ne gibljejo s svetlobno hitrostjo, oz. njihova hitrost je približno 300 krat manjša od hitrosti svetlobe in s tem lahko pojasnimo njihovo zamudo.

Od grafov, ki so vezani na Zemljo in magnetno polje Sončevega vetra, najprej omenimo grafe, ki prikazujejo spreminjanje K-indeksov (Grafa 1 in 2). V dnevih, ko so iz Slovenije opazovali polarni sij, so se vrednosti slednjih bistveno zvišale, oz. so dosegle svoje najvišje vrednosti na skali, se pravi 8 in 9, kar nakazuje na to, kako velike morajo biti vrednosti vseh parametrov, da se polarni sij viden na srednjih geografskih širinah. Iz grafov magnetnega polja Sončevega vetra lahko zaključimo, da so v dnevih opazovanj dosegle količine izjemno negativne vrednosti, saj je za vse tri komponente B_x, B_y in B_z vrednost krepko pod ničlo (Graf 5). Na osi x, ki poteka v smeri Zemlja-Sonce je bila vrednost v povprečju -25 nT, na osi y, ki je pravokotna na Zemljin dipol in smer Sonce – Zemlja pa -30 nT, največji padec pa se je zgodil na osi z, ki poteka v smeri magnetna polja Zemlje, saj je v povprečju vrednost bila -45 nT za dneve, ko so bili opazovani polarni siji.

Iz vseh zgornjih mej vrednosti za posamezne parametre, ki nakazujejo pojav polarnega sija lahko sklepamo na njihovo potrebno vrednost za pojav polarnega sija v Sloveniji. Tako morata biti K-indeks enak ali večji 8, gostota magnetnega polja na osi z (B_z) pa manjša ali enaka -25 nT.

V letih, ko so bili opazovani polarni siji v Sloveniji, smo poiskali še datume v katerih sta K-indeks in gostota magnetnega polja hkrati zadoščala predpostavljenim pogojem potrebnih vrednosti za nastanek polarnega sija v Sloveniji.

Datum	Vzrok zakaj ni bil viden polarni sij
6./7. april 2000	Najboljši pogoji za vidljivost polarnega sija so bili nekje ob 2 uri zjutraj, vendar pa AD Orion ni utegnilo opazovati tega pojava. Kot primer smo za ta datum pridobili podatke in jih prikazali v grafih v prilogi na straneh 27 in 28.
12. avgust 2000	Najboljši pogoji za vidnost so bili nekje ob 10 uri zjutraj, ko je presvetlo.
31. marec 2001	Najboljši pogoji za vidnost so bili nekje ob 7 uri zjutraj, ko je presvetlo.
11. april 2001	Najboljši pogoji so bili nekje po 19 uri, vendar pa je bilo oblačno zaradi česar polarni sij ni bil viden. [13]
6. november 2001	Najboljši pogoji so bili nekje ob 2 uri zjutraj, vendar pa je bilo oblačno zaradi česar polarni sij ni bil viden. [13]
24. november 2001	Najboljši pogoji za vidnost so bili nekje ob 16 uri, ko je presvetlo.
15. maj 2005	Najboljši pogoji za vidnost so bili nekje ob 10 uri zjutraj, ko je presvetlo.
24. avgust 2005	Najboljši pogoji so bili nekje ob 13 uri, ko je presvetlo.

Tabela 5: Datumi, ko sta imela K-indeks in gostota magnetnega polja potrebno vrednost za nastanek polarnega sija.

Če združimo datume, ko so polarni sij opazili iz Slovenije in datume iz tabele 5, dobimo, da smo v petih letih med 23. Sončevim ciklusom imeli možnost opazovati polarni sij 16 dni. Od tega so bili petkrat pogoji neugodni za opazovanje, ker bi se sij pojavil podnevi, dvakrat pa, ko je bilo vreme oblačno. Kljub povečani aktivnosti Sonca predvsem v letih med 2000 in 2003, v letu 2002 ni prišlo do potrebnih pogojev za opazovanje sija na naših geografskih širinah. Iz spodnje tabele 6, ki prikazuje število dni na leto, ko sta vrednosti Bz in K indeksa dosegli pogoje za vidljivost polarnega sija iz naših krajev, lahko sklepamo, da lahko v povprečju iz Slovenije opazujemo polarni sij dva do trikrat letno.

leto	dnevi, ko je bila verjetnost polarnega sija večja
2000	3
2001	5
2002	0
2003	2
2004	3
2005	3

Tabela 6: Tabela z dnevi na leto, ko je bila verjetnost za opazovanje polarnega sija iz Slovenije večja.

Na nekaterih grafih za protone (Grafa 4), smo zaznali tako imenovani radijski blackout oz. izpad satelitov in sicer pri grafih za april in julij 2000, oktober 2003 ter januar 2005. Do teh pride ob velikih Sončevih nevihtah, oz. v času visoke Sončeve aktivnosti, za kar pa je v naših primerih nedvomno šlo, saj nam to dokazuje vidljivost polarnega sija iz nižjih geografskih širin.

5. Zaključek

Zagotovili smo vse podatke za dneve, ko je bil iz Slovenije opazovan polarni sij. Podatke smo prikazali grafično in iz njih razbrali potrebne vrednosti parametrov, ki vplivajo na vidljivost polarnega sija iz nižjih geografskih širin. Iz grafov je sledila izpeljava rezultatov.

Ugotovili smo, da polarni sij najučinkovitejše naznani visok K-indeks in negativno magnetno polje Sončevega vetra. Ugotovili smo tudi, da delci, ki povzročajo nastanek polarnega sija prispejo do Zemlje z zamudo enega do več dni, se pravi da lahko napovemo povečano verjetnost nastanka polarnega sija v Sloveniji, že iz nenadnega povečanja števila Sončevih peg in povečanja števila rentgenskih žarkov. Zelo veliko verjetnost za nastanek polarnega sija nam naznanja K-indeks enak ali večji 8, vendar se ta meri v 3 urnih intervalih, torej bi bila napoved polarnega sija možna le nekaj trenutkov pred njegovim nastankom. Ugotovili smo tudi, da so v povprečju pogoji za nastanek polarnega sija in njegovo vidljivost iz naših krajev izpolnjeni dva do tri dni letno.

Sončeva aktivnost ima periodo 11 let, ponoven višek aktivnosti pa se pričakuje okoli leta pisanja te naloge, kar naznanja pogostejše in močnejše Sončeve nevihte, posledično pa lahko tudi pojave polarnega sija, ki ga lahko opazujemo iz nižjih geografskih širin.

Literatura

- [1.] Space Weather Prediction Center. [Elektronski] [Navedeno: 9. marec 2012.]
<http://www.swpc.noaa.gov/info/Aurora.pdf>.
- [2.] The GeoChristian. [Elektronski] [Navedeno: 1. marec 2012.]
<http://geochristian.wordpress.com/category/space-exploration/>.
- [3.] Kvarkadbra - časopis za tolmačenje znanosti. [Elektronski] [Navedeno: 5. marec 2012.] http://www.kvarkadabra.net/fizika/teksti/severni_sij.html.
- [4.] Laboratorij za bioelektromagnetiko. [Elektronski] [Navedeno: 5. marec 2012.]
http://lbm.fe.uni-lj.si/oe/OE2_2008/Magnetno_polje_zemlje.pdf.
- [5.] SCI-FUN. [Elektronski] [Navedeno: 9. marec 2012.]
<http://www.scifun.ed.ac.uk/card/card-left.html>.
- [6.] Spaceweather. [Elektronski] [Navedeno: 7. marec 2012.]
<http://www.spaceweather.com/glossary/imf.html>.
- [7.] Space Weather Prediction Center . [Elektronski] [Navedeno: 1. marec 2012.]
<http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/warehouse.html>.
- [8.] AD Orion. [Elektronski] [Navedeno: 6. marec 2012.]
<http://www.orion-drustvo.si/MBKTeam/sunrora.htm> .
- [9.] Spaceweather. [Elektronski] [Navedeno: 4. marec 2012.]
<http://www.spaceweather.com/java/archive.html> .
- [10.] Peter Meadows. [Elektronski] [Navedeno: 13. marec 2012.]
<http://www.petermeadows.com/html/area.html>.
- [11.] Space Weather Prediction Center. [Elektronski] [Navedeno: 11. marec 2012.]
http://www.swpc.noaa.gov/weekly/Usr_guide.pdf.
- [12.] Spaceweather. [Elektronski] [Navedeno: 7. marec 2012.]
<http://www.spaceweather.com>.
- [13.] ARSO. [Elektronski] [Navedeno: 28. marec 2012.]
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/>

Kazalo slik

<i>Slika 1: Prikaz kometne oblike Zemljinega magnetnega polja in pojav polarnega sija iz vesolja. Na levi ilustraciji so označeni Sončeve pege (ang. sun spots) in blišč (ang. Solar flare) na Soncu ter Sončev veter (ang. Solar wind), ki spreminja Zemljino magnetno polje, kjer sta označena magnetni ščit (ang. magnetic shield) in aurorin oval (ang. auroral oval) [2].</i>	5
<i>Slika 2: Oblika Zemljinega magnetnega polja, če ne bi bil prisoten Sončev veter. Na sliki je narisana geografski pol (ang. geographic pole), ki je glede na magnetni pol (ang. magnetic pole) nagnjen za 11.5 stopinj [5].</i>	7
<i>Slika 3: Ilustracija magnetosfere, kjer so označeni magnetni ščit (ang. magnetosheath), magnetopavza (ang. magnetopause), udarni val (bow shock), obe odprti polarni regiji (ang. cusp). Magnetni rep (ang. magnetotail) je sestavljen iz dveh delov (lobes) in vmesno nevtralnno plastjo (ang. neutral sheet). V bližini Zemlje so področja (ang. trapping regions), kjer se nahaja ujeta plazma [3].</i>	8
<i>Slika 4: Shema medplanetarnega magnetnega polja, ki ga prenaša Sončev veter in njegove sklopitve z Zemeljskim magnetnim poljem. Na sliki so označeni Sončev veter (ang. Solar wind), udarni val (ang. bow shock), odprti polarni regiji (ang. cusp), magnetni ščit (ang. magnetosheath), magnetni rep (ang. magnetotail), področja z ujeto plazmo (ang. plasmashere), plast plazme (ang. plasmasheet) in nevtralna točka (ang. neutral point) [6].</i>	9
<i>Slika 5: Polarni sij viden v noči iz 20. na 21. november 2003 iz Radmirja pri Ljubnem ob Savinji [8].</i>	11

Kazalo tabel

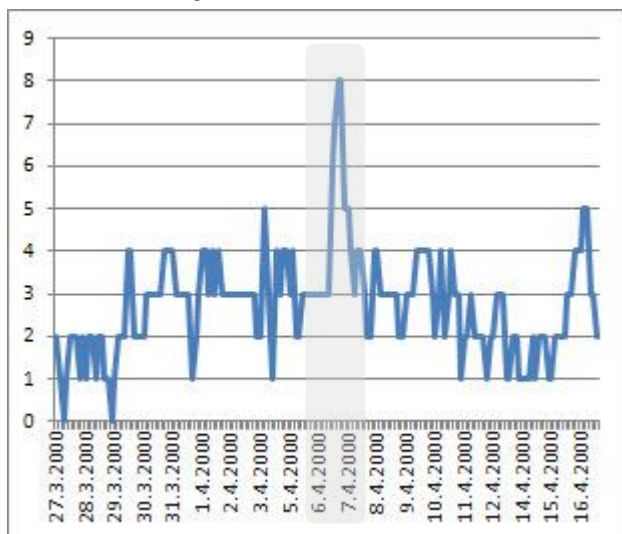
<i>Tabela 1: Delitev Sončevih izbruhov na pet razredov glede na izmerjeni pretok delcev.</i>	13
<i>Tabela 2: Povezava med K-indeksom in Zemljinim magnetnim poljem.</i>	14
<i>Tabela 3: Povezava med Kp-indeksom in G-skalo.</i>	15
<i>Tabela 4: Kategorije bliščev za posamezni polarni sij v Sloveniji [12].</i>	20
<i>Tabela 5: Datumi, ko sta imela K-indeks in gostota magnetnega polja potrebno vrednost za nastanek polarnega sija.</i>	22
<i>Tabela 6: Tabela z dnevi na leto, ko je bila verjetnost za opazovanje polarnega sija iz Slovenije večja.</i>	23

Kazalo grafov

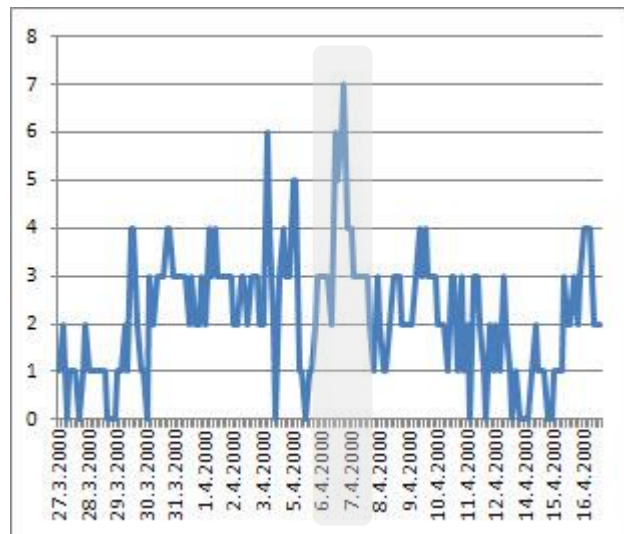
<i>Graf 1: K-indeks za celotno Zemljo.</i>	16
<i>Graf 2: K-indeks za srednje geografske širine.</i>	16
<i>Graf 3: Gostota magnetnega polja.</i>	17
<i>Graf 4: Protoni Sončevega vetra.</i>	18
<i>Graf 5: Parametri Sončeve aktivnosti.</i>	19

Priloga

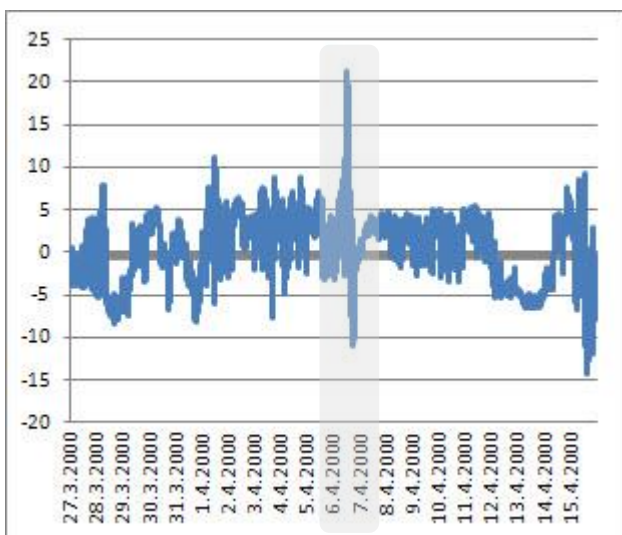
Grafi 6. / 7. april 2000



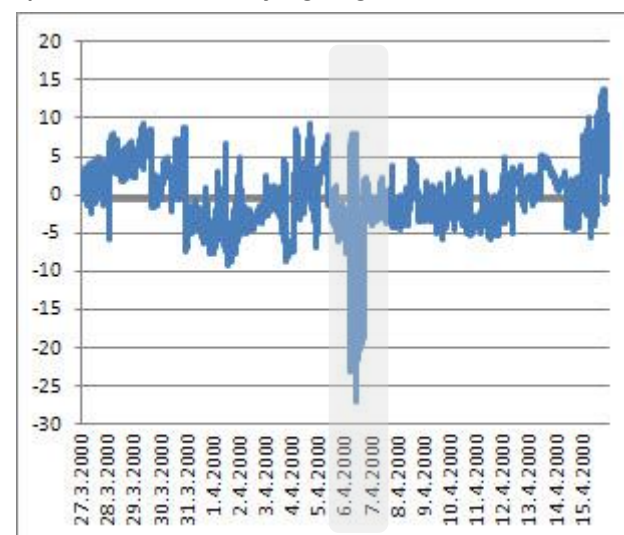
a) K-index – Zemlje.



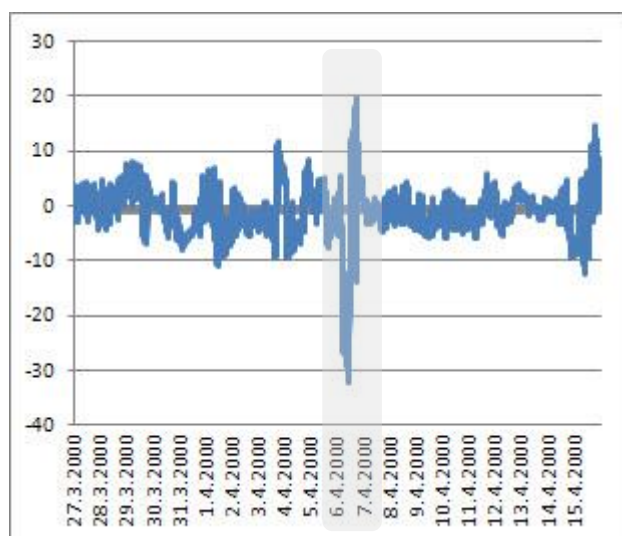
b) K-index - srednje geografske širine.



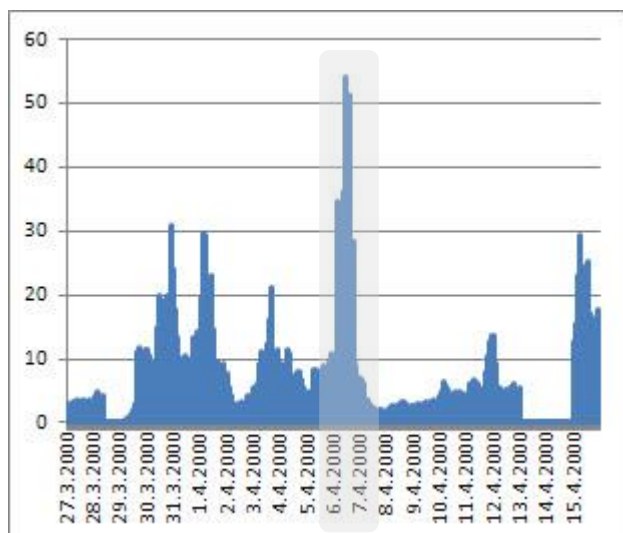
c) Gostota magnetnega polja Bx [nT].



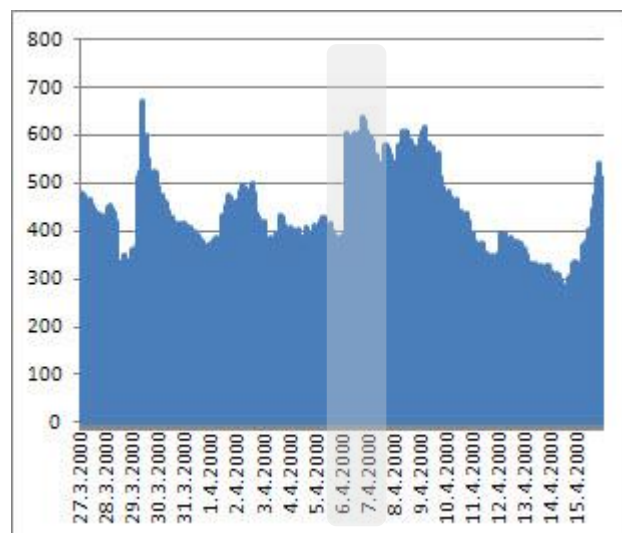
d) Gostota magnetnega polja By [nT].



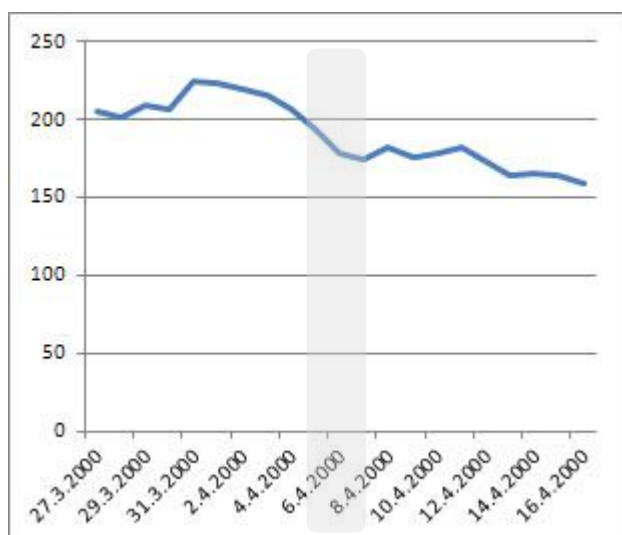
e) Gostota magnetnega polja Bz [nT].



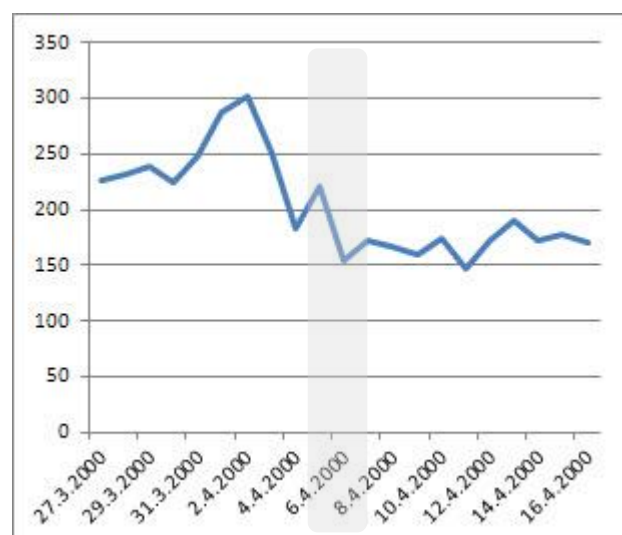
f) Gostota protonov [$1 / \text{cm}^3$].



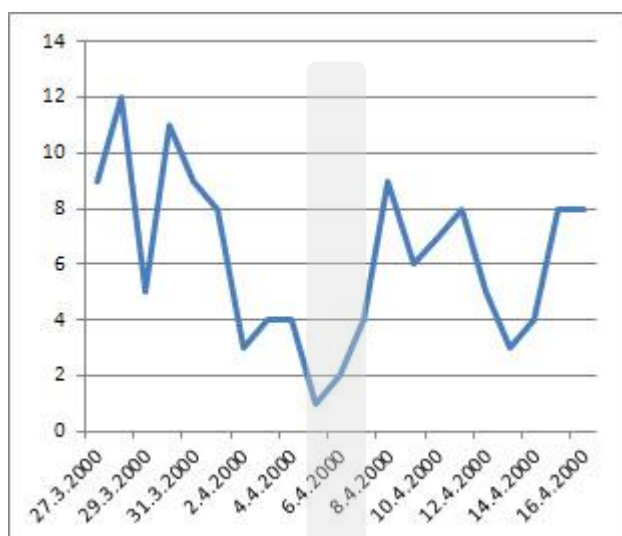
g) Hitrost protonov [km / s].



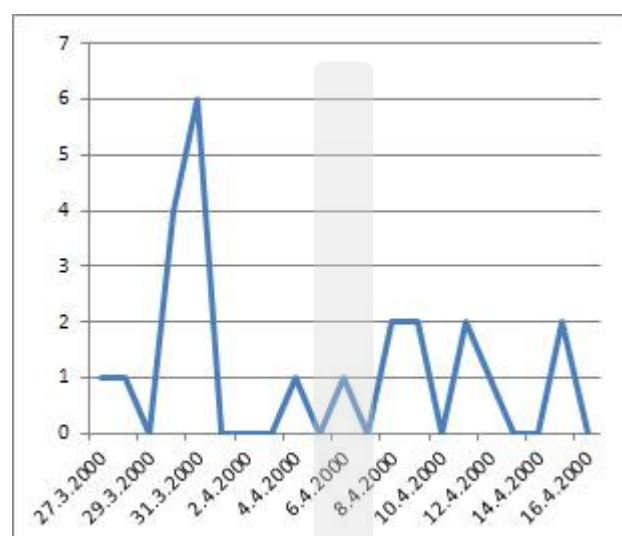
h) Radijski tok (10,7 cm) [$10^{-22} \text{ W} / \text{m}^2 / \text{Hz}$].



i) Število sončevih peg.

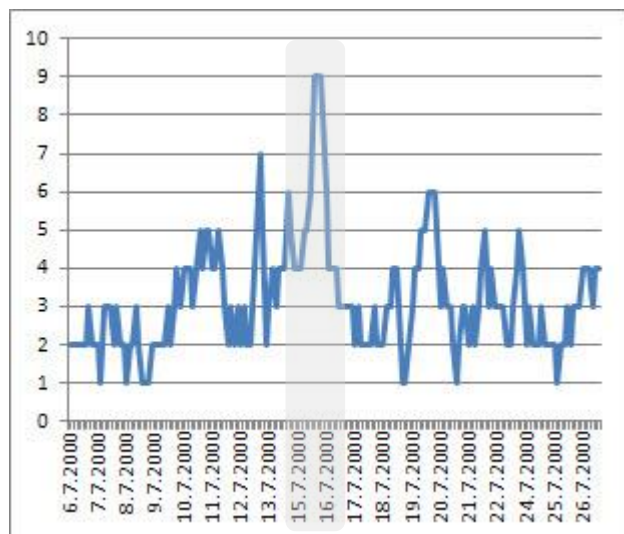


j) Število blišcev C-razreda.

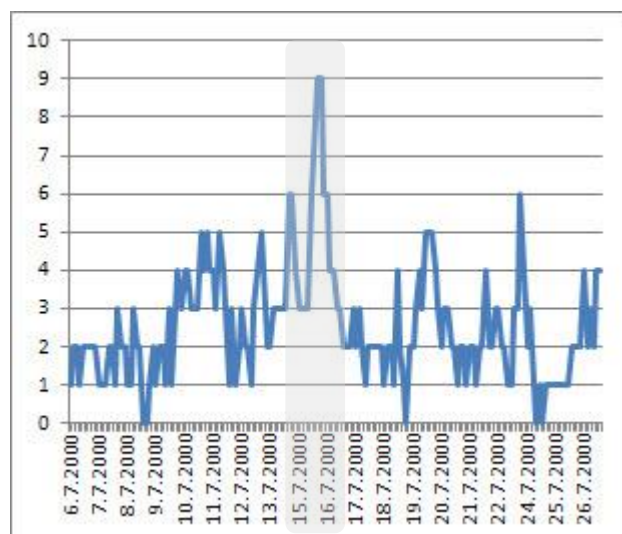


k) Število blišcev M-razreda.

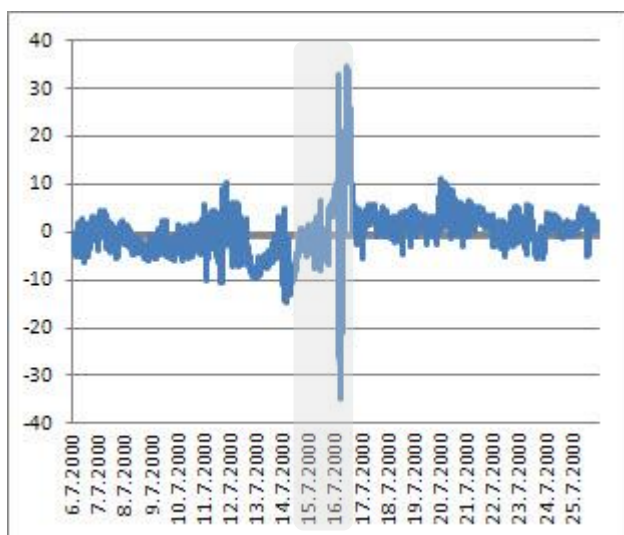
Grafi 15. / 16. julij 2000



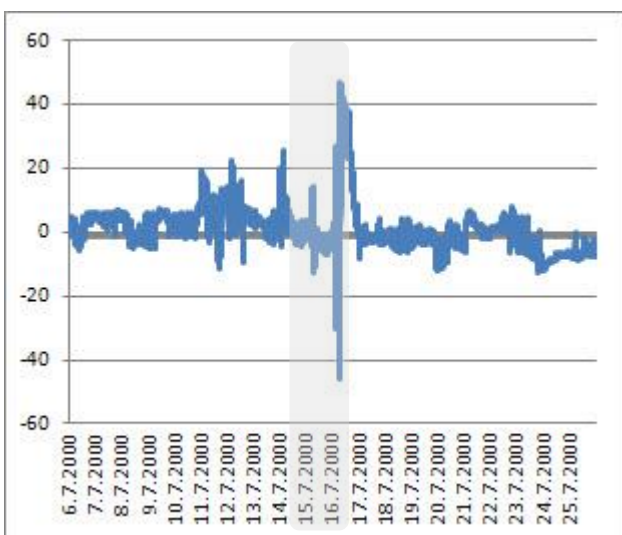
a) K-index – Zemlje.



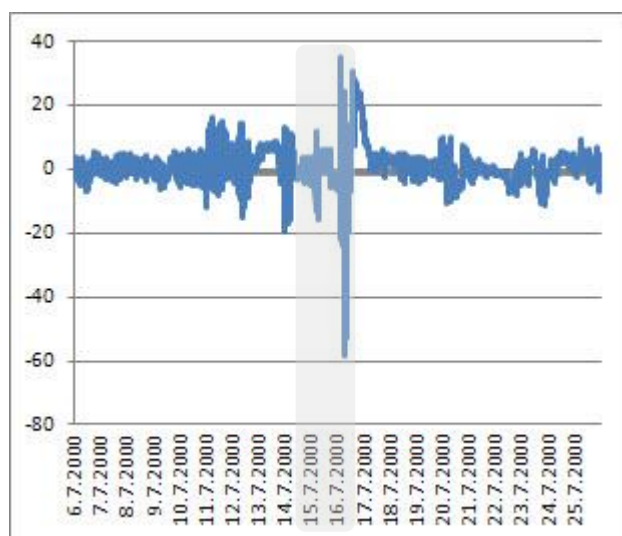
b) K-index - srednje geografske širine.



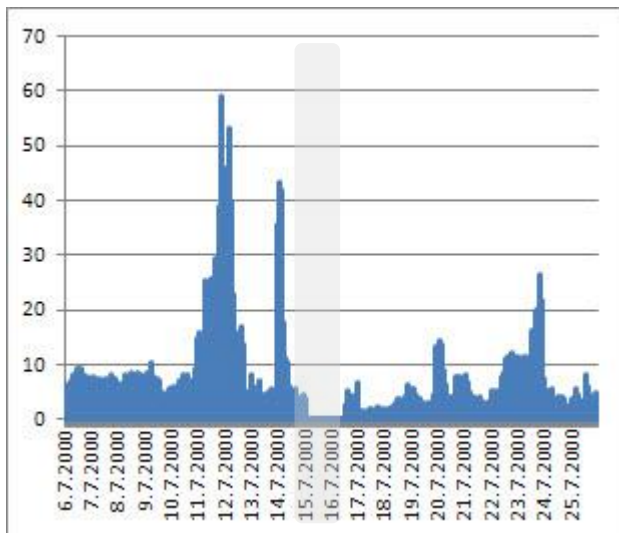
c) Gostota magnetnega polja Bx [nT].



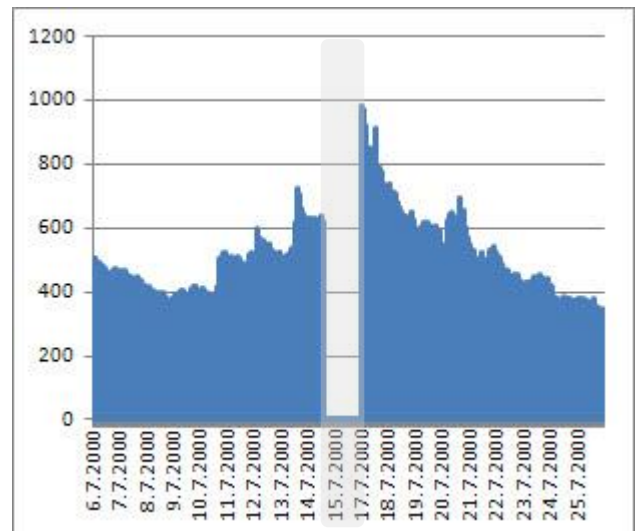
d) Gostota magnetnega polja By [nT].



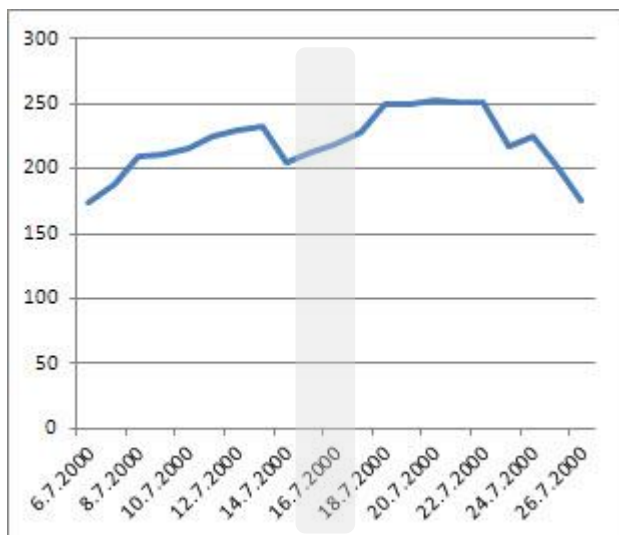
e) Gostota magnetnega polja Bz [nT].



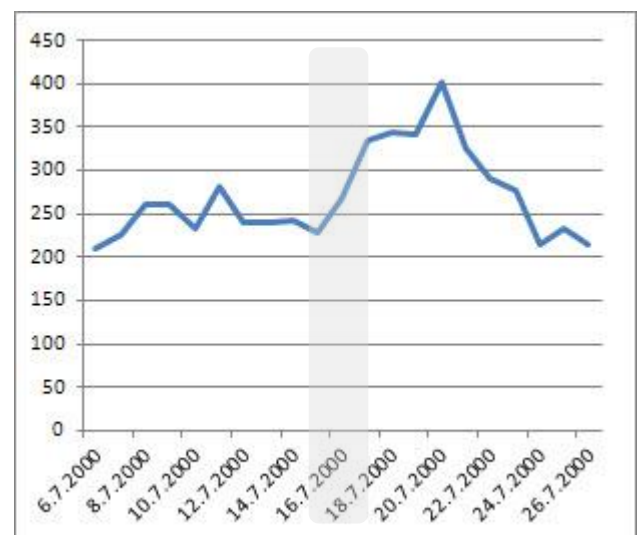
f) Gostota protonov [$1 / \text{cm}^3$].



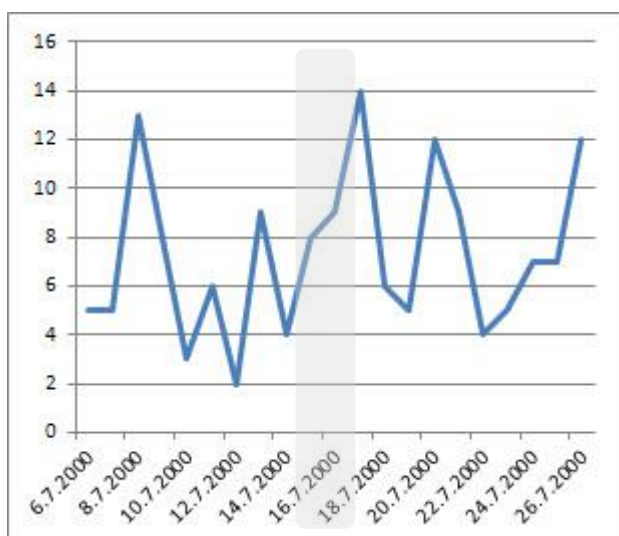
g) Hitrost protonov [km / s].



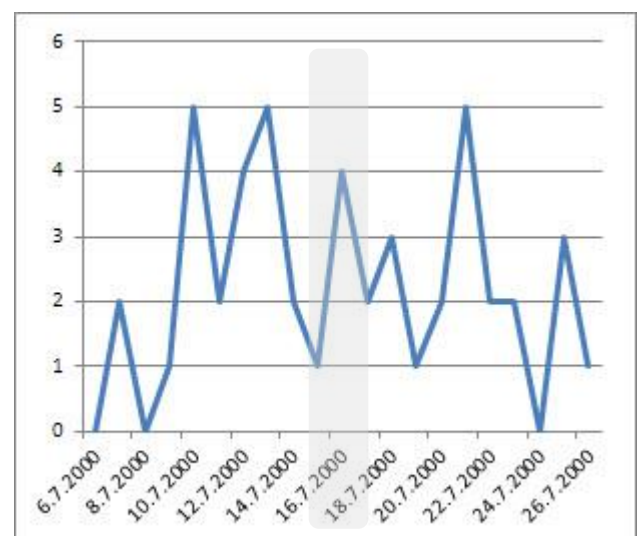
h) Radijski tok (10,7 cm) [$10^{-22} \text{ W} / \text{m}^2 / \text{Hz}$].



i) Število sončevih peg.

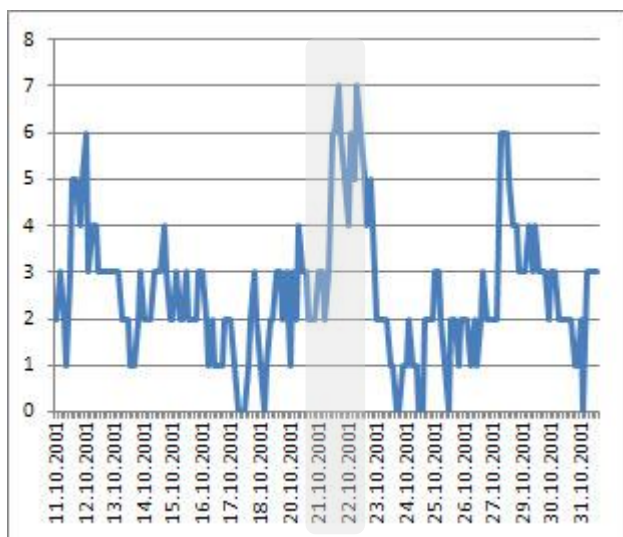


j) Število blišcev C-razreda.

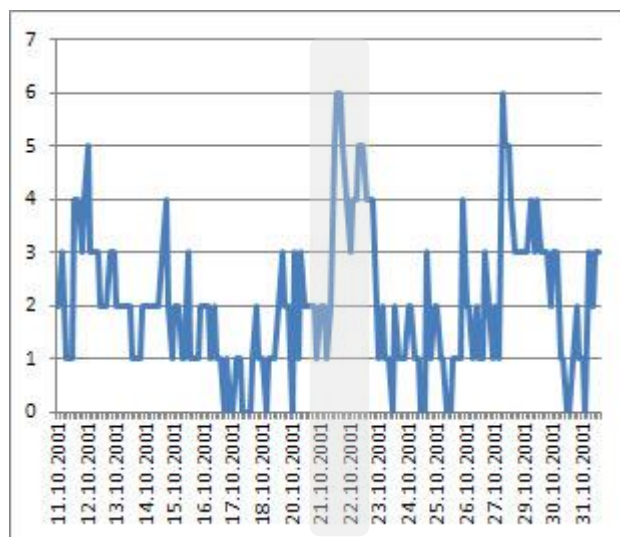


k) Število blišcev M-razreda.

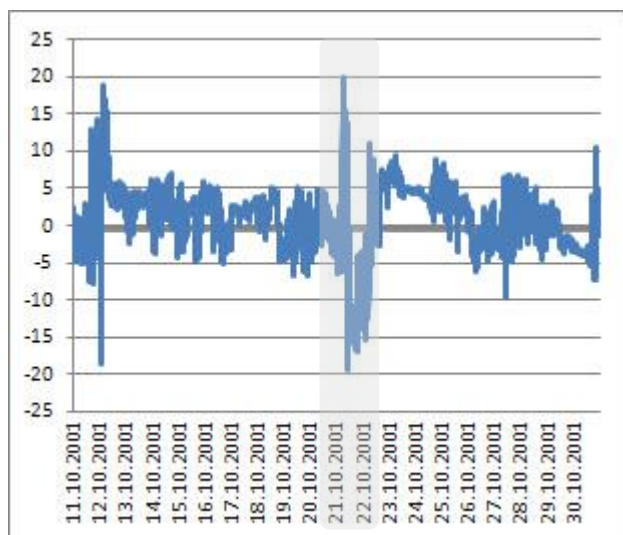
Grafi 21. / 22. oktober 2001



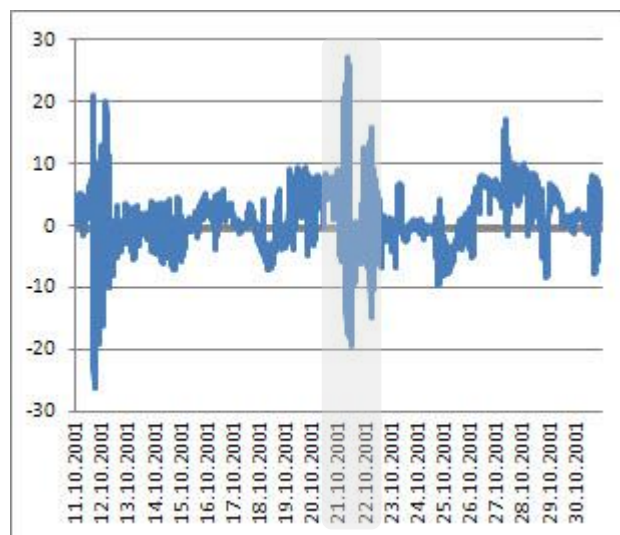
a) K-index – Zemlje.



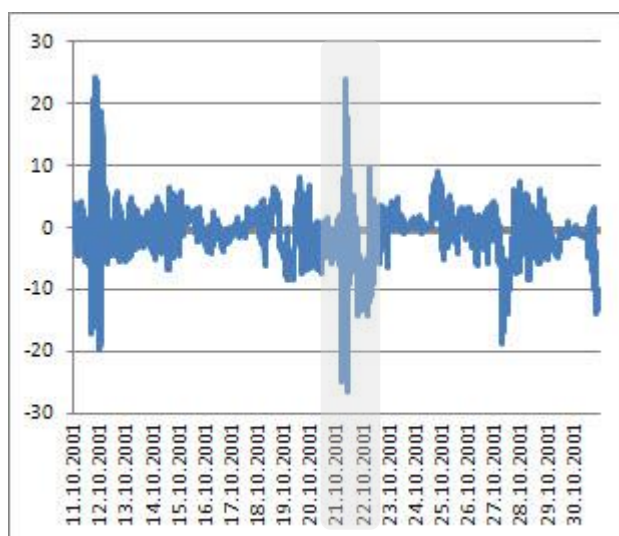
b) K-index - srednje geografske širine.



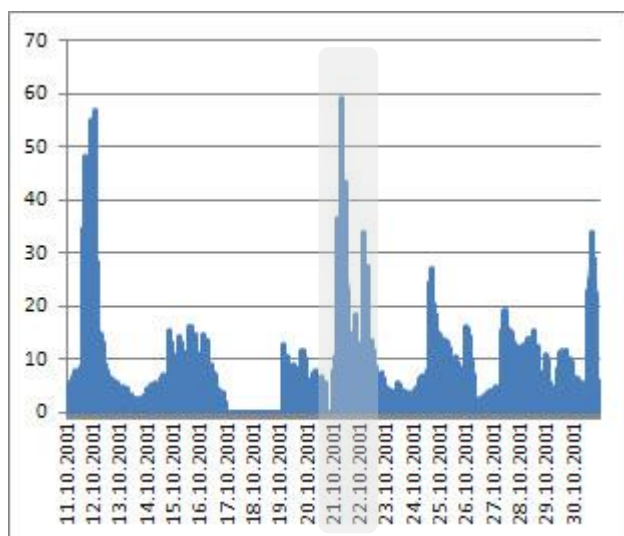
c) Gostota magnetnega polja Bx [nT].



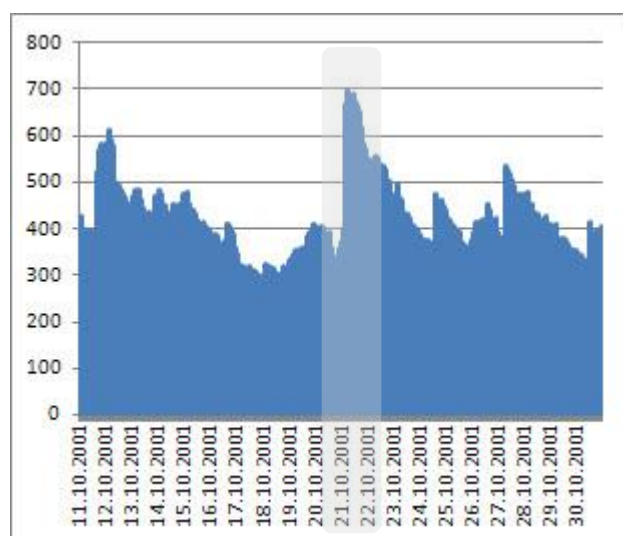
d) Gostota magnetnega polja By [nT].



e) Gostota magnetnega polja Bz [nT].



f) Gostota protonov [$1 / \text{cm}^3$].



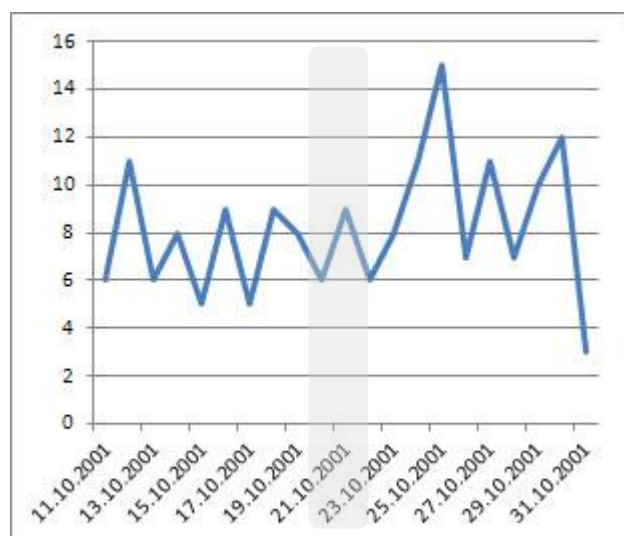
g) Hitrost protonov [km / s].



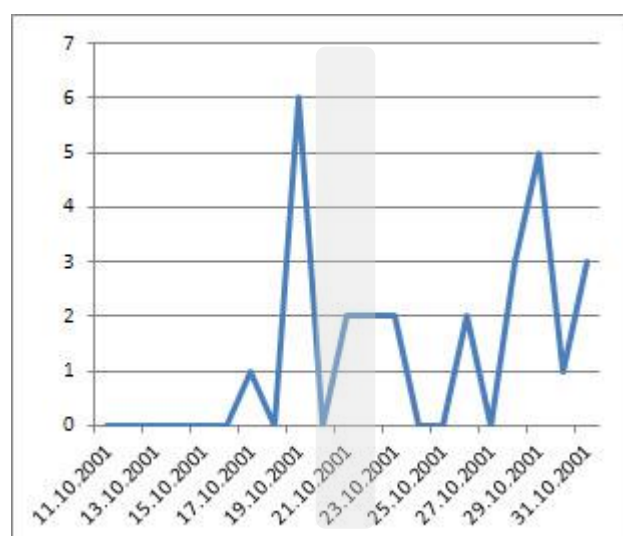
h) Radijski tok (10,7 cm) [$10^{-22} \text{ W} / \text{m}^2 / \text{Hz}$].



i) Število sončevih peg.

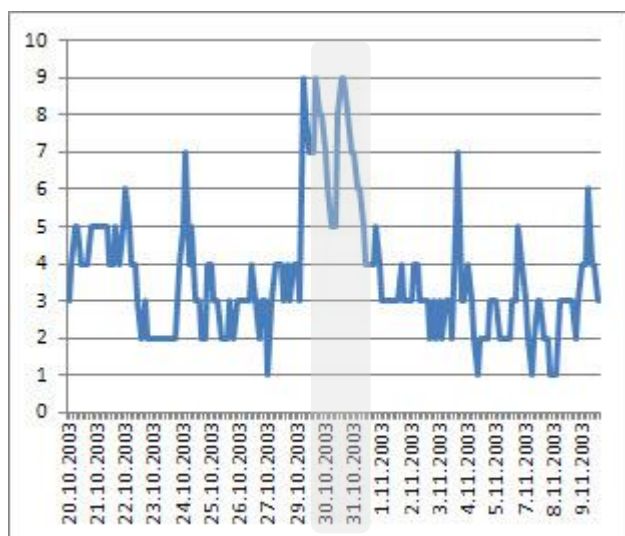


j) Število blišcev C-razreda.

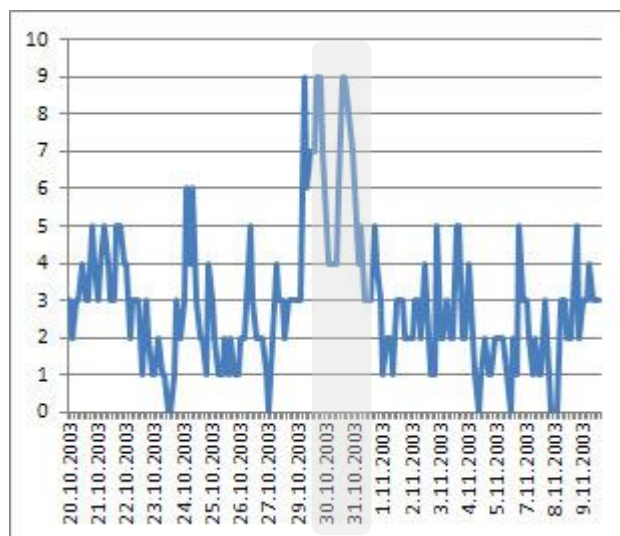


k) Število blišcev M-razreda.

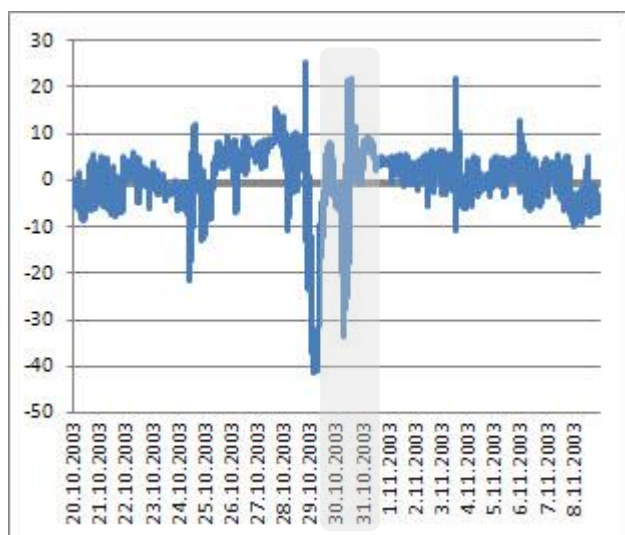
Grafi 30. / 31. oktober 2003



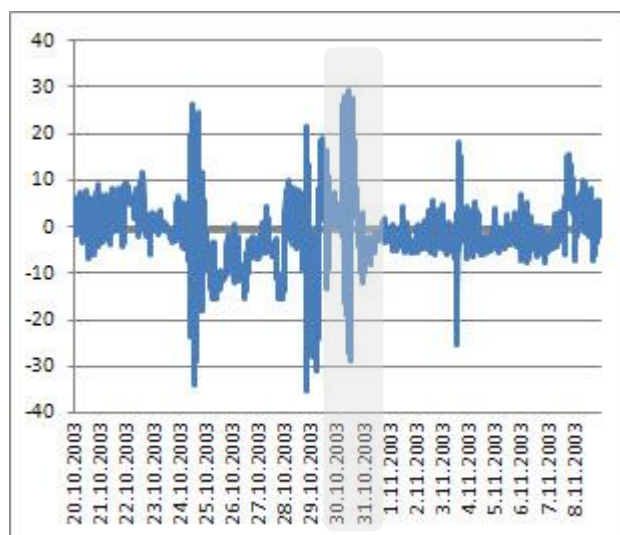
a) K-index – Zemlje.



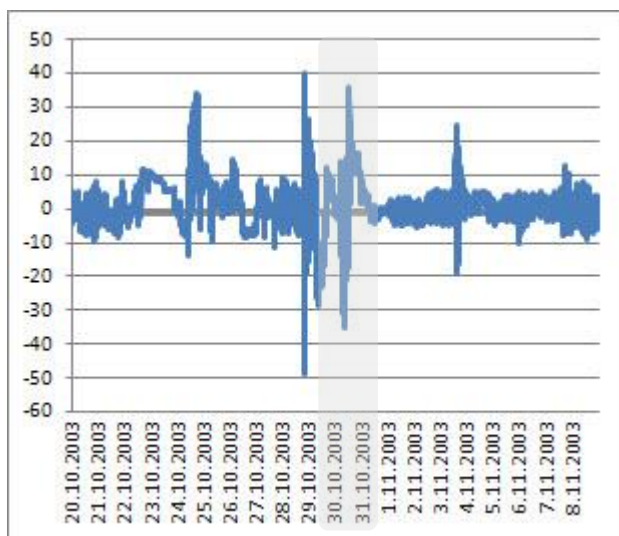
b) K-index - srednje geografske širine.



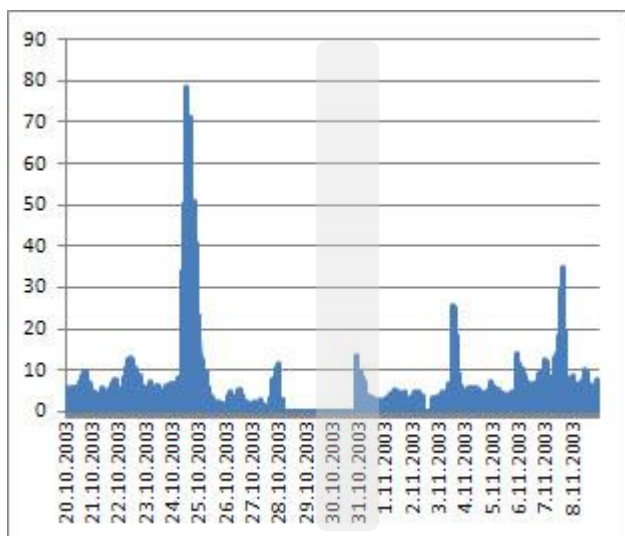
c) Gostota magnetnega polja Bx [nT].



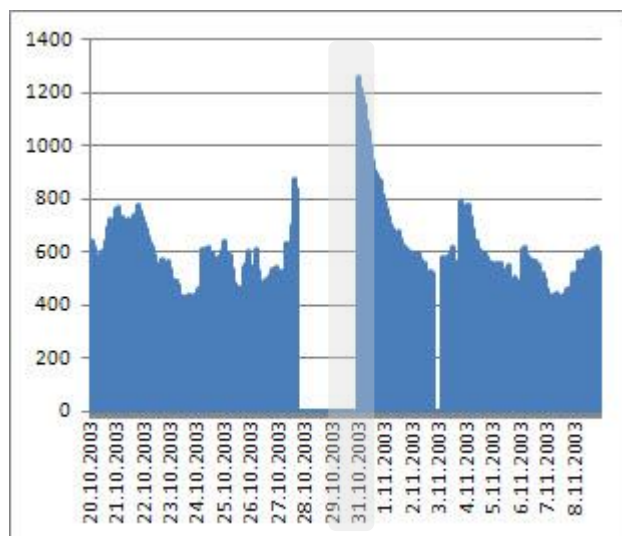
d) Gostota magnetnega polja By [nT].



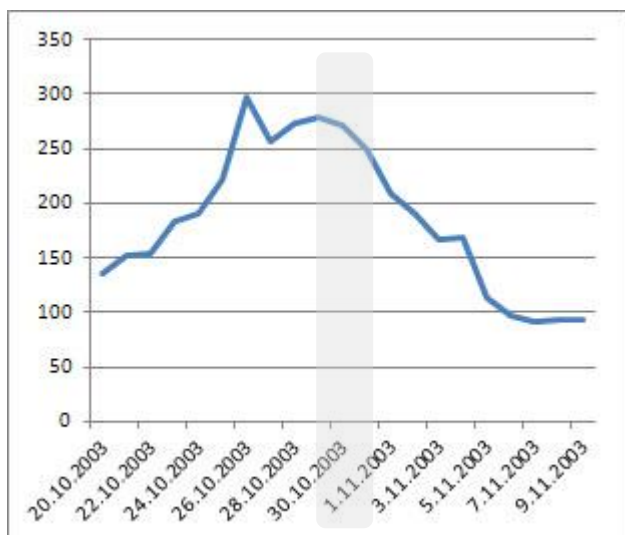
e) Gostota magnetnega polja Bz [nT].



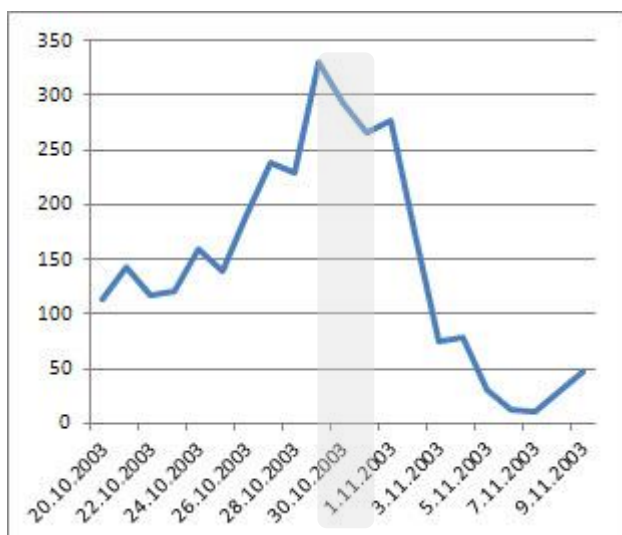
f) Gostota protonov [$1 / \text{cm}^3$].



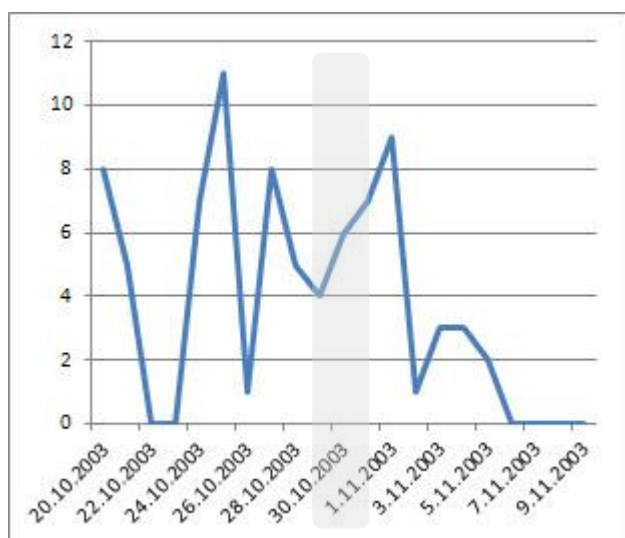
g) Hitrost protonov [km / s].



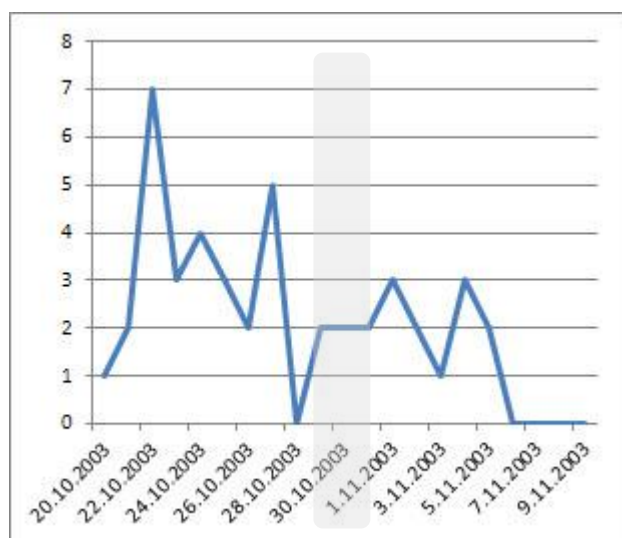
h) Radijski tok (10,7 cm) [$10^{-22} \text{ W} / \text{m}^2 / \text{Hz}$].



i) Število sončevih peg.

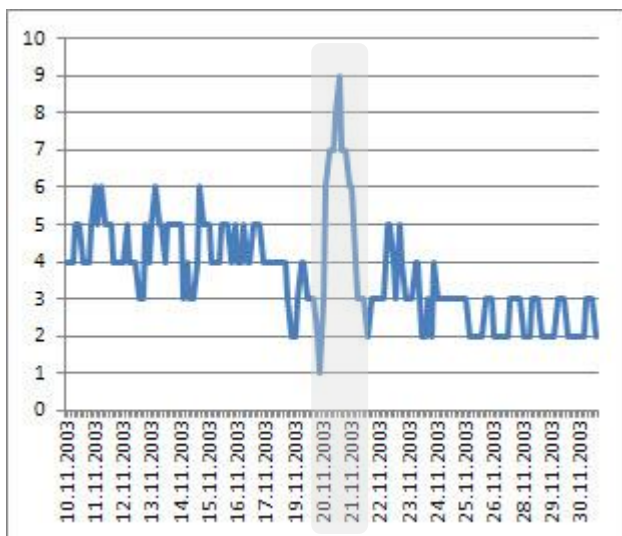


j) Število blišcev C-razreda.

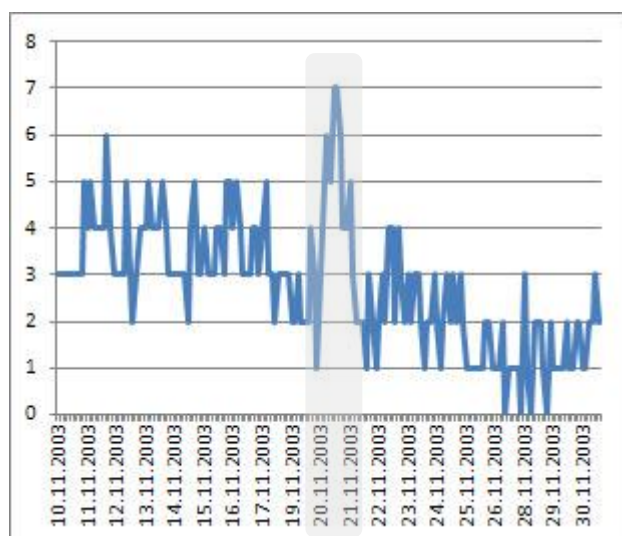


k) Število blišcev M-razreda.

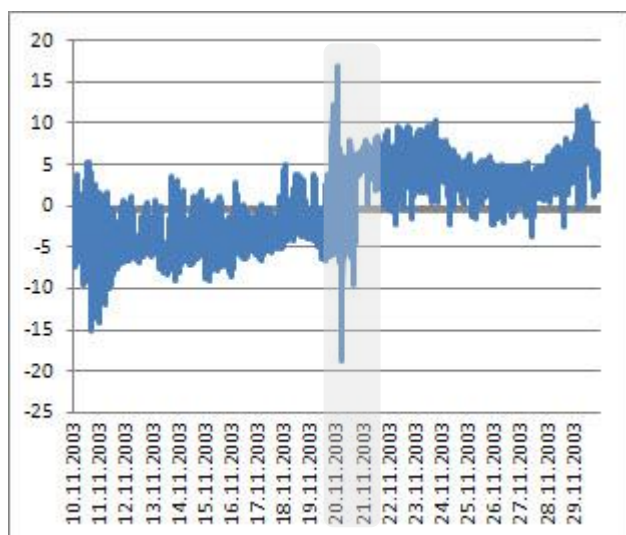
Grafi 20. / 21. november 2003



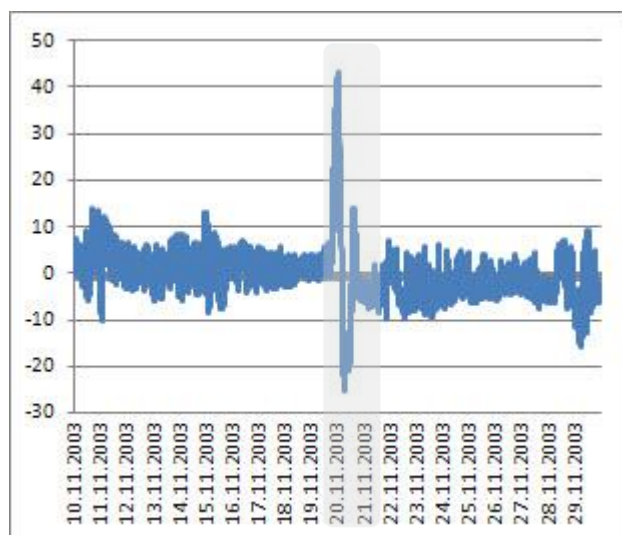
a) K-index – Zemlje.



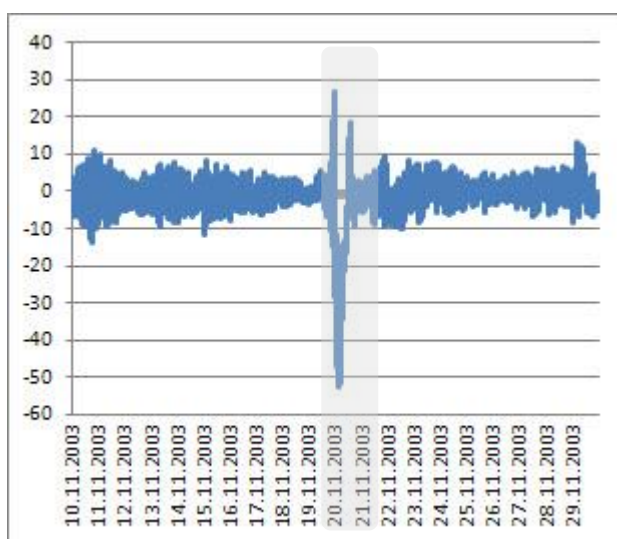
b) K-index - srednje geografske širine.



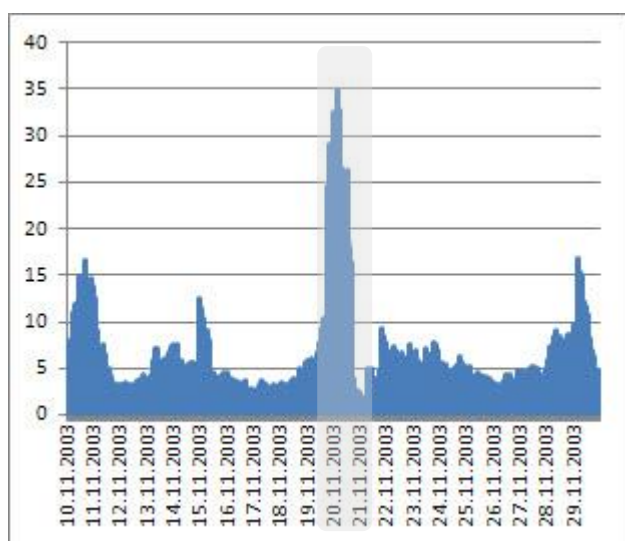
c) Gostota magnetnega polja Bx [nT].



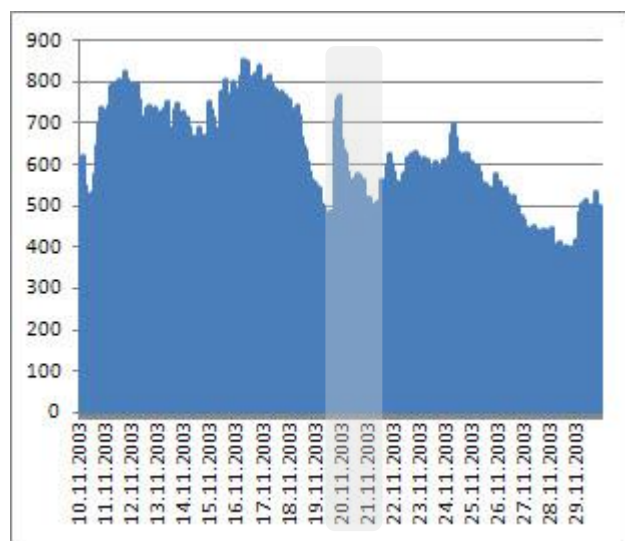
d) Gostota magnetnega polja By [nT].



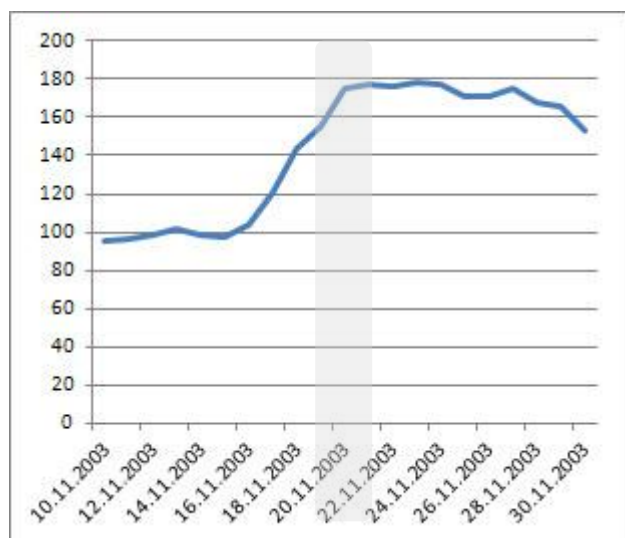
e) Gostota magnetnega polja Bz [nT].



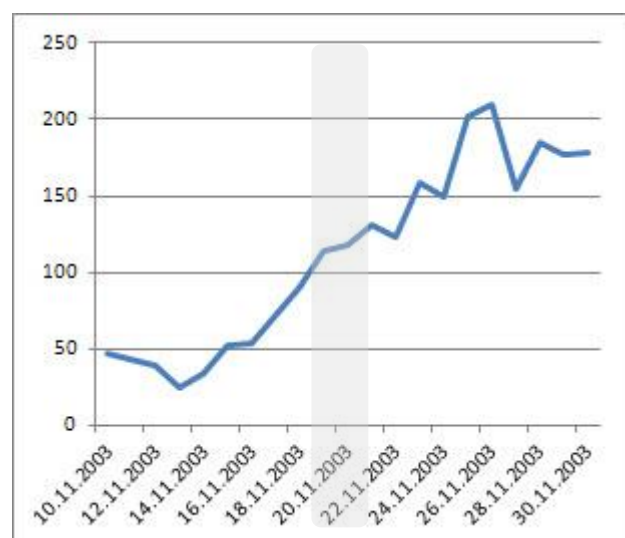
f) Gostota protonov [$1 / \text{cm}^3$].



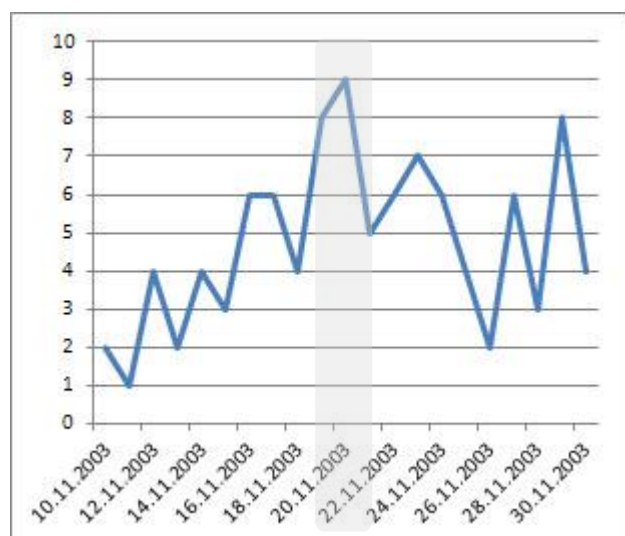
g) Hitrost protonov [km / s].



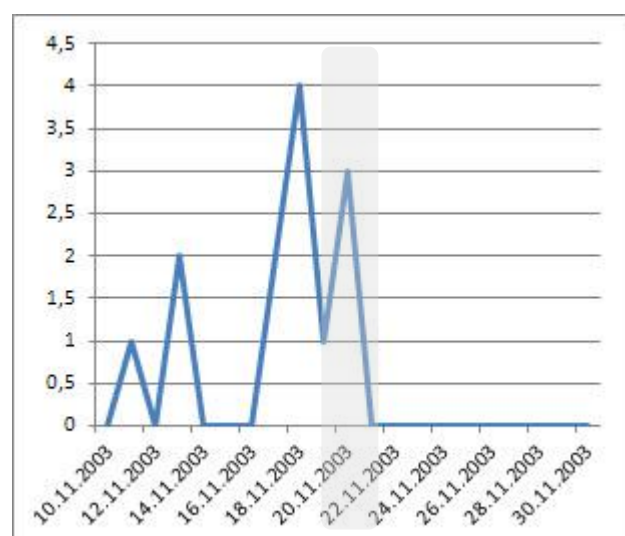
h) Radijski tok (10,7 cm) [$10^{-22} \text{ W} / \text{m}^2 / \text{Hz}$].



i) Število sončevih peg.

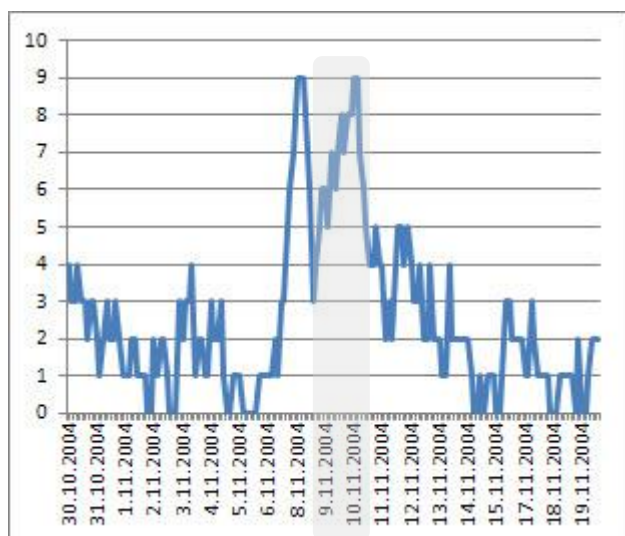


j) Število bliščev C-razreda.

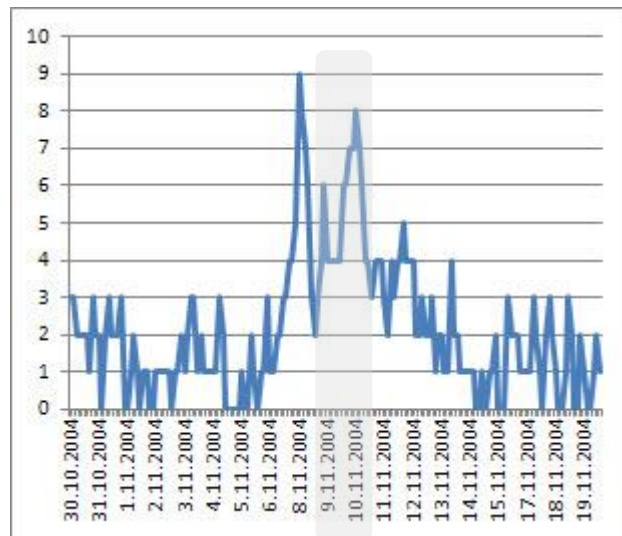


k) Število bliščev M-razreda.

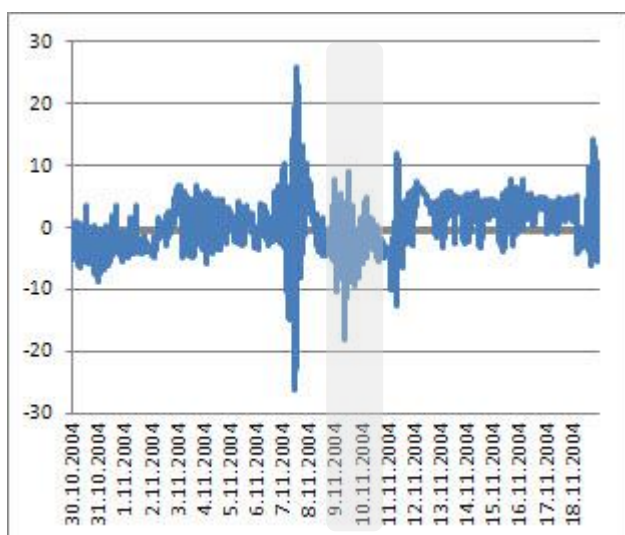
Grafi 9. / 10. november 2004



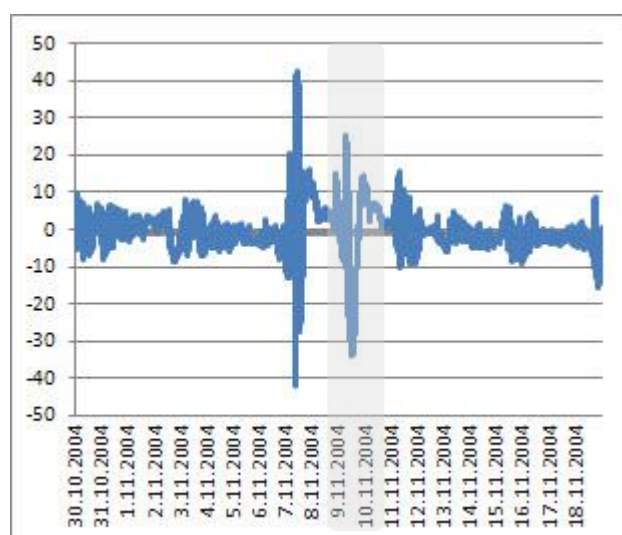
a) K-index – Zemlje.



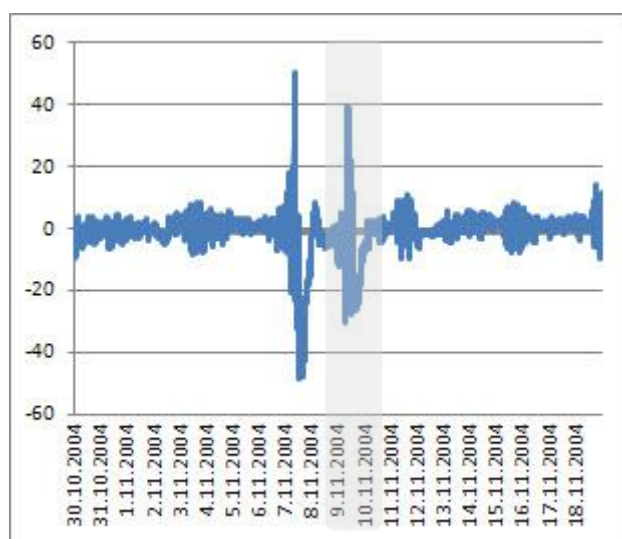
b) K-index - srednje geografske širine.



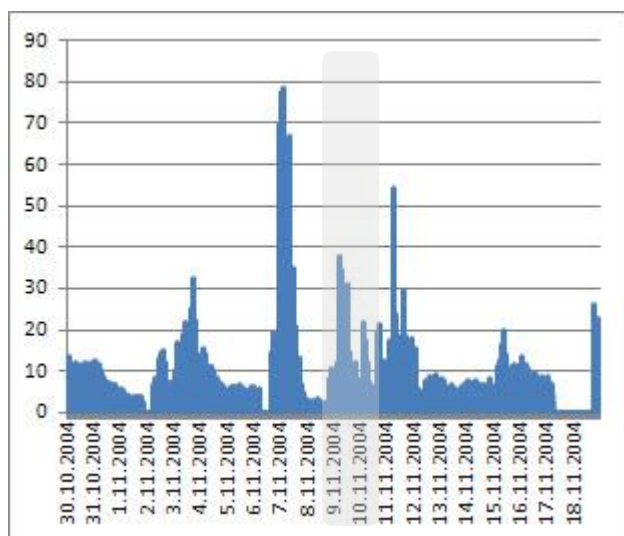
c) Gostota magnetnega polja Bx [nT].



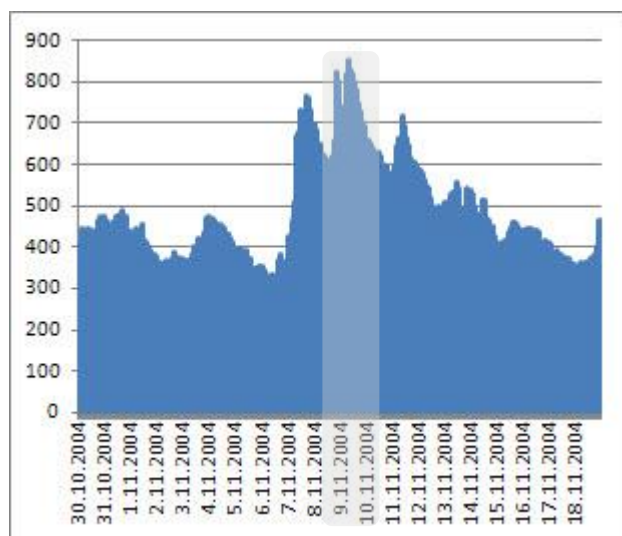
d) Gostota magnetnega polja By [nT].



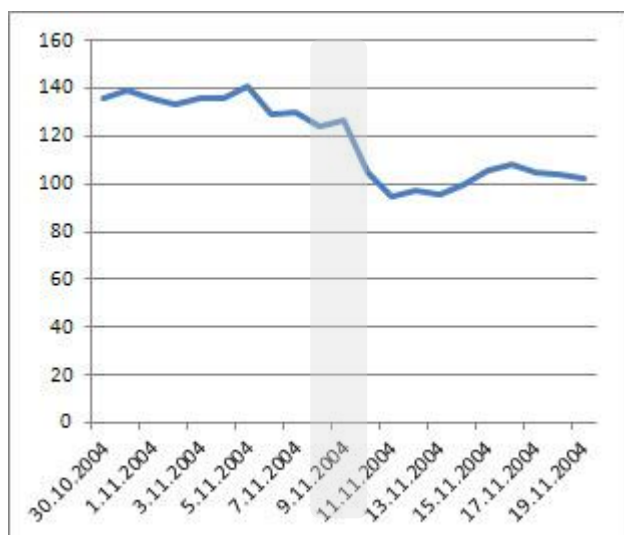
e) Gostota magnetnega polja Bz [nT].



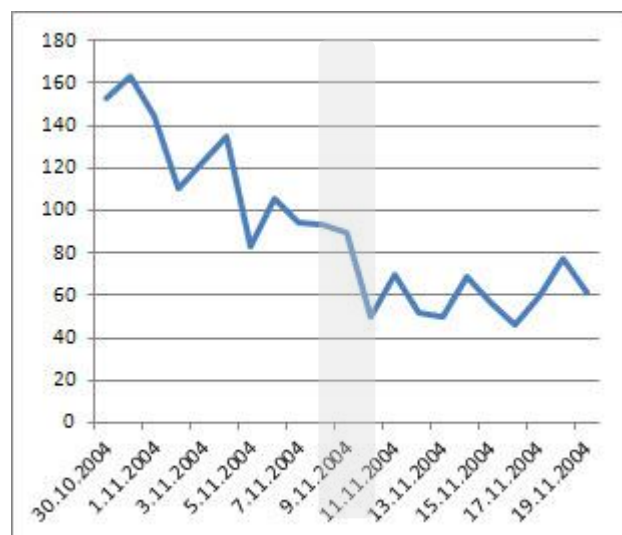
f) Gostota protonov [$1 / \text{cm}^3$].



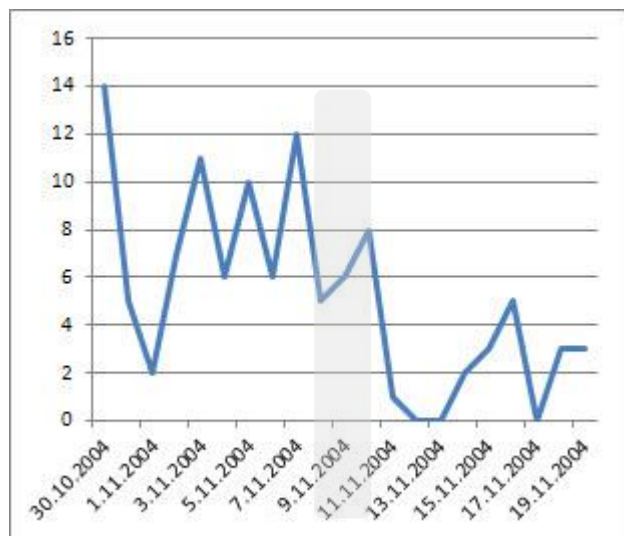
g) Hitrost protonov [km / s].



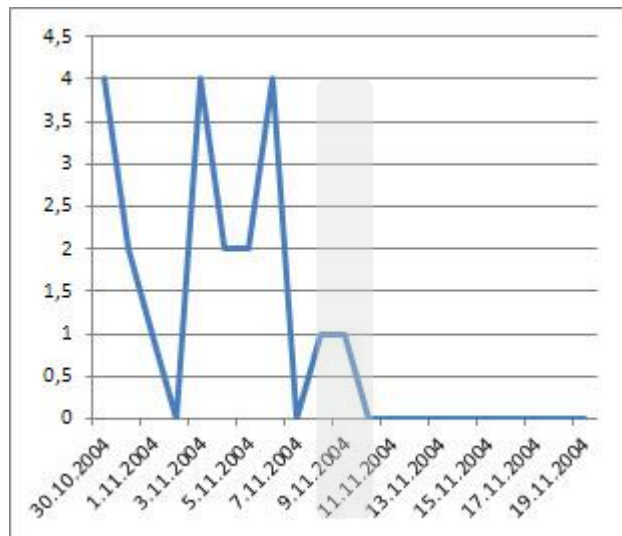
h) Radijski tok (10,7 cm) [$10^{-22} \text{ W} / \text{m}^2 / \text{Hz}$].



i) Število sončevih peg.



j) Število blišcev C-razreda.



k) Število blišcev M-razreda.