

PREMENLIVOST KOZMICKÉHO POČASIA A JEHO PREDPOVEĎ

A. Prigancová

F. Valach

M. Váczyová

Summary

SPACE WEATHER VARIABILITY AND ITS FORECASTING

The analysis of occurrence of magnetic storms within the 7–11 November 2004 time interval allows to understand the notion of space weather, conditions of its formation and variability. The utilization of data with different time resolution makes it possible to follow the tight relationship between dynamics of the solar wind and interplanetary magnetic field (especially velocity V and southward B_z), on one side, and the disturbed geomagnetic field, on the other side. The ACE data were considered against the storm variation Sym-H, local variation ΔH_{HRB} (as reported by the Hurbanovo (HRB) Geomagnetic Observatory) and Kp index. The results of modeling of the Kp development by means of the NN method are also presented. Those reveal quite good coincidence of observed and modeled Kp values. However, it can be stated that appearance and development of global disturbances (magnetic storms) is a multiparametric process in the magnetosphere controlled by not only external forcing, but also by inner sources. This has to be taken into account in order to qualify the space weather forecasting.

Úvod

Aj laická verejnosť sa stále častejšie stretáva s pojmom kozmické počasie. Je to spojené s tým, že ľudstvo vstúpilo do éry kozmických letov a je vysokovyvinutým spoločenstvom používajúcim technologicky náročné zariadenia a prostriedky tak dopravy ako aj telekomunikácií. Spoliehame sa na ne stále vo väčšej miere a spoločnosť sa stáva zraniteľnou pri ich zlyhaní. Popri iných príčinách k zlyhaniu môže dôjsť dôsledkom nepriaznivého kozmického počasia. O to aktuálnejšou sa v súčasnosti stáva potreba spoznať do dôsledkov Slnko, našu najbližšiu hviezdu. V rámci prednedávnom navrhnutého dlhodobého celosvetového programu LWS (Living With a Star – Život s hviezdou) sa vedecké úsilie sústreďuje na komplexné štúdium tak zložitých javov v rámci systému Slnko-Zem, ako aj ich dopadu na život a činnosť spoločnosti [Song et al., 2001].

Kozmické počasie ako prvok kvality životného prostredia

Kvalita životného prostredia má nielen ekologickú dimenziu, ktorej sa venuje mimoriadna pozornosť spoločnosti. Meteorologické parametre a ich krátkodobá a dlhodobá dynamika (počasie a klíma) významne dopĺňujú našu predstavu o kvalite

životného prostredia. Ich dopad sa prejavuje tak pozitívne ako aj negatívne.

Vďaka existencii geomagnetického poľa (GMP) kvalitu životného prostredia charakterizuje aj prírodné elektromagnetické pozadie. Elektromagnetickému pozadiu antropogénneho pôvodu sa v tomto príspevku venovať nebudeme. Jeho prírodná zložka je veľmi dynamická a súvisí s premennými procesmi na Slnku a následne v kozmickom priestore. Preto, keď hovoríme o kozmickom počasi, máme na zreteli variabilné podmienky na Slnku, v slnečnej koróne, v expandujúcej slnečnej plazme (tzv. slnečný vietor a ním unášané medziplanetárne magnetické pole, MMP), v magnetosfére (t.j. v oblasti pôsobenia GMP), v ionosfére (t.j. v okolozemskej plazme) a troposfére [Prigancová et al., 1985]. Aj kozmické počasie je súčasťou kvality životného prostredia. Stupeň nepriaznivého kozmického počasia najľahšie posúdime podľa záznamov premenného GMP na geomagnetických observatóriách (GO).

Údaje

Viac ako 100-ročné, zmodernizované GO Hurbanovo [Prigancová et al., 2000], zapojené do medzinárodného programu INTERMAGNET [Váczyová et al., 2001], poskytuje výsledky meraní GMP s vysokou

časovou rozlišovacou schopnosťou pre celosvetové centrá údajov WDC v Kodani (Dánsko), Boulderi (USA), Kyote (Japonsko) a Edinburghu (Veľká Británia), kde sa sústreďujú geomagnetické údaje z globálnej siete GO. Na kvantifikáciu porušených podmienok v GMP (vznik magnetickej búrky) sa v príspevku použila hodnota ΔH ako variácia horizontálnej zložky GMP vzhľadom na hladinu pokojného poľa (referenčná hladina $H=20900$ nT). Výpočet medzinárodne prijatého indexu búrkovej variácie Dst je časovo posunutý, ale v reálnom čase sa používa pomocný index Sym-H. Vypočítava sa vo WDC-Kyoto z variácií H pre vybrané GO v rovníkovej oblasti. Z globálneho hľadiska porušenie GMP charakterizuje úroveň geomagnetickej aktivity vyjadrovaná planetárnym indexom Kp. V príspevku tento index sa použil na modelovanie stupňa porušenia GMP v závislosti od slnečnej činnosti.

Na sledovanie podmienok v rozpínajúcej sa slnečnej koróne sa využili údaje

o parametroch slnečného vetra a MMP monitorovaných pomocou geostacionárnej družice ACE.

Magnetická porušenie v dňoch 7.–11.11.2004

Magnetická porušenie v dňoch 7.–11.11.2004 je príkladom vzniku po sebe nasledujúcich dvoch intenzívnych búrok, a to 7. a 9. novembra. Ich analýza je o to zaujímavejšia, že vznikli v blízkosti minima slnečnej aktivity, ak uvažujeme jej známe 11-ročné cykly. V záverečnej etape prebiehajúceho 23. slnečného cyklu sa vyskytlo viac magnetických búrok, čo ešte raz zdôrazňuje potrebu štúdia kozmického počasia za účelom jeho spoľahlivej predpovede. Medzi sledované parametre sa zaraďujú tok častíc, rýchlosť (V), hustota (N) slnečného vetra, intenzita MMP (B). Posúdiť dynamiku parametrov kontrolujúcich kozmické počasia umožňuje Tabuľka.

Tabuľka. Dynamika základných parametrov kontrolujúcich kozmické počasia

Parameter	Minimálna hodnota	Priemerná hodnota	Maximálna hodnota
Tok častíc ($\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1	3	100
Rýchlosť (km s^{-1})	200	400	~1800
Hustota (cm^{-3})	0.4	6.5	100
MMP B (nT)	0.2	6	80

Vývoj kozmického počasia v dňoch 7.–11.11.2004 je znázornený na Obr. 1. Sú použité 5-minútové údaje pre intenzitu MMP B a jej zložky (B_x , B_y , B_z), pre hustotu N, rýchlosť V a teplotu T slnečného vetra, pre odvodené parametre, a to dynamický tlak NmV^2 , tok tepelnej E_t a magnetickej E_b energie. Následná porušenie GMP je znázornená krivkami ΔH_{HRB} a Sym-H. Je vidieť, že búrky 7.11 a 9.11.2004 sú výsledkom pôsobenia porušeného slnečného vetra a dynamiky MMP (výskyt jeho južnej orientácie $B_z < 0$). Súvisí to

zdrojmi porúch na Slnku, ktoré nie sú predmetom tohto príspevku.

Začiatku prvej búrky predchádzali úkazy známe ako storm sudden commencement (SSC). Nie po každom SSC, ako prejavy náhlejšej zmeny tlaku slnečnej plazmy na čelnú stranu magnetosféry nasleduje búrka. V prípade skúmanej búrky sa globálna porucha dňa 7.11.2004 vyvinula až po treťom SSC. Ich identifikácia je jednoznačná v záznamoch s 1-minútovým rozlíšením. Ako vidieť na Obr. 2, sú SSC najzreteľnejšie

v zázname X složky GMP s časom výskytu 02:05, 10:52 a 18:27 UT, ale v Y a Z zložkách sa SSC prejavujú menej názorne. Obvykle búrkovú variáciu odvodzujú z horizontálnej zložky GMP $H = \sqrt{X^2 + Y^2}$.

Predpoveď porušenosti GMP

Tesná súvislosť stupňa porušenosti GMP s parametrami slnečného vetra a MMP je východiskom pre predpoveď úrovne geomagnetickej aktivity. V ostatnom čase sa pre tieto účely využíva prístup neurónových sietí (NS) [Gurney, 1996]. Navrhnutý model NS [Valach, Jankovičová, 2001] bol cvičený na základe komplexných údajov o slnečnom vetre, MMP a o stupni porušenosti GMP počas niekoľkých búrok z r. 1998, pre ktoré boli k dispozícii družicové merania V, N, Bz. Odvodený algoritmus predpovede umožnil vypočítať modelové hodnoty Kp. Na obr. 3 sú znázornené priebehy Bz, N a V s 1-hodinovým rozlíšením pre časový interval 7.–11.11.2004. Ich dynamika sa premieta do meniacej sa úrovne geomagnetickej aktivity (Obr. 3b) definovanej 3-hodinovými hodnotami Kp (čierna čiara). Zároveň sú uvedené aj modelové hodnoty Kp pre po sebe nasledujúce 3-hodinové intervaly (šedá čiara). Priebeh pozorovaného Kp vykazuje výraznú nadväznosť na porušené podmienky v slnečnom vetre. Modelová krivka Kp dostatočne presne kopíruje pozorovanú krivku Kp, najmä pre úsek prvého maxima zodpovedajúceho magnetickej búrke zo dňa 7.11.2004. Úsek druhého maxima Kp

nepreukazuje presnú zhodu, čo svedčí o zložitejšom stave magnetosféry po prvej búrke, kedy váha aj ďalších faktorov ovplyvňujúcich vývoj poruchy vzrastá [Feldstein et al., 2003]. Tieto nie sú v predkladanom modeli NS zahrnuté. Aj keď skúmaný interval porušenosti magnetosféry má zložitejší vývojový spád, je zhoda modelových hodnôt Kp s pozorovanými dostatočne významná (korelačný koeficient $r = 0.67$ a stredná kvadratická chyba je 1.95).

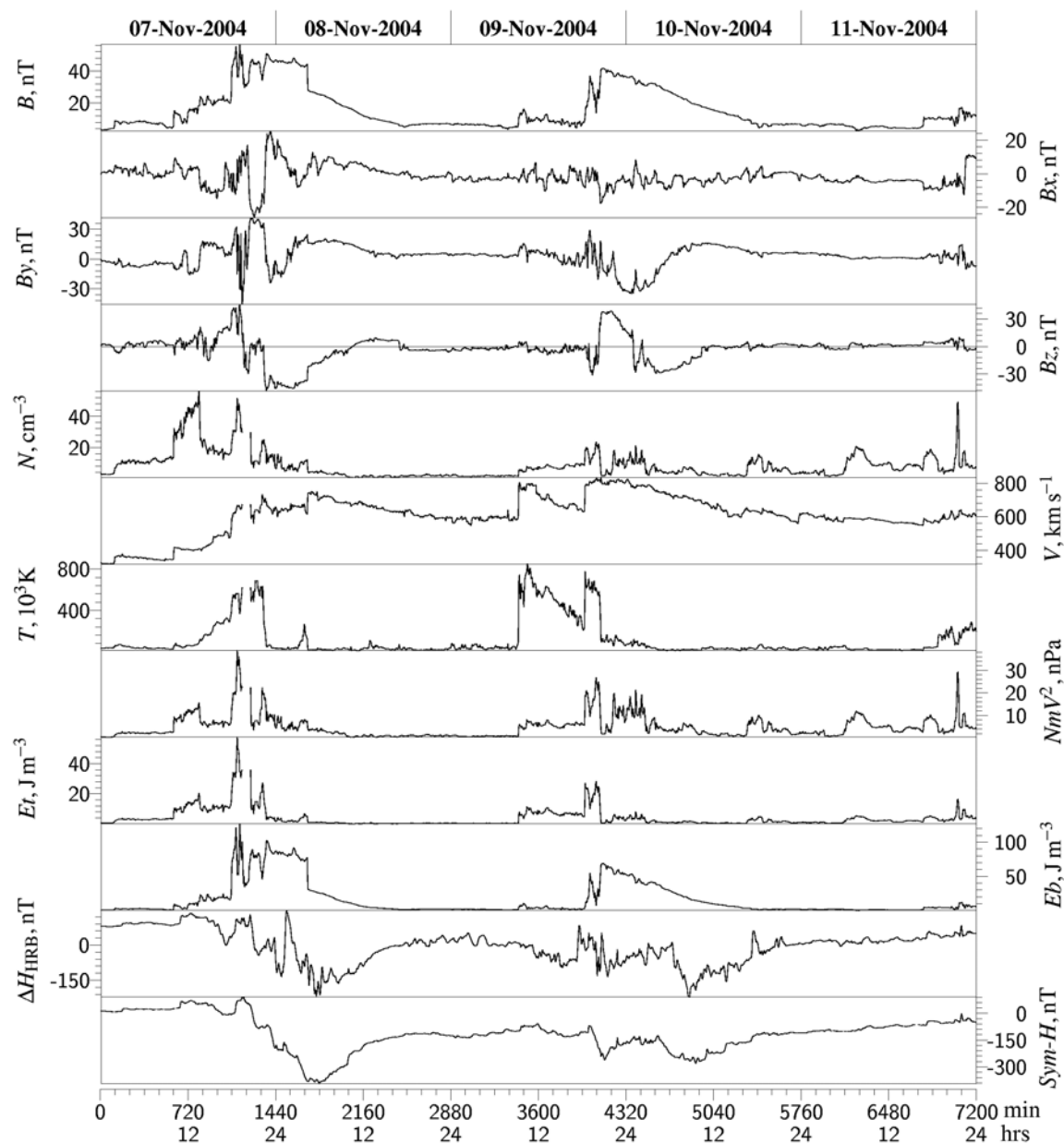
Záver

Analýza výskytu búrok v dňoch 7.–11.11.2004 približuje pojem kozmické počasia, ako aj podmienky jeho tvorby a premenlivosti. Využitie údajov s odlišným časovým rozlíšením umožnilo dokumentovať tesnú súvislosť dynamiky slnečného vetra a MMP (najmä geoeftívnych parametrov V, Bz), na jednej strane, a porušenosti GMP, na strane druhej. Pre skúmaný interval sa uviedli výsledky modelovania premennej úrovne geomagnetickej porušenosti na príklade indexu Kp. Využitá metóda neurónových sietí preukazuje dostatočne dobrú zhodu pozorovaných a modelových hodnôt Kp. Zároveň je vidieť, že vznik a vývoj globálnych porúch (magnetickej búrok) je mnohoparametrický proces v magnetosfére kontrolovaný nielen vonkajšími vplyvmi, ale aj vnútornými zdrojmi. Ich zohľadnenie je cestou skvalitnenia predpovede kozmického počasia.

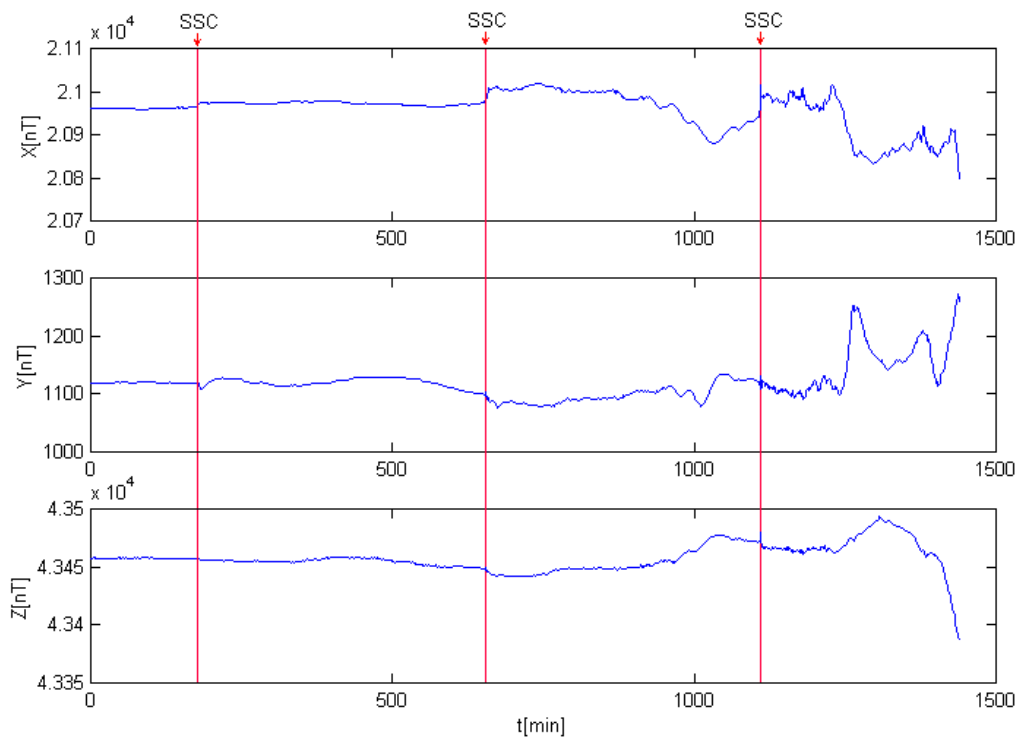
Literatúra

- Feldstein Y., B. Tsurutani, A. Prigancová, W. Gonzalez, A. Levitin, J. Kozyra, L. Alperovich, U. Mall, L. Gromova, L. Dremukhina, 2003: The magnetospheric response to a two-stream solar wind interval during solar maximum: a self-consistent magnetospheric model, Proc. ICS 2003 *Solar Variability as an Input to the Earth's Environment*, T. Lomnica, 553–557.
- Gurney K., 1996: An Introduction to Neural Networks. UCL Press, London.
- Prigancová A., M. Hvoždara, I. Túnyi, M. Váczyová, Z. Vörös, 2000: Geomagnetické observatórium Hurbanovo: 100-ročné jubileum. Polygrafia SAV, Bratislava.
- Prigancová A., M. Rybanský, M. Bieleková, J. Štěřtík, L. Křivský, 1985: Faktor slnečnej a geomagnetickej aktivity v životnom prostredí, GFÚ SAV, Bratislava.
- Song P., H.J. Singer, G.L. Siscoe, 2001: Space Weather, AGU, Washington.
- Váczyová M., A. Palka, J. Reda, 2001: Magnetic data collection system for INTERMAGNET at Hurbanovo. Contr. Geophys. Geod., 31, 407–414.

Valach F., D. Jankovičová, 2001: Electromagnetic transfer functions, tectonic activity and neural networks. Contr. Geophys. Geod., 31, 339–342.

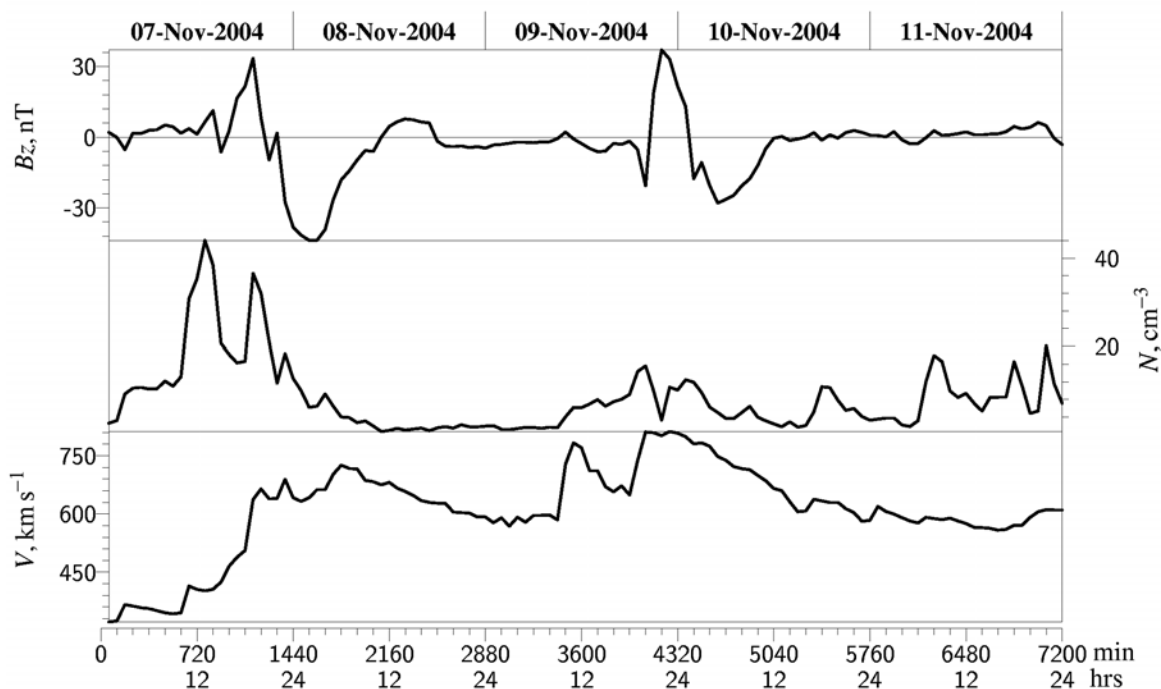


Obr. 1. Prejavy premenného kozmického počasia (5-minútové časové rozlíšenie) v systéme Slnko-Zem v dňoch 7.–11.11.2004, znázornené na základe družicových (ACE) a pozemských meraní.

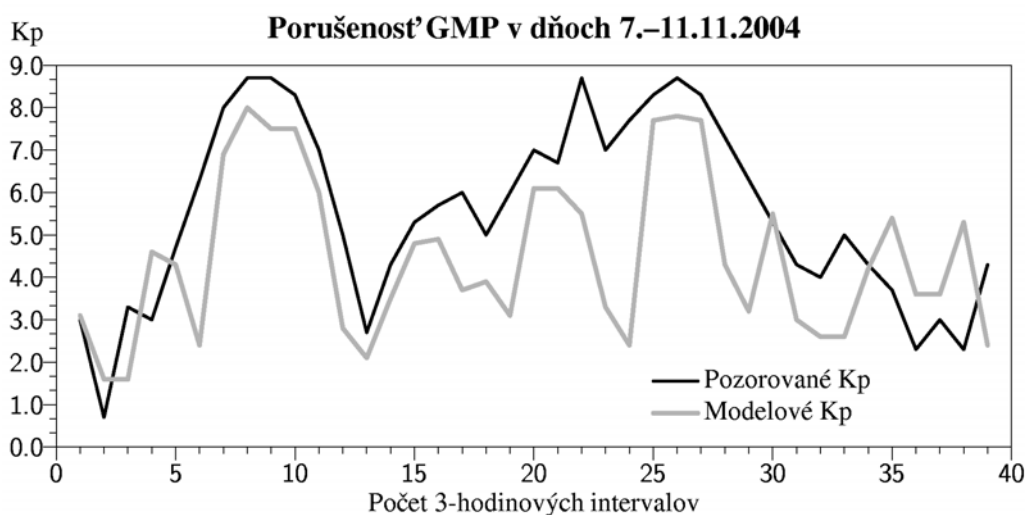


Obr. 2. Záznam X, Y a Z zložiek GMP (GO Hurbanovo) s 1-minútovým časovým rozlíšením dňa 7.11.2004, kedy vznikla magnetická búrka, ktorej predchádzali 3 SSC javy.

a)



b)



Obr. 3. a) Premenlivosť kozmického počasia (1-hodinové časové rozlíšenie) v systéme Slnko-Zem (údaje z družice ACE v dňoch 7.–11.11.2004); b) priebeh 3-hodinových hodnôt Kp indexu vypočítaných z pozemských geomagnetických meraní v porovnaní s modelovými hodnotami v uvedených dňoch.