

Kozmické počasie a predpoveď geomagnetickej aktivity

Fridrich Valach¹, Alina Prigancová², Igor Túnyň

¹Geomagnetické observatórium GFÚ SAV, Hurbanovo

²Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava

ÚVOD

Zemská magnetosféra interaguje so slnečným vetrom, pričom sa v ionosfére a magnetosfére generujú zmeny elektrických prúdov spôsobujúce geomagnetické poruchy. Z nich najtypickejšou je geomagnetická búrka. Pri štúdiu geomagnetických búrok sa zvyčajne uvažuje rozdelenie do troch fáz (Bruzek, Durrant, 1983). V počiatočnej fáze dynamický tlak porušeného slnečného vetra stlačí magnetosféru na dennej strane. Magnetopauza sa dostáva bližšie k zemskému povrchu a prúdy na jej povrchu sa menia. Zároveň dochádza k nárastu hodnôt v záznamoch horizontálnej zložky geomagnetického poľa na geomagnetických observatóriách v stredných šírkach, čo zodpovedá počiatočnej fáze búrky. Nasleduje hlavná fáza: postupný pokles horizontálnej zložky aj o niekoľko stoviek nanotesla. Spôsobuje ju dramatický nárast intenzity okolozemského prstencového prúdu, produkujúceho magnetické pole opačnej orientácie, ako je hlavné magnetické pole planéty. Postupne sa prúdový prstenec začne rozpadáť a geomagnetické pole sa vracia do neporušeného stavu, t.j. nasleduje fáza návratu.

V slnečno-zemskej fyzike sa ako miera geomagnetickkej aktivity často používa index Kp. Nadobúda hodnoty od 0 (pokojné geomagnetické pole) po 9 (extrémne porušené pole). Vypočítava sa z pozorovaní geomagnetického poľa na 13 vybraných observatóriách (Mayaud, 1980).

Poznať index Kp má aj praktický zmysel. Je použiteľný pri predpovediach ohrozenia elektroniky a dráh umelých družíc (Wu a kol., 1999), pri určovaní indukovaných prúdov v elektrických rozvodných sieťach (Boteler a kol., 1990), atď.

Na predpoveď indexov Kp bol vyvinutý model (Boberg a kol., 2000), ktorý využíva umelú neurónovú sieť (NS). Je to hybridný model, ktorý sa skladá z dvoch expertných neurónových sietí - z nich jedna je špecializovaná na predpoveď nižších hodnôt Kp, zatiaľ čo druhá je zameraná na predpovede vyšších Kp v obdobiach s geomagnetickými poruchami. Táto druhá sieť má šesť vstupných neurónov. Vstupujú nimi hodnoty (z dvoch predchádzajúcich trojhodinových intervalov) parametrov slnečného vetra z libračného bodu L1, a to: B_z -zložka medziplanetárneho magnetického poľa, hustota častíc v slnečnom vetre n a rýchlosť slnečného vetra V . V skrytej vrstve NS obsahuje desať neurónov a výstupnú vrstvu tvorí jediný neurón (pre index Kp).

V predkladanej práci popisujeme NS-model, v ktorom namiesto trojhodinových priemerov parametrov slnečného vetra navrhujeme použiť hodinové priemery. Vedie nás k tomu fakt, že slnečná plazma z bodu L1 sa dostáva k Zemi za 30-60

minút, teda hodinové priemery sa nám zdajú byť vhodnejšími kvantitatívnymi charakteristikami na takejto časovej škále.

ÚDAJE A METÓDA

Použili sme údaje o siedmich geomagnetických búrkach: 14.–18. mája 1997, 1.–7. mája 1998, 25.–26. júna 1998, 26.–29. augusta 1998, 24.–27. septembra 1998, 18.–22. októbra 1998 a 7.–11. novembra 2004. Údaje o slnečnom vetre boli merané v bode L1 družicami WIND a ACE. My sme použili hodinové priemery B_z , n a V . Kp-indexy sme získali z Observatória Adolfa-Schmidta v Niemecku (Nemecko).

Nástrojom, ktorý sme použili na vytvorenie modelu, bola umelá neurónová sieť (NS) (napr. Gurney, 1996), presnejšie, trojvrstvová neurónová sieť dopredným šírením. Tréning NS a validáciu (na odhadnutie optimálneho počtu skrytých neurónov a dĺžky sekvencie vstupujúcich veličín) sme uskutočnili na búrkach z mája 1997 a z mája, júna a septembra 1998.

Výsledný model pozostáva z 34 nezávisle trénovaných NS s rôznym počtom skrytých neurónov (optimálny počet neurónov je v rozsahu od 0 po 5) a s rôznou dĺžkou vstupných sekvencií hodinových priemerov slnečného vetra (dĺžka vstupných vektorov – t.j. história vstupných parametrov sa mení v rozsahu 1–3). Predpovedaná hodnota indexu Kp na nasledujúci trojhodinový interval je počítaná ako priemer z 34 nezávislých predpovedí jednotlivých NS.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledný test navrhovaného NS-modelu sme uskutočnili na troch geomagnetických búrkach: 26.–29. augusta 1998, 18.–22. októbra 1998 a 7.–11. novembra 2004.

Z porovnaní pozorovaných a modelových časových radov indexov Kp (obr. 1) vidíme, že priebeh prvých dvoch búrok sa podarilo predpovedať.

Pre búrku z novembra 2004 však predpovede vychádzajú len zhruba prvých dva a pol dňa, potom sa už modelové hodnoty veľmi líšia od pozorovaných. Vysvetlením, prečo NS-model v tejto časti búrky je menej funkčný, môže byť nezvyčajne komplikovaný priebeh tejto geomagnetickej poruchy. S tak netypickým priebehom geomagnetickej búrky sa NS v procese tréningu nestrelí a neboli na ňu pripravené. Búrka začala tromi úkazmi ssc v prvý deň svojho priebehu. Rozvinula sa počiatočná a potom hlavná fáza a potom sa začala fáza návratu (zatiaľ typický priebeh geomagnetickej búrky). Potom však priebeh búrky skomplikoval ďalší úkaz ssc, v čase keď rozpadajúci sa prúdový prstenec okolo Zeme bol ešte veľmi intenzívny. Od tohto času má búrka nezvyčajný priebeh a predpoveď pomocou nášho NS-modelu sa ukazuje menej adekvátna. Iným možným vysvetlením by mohlo byť aj zistenie autorov Wintoft a kol. (2005), že v priebehu 9. novembra 2004 (to je čas, keď sa naša predpoveď začínajú rozchádzať s pozorovaniami) sa družica ACE výnimočne vzdialila zo svojej pozície v libračnom bode L1 smerom na juh a podľa nich údaje z družice v tomto období nereprezentovali presne

parametre slnečného vetra na spojnici Slnko-Zem. Pritom adekvátne informácie o kozmickom počasi zohráva dôležitú úlohu.

Aby sme mohli porovnať, či a ako sa zlepši predpoveď indexu Kp, keď namiesto trojhodinových priemerov použijeme jednohodinové, na to sme, podobne ako Boberg a kol. (2000), natrénovali NS s desiatimi skrytými neurónmi. (Pozn.: Použili sme výsledky piatich takýchto NS, nezávisle trénovaných.). Na vstupy sme privádzali trojhodinové priemery parametrov Bz , n a V (dĺžka vstupného vektora je 2, t. j. 2×3 hodiny). Použili sme na to všetky búrky, ktoré sme pre náš jednohodinový model použili pôvodne na tréning aj validáciu.

Pre porovnanie kvality modelovania pri uvažovaných prístupoch sa využili štatistické charakteristiky. Porovnaním korelačných koeficientov (Tab. 1 a 2) medzi modelom a pozorovanými Kp vidíme, že navrhovaný "jedno-hodinový" model dáva lepšie výsledky (korelačný koeficient pre 1-hodinový model je 0.74, zatiaľ čo pre 3-hodinový model je to 0.55). Aj porovnanie relatívnej strednej kvadratickej chyby (RMSE) vyznieva v prospech 1-hodinového modelu (RMSE je 1.39 pre 1-hodinový model a 2.03 pre 3-hodinový).

ZÁVER

V práci sme ukázali, že použitie 1-hodinových priemerov slnečného vetra ako vstupných parametrov pre NS-model k predpovedi indexu Kp je vhodnejšie, ako použitie 3-hodinových priemerov. Tento poznatok navrhujeme využiť pri vykonávaní krátkodobých predpovedí (takmer sú to predpovede v reálnom čase) úrovne globálnej porušnosti geomagnetického poľa - indexu Kp.

Pod'akovanie

Príspevok bol pripravený v rámci grantov VEGA 2/5121, 2/4042.

LITERATÚRA

Boberg F., Wintoft P., Lundstedt H. (2000): Real time Kp predictions from solar wind data using neural networks, Phys. Chem. Earth (C), 25/4, 275-280.

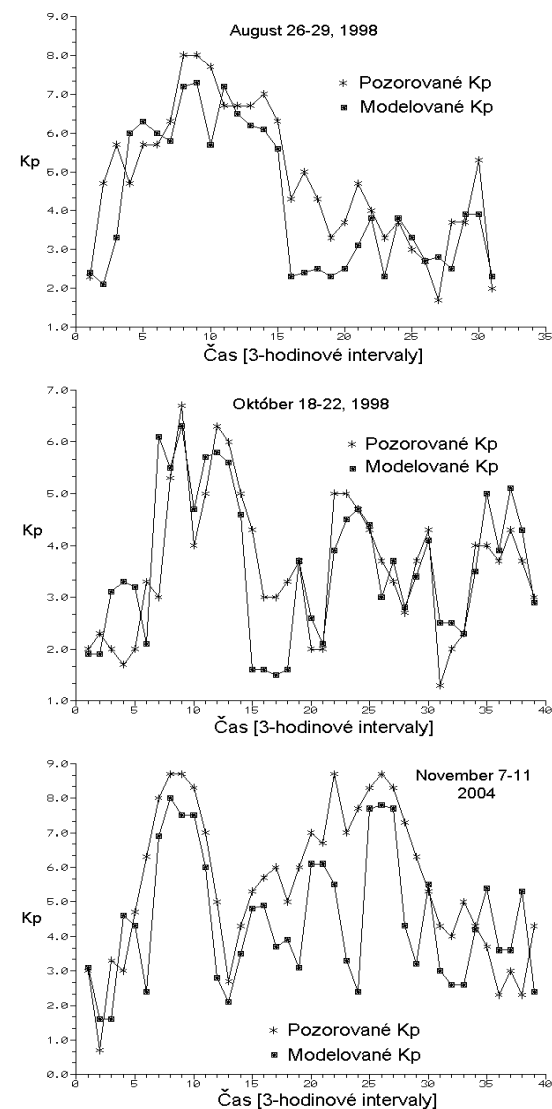
Boteler D. H., Watanabe T., Butler D. B. (1990): Prediction of geomagnetically induced current levels in the B. C. Hydro 500 kV system, Solar-Terrestrial Predictions: Proc. of a Workshop at Leura, Australia, October 16-20, 1989, Vol. 2, 30-41.

Gurney K. (1996): An Introduction to Neural Networks, UCL Press, London.

Mayaud P. N. (1980): Derivation, Meaning, and Use of Geomagnetic Indices, American Geophysical Union.

Bruzek A., Durrant J. (1983): Ilustrovaný slovník termínov slnečnej a slnečno-zemskej fyziky, SÚH, Hurbanovo (v preklade)

Wu J.-G., Lundstedt H., Eliasson L., Andersson L., Norberg O. (1999): Spacecraft anomaly forecasting using non-local environment data, Study of plasma and energetic electron environment and effects, ESA Tech. Note, ESTEC/Contract No. 11974/96/JG(SC).



Obr. 1. Porovnanie modelových a pozorovaných indexov Kp počas geomagnetických búrok 26.-29. augusta 1998, 18.-22. októbra 1998 a 7.-11. novembra 2004.

Tabuľka 1. Porovnanie NS-modelu pre indexy Kp založeného na 1-hodinových priemeroch parametrov slnečného vetra s pozorovanými hodnotami Kp

Búrky	26.-29.8.1998	18.-22.10.1998	7.-11.11.2004	Priemer
RMSE	1,23	1,00	1,95	1,39
Korel. koef.	0,83	0,72	0,67	0,74

Tabuľka 2. Porovnanie NS-modelu pre indexy Kp založeného na 3-hodinových priemeroch parametrov slnečného vetra s pozorovanými hodnotami K

Búrky	26.-29.8.1998	18.-22.10.1998	7.-11.11.2004	Priemer
RMSE	1,33	1,93	2,83	2,03
Korel. koef.	0,73	0,56	0,36	0,55