

# NS-model pre predpoveď geomagnetických búrok

*Fridrich Valach, Geomagnetické observatórium GSÚ SAV, Hurbanovo,  
fridrich @geomag.sk*

*Alina Prigancová, Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava, geofpria @savba.sk  
Magdaléna Váczyová, Geomagnetické observatórium GSÚ SAV, Hurbanovo,  
magdi @geomag.sk*

## Abstrakt

Výskyt geomagnetických búrok sa prejavuje zvýšenou úrovňou geomagnetickej aktivity kvantifikovanej známym Kp indexom. Rekonštrukcia (modelovanie) priebehu zvýšených Kp hodnôt je nepriamou predpoveďou intervalov výskytu geomagnetických búrok. V poslednej dobe sa na predpoveď Kp používajú modely na báze umelých neurónových sietí (NS-modely). Vstupnými údajmi do týchto modelov sú zvyčajne parametre slnečného vetra, ktorý kontroluje úroveň geomagnetickej aktivity (výskyt geomagnetických búrok a magnetosférických subbúrok). V našom príspevku porovnáваме nami navrhnutý model na báze parametrov slnečného vetra a jeho modifikovanú verziu, kde vstupné údaje obsahujú aj pozemské pozorovania geomagnetického poľa - horizontálnu zložku (H) z geomagnetického observatória GFÚ SAV v Hurbanove. Ako ukazujú výsledky, komplikovanú a mimoriadne mohutnú búрку z novembra 2004 sa podarilo predpovedať presnejšie, keď bola braná do úvahy aj informácia o prstencovom prúde, obsiahnutá vo variáciách zložky H, pozorovanej v stredných zemepisných šírkach.

## 1. ÚVOD

Typickou geomagnetickou poruchou pozorovanou na zemskom povrchu je geomagnetická búrka. Je dôsledkom interakcie zemskej magnetosféry s večne sa meniacim slnečným vetrom. Bežná geomagnetická búrka pozostáva z troch fáz (napr. Ochaba, 1986): (1) Počiatočná fáza v čase, keď dynamický tlak slnečného vetra na magnetosféru stlačí dennú stranu magnetosféry. V geomagnetických záznamoch horizontálnej zložky H geomagnetického poľa - GMP - sa v tomto čase pozoruje nárast (Máme na mysli strednoširokové observatória). (2) V hlavnej fáze nastáva postupný pokles zložky H. Spôsobuje ho zosilnenie okolozemského prstencového prúdu, ktorý generuje magnetické pole opačné ako je hlavné magnetické pole planéty. (3) Rozpad prstencového prúdu vedie k návratu hodnôt zložky H na neporušenú úroveň - fáza návratu. Často používanou mierou globálnej úrovne geomagnetickej aktivity je index Kp. Charakterizuje aktivitu počas 3-hodinového časového intervalu. Nadobúda hodnoty od 0 po 9 (delenie je zjemnené na tretiny jednotiek). Kp s hodnotou 0 je pre pokojné geomagnetické pole, hodnota 9 prináleží veľmi porušenému poľu. Hodnoty planetárneho indexu Kp sa určujú z pozorovaní na 13 vybraných geomagnetických

observatóriách s geomagnetickými šírkami medzi 48° a 63° (Mayaud, 1980).

Bolo vytvorených niekoľko NS-modelov (t. j. modelov využívajúcich umelé neurónové siete - NS) na predpovedanie indexov Kp v reálnom čase. Najznámejší z nich (Boberg a kol., 2000) používa ako vstupy Bz-zložku medziplanetárneho magnetického poľa (MMP), hustotu slnečného vetra  $n$  a rýchlosť slnečného vetra  $V$ . Údaje sú merané družicami v libračnom bode L1 a model používa ich 3-hodinové priemery.

Namiesto 3-hodinových priemerov parametrov slnečného vetra navrhli Valach - Prigancová (2006) používať radšej 1-hodinové priemery. Ukázali, že pri použití 1-hodinových priemerov v nimi navrhovanom modeli sú predpovede indexov Kp presnejšie, ako pre NS-model s 3-hodinovými priermi, ktorý má podobné parametre ako model Beberga a kol. (2000).

V tejto práci sa pokúsime vylepšiť NS-model autorov Valach - Prigancová (2006) pridaním informácie o okolozemskom prúdovom prstenci. Viedla nás k tomu predstava, že zlyhanie ich NS-modelu pri predpovedi druhej polovice nezvyčajne mohutnej geomagnetickej búrky z novembra 2004, bolo spôsobené jej komplikovaným priebehom: Zlyhanie NS-modelu začalo v čase, keď pri ešte existujúcom mohutnom prúdovom prstenci z prvej časti búrky nastúpilo nové

SSC (t. j. "náhly začiatok" novej búrky). Tu by informácia o stave prstencového prúdu mohla vylepšiť model.

V ďalšom budeme pôvodný model Valacha a Prigancovej (2006), t. j. ten, ktorý používa len údaje o slnečnom vetre nazývať model NS1. Vylepšený model, ktorý sa bude opierať aj o informáciu o prstencovom prúde, nazveme modelom NS2.

## 2. MATERIÁL A METÓDA

Použili sme údaje z obdobia siedmich geomagnetických búrok, ktoré boli v dňoch 14.-18. máj 1997, 1.-7. máj 1998, 26.-29. august 1998, 24.-27. september 1998, 18.-22. október 1998, 7.-11. november 2004.

Ako mieru geomagnetickej aktivity sme použili planetárny index  $K_p$ , hlásený nemeckým observatóriom Adolfa-Schmidta v Niemecku.

Údaje o slnečnom vetre boli merané družicami v libračnom bode L1 - my sme použili hodinové priemery MMP (zložka  $B_z$ ), hustoty  $n$  a rýchlosti  $V$ .

Kvôli zahrnutiu informácie o prstencovom prúde sme pre model NS2 použili aj horizontálnu zložku  $H$  geomagnetického poľa (GMP), registrovanú Geomagnetickým observatóriom GFÚ SAV v Hurbanove. Použili sme hodinové priemery. Vstupnou veličinou do modelu bola odchýlka  $\Delta H$  počítaná ako  $\Delta H = H - H_0$

kde  $H$  je hodinový priemer pozorovanej horizontálnej zložky GMP a  $H_0$  je typická pokojná hodnota horizontálnej zložky GMP pre daný mesiac a danú dennú hodinu.

Ako metódu sme použili trojvrstvovú NS s dopredným šírením a na jej tréning sme použili gradientovú metódu vylepšenú zotrvačným členom (Kundu 1996, Gurney 1996).

Z horeuvedených búrok sme na tréning NS použili búrky z mája, júna a septembra 1998. Na určenie počtov skrytých neurónov v architektúre NS a na určenie potrebnej dĺžky (histórie) vstupných vektorov sme vykonávali testy - v nich sme použili búrku z mája 1997. Záverečný test sme urobili na búrkach z augusta a októbra 1998 a z novembra 2004. Presne tak to bolo urobené aj v práci (Valach - Prigancová, 2006). Umožní nám to porovnať výsledky NS1 s výsledkami NS2.

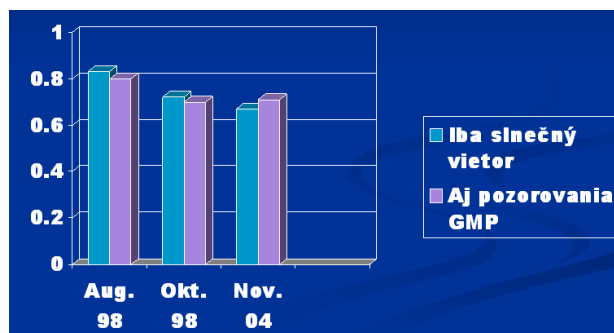
Pre úplnosť poznamenávame, že kvôli dosiahnutiu väčšej spoľahlivosti výsledkov sme namiesto jedinej NS použili 34 nezávislých NS s najvýhodnejšími parametrami. Za výsledok sme považovali priemer z nich.

## 3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

"Natrénováli" sme NS-model (nazvaný NS2), pozostávajúci z 34 nezávislých NS. Model je určený k predpovediam indexov  $K_p$  počas geomagnetických búrok. Model NS2 sme porovnali s modelom NS1 (Valach - Prigancová, 2006). Modely NS1 a NS2 sa odlišujú tým, že NS1 používa ako vstupy len parametre slnečného vetra merané v libračnom bode L1 a model

NS2 využíva navyše aj pozemské pozorovania GMP (horizontálnu zložku GMP meranú na geomagnetickom observatóriu v Hurbanove).

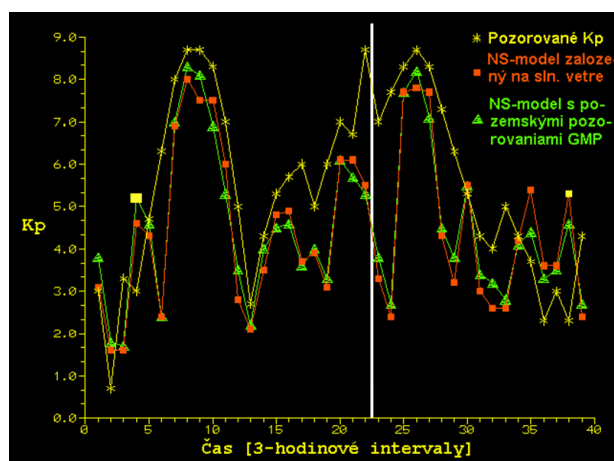
Pre testovacie búrky z augusta a októbra 1998, ktoré sú búrkami s typickým, nekomplikovaným priebehom, použitie nového modelu NS2 neprineslo zlepšenie, skôr nepatrné zhoršenie (obr. 1). Veľmi malé zlepšenie nastalo pre testovaciu búrku z novembra 2004.



Obr. 1

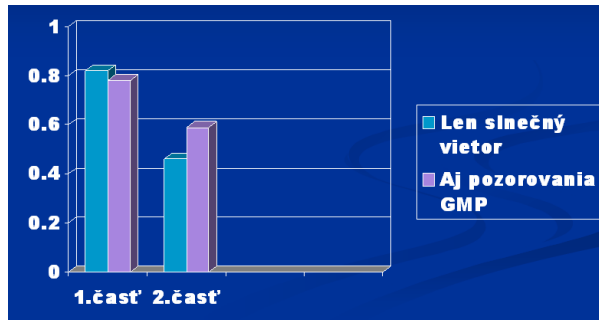
Porovnanie predpovedí indexu  $K_p$  modelom NS1 (t. j. bez uvažovania pozemských pozorovaní GMP) a modelom NS2 (t. j. so zahrnutím pozemských pozorovaní GMP). Mierou zhody modelových indexov  $K_p$  s pozorovanými je tu korelačný koeficient.

Bližší pohľad na časové rady modelovaných indexov  $K_p$  počas novembrovej búrky (r. 2004) odhaľuje, že predpovede sa od pozorovaných hodnôt odlišujú najmä v druhej časti búrky (obr. 2). Je to obdobie od príchodu nového SSC, keď sa priebeh búrky skomplikoval a prestal byť typickým. Keď vypočítame korelačné koeficienty zvlášť pre prvú a zvlášť pre druhú časť búrky (v obr. 2 sú tieto časti oddelené zvislou čiarou), pre prvú časť búrky vidíme pre model NS2 opäť nepatrné zhoršenie predpovede. Avšak predpoveď pre druhú, komplikovanú časť búrky je s modelom NS2 poznateľne lepšia ako s modelom NS1 (obr. 3).



Obr.2

Časové rady predpovedaných indexov  $K_p$  modelom NS1 (ktorý je založený len na poznani slnečného vetra), modelom NS2 (ktorý používa navyše aj informáciu o pozemských pozorovaniach) a pozorované  $K_p$ -indexy.



**Obr. 3**

*Porovnanie predpovedí indexu Kp v dvoch častiach zložitej geomagnetickej búrky (november 2004) s pozorovanými hodnotami Kp, keď bola predpoveď urobená modelom NS1 (vstupuje doň len informácia o slnečnom vetre) a modelom NS2 (používa aj informáciu o GMP).*

Výsledky testov naznačujú, že pre bežné geomagnetické búrky pridanie informácie o pozemských pozorovaniach GMP (resp. o stave okolozemského prstencového prúdu) nevedú k zlepšeniu predpovedí indexov Kp. Na druhej strane, pri nezvyčajnom priebehu geomagnetickej búrky môže informácia o predchádzajúcom stave GMP byť užitočnou dodatočnou informáciou, ktorá pomôže spresniť predpovede indecov Kp.

Informácia o predchádzajúcom stave GMP môže byť užitočná aj v prípade, že je znížená kvalita meraných údajov o slnečnom vetre. Musíme totiž pripustiť aj alternatívne vysvetlenie, prečo je v druhej časti novembrovej (r. 2004) búrky predpoveď indexov Kp taká nepresná: Wintoft a kol. (2005) ukázali, že družica ACE sa v priebehu 9. novembra 2004 vzdialila zo svojej pozície v libračnom bode L1 a v tomto období podľa nich údaje z družice nereprezentovali presne slnečný vietor v okolí Zeme.

## 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.
- Gurney, K. (1996): An Introduction to Neural Networks, UCL Press, Londýn.
- Kundu, S. (1996): Artificial Neural Network Training Program ANN.EXE v. 1.10, Kalkata.
- Mayaud, P. N. (1980): Derivation, Meaning, and Use of Geomagnetic Indices, ch. 5, AGU.
- Ochaba, Š. (1986): Geofyzika, SPN Bratislava.
- Valach, F., Prigancová, A. (2006): Neural network model for Kp prediction based on one-hour averages of solar wind data, Contributions to Geophysics and Geodesy, Special Issue, 36, 61-71.
- Wintoft, P., Wik, M., Lundstedt, H., Eliasson, L. (2005): Predictions of local ground geomagnetic field fluctuations during the 7-10 November 2004 events studied with solar wind driven models, Annales Geophysicae, 23, 3095-3101.