

# Geomagnetické efekty úplného zatmenia Slnka 11. augusta 1999

Milan Hvoždara, Alina Prigancová, Geofyzikálny ústav SAV, geofhvoz@savba.sk

## Abstrakt

Identifikácia geomagnetického efektu slnečného zatmenia je predmetom dlhšieho výskumu. V príspevku sa predkladajú výsledky analýzy zložiek geomagnetického poľa počas úplného zatmenia Slnka 11. augusta 1999, zaregistrovaných na observatóriách v pásme totality i jeho blízkosti. Zároveň sa diskutuje otázka metodiky separovania zatmením generovaného efektu z digitálnych magnetogramov.

## 1. ÚVOD

Jeden z najznámejších slnečných úkazov – úplné zatmenie – priťahuje pozornosť nielen astronómov, ale aj geofyzikov. Súvisí to s efektmi, indukovanými zatmením v okolozemskom priestore. Ide tak o plazmový (ionosféra), ako aj magnetický obal (GMP – geomagnetické pole) našej planéty. Existujú viaceré štúdie, zdôrazňujúce zmenu ionizačných procesov v ionosfére pri zatmení, ktoré navodzuje krátkotrvajúce nočné podmienky poklesu koncentrácie ionizovaných častíc. V dôsledku následnej zmeny vodivosti ionosféry sa modifikuje ionosférický prúdový systém, čo sa prejavuje poruchami GMP.

## 2. MODELOVANIE PORUCHY GMP

Pre kvantitatívny odhad zatmením indukovanej poruchy GMP sa využívajú rôzne prístupy opierajúce sa nielen o priamu analýzu experimentálnych údajov (napr. Heilig et al., 2001), ale aj o teoretické modelovanie (napr. Takeda a Araki, 1984; Korte et al., 2001).

Predkladané výsledky teoretického modelovania sa získali na základe modelu navrhnutého Ashourom a Chapmanom (Ashour a Chapman, 1965) pre vznik magnetickej poruchy v dôsledku zmeny izotropnej vodivosti ionosféry. Pre tento model sa aplikovali teoretické vzťahy špecifikujúce vplyv lokálnych neregularít ionosférickej vodivosti na prúdový systém v ionosfére. Pri zvolenom postupe a využití vzťahov uvedených v (Abramov a Alperovich, 1970) sa podarilo zovšeobecniť Ashourov-Chapmanov model i pre anizotropnú ionosféru. Matematický aparát sférických funkcií uplatnený pre izotropnú ionosféru

(Prigancová a Hvoždara, 2001) je aplikovateľný aj pre anizotropnú ionosféru.

Pri úplnom zatmení sa v ionosfére vytvára lokálna nehomogenita kruhovej konfigurácie, kde celková koncentrácia elektrónov (TEC – total electron concentration) sa znižuje o ~20–65 % (Takeda a Araki, 1984; Campbell, 1989; Jakowski et al., 1999; Korte et al., 2001). Podobne sa znižuje vodivosť lokálnej kruhovej škvry, ktorá putuje pozdĺž pásma totality. Kvantitatívne sa zmena vodivosti popisuje parametrom  $\kappa$ .

Poruchový potenciál  $\Omega(r, \varphi, z)$  v prípade izotropnej ionosféry je (Ashour a Chapman, 1965):

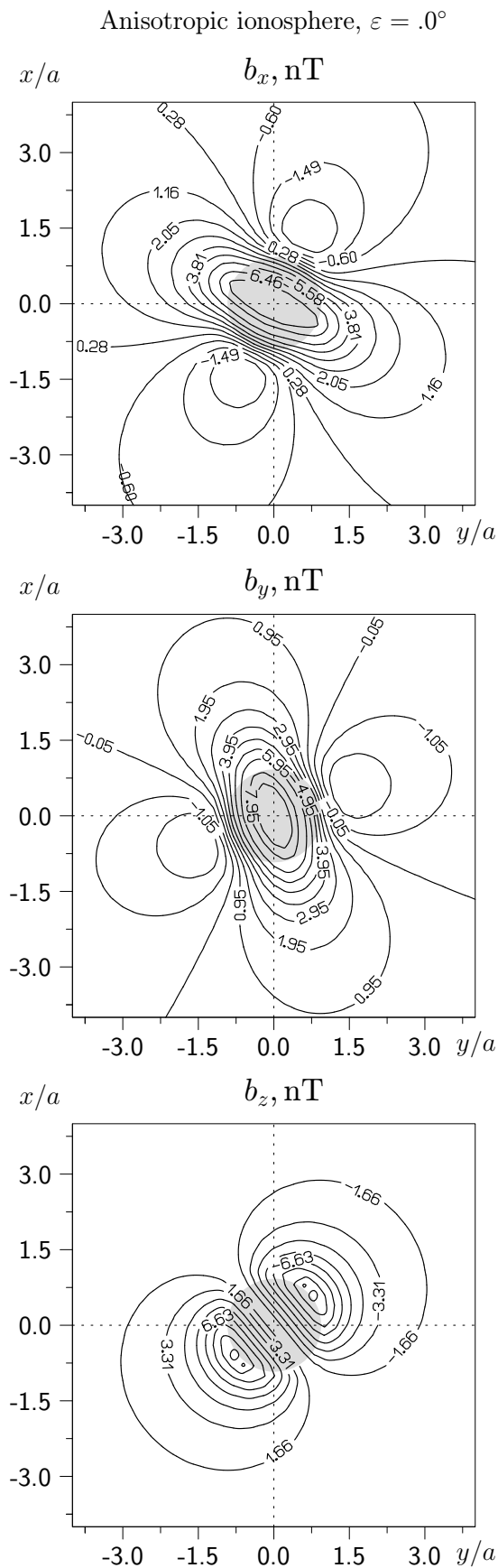
$$\Omega(r, \varphi, z) = -Ia W(r, z) \sin \varphi, \quad (1)$$

kde  $a$  je polomer škvry a  $I = KI_0$  je prúdová hustota závislá od prúdovej hustoty pred zatmením  $I_0$ ; multiplikátor  $K = (1 - \kappa)/(1 + \kappa)$ .

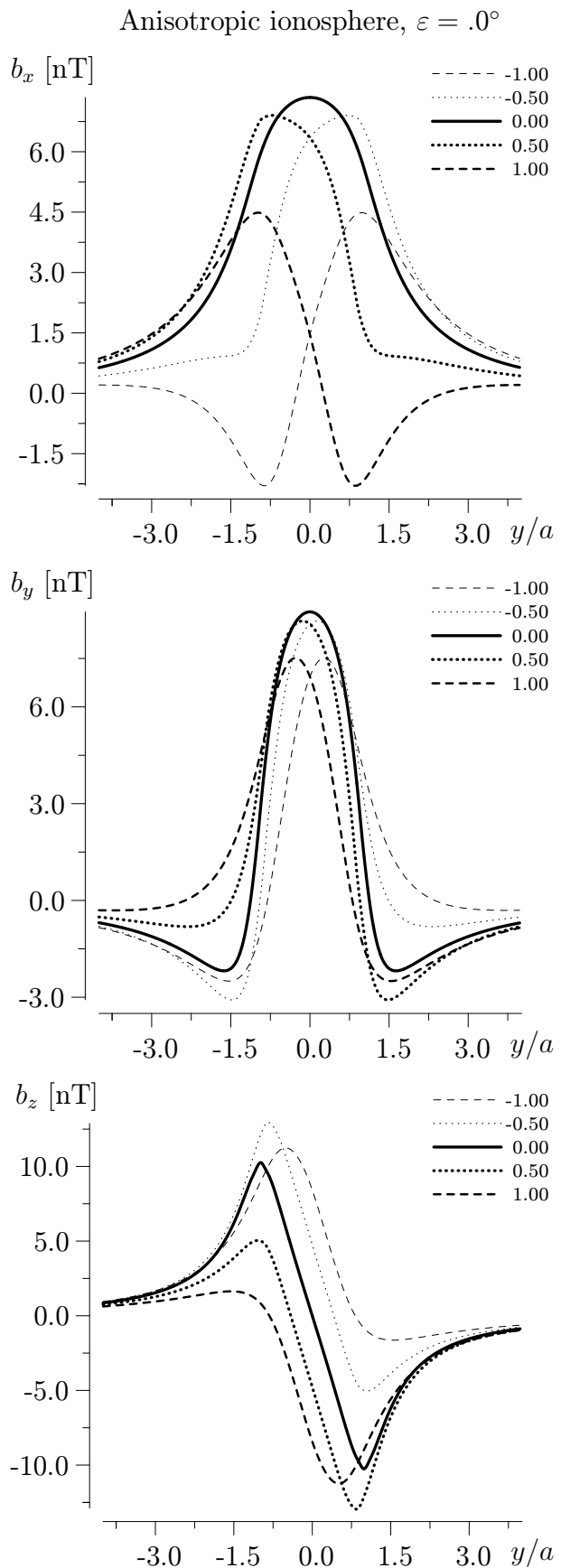
V anizotropnej ionosfére zložky vodivosti sú tzv. Hallova  $G$  a Pedersenova  $\Sigma$ . Ak ich uvažujeme vnútri kruhovej škvry (index 1) a mimo nej (index 0), potom  $G_1 = \kappa G_0$  a  $\Sigma_1 = \kappa \Sigma_0$ , kde  $\kappa$  charakterizuje pokles elektrickej vodivosti škvry voči okoliu, pričom  $0.2 < \kappa < 1.0$ .

Poruchový potenciál  $\Omega'(r, \varphi, z)$  v prípade anizotropnej ionosféry závisí od  $G_{0,1}$ ,  $\Sigma_{0,1}$  a ich vzájomného pomeru:

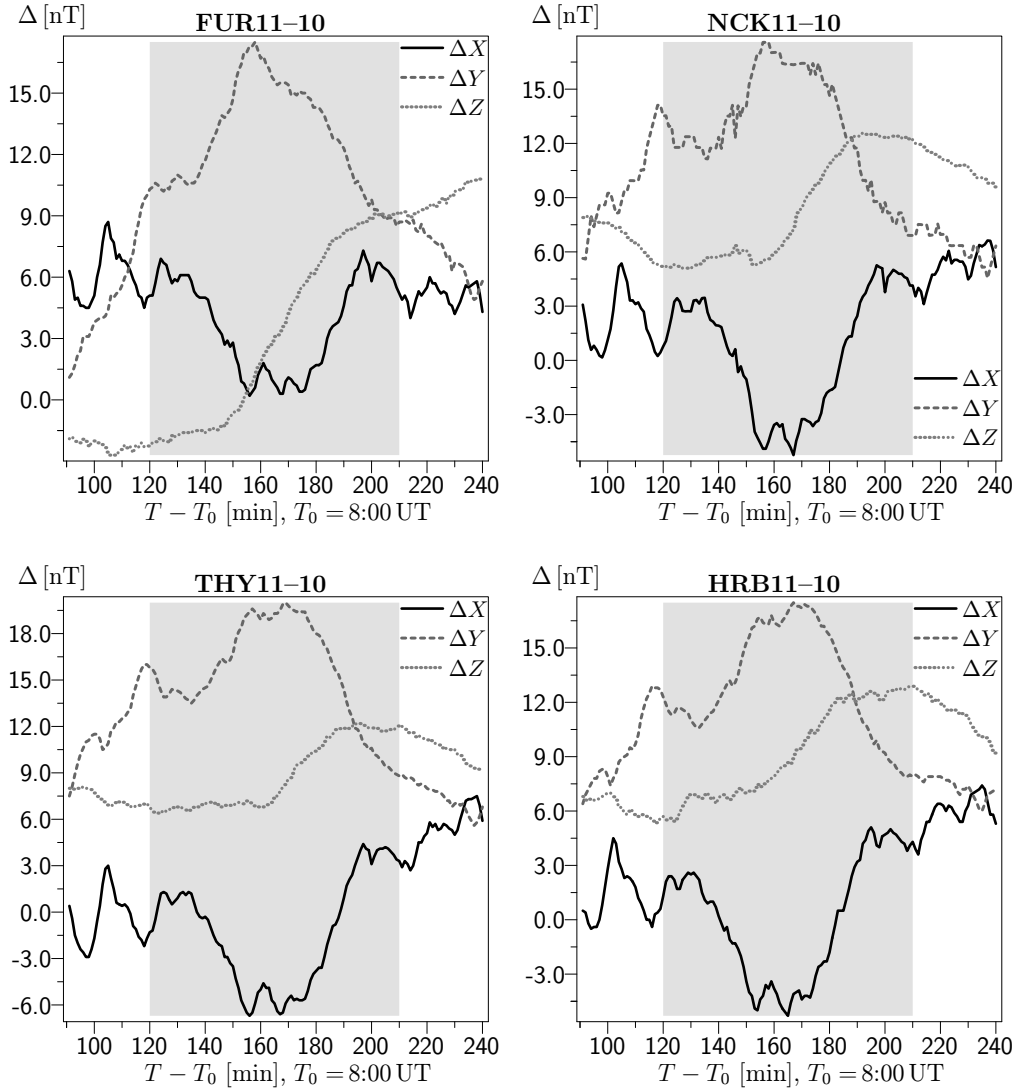
$$\begin{aligned} \rho_{0,1} &= \Sigma_{0,1} / (\Sigma_{0,1}^2 + G_{0,1}^2), \\ \delta_{0,1} &= G_{0,1} / (\Sigma_{0,1}^2 + G_{0,1}^2), \\ \Delta &= (\rho_0 + \rho_1)^2 + (\delta_0 - \delta_1)^2, \\ A' &= -1 + 2\rho_0(\rho_0 + \rho_1)/\Delta, \\ B' &= 2\rho_0(\delta_0 + \delta_1)/\Delta. \end{aligned}$$



Obr. 1. Mapa priestorového rozloženia magnetického poľa poruchy vyvolanej škrvnovou vodivostnou nehomogenitou v anizotropnej ionosfére počas slnečného zatmenia.



Obr. 2. Teoretické krivky zložiek magnetického poľa porúch  $b_x$ ,  $b_y$ ,  $b_z$  ako funkcie  $y/a$  pre vybrané  $x/a = (0, \pm 0.5, \pm 1.0)$ .



Obr. 3. Zatmením indukované poruchy eliminované z pozorovaní GMP pre geomagnetické observatóriá Fürstfeldbruck, Nagycenk, Tihany a Hurbanovo. Z časového úseku 09:30 – 12:00 UT 11 augusta 1999 zatienená časť 10:00 – 11:30 UT zodpovedá výraznej poruche najmä v zložke  $\Delta Y$ , ktorá preukazuje persistentný charakter priebehu pre všetky observatóriá.

Vzťah pre  $\Omega'(r, \varphi, z)$  je potom zložitejší:

$$\Omega'(r, \varphi, z) = I_0 a [A' \sin \varphi + B' \cos \varphi] W(r, z). \quad (2)$$

Zároveň výrazy (1) a (2) obsahujú spoločnú funkciu magnetického potenciálu  $W(r, z)$ . Závislosť  $W/r$ ,  $\partial W/\partial r$ , a  $\partial W/\partial z$  od bezrozmernej vzdialenosti  $r/a$  je pre rôzne hodnoty  $z/a$  diskutovaná v (Prigancová a Hvoždara, 2001).

Teoretické vyjadrenie pre geomagnetickú poruchu  $\mathbf{b} = \hat{\mu}_0 \mathbf{H}$  predkladáme v pravouhlých súradniciach – os  $x$  orientovaná na sever,  $y$  na východ,  $z$  kolmo dolu:

$$\begin{aligned} b_x &= \hat{\mu}_0 (H_r \cos \alpha - H_\varphi \sin \alpha), \\ b_y &= \hat{\mu}_0 (H_r \sin \alpha + H_\varphi \cos \alpha), \\ b_z &= \hat{\mu}_0 H_z, \end{aligned} \quad (3)$$

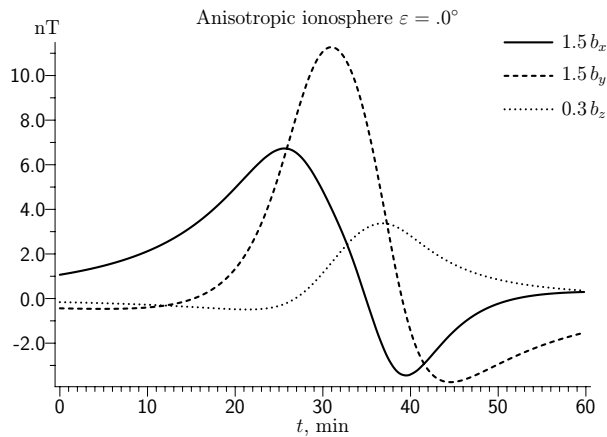
kde  $\hat{\mu}_0 = 400\pi$  pre vyjadrenie  $\mathbf{b}$  [nT]. V (3) uhol  $\alpha$  je azimut odčítaný od severu. Cylindrické súradnice porušeného magnetického poľa  $H_r$ ,  $H_\varphi$ ,  $H_z$  sa vypočítajú zo všeobecného vzťahu  $\mathbf{H} = -\text{grad} \Omega$  pomocou vzorcov:

$$\begin{aligned} H_r &= I a (\partial W / \partial r) \sin \varphi, \\ H_\varphi &= I a (W / r) \cos \varphi, \\ H_z &= I a (\partial W / \partial z) \sin \varphi \end{aligned} \quad (4)$$

pre izotropnú ionosféru a

$$\begin{aligned} H_r &= -\partial \Omega' / \partial r, \quad H_\varphi = -r^{-1} \partial \Omega' / \partial \varphi, \\ H_z &= -\partial \Omega' / \partial z \end{aligned} \quad (5)$$

pre anizotropnú ionosféru. Na obr. 1 vidíme mapy priestorového rozloženia zložiek vektora  $\mathbf{b}$  pre prípad



Obr. 4. Časový priebeh zatmením indukovanej poruchy upravenej na indukčný efekt.

$\varepsilon = 0^\circ$ , t.j. keď pôvodné elektrické pole je v smere na sever (Prigancová, Hvoždara, 2001). Vidno výraznú priestorovú závislosť na  $x/a$ ,  $y/a$ . Priebeh zložiek  $b_x$ ,  $b_y$ ,  $b_z$  ako funkcií bezrozmernej vzdialenosti  $y/a$  pozdĺž pásu totality pre jednotlivé „rezy“  $x/a = (0, \pm 0.5, \pm 1.0)$  je znázornený na obr. 2.

### 3. POROVNANIE TEORETICKÝCH VÝSLEDKOV S GEOMAGNETICKÝMI POZOROVANIAMÍ

Výsledky monitoringu GMP poukazujú, že zatmením vyvolaná porucha sa najzreteľnejšie prejavuje v zložke  $Y$ . Potvrdzujú to výsledky analýzy zložiek GMP počas úplného zatmenia Slnka 11. augusta 1999. Údaje s 1-minútovým časovým rozlíšením sa čerpali z geomagnetických observatórií strednej Európy, kde pásma totality prechádzalo od západu na východ. Na obr. 3 je vidieť priebeh porúch v jednotlivých zložkách  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  a  $\Delta Z$  pre nasledovné observatóriá: Fürstenfeldbruck (FUR:  $\varphi = 48.17^\circ$ ,  $\lambda = 11.28^\circ$ ), Nagycenk (NCK:  $\varphi = 47.63^\circ$ ,  $\lambda = 16.72^\circ$ ), Tihany (THY:  $\varphi = 46.90^\circ$ ,  $\lambda = 17.90^\circ$ ) a Hurbanova (HRB:  $\varphi = 47.87^\circ$ ,  $\lambda = 18.18^\circ$ ), ktoré bolo blízke k pásu totality (98%-né zatmenie). Zložky porúch  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  a  $\Delta Z$  boli vypočítané eliminovaním „normálnej“  $S_q$  variácie, ktorá sa uvažovala ako totožná s predchádzajúcim dňom, keďže geomagnetická aktivita dňa 10. augusta 1999 bola mimoriadne nízka. Referenčný čas  $T_0$  sa odpočítaval od 08:00 UT, ale na obr. 3 vidíme len úsek  $T - T_0$  od 90 do 240 min so zatienenou časťou s najvýraznejším priebehom v blízkosti kulminácie zatmenia  $T - T_0 = 170$  min (pre Fürstenfeldbruck je  $T - T_0 = 158$  min). Charakter poruchy je najzreteľnejší pre  $\Delta Y$ . Je opodstatnené považovať zistenú zmenu GMP počas zatmenia pri pokojných geomagnetických podmien-

kach za efekt spôsobený zatmením. Jeho priebeh je v dobrom súlade s teoretickými krivkami, ako je vidieť na obr. 4, kde zložky vypočítanej indukovanej poruchy sú upravené na tzv. indukčný efekt. Z teórie elektromagnetickej (EM) poľa je známe, že pri EM indukcii v Zemi indukované (sekundárne) pole modifikuje primárne pole (v danom prípade magnetické pole porúch  $b$ ) a teda výsledné zložky sa vyjadrujú nasledovne:  $1.5 b_x$ ,  $1.5 b_y$ ,  $0.3 b_z$ . Hodnoty  $b_x$ ,  $b_y$  a  $b_z$  sú vypočítané pre profil  $x/a = -1$  a  $y/a = 4.4 - 0.1333 t$ , ak berieme do úvahy rýchlosť postupu zatmenia rovnú 40 km/min a polomer škrvny  $a = 300$  km. Na obr. 4 je znázornený priebeh týchto zložiek počas pohybu optického tieňa a škrvny vodivostnej nehomogenity v ionosfére pozdĺž pásma totality: príchod od západu k danému miestu pozorovania a potom vzdialovanie sa na východ. Najvýraznejšie sa porucha prejavuje v  $b_y$  zložke, čo sa aj pozoruje v zmenách GMP počas zatmenia.

### 4. ZÁVER

Na základe modelu magnetického poľa tenkej prúdovej vrstvy pre anizotropnú ionosféru boli získané teoretické vzťahy na výpočet magnetického poľa porúch spôsobených slnečným zatmením. Porovnanie teoreticky získaných hodnôt s pozorovaniami porúch GMP počas zatmenia 11. augusta 1999 ukázalo, že poruchy sú registrovateľné a najvýraznejšie sa prejavujú v zložke  $Y$ .

#### PodĎakovanie

Príspevok bol pripravený v rámci grantov VEGA 2/1118 a 2/2009.

### LITERATÚRA

- Abramov, L.A. a L.S. Alperovich: 1970, Cosmic Researches, **8**, 80 (in Russian).
- Ashour, A. a S. Chapman: 1965, Geophys. J. R.A.S., **10**, 31.
- Campbell, W.H.: 1989, Geomagnetism **3**, edited by J.A. Jacobs, 385, Academic Press, London.
- Heilig, B., A. Csontos a P. Kovács: 2001, Contrib. Geophys. Geod., **31**, 323.
- Jakowski, N., S. Schülter a S. Heise: 1999, EOS Trans. AGU, **80**, 621.
- Korte, M., H. Lühr, M. Förster a V. Haak: 2001, J. Geophys. Res., **106**, 18563.
- Prigancová, A. a M. Hvoždara: 2001, in: Človek ve svém pozemském a kosmickém prostředí. Hvězdárna Úpice, Úpice, 67.
- Takeda, M. a T. Araki: 1984, Planet. Space Sci., **32**, 1013.