

# Role magnetického pole při strukturování bílé koróny (interpretace pozorování zatmění z Angoly 2001)

Marcel Bělík, Hvězdárna v Úpici, belik @obsupice.cz  
Pavel Ambrož, AÚ AV ČR Ondřejov, pambroz @asu.cas.cz  
Eva Marková, Hvězdárna v Úpici, markova @obsupice.cz  
Miloslav Druckmüller, VUT Brno, druckmuller @um.fme.vutbr.cz

## Abstrakt

Zpracování snímků bílé koróny z úplného zatmění v r. 2001 metodou matematické vizualizace umožňuje zjištění vzdálenosti zdrojové plochy nutné pro výpočet modelů koronálního magnetického pole. Tímto způsobem v modelech zjištěné struktury jsou porovnány s reálnými útvary napozorovanými ve sluneční koróně při úplném zatmění. Jednotlivé shody či neshody modelů a reality jsou diskutovány za účelem zpřesnění vstupních podmínek pro výpočet modelů.

## Pozorovací data

Úplné zatmění Slunce v roce 21. června 2001 pozorovala skupina z Úpické hvězdárny v Angole. Souřadnice pozorovacího místa jsou: 11°07'29" jižní šířky a 13°55'51" východní délky. Nadmořská výška byla 186 m n m. (Data byla určena GPS Magellan 10). Pozorovací stanoviště se nacházelo cca 6 km jižně od centrální linie (Rybanský, 2004). Úplná fáze začala ve 12:36:34UT a skončila ve 12:41:10 UT. Zatmění trvalo 4 m and 36 s. Maximální fáze nastala v 12:38:54 UT (Marková et al., 2002).

Zatmění nastalo během Carringtonovy otočky č. 1977. Heliografické souřadnice středu slunečního disku (°):

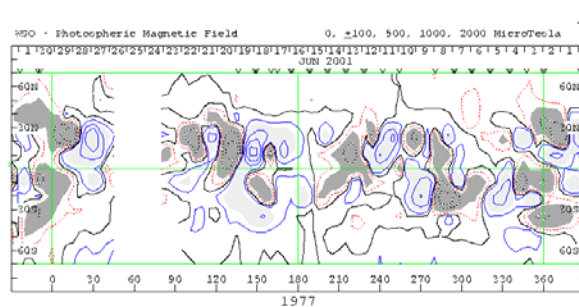
	2. kontakt	Max. fáze	3. kontakt
Bo	1,8	1,8	1,8
Lo	113,92	113,90	113,88
P	-6,94	-6,94	-6,94

Úhlový průměr Slunce byl 31'31,5", průměr Měsíce byl 33'6".

## Určení zdrojové plochy

V současné době je prakticky nemožné z přímého pozorování Slunce určit magnetické struktury ve sluneční koróně. Svou roli zde hraje zejména problém převodu reálného trojrozměrného objektu sluneční koróny do pozorovací roviny. Navíc se slabé příspěvky měřené polarizace světla, které charakterizují

magnetické pole koróny, sčítají podél pozorovacího paprsku a znemožňují tak vlastní měření. Magnetické struktury v koróně se tedy získávají výpočtem (Ambrož, 1999). Jako základ se používají měření magnetického pole ve fotosféře, která jsou v současné době v dispozici v dostatečné přesnosti a homogenitě (např. Wilcox Solar Observatory, <http://quake.stanford.edu/~wso/wso.html>).

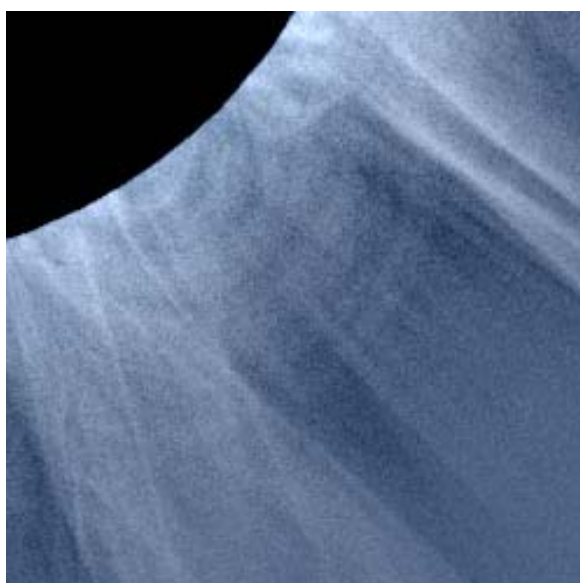


Obr. č.1. Fotosferické magnetické pole (The Wilcox Solar Observatory)

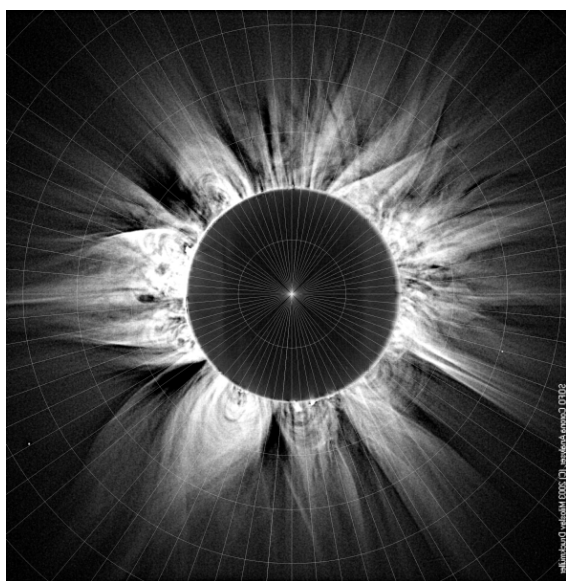
Toto fotosferické mg. pole je při výpočtu extrapolováno do prostoru. Pro vlastní výpočet je nutno použít druhou okrajovou podmínku, kterou je tzv. zdrojová plocha. Právě vzdálenost této plochy od fotosféry, tedy od zdroje magnetické situace) je prakticky jediným volným parametrem, kterým můžeme výpočet ovlivnit. Ve vzdálenosti zdrojové plochy vnucujeme magnetickým siločarám radiální směr, tedy směr siločar vytažených z mg. pole působením slunečního větru (Ambrož, XXX). Při určování poloměru zdrojové plochy hledáme empiricky vzdálenost od Slunce takovou, kde prakticky

vymizí tangenciální struktury a jejich radiální směr se stane dominantním.

Vzdálenost zdrojové plochy pro 21. června 2001, kdy nastalo popisované zatmění jsme určili ze snímků zpracovaných numerickými metodami za použití adaptivních filtrů (Belik et al., 2003). Snímky byly pořízeny objektivou ohniskové délky 105 – 1875 mm a zachycují sluneční korónu do vzdálenosti téměř  $7 R_{\odot}$ . Na takto zpracovaných snímcích jsou zachyceny velmi jemné detaily jak v radiálním, tak i tangenciálním směru, které umožňují velmi přesné určení odklonů paprsků od radiálního směru, nutné pro výpočet vzdálenosti zdrojové plochy (obr. 2). Tyto sklony byly po vkopírování radiální mřížky do originálního obrázku určeny pro všechny viditelné struktury (obr.3).

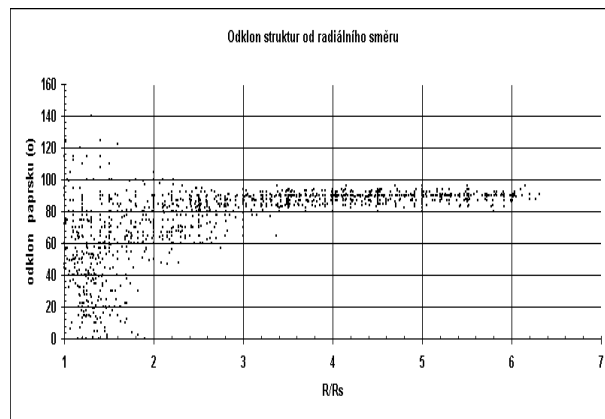


**Obr.č. 2. Jemné struktury umožňující určit odklony koronálních struktur od radiálního směru**



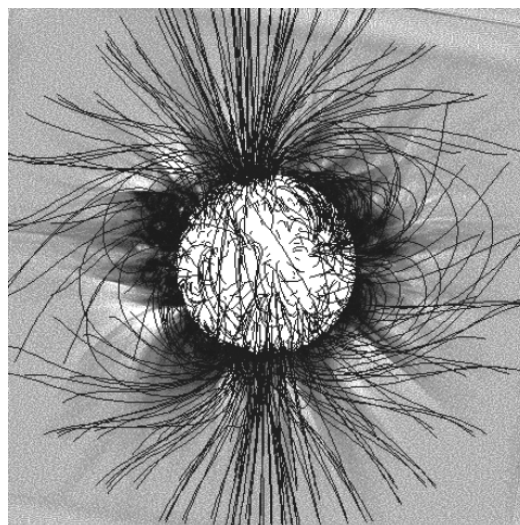
**Obr.č. 3. Obraz sluneční koróny 21. června 2001 s vkopírovanou mřížkou pro určení odklonu koronálních struktur od radiálního směru**

Obrázek 4 ukazuje závislost odklonu koronálních struktur od radiálního směru v závislosti na vzdálenosti od Slunce. Přibližně ve vzdálenosti 3 až  $3,2 R_{\odot}$  tangenciální směry prakticky mizí a body grafu se soustřeďují pouze okolo hodnoty  $90^{\circ}$ , tedy v radiálním směru. Na základě tohoto měření byla zvolena hodnota poloměru zdrojové plochy  $3,2 R_{\odot}$ .



**Obr. č. 4. Graf závislosti odklonu paprsků od radiálního směru v závislosti na vzdálenosti od Slunce**

Po určení této okrajové podmínky byly provedeny výpočty magnetických struktur v koróně pro okamžik zatmění. Startovací body výpočtu byly voleny jak na celém povrchu Slunce tak pouze ve vybraných oblastech pro zvýraznění jednotlivých oblastí. Byl zvolen krok  $5^{\circ}$  a  $10^{\circ}$ . Na obrázku 5 je znázorněna magnetická situace pro heliografické délky  $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$  a hustotu kroku výpočtu  $10^{\circ}$ . Na pozadí magnetické situace je obraz sluneční koróny. Již na první pohled je zřejmé, že pozorovaná struktura koróny a vypočítané magnetické struktury v některých oblastech vykazují velké odlišnosti. Tyto jsou způsobeny zejména projekcí prostorové sluneční koróny do pozorovací roviny.

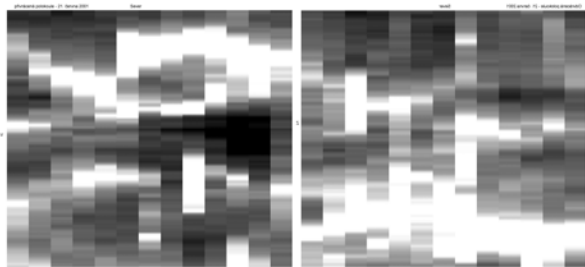


**Obr. č.5. Magnetická situace pro heliografické délky  $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$  a hustotu kroku výpočtu  $10^{\circ}$ . Na pozadí magnetické situace je obraz sluneční koróny**

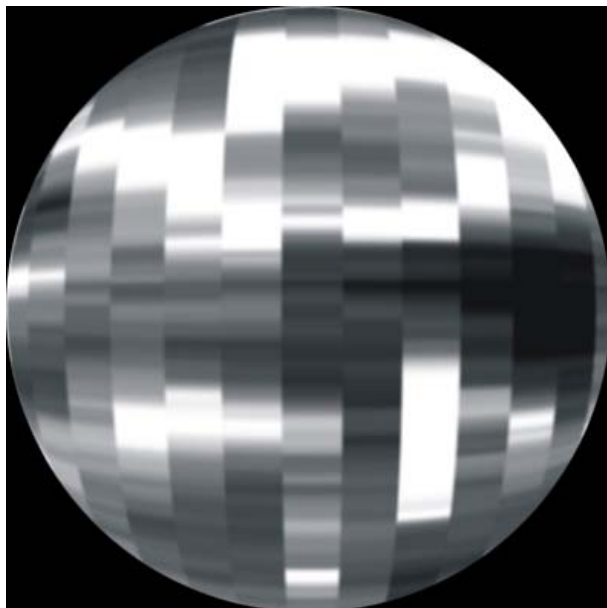
## Problém projekce do roviny pozorování

Zmiňovaná transformace třírozměrného obrazu na dvourozměrný způsobuje, že i struktury které jsou ukotveny ve velké vzdálenosti od limbu ke středu odvrácené i přivrácené strany Slunce se svými vzdálenými oblastmi promítají do struktur v pozorovací rovině a zkreslují reálný obraz koróny tak, že není prakticky možno jednoduše identifikovat jednotlivé útvary.

Pro pomoc v identifikaci a porovnání se strukturami magnetickými byla ze snímků z koronografu LASCO C2 družice SOHO (<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>) vytvořena synoptická mapa koróny pro vzdálenost  $R/R_0 = 3,2$ , což odpovídá zvolenému poloměru zdrojové plochy (obr. 6). Takto vytvořená mapa lépe odpovídá skutečné situaci, neboť většina (i když bohužel ne všechny) od Slunce více vzdálené struktury jsou odfiltrovány a již příliš nezkrslují reálný tvar koróny. Z mapy přivrácené polokoule byl vytvořen prostorový obraz koróny ( $3,2 R_0$ ), který názorně ukazuje zkreslení klasické synoptické mapy v oblasti slunečního limbu.



Obr. č. 6. Synoptická mapa koróny pro vzdálenost  $R/R_0 = 3,2$  (levá polovina představuje přivrácenou polokouli, pravá polokouli odvrácenou, sever je nahoře, západ uprostřed)



Obr. č. 7. Obraz sluneční koróny ( $R/R_0 = 3,2R_0$ , SOHO)

Obrázky 6 a 7 ukazují, že se do pozorovaného obrazu koróny projektují i struktury ukotvené daleko od limbu směrem ke středu odvrácené i přivrácené strany Slunce a velmi výrazně zkreslují pozorovaný tvar sluneční koróny. Tato situace vynikne ještě více při srovnání s obrazem magnetických koronálních struktur (obr. 5).

## Srovnání modelu s pozorováním

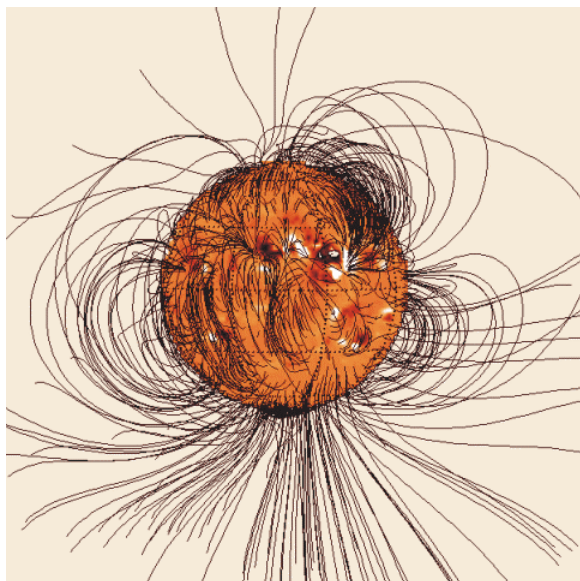
Reálné pozorování sluneční koróny z 21. června 2001, vypočtený model magnetických struktur v koróně a synoptická mapa ( $R/R_0 = 3,2$ ) umožňují srovnání a zejména identifikaci jednotlivých struktur ve sluneční atmosféře.

Obrázky 8 – 11 ukazují magnetické struktury vypočtené vždy se startovacími body ve fotosféře na odvrácené (obr. 8), přivrácené (obr. 9), východní (obr. 10) a západní (obr. 11) polokouli. Tento způsob výpočtu umožňuje zvýraznit jednotlivé útvary ve vybraných oblastech. Již na první pohled je patrná shoda a souvislost většiny pozorovaných útvarů.

Na severní polokouli je velmi dobře patrná rozsáhlá oblast otevřených struktur, které mají svůj původ na odvrácené straně Slunce (viz. obr. 6 a 8), Na snímcích pořizených v Angole (obr. 12) je tato oblast „vyplněna“ vrcholky radiálních paprsků ukotvených naopak v severozápadní části polokoule přivrácené. Podobná situace se vyskytuje v oblasti jižního slunečního pólu, zde však naopak otevřené struktury vznikající na polokouli k nám přivrácené jsou překryty paprsky vycházejícími z jižních oblastí odvrácené polokoule (obr. 6 a 9).

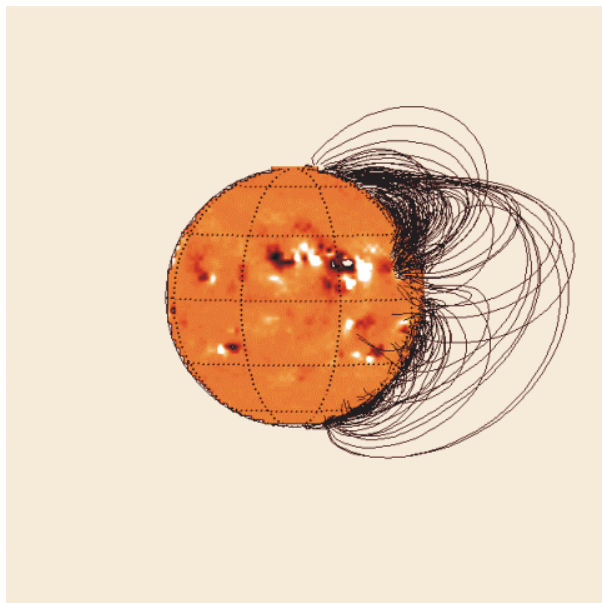


Obr. č. 8 Vypočtené magnetické koronální struktury (startovací body pouze na odvrácené polokouli, krok  $10^\circ$ )



**Obr. č. 9. Vypočtené magnetické koronální struktury (startovací body pouze na přivrácené polokouli, krok 10°)**

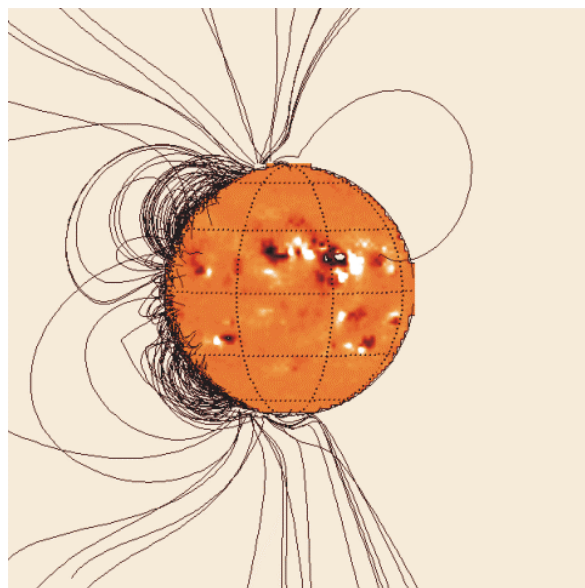
Podobně můžeme díky magnetickým strukturám vypočteným pro startovací body na západní sluneční polokouli říci, že prakticky žádná struktura pozorovaná nad západním limbem při tomto slunečním zatmění není na limbu zakotvena, ale vycházejí z oblastí v severozápadní části přivrácené polokoule (obr. 6, 9 a 12).



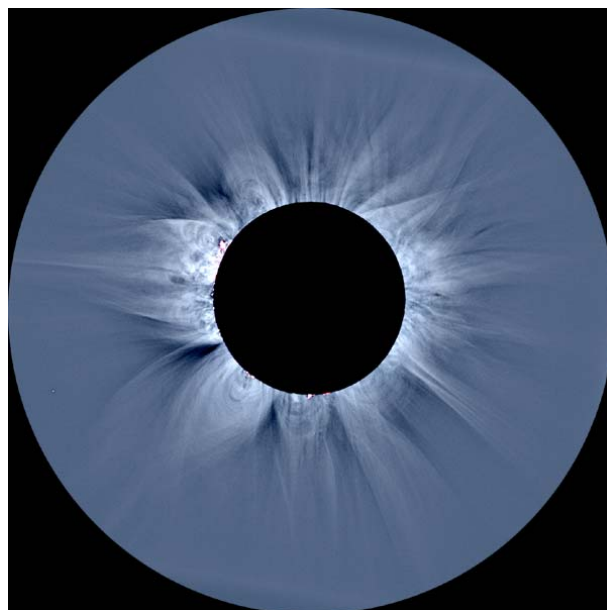
**Obr. č. 10. Vypočtené magnetické koronální struktury (startovací body pouze na západní polokouli, krok 10°)**

Velmi zajímavou se jeví zejména situace na východním okraji, kde se nachází velmi výrazný přilbicový útvar, který je dokonce jedním z nejvýraznějších útvarů v koróně pozorovatelný během úplného zatmění. V magnetické situaci (obr. 11) nenalzáme prakticky žádné struktury, které by existenci tak výrazného

paprsku podporovaly. Ani na synoptické mapě (obr. 6) není tato struktura velmi výrazná (i když je i zde patrná). Snímky pořízené dalekohledem EIT na družici SOHO (<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>) ukazují celou oblast jako poměrně aktivní, s několika protuberancemi, z nichž minimálně jedna prodělala mezi 10 – 13 hod UT velmi dynamický vývoj (<http://bass2000.obspm.fr>, data provided courtesy by BASS2000). Domníváme se, že právě tyto dynamické děje způsobily velkou výraznost tohoto útvaru. V magnetické situaci vypočtené na základě fotosferického magnetického pole se tento útvar projevuje pouze nevýrazně.



**Obr. č. 11. Vypočtené magnetické koronální struktury (startovací body pouze na východní polokouli, krok 10°)**



**Obr. č. 12. Snímek sluneční koróny (21. červen 2001, Angola, Hvězdárna v Úpici)**

## Závěr

Na základě srovnání tří způsobů identifikace útvarů ve sluneční koróně jsme učinili několik významných závěrů.

Podařilo se nám určit poloměr zdrojové plochy pro zatmění 21. června 2001 na  $R/R_0 = 3,2$ . Ukazuje se, že není možno všeobecně akceptovat často užívanou hodnotu tohoto parametru rovnou 2,5. Po zpracování snímků ostatních pozorovaných zatmění novými numerickými metodami, které umožňují zvýraznění jemných struktur ve všech směrech bude určení zdrojové plochy provedeno i pro ně, s cílem zjistit stabilitu či variabilitu tohoto parametru.

Numerický magnetický model koronálního magnetického spolu se synoptickými mapami koróny vytvořené pro velké  $R/R_0$  z družicových pozorování ukazují, že je nutno velmi opatrně přistupovat k interpretaci pozorování jak úplných zatmění Slunce tak pozorování z pozemských i družicových koronografů (Bělík et al., 2004). Naopak ale může zatměňové/koronografické pozorování koróny přinést nový pohled i na numerické modely magnetického pole. Ukazuje se, že žádné takové pozorování nemůže být použito samostatně a že teprve kombinace družicových a pozemských pozorování Slunce a slunečních zatmění a numerické výpočty koronálního magnetického pole jsou schopny poskytnout ucelený a zejména reálný obraz sluneční atmosféry.

## Poděkování

Tato práce byla částečně podporována Grantovou Agenturou ČR, grant 205/01/0420.

## Literatura

- Ambrož, P.: 1999, Manetická struktura a tvar sluneční koróny během úplného zatmění 26. února 1998; 14. Celostátní sluneční seminář, Stará Lesná, Slovenská ústředná hvězdáreň Hurbanovo, 162
- Belik, M., Druckmuller, M., Markova, E., Krivsky, L.: 2003, Faint coronal structures and the possibilities of visualization; in Proc. International Solar Cycle Studies (ISCS) Symposium 2003 „Solar Variability as an Input to the Earth's Environment“, Tatranská Lomnica, Slovak Republic, June 23 – 28, 2003, ESA SP-535, A Wilson (ed.), September 2003, p. 741  
<http://bass2000.obspm.fr>  
<http://quake.stanford.edu/~wso/wso.html>  
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>
- Marková, E., Krivský, L., Bělík, M. a Druckmuller, M.: 2002, Struktura bílé koróny při úplném zatmění Slunce 21.6.2001; 16. Celostátní sluneční seminář, Turčianské Teplice, 3. – 7. června 2002, Slovenská ústředná hvězdáreň Hurbanovo, 163
- Rybanský, M.: soukromá informace, 2004