

# Dynamika polárních paprsků během úplných zatmění Slunce

M. Bělík, Hvězdárna v Úpici, belik @obsupice.cz

E. Marková, Hvězdárna v Úpici, markova @obsupice.cz

M. Druckmüller, VUT Brno, druckmuller @fme.vutbr.cz

H. Druckmüllerová, VUT Brno, hanadruck @senznam.cz

V. Rušin, AÚ SAV, Tatranská Lomnica, vrusin @ta3.sk

## Abstrakt

Úplná zatmění Slunce pozorovaná podél pásu totality nám umožňují získat snímky koróny s dlouhými časovými odstupy. Novými matematickými metodami zpracování obrazu koróny získané jemné struktury dovolují velmi detailně porovnávat jednotlivé časově vzdálené snímky a detekovat změny ve struktuře koronální plazmy.

V práci je hlavní pozornost zaměřena na dynamiku polárního paprsku, pozorovaného v pozičním úhlu  $9^\circ$  během zatmění Slunce v roce 2006. Práce se zabývá i možnými zdroji této dynamiky.

## 1. ÚVOD

Polární koronální paprsky jsou útvary velmi dobře pozorovatelné během úplných zatmění Slunce, a to zejména v době slunečního minima. Jejich pozorování se stala již na počátku minulého století důkazem existence globálního slunečního magnetického pole. Z pozorování úplných zatmění Slunce se ukazuje, že polární paprsky jsou tenké otevřené magnetické struktury, vyskytující se v oblastech polárních koronálních děr. Jejich teplota je odhadována na  $1,65 \times 10^6$  K, hustota je přibližně 2-4x vyšší než hustota okolí (Saito, 1965).

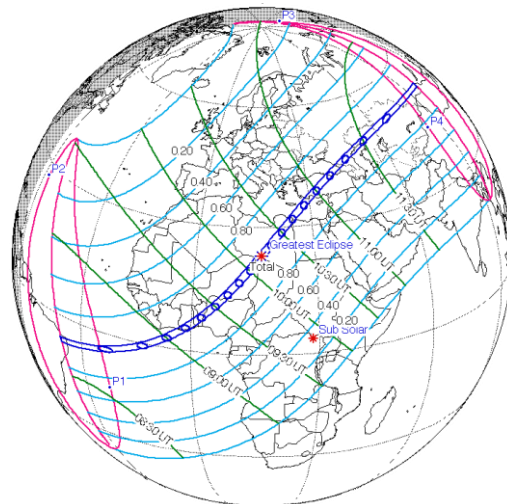
S nástupem pozorování sluneční koróny z kosmických sond je možno pozorovat tyto útvary nejen v době mimo úplné sluneční zatmění, ale i v dalších spektrálních oborech. Tato pozorování (např. Fisher a Guhathakurta, 1995; Ahmad a Withbroe, 1977; De Forest et al. 1997) tyto zatměňové výsledky podpořila.

V této práci se budeme zabývat dynamikou polárního paprsku, pozorovaného v pozičním úhlu  $9^\circ$  během úplného zatmění Slunce 29. března 2006 a možnými zdroji této dynamiky.

## 2. POZOROVÁNÍ A ANALÝZA DAT

Úplné zatmění Slunce 29. března 2006 bylo pozorovatelné na linii vedoucí z rovníkové oblasti Atlantického oceánu přes rovníkovou Afriku, Saharu a středomořské pobřeží Afriky do Turecka a Ruska (obr.1.). Jasně počasí po téměř celém pásu totality a úspěšná koordinace zpracování napozorovaného

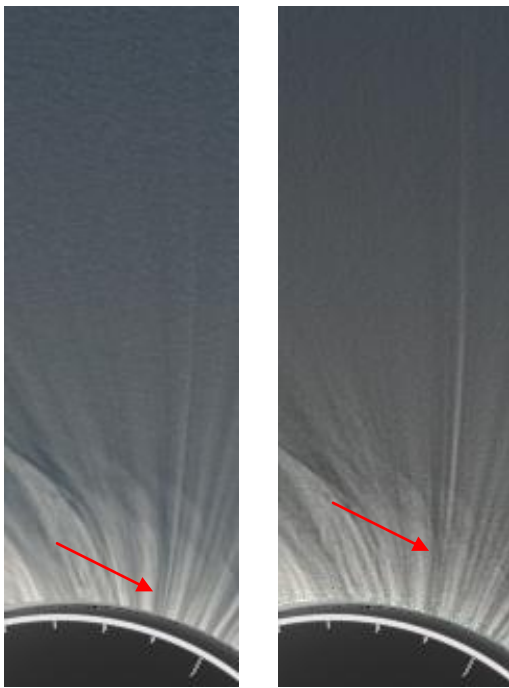
materiálu umožnila sledovat vývoj sluneční koróny podél velké části pásu totality. Námi zpracovaná pozorování zahrnují pozorování od Nigeru po východní Turecko. To představuje časový interval 69 minut (od 09:55 UT do 11:04 UT).



Obr.č.1. Pás pozorovatelnosti úplného zatmění Slunce 2006 (Eclipse Predictions by Fred Espenak, NASA's GSFC)

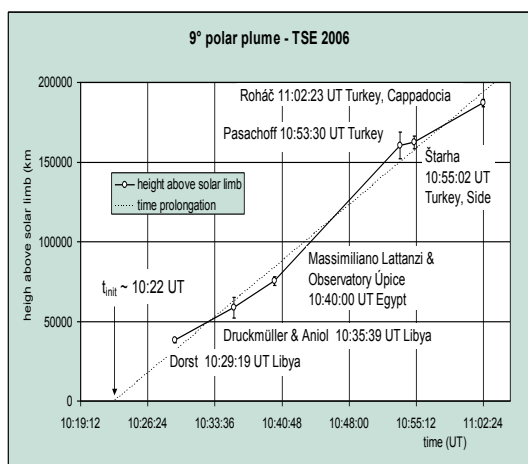
Během této doby vykazuje jemná struktura sluneční koróny rozsáhlých změn. Z nich nejvýraznější je patrně dynamika polárního paprsku pozorovaného v pozičním úhlu  $9^\circ$ , který vykazuje výrazný radiální charakter a to směrem od Slunce. Námi zpracovaná pozorování tohoto paprsku z Turecka (Druckmüllerová, Štarha), Libye (Druckmüller, Aniol a Dorst) a Nigeru (Rušin a

Zimmermann), publikovaná v Pasachoff et al. (2008) jsme doplnili o pozorování z Egypta (Lattanzi a Hvězdárna v Úpici). Pro každé pozorovací místo a tedy odpovídající čas byla měřena výška spodního okraje zjasnění v paprsku. Tao výška se s rostoucím časem zvětšovala (obr. 2.).



**Obr.č.2. Polární paprsek v pozičním úhlu 9°, pozorovaný v Libyi (vlevo) a v Turecku (vpravo). Šipka ukazuje spodní okraj maximálního zjasnění v paprsku.**

Přehled všech měření je uveden na obr. 3.



**Obr.č.3. Vzdálenost spodního okraje zjasnění v měřeném polárním paprsku od Libye po Turecko**

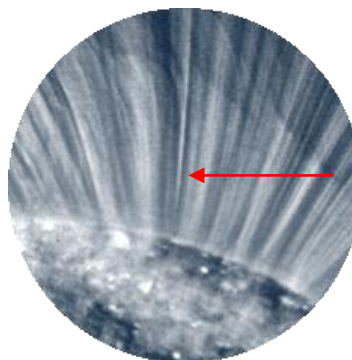
Z grafu uvedeného na obr. 3. vyplývá, že rychlost pohybu spodního okraje zjasnění směrem od Slunce je prakticky konstantní. Její velikost byla spočtena na 60 – 70 km s<sup>-1</sup>. Tato hodnota souhlasí s daty získanými pozorováním EUV teleskopu (EIT) na družici SOHO

(např. DeForest a Gurman, 1998), z pozorování ze spektrometru SUMER (např. Gabriel et al., 2003), spektrometru CDS (Banerje et al., 2001) i koronografu LASCO (Wood et al., 1999) na téže družici.

Po extrapolaci jsme za předpokladu stále konstantní rychlosti určili předpokládaný okamžik začátku dynamiky v polárním paprsku  $t_{init} \sim 10:22$  UT.

Vzhledem k zjištěné dynamice jsme věnovali pozornost jejímu možnému zdroji a původci paprsku vůbec.

Vzhledem k tomu, že teorie polárních paprsků (např. Wang, 1998) předpokládá, že tyto struktury jsou spojeny s rekonexí malých lokálních magnetických polí, projevujících se zjasněními (bright point) v koronálních dírách, pozorovatelnými v EUV oborech, pokusili jsme se toto spojení nalézt na snímcích z EIT/SOHO. Jak ukazuje např. obr. 4., žádné takové spojení studovaného paprsku s případným zjasněním způsobeným tímto procesem jsme nenalezli.



**Obr.č.4. Obrázek bílé koróny v oblasti severního pólu z pozorování z Libye v oblasti studovaného polárního paprsku položený na snímku v čáře Fe 17.1 nm (EIT/SOHO). Paprsek je vyznačen šipkou.**

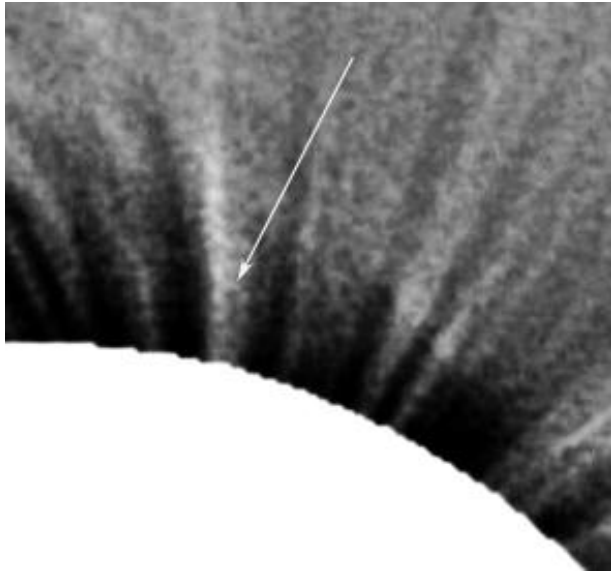
Existují minimálně čtyři důvody, proč jsme takovéto teorií předpokládané spojení jevů nenalezli:

1. Zjasnění v chromosféře („bright point“) již zaniklo. Toto vysvětlení je velmi nepravděpodobné vzhledem k faktu, že se zjasnění nepozoruje ani na snímcích předcházejícím době popisovaného jevu.
2. Zjasnění se vyskytuje za slunečním limbem, tedy pozorovaný paprsek je projekcí jevu ukotveného mimo naše pozorovací možnosti. Tuto možnost není možno nyní vyloučit.
3. Zjasnění je pod rozlišovací schopností současných přístrojů. Ani tuto možnost nemůžeme vyloučit.
4. Zdrojem pozorované dynamiky pozorovaného paprsku je jiný proces.

V této práci bychom se chtěli zabývat poslední popisovanou možností, tedy předpokladem, že zdrojem pozorované dynamiky pozorovaného paprsku je jiný proces, než předpokládá klasická teorie polárních paprsků.

K této úvaze nás vedou další pozorování úplného zatmění Slunce 2006.

V době  $t_{\text{init-27min}}$ , tedy v 9:55 UT byla v Nigeru pozorována výrazná struktura podobná makrospikuli typu II přímo v slabě viditelné trubici, později vyplněné pozorovaným polárním paprskem. Výška této radiální struktury nad slunečním limbem je přibližně  $80''$ , tedy přibližně 60 000 km (obr. 5).



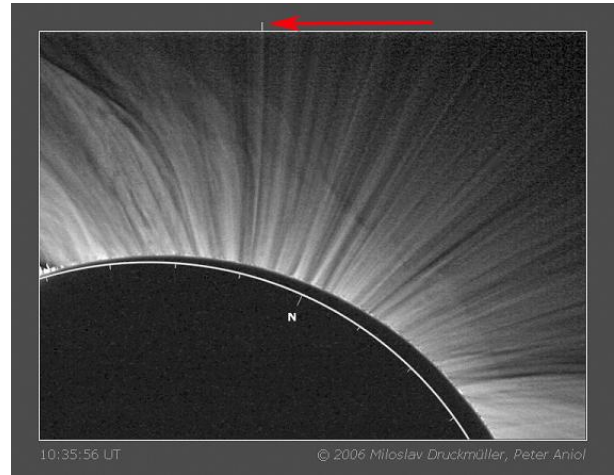
**Obr.č.5.** Výřez ze snímku pořízeného v  $t=10:55$  UT ( $t_{\text{INIT-22 min}}$ ) v Nigeru. Poloha spikuli podobné struktury je označena šipkou.

Přes převládající názor, že makrospikule a polární paprsky nemají žádnou souvislost (např. Wilhelm et al., 1998) některé jiné práce ukazují možné souvislosti mezi oběma jevy (např. Popescu et al., 2007; Veselovsky et al., 1998).

Nás k této úvaze vedou nejen rychlosti dynamických projevů, které byly změřeny v diskutovaném paprsku, ale i jeho další dynamické projevy, které jsme na snímcích detekovali, zejména pak jeho rotační, nebo pseudorotační či kývavý pohyb. Námi změřené rychlosti odpovídají rychlostem, zjištěným při ekekcí materiálu eruptivními makrospikulemi, jak byly popsány například v Karovska & Habbal (1994), nebo v Parenti et al. (2002).

Zmiňovaný rotační pohyb paprsku byl zjištěn analýzou snímků z Libye. Ze všech snímků pořízených během 240 s trvání úplné fáze (10:35:39 UT – 10:39:38 UT) na tomto pozorovacím místě byla vytvořena animace 4 individuálních obrazů (10:35:56 UT,

10:36:25 UT, 10:37:18 UT a 10:38:16 UT) ukazující pohyb studovaného paprsku. První ze snímků je ukázán na obr. 6. Značka vyznačující pozici paprsku v čase 10:35:56 UT ( $t_{\text{REF}}$ ), který byl zvolen jako referenční, je vyznačena šipkou.



**Obr.č.6.** Obrázek diskutovaného paprsku v  $t=10:35:56$  UT. Značka vyznačující polohu referenčního paprsku je označena šipkou.

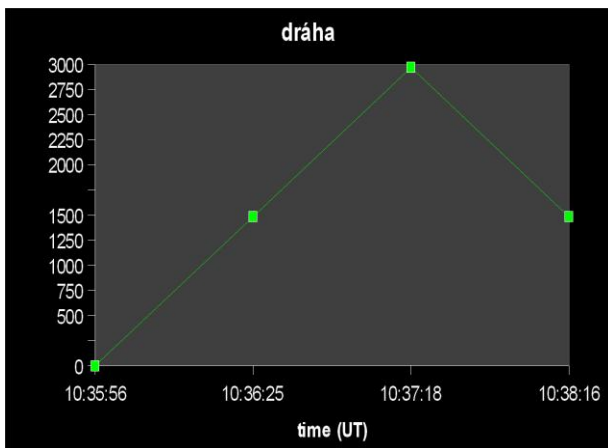
Od této značky byla na všech dalších třech snímcích změřena vzdálenost osy paprsku kladně západním směrem. Výsledek je ukázán v tab.1., kde:

t	představuje	čas měření
s		dráha paprsku od $t_{\text{REF}}$
delta t		časový rozdíl mezi měřeními
delta s		dráha mezi měřeními
v		rychlost mezi měřeními

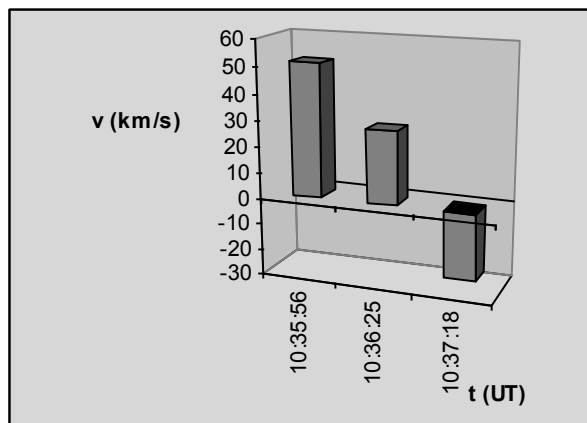
t (UT)	s (km)	delta t (s)	delta s (km)	v (km/s)
10:35:56	0	0	0	0
10:36:25	1485	0:00:29	1485	51
10:37:18	2970	0:00:53	1485	28
10:38:16	1485	0:00:58	-1485	-26

**Tab.č.1.** Měření polohy paprsku vzhledem k jeho pozici v čase 10:35:56 UT ( $t_{\text{REF}}$ ).

Z tabulky vyplývá, že paprsek vykazoval výrazný pohyb západním směrem s rychlosti mezi 1. a 2. snímkem v  $\sim 52 \text{ km.s}^{-1}$ . Tato rychlost se mezi 2. a 3. snímkem snížila na  $28 \text{ km.s}^{-1}$  a mezi 3. a 4. snímkem se paprsek pohyboval již opačným směrem rychlostí  $26 \text{ km.s}^{-1}$  (viz. obr. 7. a 8.).



Obr.č.7. Dráha paprsku měřená od pozice v  $t = 10:35:56$  UT.



Obr.č.8. Průběh rychlosti paprsku (kladné rychlosti představují pohyb západním směrem, záporné východním).

Z těchto měření, za předpokladu, že se jedná o projekci rotačního či kývavého pohybu paprsku do roviny pohledu, usuzujeme, že se paprsek pohybuje rychlostí  $v \sim 50 \text{ km.s}^{-1}$  po kruhové či pseudokruhové dráze v tangenciálním směru a že zpomalení a změna směru pohybu východním směrem jsou projekcí této dráhy do roviny pozorování.

Vzhledem k tomu, že podobné rychlosti byly změřeny v makrospikulích (Parenti et. al, 2002, Popescu et al., 2007) ze spektroskopických měření na CDS a SUMER přístrojích družice SOHO, předpokládáme, že by se projevy těchto pohybů plazmy v makrospikulích, jako zdroje dynamiky v diskutovaném paprsku, mohly v něm projevit.

### 3. ZÁVĚR

Po analýze snímků získaných z pozorování úplného zaměření Slunce 29. března 2006, prováděných podél velké části pásu totality, zahrnující časové rozpětí 69 minut navrhuje jako jedem z možných zdrojů dynamických projevů zachycených v polárním paprsku v pozičním úhlu  $9^\circ$  eruptivní makrospikulí.

K tomuto předpokladu nás vedou zejména rychlosti pohybu zjasnění naměřené ve studovaném paprsku a jejich souhlas s rychlostmi zjištěnými citovanými autory ve spikulích a makrospikulích, ale i fakt, že v době před předpokládaným začátkem pohybu zjasnění v paprsku byla v jeho základně pozorována struktura makrospikulí podobná.

Předpokládáme, že by rotační či pseudorotační pohyb paprsku mohl být důsledkem dynamiky samotné eruptivní makrospikule, nazvané Pikem a Masonem (1998) jako „sluneční tornádo“, podobně jako dynamické projevy v radiálním směru by mohly být způsobeny ejekcí části chromosferického materiálu makrospikulí.

V současné době pracujeme na zpracování dalších dat pořízených v Nigeru, Lybii a Turecku, nutných pro ověření možného prekursoru aktivity v paprsku, stejně jako pro ověření rotačního pohybu paprsku.

### LITERATURA

- Ahmad, J. A., Withbroe, G. L.: 1977, Sol. Phys. 53, 397  
 Banerjee, D., O'Shea, E., Doyle, J.G., Goossens, M.: 2001, A&A, 377, 691-700  
 Deforest, C. E., Hoeksema, J. T., Gurman, J. B., Thompson, B. J., Plunkett, S. P., Howard, R., Harrison, R. C., Hasslerz, D. M.: 1997, Solar Phys. 175, 393  
 DeForest, C.E., Gurman, J.B.: 1998, Astrophys. J, 501, L217-L220  
 Fisher, R. R., and Guhathakurta, M.: 1995, Astrophys. J. Lett. 447, L139  
 Gabriel, A.H., Bely-Dubau, F., Lemaire, P.: 2003, ApJ., 589, 623-634  
 Karovska, M., Habbal, S.R.: 1994, ApJ, 431, L59-L62  
 Parenti, S., Bromage, B.J.L., Bromage, G.E.: 2002, A&A, 384, 303-316  
 Pasachoff, J. M., Rušin, V., Druckmüller, M., Druckmüllerova, H., Bělík, M., Saniga, M., Minarovech, M., Marková, E., Babcock, B. A., Souza, S. P., Levitt, J.S.: 2008, Polar Plume Brightening During the 29 March 2006 Total Eclipse; ApJ, Volume 682, Issue 1, pp. 638-643  
 Pike, C. D., & Mason, H. E. 1998, Sol. Phys., 182, 333  
 Popescu, M.D., Xia, L.D., Banerjee, D., Doyle, J.G.: 2007, Advances in Space Research, 40, 1021  
 Saito, K.: 1965, Publ. Astron. Soc. Japan 17, 1  
 Veselovsky, I. S., Panassenko, O. A., Koutchmy, S.: 1998, "Solar Jets and Coronal Plumes", Proceedings of an International Meeting held in Guadeloupe, 23-26 February, 1998, France, ESA SP-421, May 1998  
 Wang, Y.-M.: 1998, ApJ., 501, L45  
 Wilhelm, K., Marsch, E., Dwivedi, B. N., et al. 1998, ApJ, 500, 1023  
 Wood, B.E., Karovska, M., Cook, J.W., Howard, R.A., Brueckner, G.E.: 1999, ApJ., 523, 444-449