

Dynamika polárních paprsků během zatmění Slunce 2006

Marková, E.¹, Bělík, M.¹,
Druckmüller, M.², Druckmüllerová, H.²

¹ Hvězdárna v Úpici

² VUT Brno

Abstrakt: Velmi jemné detaily koronálních struktur na snímcích pořízených během úplného zatmění Slunce v roce 2006 nám umožňují studovat rychlou dynamiku polárních koronálních paprsků. Tyto útvary jsou studovány jak na snímcích pořízených na jednom pozorovacím místě i na dlouhé pozorovací základně. V práci jsou ukázány některé výsledky.

Úvod

Polární paprsky jsou relativně chladné a husté struktury, orientované převážně v radiálním směru, vyskytující se v oblastech polárních koronálních děr. Již na počátku minulého století se staly jedním z prvních důkazů existence globálního magnetického pole Slunce, jehož otevřené struktury v polárních oblastech zviditelňují. Ze snímků pořízených během úplných zatmění Slunce i ze snímků z kosmických družic, zejména družice SOHO a Skylab, je patrné, že dosahují do vzdáleností minimálně 15 až 20 R_{\odot} a dá se předpokládat, že s rozvojem metod pozorování a zpracování obrazu budou identifikovány i ve vzdálenostech větších. Jsou nejlépe pozorovatelné během slunečního minima, kdy se v polárních oblastech Slunce vyskytují rozsáhlé polární díry a jemné struktury polárních paprsků nejsou překryty komplikovanými strukturami paprsků přílbicových, zasahujících v té době do vysokých heliografických šířek.

Fyzikální i dynamické vlastnosti polárních paprsků, stejně jako jejich původ a doba života jsou stále předmětem intenzivního studia. Nejméně informací pak máme o jejich dynamice a době života (DeForest et al, 2001; Fischer a Guhathakurta, 1995; Wang, 1998). V této práci předkládáme první výsledky z unikátního pozorování pohybu zjasnění uvnitř polárního paprsku, jak byla získána během úplného zatmění Slunce 29. března 2006.

Zatmění Slunce 2006

Zatmění Slunce 29. března 2006 bylo jedno z dobře pozorovatelných zatmění Slunce. Bylo pozorováno prakticky po celém pásu totality, který se probíhal ze střední Afriky přes Libyi, Egypt a Středozemní moře dále do Turecka a Ruska.

Díky mnoha pozorovacím expedicím bylo pořízeno velké množství materiálu, který je však zatím zpracován převážně pouze předběžně. Zejména zpracování v kvalitě nutné pro potřeby studia pohybů hmoty ve sluneční koróně jsou velmi komplikovaná a časově náročná a je jich v současné dispozici pouze několik v dostatečné kvalitě (Druckmüller et al, 2004). Koróna během tohoto zatmění vykazuje tvar přechodného typu s rozsáhlými oblastmi koronálních děr v okolí severního a jižního pólu a systémem přílbicových paprsků v rovníkových oblastech. Již pouhé letmé srovnání snímků zatmění pořízených s dostatečným časovým odstupem ukazuje, že sluneční koróna není neměnná ani během relativně krátkého (desítky minut) intervalu pozorování během úplného zatmění. Naopak, vykazuje velmi výrazné změny struktury a intenzity. A to jak v oblasti polárních paprsků, tak i v oblastech přílbicových paprsků ležících v nižších heliografických šířkách (viz obr 1 a 2).



Obr 1: Sluneční koróna pozorovaná v Libyi
29. 3. 2006 v 10:37 UT



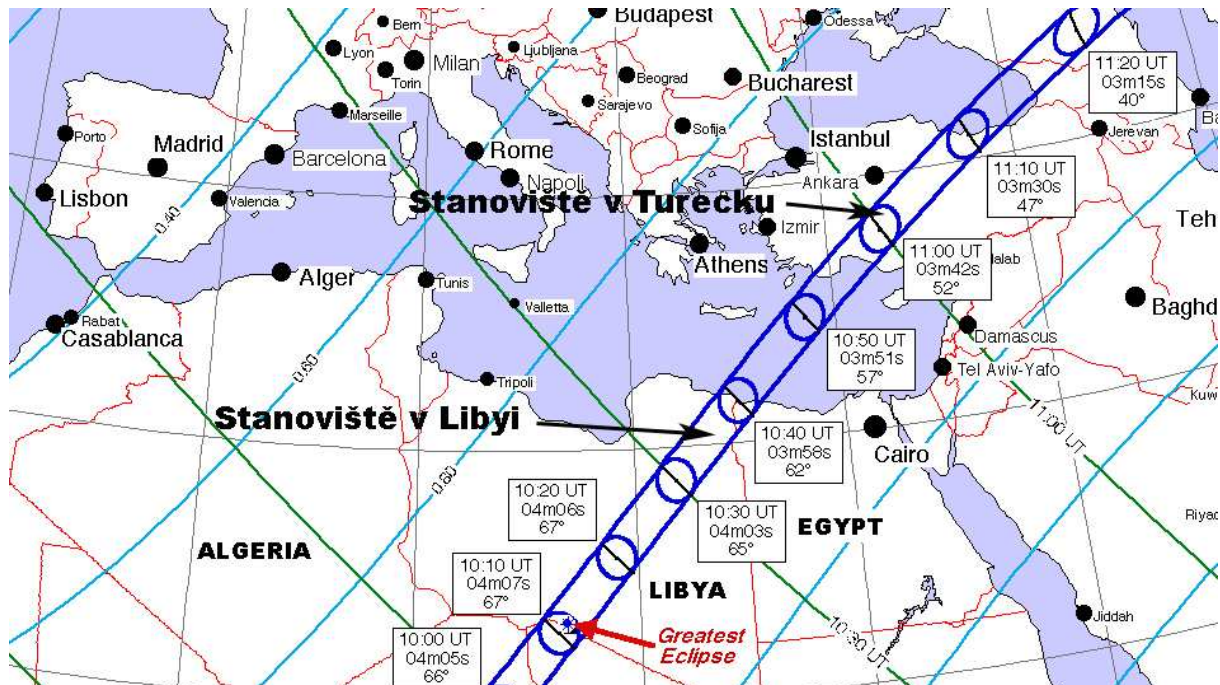
Obr 2: Sluneční koróna pozorovaná v Turecku
29. 3. 2006 v 11:04 UT

Použitá pozorování

V práci byla využita pozorování z těchto stanovišť:

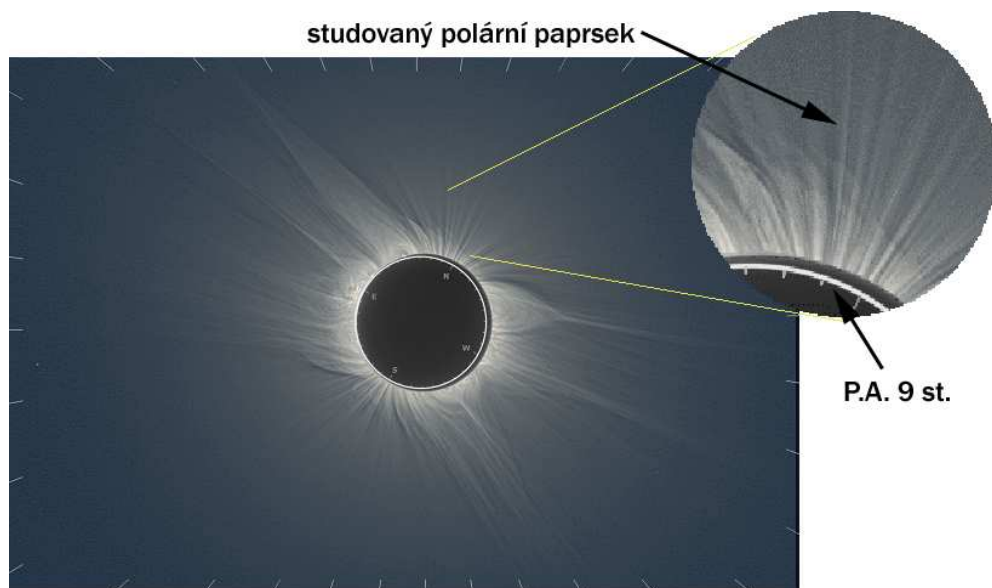
Libye: 30° 56.946' N, 24° 14.301' E, T = 10:37 UT (Miloslav Druckmüller, Peter Aniol)

Turecko: E 34° 52.147', N 38° 39.390', T = 11:04 UT (Hana Druckmüllerová)



Obr 3: Mapka průběhu části pásu totality úplného zatmění Slunce s vyznačenými polohami použitých pozorování. Mapka byla vytvořena na základě mapy z publikace F. Espenaka a J. Andersona „NASA 2006 eclipse bulletin“.

Srovnáním snímků, zpracovaných moderními metodami zpracování obrazu (Bělík et al, 2003), bylo nalezeno několik oblastí v koróně, které již na první pohled jeví výraznou dynamiku. Za nejzajímavější byla vybrána oblast v pozičním úhlu 9°, kde se nachází výrazný polární paprsek (obr 4). Tento paprsek není ani na jednom obrázku ukotven v chromosféře a zdá se, že spodní okraj nejjasnější části leží v určité výšce nad slunečním okrajem, přičemž se tato výška na obou snímcích výrazně liší. Tento spodní okraj se posouvá v čase směrem od slunečního limbu, což dává předpoklad pohybu zjasnění směrem od Slunce.



Obr 4: Oblast koróny v pozičním úhlu 9°, studovaná v této práci.

Zpracování pozorování

Oba zpracované snímky byly opatřeny stupnicí, která přesně definuje střed a okraj Slunce v okamžiku maxima totality v daném pozorovacím místě a čase. Pro obě pozorovací místa byla třikrát nezávisle odečtena výška spodního okraje maximálního zjasnění v paprsku a určena rychlost pohybu tohoto okraje směrem od Slunce. Výška spodního okraje jasné části paprsku nad limbem dosahovala na snímku z Libye přibližně 60 000 km (obr 5), na snímku z Turecka (obr 6) přibližně 160 000 km. Protože časový rozdíl mezi oběma pozorováními je 27 minut, vychází rychlost tohoto pohybu na 230 000 km/h, což odpovídá rychlosti přibližně 70 km/s.

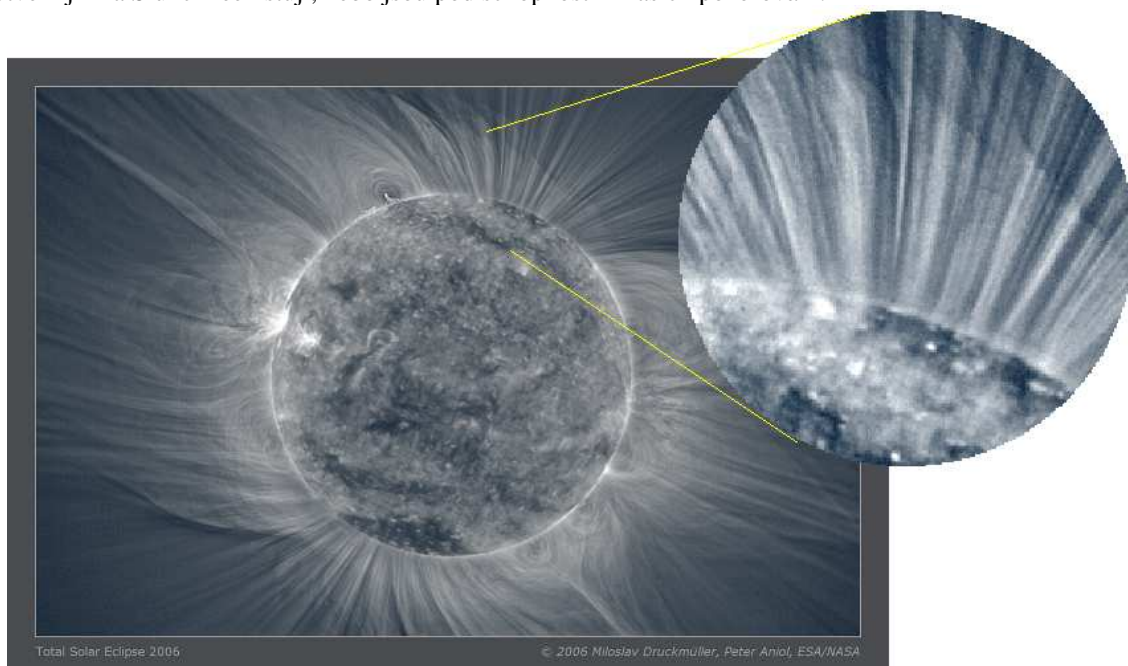


Obr 5: Studovaný polární paprsek v Libyi
29. 3. 2006 v 10:37 UT



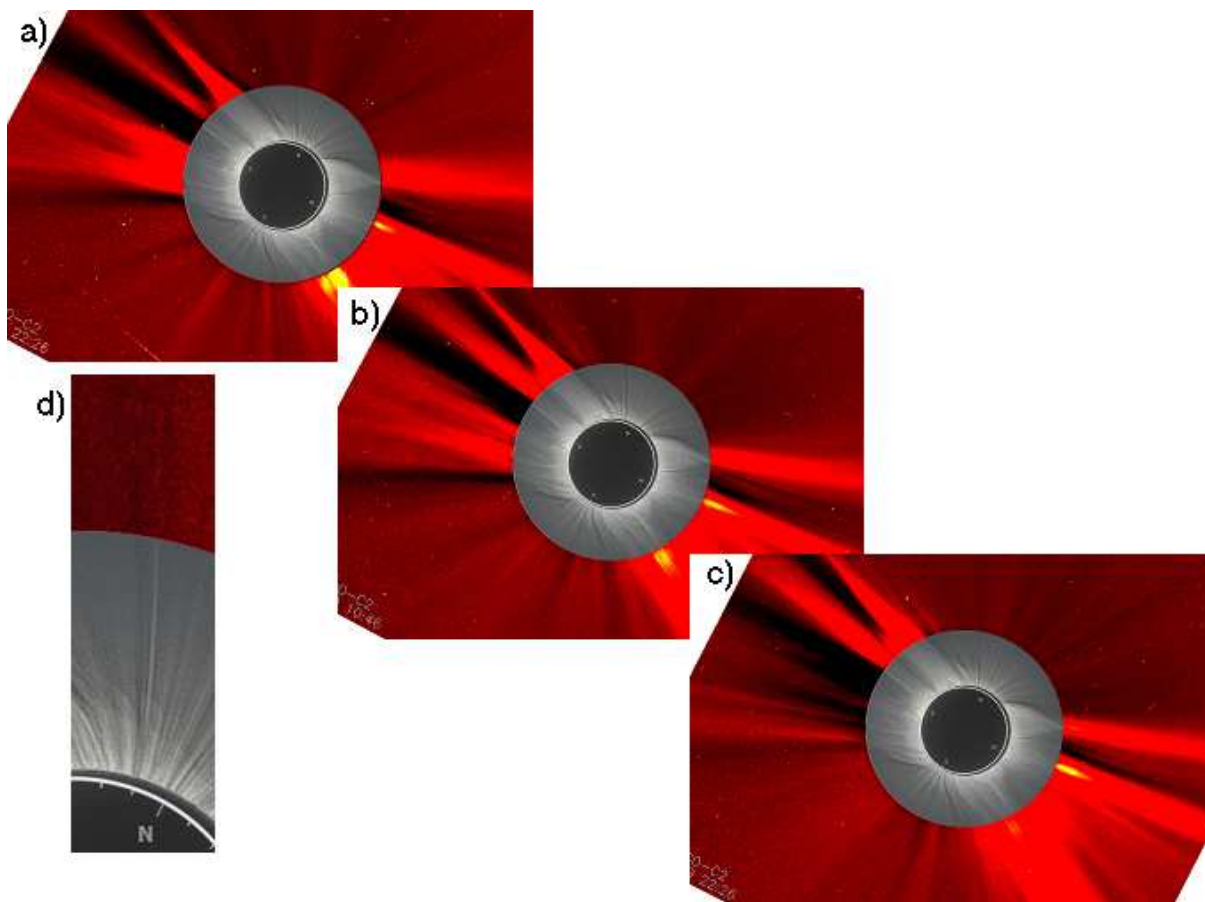
Obr 6: Studovaný polární paprsek v Turecku
29. 3. 2006 v 10:37 UT . Změna oproti stavu
z Libye je velmi výrazná.

Kromě změny v poloze spodního okraje jasné části paprsku se výrazně zvýšila i jeho intenzita a struktura. Jak ukazují snímky pořízené v ultrafialovém oboru na kosmické sondě SOHO, která je společným projektem NASA a ESA, bývají některé polární paprsky ukotveny v jasných bodech v koronálních dírách (Wang, 1998; Ofman et al, 1999). Pokusili jsme se nalézt pravděpodobné ukotvení tohoto paprsku, nebo alespoň struktury, ve kterých byl tento paprsek ukotven. Jak ukazuje obr 7, na kterém je polární část Slunce pořízená ve spektrální čáře 17,1 nm (SOHO EIT), žádné takové struktury nebyly nalezeny. Proč je tomu tak, není možno nyní jednoduše objasnit, ale existují přinejmenším dvě možné varianty vysvětlení. Paprsek může či mohl být ukotven na odvrácené straně Slunce, případně byla dynamika jevu tak velká, že v době pozorování stopy po tomto ukotvení již na Slunci neexistují, nebo jsou pod schopnostmi našich pozorování.



Obr 7: Slunce pozorované družicí SOHO přístrojem EIT v čáře 17,1 nm spolu se snímkem sluneční koróny z Libye. Je patrné, že polární paprsek v P.A. 9° není minimálně na pozorovatelné části Slunce zakotven v žádné výrazné struktuře.

Snímky pořízené během zatmění byly srovnány též se snímky pořízené koronografem C2 na palubě družice SOHO. Srovnáním stavu koróny 28. března 2006 ve 22:26 UT, 29. března v 10:46 UT a 29. března ve 22:26 UT bylo zjištěno, že se tento paprsek nalézá pouze na snímku korelujícím se zatměním Slunce, tedy na snímku z 10:46 UT z 29.3.2006. Na obou dalších snímcích koronografu C2 pozorovatelný není. Z toho vyplývá, že doba života tohoto paprsku je jistě kratší než 24 hodin (obr 8).



Obr 8: Korona pořízená koronografem C2 na kosmické družici SOHO 28. března 2006 ve 22:26 UT [a)], 29. března 2006 v 10:46 UT [b)] a v 22:26 UT [c)]. Sledovaný paprsek je viditelný pouze na snímku b), tedy na snímku korelujícím s pozorovaným slunečním zatměním. Detail ukazuje obr d).

Závěr

Pozorování úplného zatmění Slunce zpracovaná moderními matematickými metodami umožňujícími zvýraznit jemné struktury ve sluneční koróně, koordinovaná s cílem pozorovat zatmění v co nejdelším úseku pásu totality, tedy s časovým odstupem několika desítek minut, umožňují velmi podrobně studovat dynamiku plazmy ve sluneční koróně. Velkou výhodou tohoto typu pozorování je velké prostorové rozlišení zatměňových snímků ve srovnání se snímky pořizovanými z pozemských koronografů či koronografů umístěných na družicích, stejně jako možnost pozorovat sluneční korónu až ke slunečnímu limbu (viz. obr 8). Nevýhodou pozemského pozorování zatmění Slunce je skutečnost, že na rozdíl od pozorování z kosmických družic je omezeno na velmi krátký interval přechodu měsíčního stínu přes zemský povrch. Jak však ukazují přednesené předběžné výsledky, je v případě vhodné konfigurace experimentu a koordinace pozorování možno získat data, umožňující velmi podrobně dynamiku koróny studovat. V práci popisovaný pohyb zjasnění v polárním koronálním paprsku v P.A. 9° je patrně prvním pozorováním tohoto jevu v bílém světle. I když z dostupných pozorování jsou v kvalitě potřebné pro přesná poziční měření v současné době použitelná pouze pozorování z Libye a Turecka, ukazuje se, že registrované rychlosti odpovídají jak teoretickým předpokladům, tak pozorováním z družic SOHO a SKYLAB provedených v jiných spektrálních oborech.

V nejbližší době budou měření z Libye a Turecka doplněna o další zpracovaná pozorování z Egypta, Nigeru, Libye a Turecka s cílem získat podrobnější popis pohybu zjasnění v popisovaném paprsku, případně nalézt zdroj a původ pozorované dynamiky.

Literatura:

Bělík, M., Druckmüller, M.; Marková, E., Křivský, L.: 2003, Faint coronal structures and the possibilities of visualization, Solar variability as an input to the Earth's environment. International Solar Cycle Studies (ISCS) Symposium, 23 - 28 June 2003, pp.741-744, ISBN 92-9092-845-X, (2003), Noordwijk: ESA Publications Division

DeForest, C.E. Lamy, P.L., Llebaria, A.: 2001, ApJ. 560, 490

Druckmüller, M.; Rušin, V.; Minarovjech, M.: 2004, Image processing of total solar eclipse images, SEC 2004 Conference, pp.125-132, (2004), Open University Milton Keynes, England

Fisher, R. R., and Guhathakurta, M.: 1995, Astrophys. J. Lett. 447, L139

Ofman, L., Nakariakov, V. M., DeForest, C.E.: 1999, ApJ. 514, 441

Wang, Y.-M.: 1998, Astrophys. J., 501, L45