

21 let úplných zatmění Slunce

Marcel Bělík
Eva Marková
Ladislav Křivský

Hvězdárna v Úpici, U lipek 160, 542 32 Úpice

Abstrakt:

V tomto příspěvku bude prezentováno 21 let pozorování úplných zatmění Slunce a hlavní výsledky jejich zpracování.

1. Úvod

Úplné zatmění Slunce poskytuje sice vzácnou, ovšem stále nezastupitelnou možnost pozorovat jevy ve sluneční atmosféře, které jsou ostatním pozorovacím metodám zatím stále nedostupné. Pracovníci hvězdárny v Úpici se již 21 let věnují pozorování tohoto jevu, zpracování získaných dat a jejich interpretaci. Tato doba pokrývá téměř 2 sluneční cykly, což umožňuje zachytit a popsat změny ve sluneční koróně nejen během jednoho slunečního cyklu, ale i během cyklu magnetického, zahrnujícího dva klasické cykly sluneční.

2. Pozorovaná zatmění

Řada pozorování realizovaných Hvězdárnou v Úpici představují úplná sluneční zatmění popsaná v tab. 1.

1. 1990 - Czukotka
2. 1994 – Brazil
3. 1995 – India
4. 1997 – Siberia
5. 1998 – Venezuela
6. 1999 – France, Hungary, Romania
7. 2001 – Angola
8. 2002 – South Africa (JAR)
9. 2006 – Egypt, Turkey
10. 2009 – China
11. 2010 – Argentina

Tab. 1: Přehled úplných zatmění Slunce pozorovaných expedicemi Hvězdárny v Úpici

Během celého popisovaného období se ustálil pozorovací program na standardním programu, který je postupně vylepšován a zdokonalován. Téměř při každém pozorování je navíc realizován experiment či experimenty, které nejsou ověřeny, o kterých ovšem předpokládáme, že by mohly být přínosné pro další rozvoj pozorovací metodiky a techniky a pro získání nových unikátních dat. Tyto experimenty ovšem nikdy nejsou nosné, pouze doplňují program standardní.

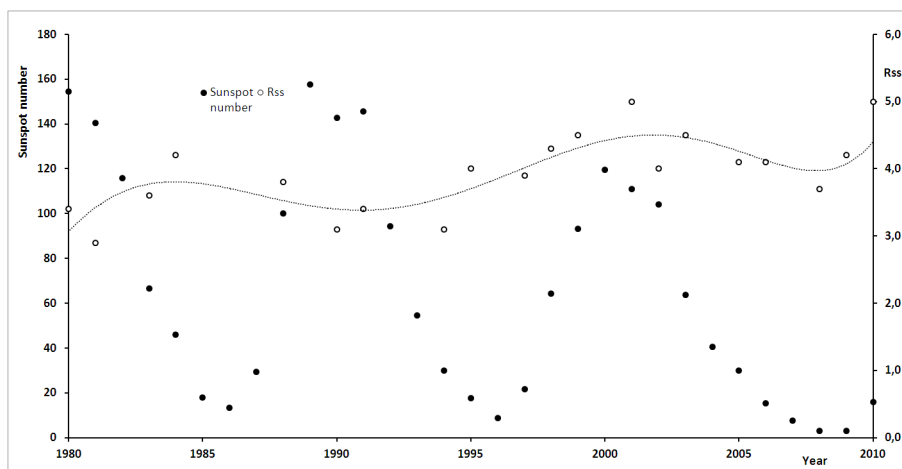
3. Hlavní dosažené výsledky

Vzhledem k tomu, že jednotlivé dílčí výsledky jsou publikovány, shrneme zde pouze ty nejzásadnější.

3.1. Určení poloměru 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>). 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. Při určování poloměru zdrojové plochy hledáme empiricky vzdálenost od Slunce takovou, kde prakticky vymizí tangenciální struktury a jejich radiální směr se stane dominantním.

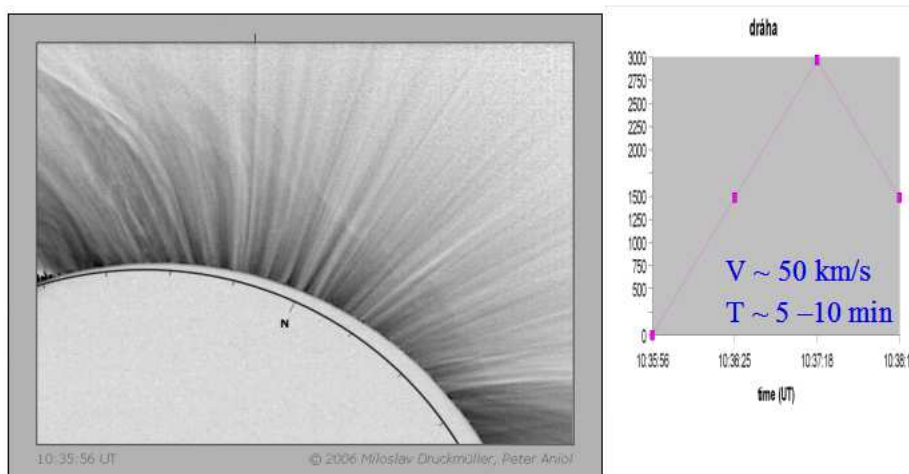


Obr. 1: Průběh zdrojové plochy (Rss) a čísla slunečních skvrn (sunspot number) od roku 1980 do roku 2010. Plné kroužky představují hodnoty čísla slunečních skvrn, kroužky prázdné hodnoty Rss. Trend Rss je navíc vyznačen tečkovanou čarou.

Z našich pozorování i zpracování ostatních pozorování v rámci projektu Matematického zpracování a vizualizace koróny vyplývá, že její hodnota je časově proměnná. Bohužel, ani časový rozsah 30 let, pro které se podařilo získat hodnoty poloměru zdrojové plochy (Rss) a který zahrnuje tři sluneční cykly, neumožňuje podat spolehlivou informaci o vlastnostech této proměnnosti.

3.2. Dynamika polárních paprsků

Na základě srovnání snímků pořízených během jednoho slunečního zatmění na různých místech pásu totality a tedy v různých časech je možno po podrobném zpracování velmi podrobně studovat změny v morfologii slunečních struktur. Ukazuje se, že sluneční koróna je velmi dynamický útvar s velkými rychlostmi pohybu plazmy. Některé morfologické změny je možno zaznamenat dokonce i během krátkého časového úseku daného délkou zatmění na jednom pozorovacím místě.

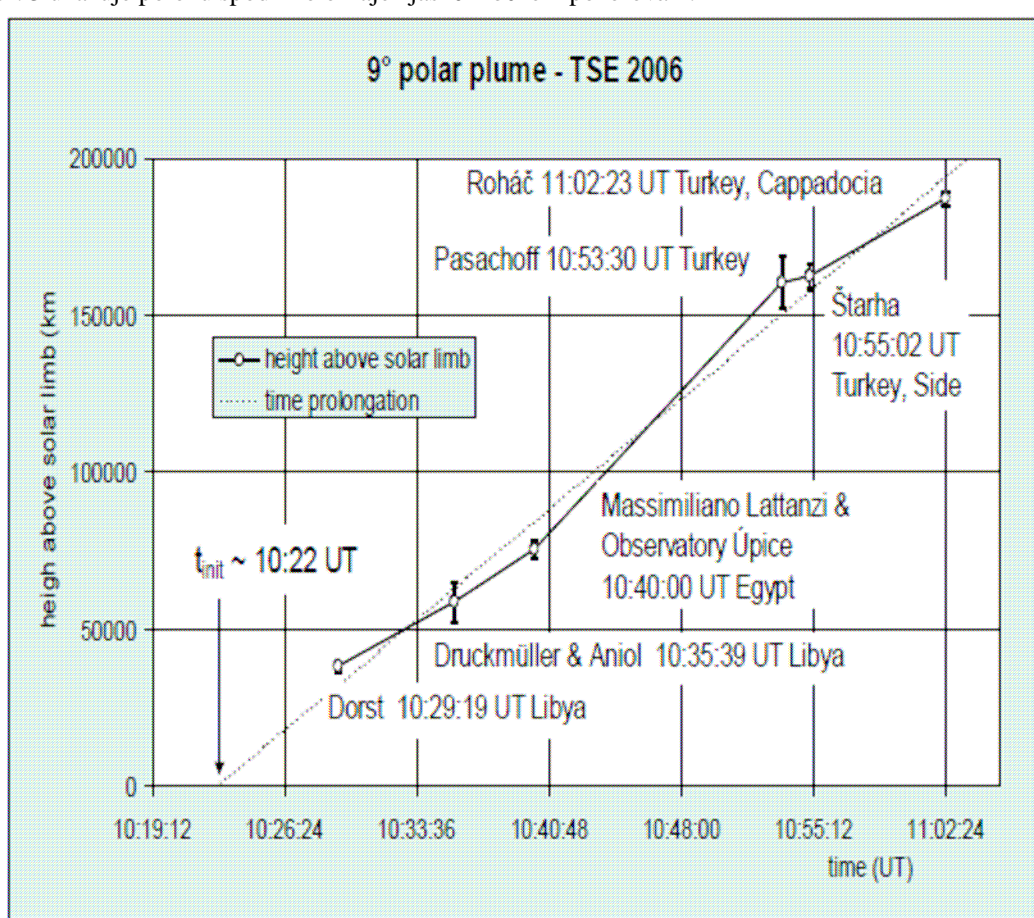


Obr. 2: Pozorování kývavého či rotačního pohybu paprsku v P.A. 9°, pozorovaného během úplného zatmění Slunce v roce 2006.

Zmiňovaný rotační pohyb paprsku byl zjištěn například analýzou snímků z Libye z roku 2006. 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. Z analýzy snímků vyplývá, že paprsek vykazoval výrazný pohyb západním směrem s rychlostí mezi 1. a 2. snímkem v $\sim 52 \text{ km.s}^{-1}$. Tato rychlost se mezi 2. a 3. snímkem snížila na 28 km.s^{-1} a mezi 3. a 4. snímkem se paprsek pohyboval již opačným směrem rychlostí 26 km.s^{-1} . 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 makrospikuli, jako zdroje dynamiky v diskutovaném paprsku, mohly v něm projevit.

Tento paprsek zároveň vykazoval velmi výraznou dynamiku ve směru od Slunce. Naštěstí jsme mohli zpracovat pozorování z několika velmi vzdálených míst pozorování. Námi zpracovaná data zahrnují pozorování od Nigeru po východní Turecko (Pasachoff et al, 2008). To představuje časový interval 69 minut (od 09:55 UT do 11:04 UT). Obr. 3 ukazuje polohu spodního okraje zjasnění během pozorování.

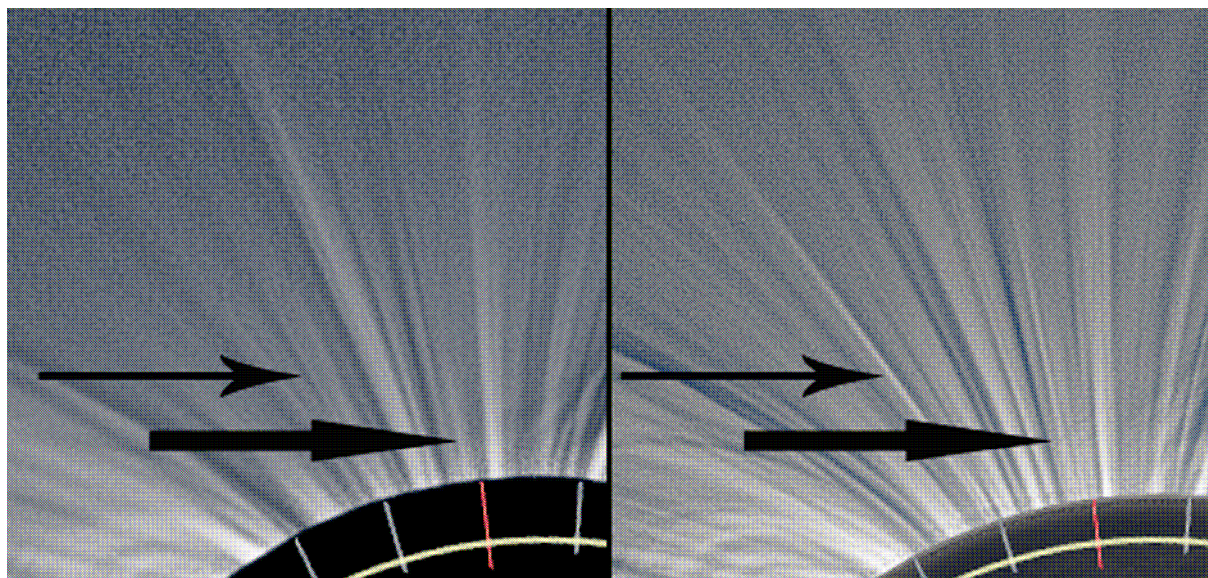


Obr. 3: Vzdálenost spodního okraje zjasnění v měřeném polárním paprsku od Libye po Turecko

Bylo zjištěno, že rychlost tohoto pohybu je přibližně 70 km.s^{-1} . V době $t_{\text{init}} \sim 27 \text{ min}$, 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. 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). Všechny tyto skutečnosti nás vedou k úvaze, že alespoň některé polární paprsky a zejména jejich dynamika souvisí s spikulami či makrospikulami.

Toto velmi významné a průkopnické pozorování nás vedlo k podrobné analýze i dalších zatmění s cílem vyhledat aktivitu v polárních paprcích. Podrobně byla prohlédnuta zatmění z roku 2006, 2008, 2009 a 2010. Byly nalezeny 3 paprsky vykazující dynamiku v roce 2006, 18 paprsků v roce 2008, 14 v roce 2009 a 8 v roce

2010 (obr. 4). Neočekávaně malé množství jevů v roce 2006 a menší množství detekované v roce 2010 nás vede k úvaze, zda se jedná o jev náhodný, či způsobený nějakou příčinou. Jednou z možností je připočítat tuto disproporci na vrub rozdílné kvalitě napozorovaného materiálu, což by mohlo vést k zániknutí některých slabších jevů v šumu obrazu. Další možností by byla možnost určité souvislosti aktivity v polárních paprscích, respektive aktivity zdrojů této dynamiky, s cyklem sluneční aktivity. Úplná zatmění v letech 2008 a 2009, tedy s výskytem více popisovaných jevů, spadají do období okolo minima sluneční činnosti naopak „dynamicky“ slabší zatmění 2006 a 2010 byla pozorována v období klesající a rostoucí fáze cyklu. Toto tvrzení ovšem zatím není možno pro nedostatek napozorovaných dat či zpracovaného materiálu ověřit.



Obr. 4: Příklad dvou vybraných paprsků z roku 2008 z Číny (vlevo) a atole Enewetak (vpravo). Vybrané paprsky s viditelnou dynamikou jsou označeny odlišnými šipkami. Na snímcích je názorně vidět vzájemný pohyb Slunce a Měsíce během zatmění.

Statistická analýza všech provedeným měření ukazuje, že pozorované rychlosti leží v rozsahu 35 km.s^{-1} až 146 km.s^{-1} , s průměrnou hodnotou rychlosti 67 km.s^{-1} . Dále neexistuje prakticky žádný rozdíl v průměrných rychlostech mezi severní a jižní polokoulí. Průměrná rychlost na severní je 66 km.s^{-1} a na jižní 68 km.s^{-1} . Srovnání těchto dat s daty získanými například ze spektroskopických měření ze SOHO/SUMER, která ukazují, že ve výškách 1.05 -1.35 R_s dosahují rychlosti v paprscích 60 km.s^{-1} a jsou přibližně konstantní v celém tomto regionu (Gabriel, Bely-Dubay, Lemaire, 2003) ukazuje velmi dobrou shodu. Na základě těchto skutečností a v soulase s charakteristikami paprsků, spikulů a makrospikulů, jak je popisují například Yamauchi et al., 2005, potvrzujeme naši hypotézu, že dynamika v polárních paprscích je ve velmi dobré shodě s eruptivní aktivitou spikulů a makrospikulů v místech jejich ukotvení.

4. Závěr

Z výše uvedeného vyplývá, že sluneční koróně je mnohem dynamičtější útvar, než se doposud předpokládalo a dynamika v polárních paprscích, pozorovaná zatím pouze spektroskopicky z paluby družic je detekovatelná i během úplných zatmění Slunce. Již tyto předběžné výsledky slibují velký přínos pro budoucí výzkum.

V dalším výzkumu se budeme těmito jevy opět podrobně zabývat a pokusíme se zpracovat data za delší časová období a z více pozorovacích míst.

Poděkování:

Tato práce byla částečně podpořena Grantovou Agenturou ČR, grant 205/09/1469.

Reference:

Ambrož, P.: 1999, Manetická struktura a tvar sluneční koróny během úplného zatmění 26. února 1998; 14. Celostátní sluneční seminář, Stará Lesná, Slovenská ústředná hvězdárň Hurbanovo, 162

Gabriel, A.H., Bely-Dubay, F., Lemaire, P.: 2003, ApJ 589, 623

Marková, E., Bělík, M., Křivský, L., Druckmüllerová, H., Druckmüller, M.: Total solar eclipses through nineteen years, presented on The Dynamic Solar Corona, CASIAU Joint Solar Eclipse Meeting, July 23-26, 2009, Suzhou, China. . Ed. FANG, C., DING M. D., CHEN, P. F., Nanjing University, Nanjing, China. <http://solar.nju.edu.cn/Proceedings/markova.pdf>

Parenti, S., Bromage, B.J.I., Bromage, G.E.: 2002, A&A, 384, 303- 316

Pasachoff, J. M., Rušin, V., Druckmüller, M., Druckmüllerová, H., Bělík, M., Saniga, M., Minarovjech, 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

Popescu, M.D., Xia, L.D., Banerjee, D., Doyle, J.G.: 2007, Advances in Space Research, 40, 1021

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

Wilhelm, K., Marsch, E., Dwivedi, B. N., et al. 1998, ApJ, 500, 1023

Yamauchi, Y., Wang, H., Jiang, Y., Schwadron, N., Moore, R.L.: 2005, Study of h-alpha macrospicules in coronal holes magnetic structure and evolution in relation to photospheric magnetic settings. ApJ 629, 572