

Sluneční koróna při úplných zatměních Slunce

E. Marková, Sluneční sekce ČAS, eva.radec@seznam.cz

Abstrakt

Sluneční koróna je dynamický útvar tvořený dokonale ionizovanou plazmou. Vzhledem k velmi slabé intenzitě záření je její pozorování jako celku velmi komplikované. Jednou z možností je její pozorování při úplných zatměních Slunce. Právě ta přinesla řadu poznatků o sluneční koróně, které by jinak bylo jen obtížné získat. V práci jsou prezentovány výsledky získané z pozorování úplných zatmění Slunce uskutečněných především expedicí Hvězdárny v Úpici v letech 1990 - 2010. Jsou představena jednotlivá pozorovací místa včetně popisu provedených experimentů a způsobu zpracování dat, který se vyvíjel od metody překreslování struktury a izofot ve sluneční koróně z fotografií až po matematické zpracování obrazu. To nám na rozdíl od původní metody dovoluje rozlišit na pořízených snímcích mnohem větší detaily a to až do téměř 1". Získaná data tak umožňují studium jemné struktury sluneční koróny a poskytují řadu dalších informací jako je např. rozložení elektronové teploty ve vnitřní koróně. Přispěla k získání nových poznatků v určování zdrojové plochy pro upřesnění modelu globálního koronálního magnetického pole a v neposlední řadě přinesla významné výsledky při studiu rychlých změn ve sluneční koróně z dat pořízených na různých pozorovacích místech v průběhu jednoho zatmění.

1. ÚVOD

Sluneční koróna je nejvyšší část sluneční atmosféry tvořená řídkou ionizovanou plazmou sahající do vzdálenosti cca 60 AU. Dosahuje teploty cca 1 – 2 miliony Kelvinů. Nad erupcemi může teplota vzrůst až na desítky milionů Kelvinů, zatímco její jas a hustota se vzdáleností od povrchu Slunce klesá. Je to vysoce dynamický útvar, který se skládá ze tří složek – K-koróny, F-koróny a L(E)-koróny (Rušin a Rybanský, 1990).

K-koróna vzniká rozptylem záření fotosféry na volných elektronech. Její spektrum je spojitě bez absorpčních čar, ty jsou rozmazané v důsledku doplerovského posuvu. Průběh intenzity záření je stejný jako ve spektru fotosféry. Je součástí vnitřní koróny.

F-koróna vzniká rozptylem slunečního světla na meziplanetárních prachových částicích. Její spektrum obsahuje Fraunhoferovy absorpční čáry. Je to vnější část koróny, která přechází do meziplanetárního prostoru jako zvířetníkové světlo.

L-koróna (nebo také E-koróna) je plynná část vnitřní koróny. Září v emisních čarách vysoce ionizovaných prvků (např. železa, niklu, vápníku).

Ve sluneční koróně se vyskytuje celá řada struktur, jako jsou smyčky, koronální paprsky, koronální díry a dutiny apod., které vykazují velkou proměnlivost a to jak krátkodobou, kdy můžeme pozorovat změny v průběhu několika hodin, tak dlouhodobou v průběhu slunečního cyklu, popř. i několika cyklů. Všechny tyto struktury vznikají v důsledku přítomnosti komplikovaného magnetického pole. Jeho studium je

velmi obtížné, jednou z možností je právě studium těchto struktur. Ale i to je velmi složité, neboť sluneční koróna je za normálních podmínek prakticky nepozorovatelná, protože je přezářena jasnou sluneční fotosférou. Její pozorování v optické oblasti je možné buď speciálními přístroji – koronografy a to jak pozemskými, tak umístěnými na družicích, a nebo při úplných zatměních Slunce. A právě pozorování při úplných zatměních Slunce nám umožňuje pozorovat nejnižší části vnitřní sluneční koróny.

2. HISTORICKÉ POZNÁMKY

Snad první písemná zmínka o pozorování úplného zatmění Slunce pochází z r. 2137 před našim letopočtem. Nalezneme ji v čínské kronice v souvislosti s popravou dvou astrologů, kteří zapomněli na blížící se sluneční zatmění upozornit.

Sluneční koróna ale nebyla vždy považována za součást Slunce. V Čínských letopisech se uvádí, že při úplném zatmění Slunce je kolem Měsíce jakési světlo, případně z pod Měsíce slehají jakési červené ohnivé jazyky nebo žluté plaménky. Kepler v r. 1605 považoval sluneční korónu za atmosféru Měsíce. Až v 19. století je světlo kolem Měsíce spojováno se Sluncem.

3. PŘEHLED DŘÍVĚJŠÍCH VÝSLEDKŮ

Struktury sluneční koróny se získávaly ze snímků pořízených v době úplného zatmění Slunce zpracovaných metodou překreslování a byly tak

pořízeny i izofoty. Z nich pak byl získán údaj o zploštění koróny. Byl určován integrální jas koróny v době zatmění a elektronová hustota. Dále byla hledána souvislost struktur bílé koróny se situací ve fotosféře a chromosféře (Rušin a Rybanský, 1975; 1976; 1983; 1984; 1985; Rybanský a Rušin, 1975).

Studiem směru odklonu koronálních paprsků se zabýval např. Koutchmy, který uvádí, že v době minima jsou polární paprsky odkloněny směrem k rovníku a v ostatních fázích slunečního cyklu jsou paprsky radiální nebo odkloněné k pólům (Koutchmy, 1992). Dále Makarov, který dospěl k závěru, že paprsky jsou odlišně odkloněny v lichých a sudých cyklech, což přisuzuje spojitosti s magnetickým polem (Makarov, 1994).

Výsledky z pozorování dynamiky nejnižší části sluneční koróny viz např. Bocchialini et al. (1999), Spadaro (1999), Poedts (1999). Tato oblast, při jiných typech pozorování prakticky nedosažitelná, zastává patrně klíčovou roli v mechanismech dynamiky celé sluneční atmosféry a celé heliosféry (Bělík a Marková, 2002; Harrison, 1999; Pasachoff et al., 2002).

Studium procesu ohřevu koróny a doplňování její hmoty viz např. v pracích Koutchmy, 1999; Koutchmy et al. 1994 a November a Koutchmy, 1996.

Řada autorů se zabývala problematikou zpracování obrazu, která by nahradila dosud používanou metodu překreslování (viz např. Espenak, 2000 a Fukushima, 2002). Jejich metoda ale vždy při zvýraznění struktur preferuje některý ze směrů – radiální nebo tangenciální, což nepřináší plnou vizualizaci jemných detailů a mohou tím vznikat různé artefakty. Vynikající výsledky v tomto směru přineslo až matematické zpracování obrazu metodou vizualizace vyvinuté profesorem Druckmüllerem a jeho dcerou Hanou (Druckmüller et al., 2006; Druckmüller, 2009; Druckmüllerova, 2010).

4. POZOROVACÍ MÍSTA EXPEDIC HVĚZDÁRNÝ V ÚPICI

Pracovníci Hvězdárny v Úpici absolvovali 12 expedic za pozorování úplného zatmění Slunce, z toho 11 úspěšných. V tabulce 1 je přehled pozorovacích míst

s uvedením délky trvání úplné fáze zatmění na místě pozorování (v závorce), relativním číslem skvrn R pro den zatmění, vypočítanou elipticitou sluneční koróny e a souřadnicemi místa pozorování.

5. EXPERIMENTY

Veškeré připravované a realizované experimenty byly zaměřeny především na pořizování snímků bílé koróny a to jak vnitřní, tak vzdálené. Přístroje byly na místo pozorování zasilány zpravidla letecky jako CARGO, výjimečně byly přepravovány jako spoluzavazadla (pokud v případě menšího počtu pozorovatelů nebo z jiných důvodů nebyly používány větší přístroje). Jednalo se o:

1. Fotografování bílé koróny objektivem o průměru 100 mm a ohniskové délce 1790 mm expozicemi od 1/1000 s do 4 s. Do r. 1999 byl používán fotoaparát Pentacon six, který je ale velmi poruchový, od zatmění v r. 2001 ASAHI Pentax 67 II. Tento experiment nebyl realizován při zatmění v r. 1995 v Indii, kam cestovali jen dva pracovníci s malými přístroji, v r. 1997 na Sibiři, kdy pozorování probíhalo v extrémních podmínkách (teplota mezi -27 – -35 stupni Celsia), a v r. 2010 v Argentině, kde byl jiný pozorovací program. Naopak v r. 1999 byl tento experiment připraven pro dvě místa totožnými dalekohledy a to pro Francii a Rumunsko, kdy se ale z důvodu špatného počasí v Rumunsku neuskutečnil.
2. Fotografování bílé koróny klasickým fotoaparátem s objektivem o ohniskové délce 1000 mm (MTO nebo Rubinar) expozicemi od 1/1000 do 2 s. Fotoaparát s objektivem byl původně umístěn na pevném stativu, od r. 2001 na paralaktické montáži. Tento experiment proběhl prakticky na všech zatměních s výjimkou zatmění v r. 2010 v Argentině.
3. Fotografování bílé koróny objektivem s ohniskovou délkou 500 mm (MTO nebo Rubinar) expozicemi od 1/1000 s do 2 s. Od r. 2006 byl vedle klasického fotoaparátu používán i fotoaparát digitální. Tento experiment nebyl realizován v r. 1990 na Čukotce a v r. 1994 v Brazílii.

22.7.1990 - Čukotka (1m50s)	R = 143	e = 0,04	N = 64° 43', E = 17° 30'
3.11.1994 - Brazílie (3m52s)	R = 34	e = 0,27	S = 27° 05'39'', W = 52° 39'37''
24.10.1995 - Indie (50s)	R = 25	e = 0,27	N = 27° 11'14,8'', E = 75° 47'45,4'
9.3.1997 - Sibiř (2m47s)	R = 18	e = 0,21	N = 53° 57'41'', E = 121°57'56''
26.2.1998 - Venezuela (3m50s)	R = 45	e = 0,22	N = 11° 03'35'', W = 72° 03'05''
11.8.1999 - Evropa (2m20s)	R = 52	e = 0,087	N = 49° 39,9', E = 1° 55,9' N = 46° 09' 55'', E = 20° 45 ' 03''
21.6.2001 - Angola (4m36s)	R = 134	e = 0,165	S = 11° 07'29'', E = 13° 55'51''
4.12.2002 - Jižní Afrika (1m24s)	R = 83		S = 22° 27'58'', E = 30° 28'30''
29.3.2006 - Turecko (2m38s)	R = 19	e = 0,17	N = 36° 49', E = 31° 19'
1.8.2008 - Rusko (2m18s)	R = 0	e = 0,26	N = 54° 50'23,7'', E = 83° 14'13,2''
22.7.2009 - Čína (4m55s)	R = 0	e = 0,14	N = 31° 18', E = 120° 37'
11.7.2010 - Argentina (2m47s)	R = 25		S = 50° 20'46,9'', W = 71° 35'51,2''

Tabulka 1. Přehled pozorovacích míst expedic Hvězdárny v Úpici

4. Fotografování vzdálenější koróny objektivem o ohniskové délce 105 mm – experiment se uskutečnil v letech 1994, 1997, 1998, 1999 a 2001. Byl připraven i pro zatmění v r. 2002, tam ale nakonec byl z důvodu špatného počasí program velmi zredukován.
5. V letech 1990, 1997, 1998 a 2001 proběhlo snímkování polarizace bílé koróny.
6. V r. 1994 byl proveden pokus o možnost náhrady radiálního filtru. Byla použita opticko mechanická simulace radiálního filtru za použití objektivu o průměru 8 cm a ohniskové délce 117 cm, s expozicí 10 s. Experiment ale nebyl úspěšný, proto byl proveden nový pokus v r. 1998, kdy snímání bílé koróny proběhlo objektivem ohniskové délky 300 mm s okulním diskem.

Od r. 2001 díky spolupráci s prof. Miloslavem Druckmüllerem naše snímky začaly být zpracovávány matematickou metodou vizualizace (Druckmüller et al., 2006; Druckmüller, 2009; Druckmüllerová, 2010). V té době jsme se zapojili do projektu Shadow tracking, kdy jsme jedním z nezastupitelných článků řetězu pozorovatelů a vlastně jsme úspěšní i v případě špatného počasí, neboť naše snímky jsou po zpracování k dispozici pro všechny účastníky projektu a my naopak můžeme využít snímky ostatních do projektu zapojených. Tomu ale bylo nutné poněkud přizpůsobit program pozorování, takže od r. 2002 probíhá pořizování přesně definované série snímků tak, aby pak bylo možné jejich zpracování uvedenou metodou. Např. v r. 2008 byly pořizovány snímky digitálními fotoaparáty CANON EOS 350 D, 5D, 20D a 1D Mark II (přesný popis experimentů a vybavení viz Krivský a kol., 2008). Fotoaparáty byly řízeny ovládacím programem Multican od Jindřicha Nového. Každým teleskopem byla pořízena přesně definovaná série snímků podle potřeb zpracování matematickou metodou vizualizace detailů v koróně. Těsně po zatmění byly pořízeny série korekčních snímků – „flat field“, „dark frame“ a „bias frame“, které slouží k eliminaci falešných signálů daných šumem čipu, vadnými pixely či případnými nečistotami na snímači či dalších optických plochách. Dále slouží k odstranění vinětače objektivu.

Podobný program byl připraven i pro Čínu 2009, pro špatné počasí nebyl realizován.

Kromě výše uvedených experimentů proběhlo ještě v letech 1994, 1998, 1999 a 2001 snímání průběhu zatmění videokamerou a v letech 1994 a 1999 snímání průběhu zatmění a pokus o zaznamenání letících stínů celoblohovou komorou. V r. 1990 byl proveden pokus o registraci atmosferik (SEA), v místě pozorování ale bylo velké rušení, takže experiment nebyl úspěšný.

V r. 1997 se povedlo vyfotografovat společně s bílou korónou i kometu Hale-Bopp, která se v té době nacházela blízko Slunce. Bylo to realizováno širokoúhlým objektivem Nikkor-UD 20mm a expozičními dobami 20 s a 30 s.

V r. 1998 bylo ještě realizováno fotografování bílé koróny na černobílý film s červeným filtrem a to za

účelem zjištění rozložení jasových poměrů v koróně. Tentýž experiment byl připraven i pro zatmění v roce 1999 pro rumunskou skupinu, tam ale z důvodu špatného počasí nebyl realizován.

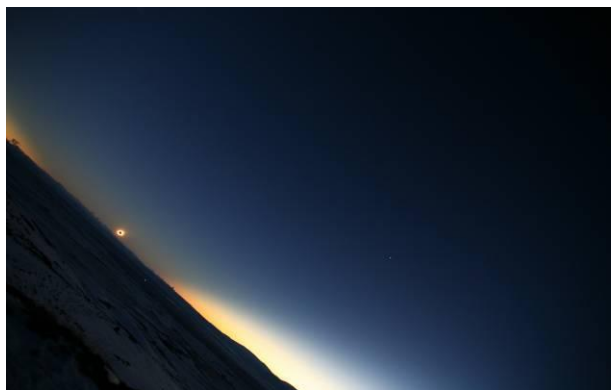
Po celou dobu našich pozorování hlavně před začátkem používání zpracování obrazu matematickou metodou vizualizace byla snaha získat ze snímků vnitřní koróny co největší detaily. Z toho důvodu jsme pro zatmění v r. 1999 v Rumunsku připravili snímání vnitřní bílé koróny dalekohledem s ohniskovou délkou 6 m (obr. 1), kdy sluneční paprsek měl být veden vzduchem do komory a tam zachycen na fotografickou desku. Pro špatné počasí však tento experiment nebyl realizován.



Obrázek. 1. Pozorovací stanoviště v rumunském Nadlacu s dalekohledem o ohniskové délce 6m.

Při zatmění v r. 2010, vzhledem k tomu, že jsme pozorovali v místě, kde již zatmění končilo a navíc probíhalo těsně před západem Slunce, byly realizovány poněkud odlišné experimenty. Pokusili jsme se využít těchto nestandardních podmínek pro pokus o pořízení snímků zodiakálního světla (obr. 2). Pro tento účel byl použit digitální fotoaparát Canon EOS 5D s velikostí čipu 24 x 36 mm ve spojení se širokoúhlým objektivem s ohniskem 20 mm, druhý digitální fotoaparát Canon EOS 20D (čip 22,5 x 15 mm) osazen rybím okem Peleng (f=8 mm) a třetí fotoaparát Canon EOS 350D (čip 22,5 x 15 mm) osazen objektivem s ohniskovou délkou 18 mm. Tento fotoaparát měl originální blokující IR filtr nahrazen filtrem Baader ACF2, který by umožnil pozorování ve vzdálenější infračervené oblasti. Na odpověď, zda byl experiment úspěšný, musíme počkat na zpracování snímků prof. Druckmüllerem.

Byly pořízeny i klasické snímky bílé koróny a to zrcadlovým objektivem MTO 500 ve spojení s klasickým barevným filmem FUJI Superia 800 umístěným na paralaktické montáži GS10. Během úplné fáze byly pořízeny 2 sady expozic od 1/1000 do 2 s. Po skončení úplného zatmění měly být pořizovány další snímky s cílem zachytit zodiakální světlo, ale vzhledem k tomu, že Slunce bylo ještě dost vysoko nad obzorem, bylo pořízeno jen několik snímků a experiment byl ukončen.



Obrázek 2. Úplné zatmění Slunce v Argentině. Nezvyklá orientace snímku je z důvodu vyfotografování oblohy do co největší vzdálenosti s cílem zachytit zodiakální světlo.

6. NAŠE VÝSLEDKY

První výsledky byly získávány z kreseb pořízených překreslováním snímků (obr. 3a,b,c,d). Byla detailně popisována velkorozměrná struktura, vytvořeny izofoty a určená elipticita (např. Marková et al., 1991; Marková a kol., 1993; Marková a Bělík, 1995; Marková a Bělík, 1996; Marková et al., 1996; Bělík a kol., 1998; Marková et al., 1999a; Marková a kol., 2002). V některých případech byl určen i integrální jas jehož hodnota např. v r. 1990 byla $J = 1,32 \times 10^6$ (Rušin a Marková, 1994), což je v souladu s předchozími pozorováními. Z dat ze zatmění v r. 1990 byl určován směr odklonu paprsků. Bylo zjištěno, že jejich odklon na rozdíl od předchozích výsledků byl v obou směrech a nebyl nijak výrazný (Rušin et al., 1995).

Od r. 2001 byla metoda překreslování nahrazena zpracováním snímků matematickou metodou vizualizace, která nám umožňuje odhalit ve struktuře koróny mnohem detailnější útvary a jejich lepší studium (obr. 4). Touto metodou jsou zpětně zpracovávány i snímky z dřívějších zatmění.

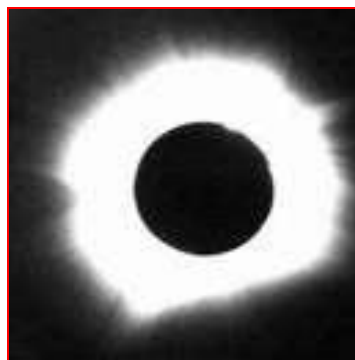
6.1. VZTAH MEZI STRUKTURAMI BÍLÉ KORÓNY A PROTUBERANCEMI

Jedním z nejvýraznějších útvarů ve sluneční koróně jsou přilbicové paprsky. Jejich rozložení kolem Slunce vykazuje silnou souvislost s fází cyklu sluneční aktivity, tj. v době maxima jsou rozprostřeny okolo celého slunečního disku, zatímco v době poklesu sluneční aktivity klesá šířka jejich výskytu od pólů k rovníku. Podobný posuv v závislosti na cyklu vykazují i protuberance. Vzhledem k tomu, že přilbicové paprsky mají téměř vždy ve své patě jednu či několik protuberancí nebo filamentů, zdá se, že existuje souvislost mezi výskytem protuberancí s výskytem a rozložením přilbicových paprsků. Tento fakt může hrát významnou roli při studiu rozložení magnetického pole nad slunečním povrchem.

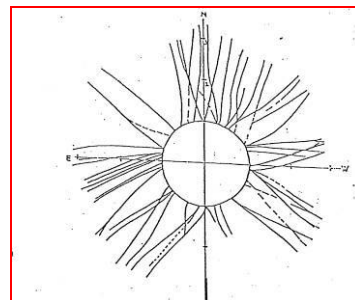
V letech 1988 - 1998 jsme proto zkoumali rozložení přilbicových paprsků ve vztahu k polohám protuberancí ve 22. a 23. cyklu sluneční aktivity. Vedle snímků ze

zatmění byly použity i snímky z koronografů MK3 a MK4 z Mauna Loa. Ukázalo se, že v minimu cyklu jsou polohy koronálních paprsků prakticky identické s polohami protuberancí ve středních a nízkých šířkách. Směrem k maximu se paprsky přesouvají ze středních šířek k pólům, kde se vyskytují v době maxima a zanikají podobně jako protuberance (obr. 5 - Bělík et al., 1999a; Marková et al., 1999b; Bělík a kol., 2000; Bělík et al., 2004)

a)



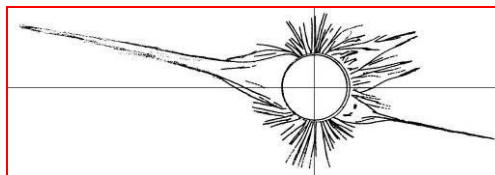
b)



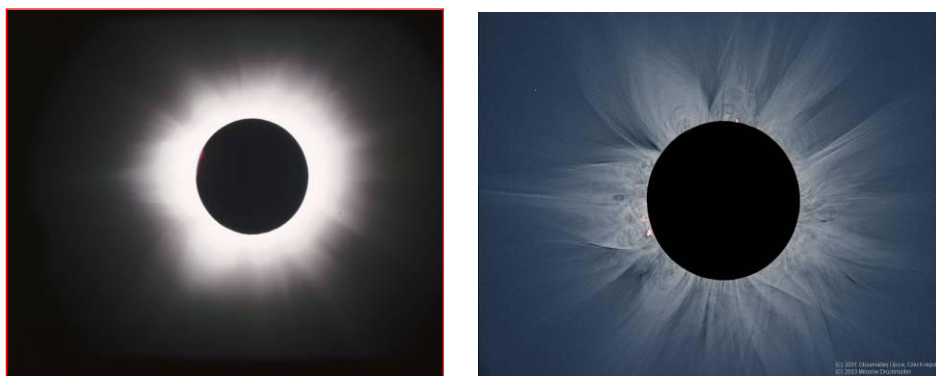
c)



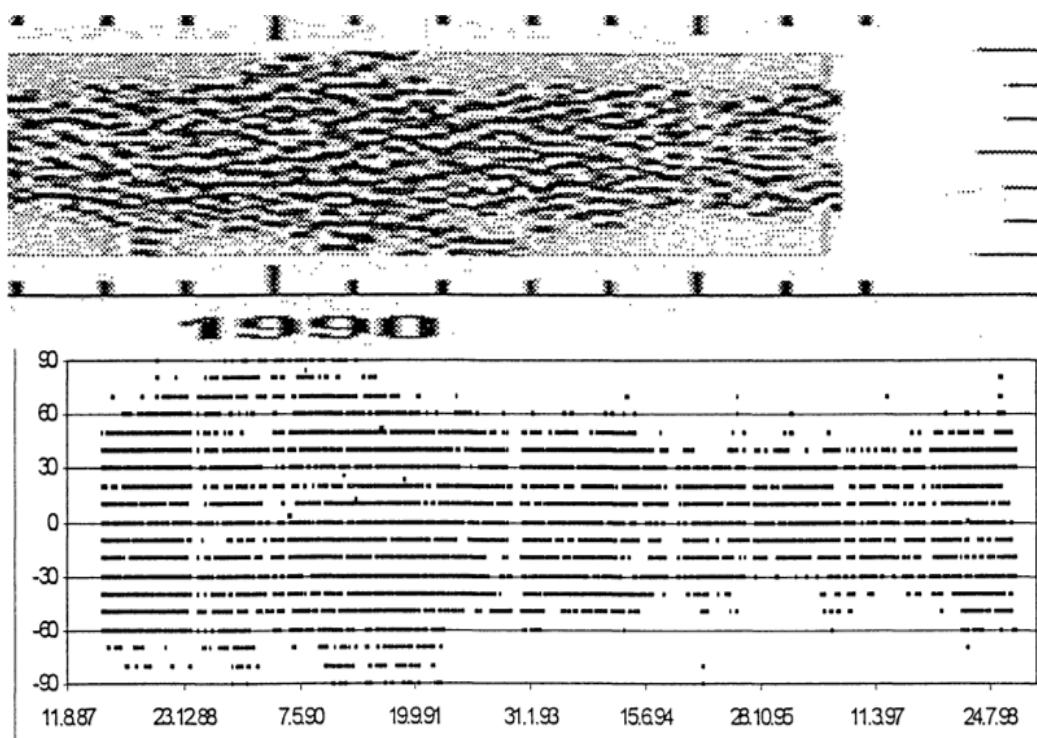
d)



Obrázek 3. Snímky úplného zatmění Slunce z r. 1990, kdy byl sluneční cyklus v maximální fázi, a z r. 1994, kdy se sluneční cyklus blíží do minima. a) původní snímek z r. 1990, b) zatmění z r. 1990 po překreslení struktury, c) původní snímek z r. 1994, d) zatmění z r. 1994 po překreslení struktury.



Obrázek 4. Snímek úplného zatmění Slunce z r. 2001, vlevo před zpracováním, vpravo po zpracování matematickou metodou vizualizace.



Obrázek 5. Rozložení maximálního výskytu protuberancí (a) a přibližových paprsků (b).

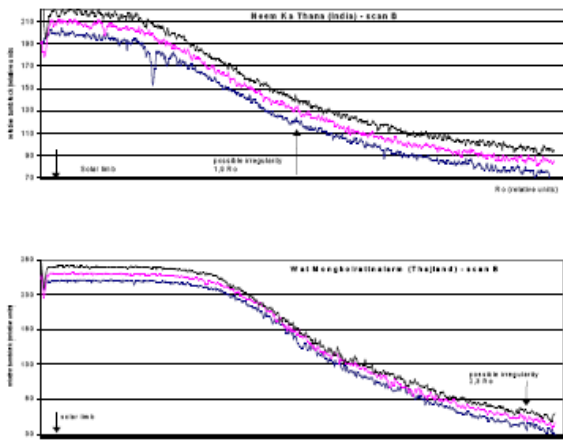
6.2. STUDIUM RYCHLÝCH ZMĚN VE SLUNEČNÍ KORÓNĚ

Rychlé změny ve sluneční koróně je možné pozorovat již v průběhu jednoho a téhož zatmění, neboť časový rozdíl mezi místem, kde měsíční stín dopadne na Zemi a kde Zemi opustí, je okolo 3 hodin. Pro tento experiment je tedy možné využít pozorování pořízených v různých místech při jednom zatmění.

První pokus o nalezení rychlých změn v koróně byl učiněn v r. 1994, kdy expedice Hvězdárny v Úpici pozorovala úplné zatmění Slunce ve Venezuele a expedice Astronomického ústavu Slovenské akademie věd Tatranská Lomnice v Chile. Časový rozdíl mezi oběma pozorovacími místy činil 28 minut. Jako další bylo využito zatmění v r. 1995, kdy expedice Hvězdárny v Úpici pozorovala v Indii a skupina doc. Martina Šolce

z Astronomického ústavu MFF UK Praha v Thajsku. Časový rozdíl mezi oběma pozorovacími místy činil 42,5 minuty. Pro tento účel byla využita i pozorování z r. 1999, kdy byly různé spolupracující skupiny rozmístěny podél celého pásu totality.

Studium rychlých změn probíhalo tak, že některými vybranými paprsky z různých míst pozorování byly provedeny osové řezy (obr. 6). Po eliminaci možných kazů způsobených nehomogenitou fotografické emulze a různými dalšími chybami byla vybrána zjasnění ve stejných paprscích z různých pozorovacích míst a bylo sledováno, jak se místo zjasnění pro různá pozorovací místa liší. Na základě toho pak byla určena rychlost pohybu zjasnění podél paprsku (Rušin et al., 1997; Bělík et al., 1999b; Marková a kol., 2000; Bělík a Marková, 2002).



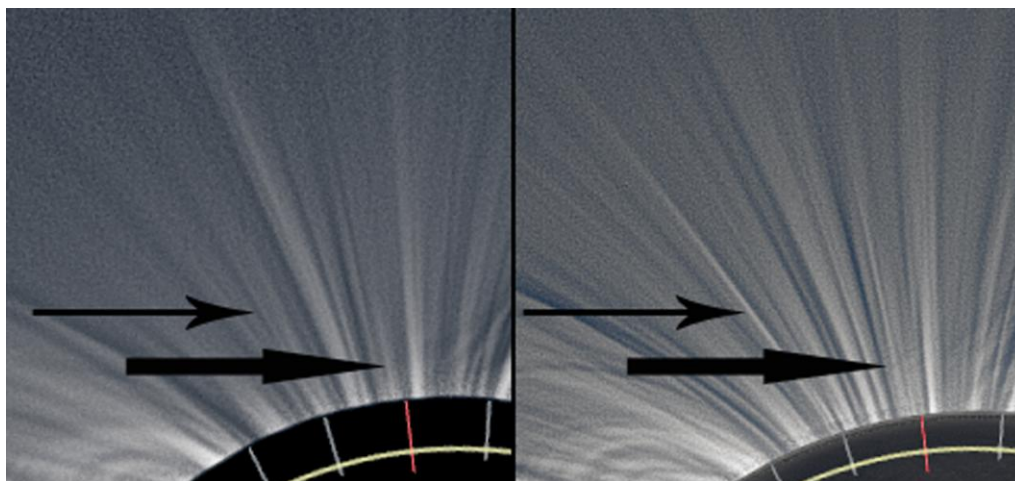
Obrázek 6. Osový řez vybraným paprskem pozorovaným při úplném zatmění Slunce v r. 1995 v Indii (horní obrázek) a Thajsku (dolní obrázek)

Z pozdějších zatmění již byly snímky zpracovávány matematickou metodou vizualizace a díky zapojení do projektu „shadow tracking“ bylo možné využít data z více míst (obr. 7). Byla určena průměrná rychlost pohybu plazmy v koronálních paprscích, která byla 67 km/s, pohybovala se mezi 35 – 146 km/s. Bylo zjištěno,

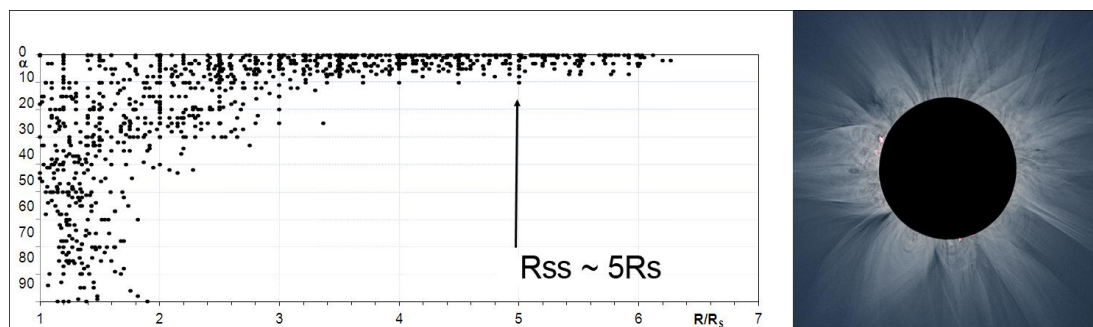
že neexistuje rozdíl mezi jevy v jižních a severních polárních oblastech Slunce. Srovnání našich výsledků s daty z kosmických sond pozorujících v jiných spektrálních oblastech vykazuje velmi dobrou shodu (Pasachoff et al., 2008; Bělík a kol., 2008; Barcynski et al., 2010; Bělík et al., 2012).

6.3. ZJIŠŤOVÁNÍ POLOMĚRU ZDROJOVÉ PLOCHY

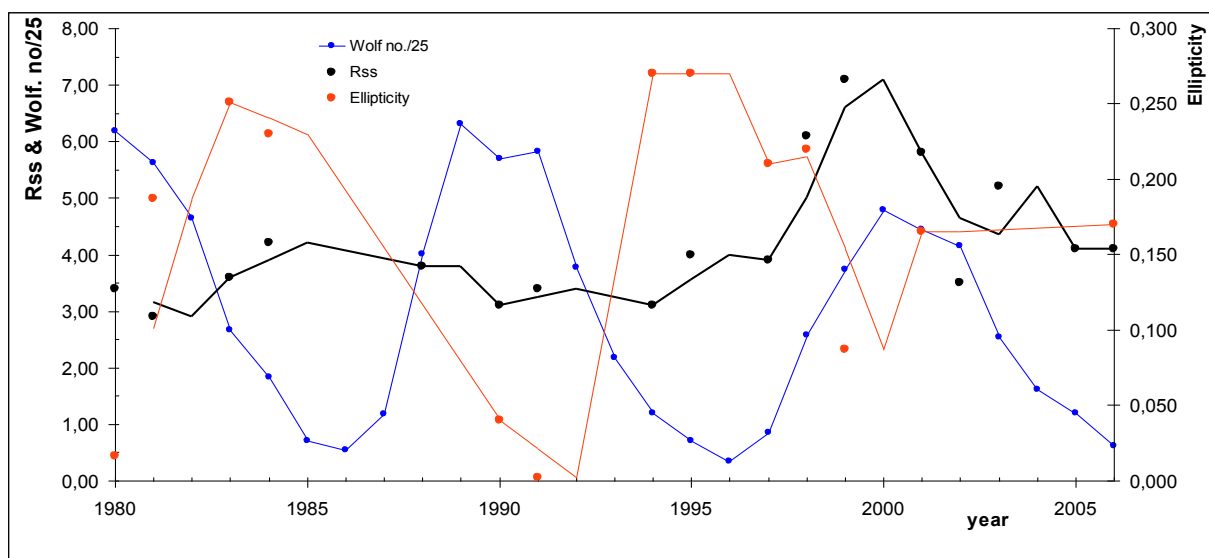
Zdrojová plocha je parametr důležitý pro výpočet modelu magnetického pole v koróně, které je jiným způsobem nezjistitelné. Je to oblast, od níž jsou struktury v koróně již pouze radiální. Běžně používaná hodnota zdrojové plochy pro výpočet modelu magnetického pole byla 2 poloměry Slunce. Po zpracování snímků zatmění a to jak historických tak i těch z pozorování v poslední době, tj z let 1980 – 2010, se ukázalo, že struktury začínají být radiální od vyšších hodnot. To znamená, že hodnota poloměru zdrojové plochy je vyšší a navíc je časově proměnná – pohybuje se od 2,9 do 7,1 poloměru Slunce (obr. 8 a 9 - Bělík a kol., 2005; Ambrož a kol., 2006; Bělík a kol., 2006; Marková a kol., 2012).



Obrázek 7. Příklad vybraných paprsků. Na obr. je vidět část severní polární oblasti, pozorované během úplného zatmění Slunce v r. 2009 v Číně (vlevo) a na atolu Enewetak (vpravo). Šipky vyznačují vybrané paprsky s pozorovatelnou změnou svítivosti. Na obrázku je patrný i pohyb Slunce a Měsíce mezi oběma pozorovacími místy (Bělík et al., 2012)



Obrázek 8. Odklon koronálních struktur od radiálního směru pro zatmění v r. 2001. Poloměr zdrojové plochy má v tomto případě hodnotu 5 poloměrů Slunce.



Obrázek 9. Průběh Wolfova čísla, elipticity a poloměru zdrojové plochy v letech 1980 – 2006.

7. VÝSLEDKY SKUPINY PROF. DRUCKMULLERA

Skupina prof. Druckmüllera se zabývala během úplných zatmění Slunce studiem sluneční koróny v emisních čarách Fe X 637,4 nm, Fe XI 789,2nm, Fe XIII 1074,7 nm a Fe XIV 530,3 nm. Na základě analýzy stupně ionizace železa byly vytvořeny 2D teplotní mapy koróny do vzdálenosti 2 poloměry Slunce. Byla určena hranice mezi oblastí, kde dominuje kolizní typ excitace iontů železa nad fotoexcitací, což umožňuje poměrně přesně odhadnout vzdálenost, ve které se plazma sluneční koróny dá již považovat za bezkolizní a stupeň ionizace železa za fixovaný. V oblasti bezkolizního plazmatu bylo zjištěno dominantní množství Fe X, což se shoduje s měřením kosmických sond Ulysses a ACE. Tím se poprvé podařilo přímo navázat analýzu iontů železa prováděnou těmito sondami ve vzdálenosti 1 – 5 AU na analýzu čar iontů železa ve vzdálenostech 0 – 3 poloměry Slunce (Habbal et al., 2011).

Z pozorování v bílém světle a pomocí úzkopásmových filtrů v sedmi spektrálních čarách (H alfa 656,3 nm, Fe IX 435,9 nm, Fe X 637,4 nm, Fe XI 789,2 nm, Fe XIII 1074,7 nm, Fe XIV 530,30 nm a Ni XV 670,17 nm) byla získána informace o rozložení elektronové teploty ve vnitřní koróně (Habbal et al., 2009; Habbal et al., 2010a; Habbal et al., 2011).

Studium tzv. coronal cavities, které se vyskytují nad protuberancemi, ukazuje, že tyto prostory jsou vyplněny horkým plazmatem o teplotě 2 MK (Habbal et al., 2010b).

ZÁVĚR

Sluneční koróna je velmi složitý útvar, který stále ještě skrývá velké množství nevyřešených problémů. Z toho důvodu je potřebné každé pozorování a to nejen přístroji na družicích, ale i pozorování pozemská včetně

pozorování úplných zatmění Slunce. Tato pozorování mají řadu záporů, jako je např. malá četnost výskytu úplných zatmění, krátká doba pozorování, velká závislost na počasí a v neposlední řadě to je i obtížnost výběru místa s potřebným zázemím, neboť úplná zatmění se velmi často vyskytují v poměrně odlehlých oblastech naší planety.

Na druhé straně ale mají tato pozorování i řadu výhod. Při úplném zatmění Slunce lze pozorovat sluneční korónu jako celek včetně té nejnvtitnější části. Náklady na pozemská pozorování ve srovnání s vypuštěním družice jsou podstatně nižší a to i při cestě do exotických koutů naší planety. Nezanedbatelnou výhodou je i velká flexibilita a skutečnost, že pro pozemská pozorování lze využít i velké dalekohledy.

Samozřejmě jsou hledány i jiné možnosti, jak zvýšit možnosti pozorování sluneční koróny. Jednou z nich by bylo umělé zatmění Slunce. V současné době ale kvalitní pozemská pozorování jsou nenahraditelná.

Poděkování

Autorka děkuje ing. Marcelovi Bělíkovi za poskytnutí některých podkladů.

LITERATURA

- Ambrož, P., Bělík, M., Marková, E.: 2006, Příspěvek k modelování koronálních magnetických struktur; 18. Celostátní sluneční seminář, Modra, 22. – 26. května 2006, Slovenská ústředná hvězdárň Hurbanovo.
- Barczyński, K., Bělík, M., Marková, E.: 2010, Dynamics of polar plumes observed during total solar eclipse 2008, Sborník referátů z 20. Celostátního slunečního semináře, Slovenská ústředná hvězdárň Hurbanovo, 134 - 137
- Bělík, M., Marková, E., Sýkora, T., Kotrč, P.: 1998, První výsledky z pozorování úplného zatmění Slunce 9. 3. 1997 na Sibiři; Sborník referátů ze semináře "Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí", Úpice, květen 1997, Hvězdárna v Úpici, 50
- Bělík, M., Marková, E., Rušin, V.: 1999a, White-light coronal

- structures during 1988-1998 eclipses; 1999, Proc. of the 1999 Solar Eclipse Workshop, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, Vol. 28, n.3, 230
- Bělík, M., Marková, E., Rušin, V., Šmelcer, L.: 1999b, Manifestation of Shock Waves in Coronal Streamers; Proc. of the 9th European Meeting on Solar Physics, "Magnetic Fields and Solar Processes", Florencie 12 - 18 September 1999, ESA, SP-448 (December 1999), Vol. 1, 225
- Bělík, M., Rušin, V., Marková, E., Brandejsová, E.: 2000, Vztah mezi strukturami bílé koróny a protuberancemi; 15. Celostátní sluneční seminář, Patince 19. - 23. června 2000, Slovenská ústředná hvězdáreň Hurbanovo, 155
- Bělík, M. a Marková, E.: 2002, Možnosti pozorování „rázových vln“ v koronálních paprscích během úplných zatmění Slunce; Sborník referátů ze 16. Celostátního slunečního semináře, Turčianské Teplice, 3. - 7. června 2002, Slovenská ústředná hvězdáreň Hurbanovo, 178
- Bělík, M., Marková, E., Rušin, V., Mínavrových, M.: 2004, Time-latitude development of the white-light coronal structures over a solar cycle; Solar Physics, Vol. 224 Nos. 1-2 October 2004, 269-275
- Bělík, M., Ambrož, P., Marková, E., Druckmüller, M.: 2005, Role magnetického pole při strukturování bílé koróny (interpretace pozorování zatmění z Angoly 2001); Sborník referátů ze 17. Celostátního slunečního semináře, Stará Lesná, 24. - 28. května 2004, Slovenská ústředná hvězdáreň Hurbanovo, 158
- Bělík, M., Ambrož, P., Eva Marková, E.: 2006, Contribution to modeling of coronal magnetic field; Proc. of the 11th European Solar Physics Meeting: The Dynamic Challenges for Theory and Observations, Leuven, 11 - 16 September 2005, ESA, SP-600, 2006, 78
- Bělík, M., Marková, E., Druckmüller, M., Druckmüllerová H., Rušin, V.: 2008, Dynamika polárních paprsků během úplných zatmění Slunce; 19. Celostátní sluneční seminář, Papradno (Povážská Bystrica), 12. - 16. května 2008, Slovenská ústředná hvězdáreň Hurbanovo, 102
- Bělík, M., Barczynski, K., Marková, E.: 2012, Dynamic of polar plumes observed during 2006, 2008, 2009 and 2010 total solar eclipses, Solar Physics, v tisku
- Bocchialini, K., Aletti, V., Vial, J.-C., Lemaire, P.: 1999, Observational signature of microscale heating, Proc. of the 9th European Meeting on Solar Physics "Magnetic Fields and Solar Processes", Florencie 12 - 18 September 1999, ESA, SP-448 (December 1999)
- Druchmüller, M.: 2009, Phase Correlation Method for the Alignment of Total Solar Eclipse Images. ASTROPHYSICAL JOURNAL, roč. 2009(706), č. 2, s. 1605-1608. ISSN: 0004- 637X
- Druckmüller, M., Rušin, V., Mínavrových, M.: 2006, Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso, 36, 131
- Druckmüllerová, H.: 2010, Registration of real images by means of phase correlation; Mendel 200 16th International Conference on Soft Computing, 201 , 578 - 583
- Esenak, F.: 2000, Digital Compositing Techniques for Coronal Imaging (Invited review), Last Total Solar Eclipse of the Millennium, ASP Conference Series, Vol. 205. Edited by W. Livingston and A. Özgüç. ISBN: 1-58381-032-3 (2000), p. 101
- Fukushima, H.: 2002, Image processing of the solar corona - wide-field and high-resolution images of the solar corona at the total solar eclipse in Africa on June 21, 2001., Report of the National Astronomical Observatory of Japan, Vol. 5, No. 4, p. 131 - 144
- Habbal, S., Druckmüller, M., Morgan, H., Daw, A., Johnson, J., Ding, A., Arndt, M., Esser, R., Rušin, V., Scholl, I. : 2009, Mapping the Distribution of Electron Temperature and Fe Charge States in the Corona with Total Solar Eclipse Observations. ASTROPHYSICAL JOURNAL, (708), č. 2, s. 1650-1662. ISSN: 0004- 637X
- Habbal, S., Morgan, H., Druckmüller, M., Ding, A.: 2010a, On the Constancy of the Electron Temperature in the Expanding Corona Throughout Solar Cycle 23, ASTROPHYSICAL JOURNAL, Vol.2010 (711), No.2, pp.75-78, ISSN 0004-637.
- Habbal, S., Druckmüller, M., Morgan, H., Scholl, I., Rušin, V., Daw, A., Johnson, J., Arndt, M.: 2010b, Total Solar Eclipse Observations of Hot Prominence Shrouds, ASTROPHYSICAL JOURNAL, Vol.2010 (719), (2010), No.2, pp.1362-1369, ISSN 0004-637X
- Habbal, S., Druckmüller, M., Morgan, H., Ding, A., Johnson, J., Druckmüllerová, H., Daw, A., Arndt, M., Dietzel, M., Saken, J.: 2011, Thermodynamics of the solar corona and evolution of the solar magnetic field as inferred from the total solar eclipse observations of 2010 July 11, ASTROPHYSICAL JOURNAL, Vol.734, (2011), No.1, pp.120-137, ISSN 0004-637X, Chicago Journals
- Harrison, R., A.: 1999, Emerging flux and coronal heating: small-scale transient events in the low solar atmosphere, Proc. of the 9th European Meeting on Solar Physics "Magnetic Fields and Solar Processes", Florencie 12 - 18 September 1999, ESA, SP-448 (December 1999)
- Koutchmy, S.: 1992, Proc. Of the First SOHO Workshop, Annapolis, Maryland, USA, 25 - 28 August 1992 (ESA SP-348, Novembr 1992)
- Koutchmy, S.: 1999, Eclipse 99 -- High Resolution Imaging: Why and how?, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, vol. 28, no. 3, p. 173-186.
- Koutchmy, S.; Belmahdi, M.; Coulter, R. L.; Demoulin, P.; Gaizauskas, V.; MacQueen, R. M.; Monnet, G.; Mouette, J.; Noens, J. C.; November, L. J.: 1994, CFHT eclipse observation of the very fine-scale solar corona, Astronomy and Astrophysics, vol. 281, no. 1, p. 249-257.
- Křivský, L., Marková, E., Bělík, M.: 2008, Experimenty Hvězdárny v Úpici pro zatmění Slunce v roce 2008; 19. Celostátní sluneční seminář, Papradno (Povážská Bystrica), 12. - 16. května 2008, Slovenská ústředná hvězdáreň Hurbanovo, 116
- Makarov, V. I.: 1994, Solar phys., 150, 359
- Marková, E., Vyskočil, L., Rušin, V., Rybanský, M.: 1991, The Solar corona on July 22, 1990; Solnečnyje dannyye,
- Marková, E., Vyskočil, L., Rušin, V., Rybanský, M.: 1993, Velkoškálová struktura bílé koróny v době úplného zatmění Slunce 22. července 1990; Zborník referátov z 11. celoštátneho slnečného seminára , Donovaly 1992, Slovenská ústředná hvězdáreň Hurbanovo, 97
- Marková, E. and Bělík, M.: 1995, Structure of the white-light corona on 3th November 1994 eclipse; Proc. of the Symp. on the Total Solar Eclipse of November 3, 1994, Revista de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia, No.69, La Paz - Bolivia, p. 37
- Marková, E. a Bělík, M.: 1996, Bílá koróna během zatmění Slunce 3.11.1994 v Brazílii; Sborník referátů ze semináře "Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí", Úpice, duben 1995, Hvězdárna v Úpici, 44
- Marková, E., Bělík, M., Sýkora, T., Šolc, M., Šolc, J., Šmelcer, L.: 1996, Structure of the white-light corona on October 24, 1995 eclipse; NATO Advances Research Workshop "Theoretical and observational problems related to solar eclipse", Sinaia, Romania, 1-5 June 1996, Romanian Astronomical Journal, vol. 6, supplement, 17
- Marková, E., Bělík, M., Rušin, V., Kotrč, P.: 1999a, Structure of the white-light corona on the 9th March 1997 and the 26th February 1998 eclipses; Proc. of the 1999 Solar Eclipse Workshop, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, Vol. 28, n.3, 210
- Marková, E., Rušin, V., Bělík, M., Sýkora, T., Brandejsová, E.: 1999b, Relation between white-light coronal structures and prominences in the period 1988 - 1999; 1999, Proc. of the 9th European Meeting on Solar Physics "Magnetic Fields and Solar Processes", Florencie 12 - 18 September 1999, ESA, SP-448 (December 1999), Vol.1, 513
- Marková, E., Bělík, M., Kučera, J., Karelš, J., Brandejsová, E.: 2000, Projevy „rázových vln“ v koronálních paprscích při zatmění 11.8.1999; 15. Celostátní sluneční seminář, Patince 19.-23. června 2000, Slovenská ústředná hvězdáreň Hurbanovo, 171
- Marková, E., Křivský, L., Bělík, M. a Druckmüller, 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
- Marková, Bělík, Ambrož: 2012, Source surface radius and its development during last three solar cycles, Solar Physics, v tisku
- November, Laurence J.; Koutchmy, Serge: 1996, White-Light Coronal Dark Threads and Density Fine Structure, Astrophysical Journal v.466, p.512
- Pasacoff, Jay M., Babcock, Bryce A., Russell, Kevin D., Seaton Daniel B.: 2002, Short Period Waves That Heat the Corona

- Detected at the 1999 Eclipse, Solar Physics, v. 207, Issue 2, p. 241-257 (2002).
- Pasachoff, J.; Rušin, V.; Druckmüller, M.; Druckmüllerová, H.; Bělík, M.; Saniga, M.; Minarovjech, M.; Marková, E.; Babcock, B.; Souza, S.; Levitt, J.: 2008, Polar Plume Brightening During the 2006 March 29 Total Eclipse, *ASTROPHYSICAL JOURNAL*, Vol.682, (2008), No.1, pp.638-643, ISSN 0004-637X, Chicago Journals
- Poedts, S.: 1999, Waves in the transition region and corona: a theorist's view, Proc. of the 9th European Meeting on Solar Physics "Magnetic Fields and Solar Processes", Florence 12 - 18 September 1999, ESA, SP-448 (December 1999)
- Rušin, V. a Rybanský, M.: 1975, *Bull. Astron. Inst. Czech.* 26, 160
- Rušin, V. a Rybanský, M.: 1976, *Bull. Astron. Inst. Czech.* 27, 279
- Rušin, V. a Rybanský, M.: 1983, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 34, 257
- Rušin, V. a Rybanský, M.: 1984, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 35, 347
- Rušin, V. a Rybanský, M.: 1985, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 36, 77, 281
- Rušin, V. a Rybanský, M.: 1990, *Slnčná koróna*, Veda, Bratislava
- Rušin, V. and Marková E.: 1994, The white-light and emission corona at the July 22, 1990 eclipse; IAU Colloquium No. 144, Tatranská Lomnica, září 1993, Veda Bratislava
- Rušin, V., Marková, E., Ambrož, P.: 1995, Modelování bílé korony 22. července 1990; Zborník referátov z 12. celoštátneho slnečného seminára, Teplý Vrch 1994, Slovenská ústredná hviezdáreň Hurbanovo, 80
- Rušin, V., Bělík, M., Marková, E.: 1997, Radial distribution of the white-light coronal brightness in the long helmet streamer observed during the November 3, 1994 eclipse; 1997, Proc. of the Fifth SOHO Workshop, Oslo, Norway, 17 - 20 June 1997 (ESA SP 404, September 1997), 647
- Rybanský, M. a Rušin, V.: 1975, *Bull. Astron. Inst. Czech.* 26, 206
- Spadaro, D.: 1999, Waves and plasma motions in the transition region and corona: the observational point of view, Proc. of the 9th European Meeting on Solar Physics "Magnetic Fields and Solar Processes", Florence 12 - 18 September 1999, ESA, SP-448 (December 1999)