

Hranie sa s dátami : dôsledky pre skúmanie dynamiky koróny

*Ján Rybák, Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica, choc @astro.sk
Kiyoshi Ichimoto, Národné astronomické observatórium, Mitaka, Tokio, Japonsko*

Abstrakt

Príspevok ilustruje na príklade pozorovania emisných koronálnych čiar význam dostatočne pozorného 'hrania sa' s dátami, získanými z pozorovaní. Ukázalo sa totiž, že použitie predpokladu o meraní spektier v tom istom mieste koróny je v prípade použitého pozorovanie neodôvodnené, keďže merania prebiehali počas pozorovania v rôznych miestach kvôli nepresnej pointácii ďalekohľadu. Bez použitia tohoto predpokladu výsledky o periódach pravidelných pohybov koronálnej plazmy ukazujú, že pohyby koronálnej plazmy sú rovnaké pre plazmu v rozsahu teplôt 1-2MK a že periódy týchto pravidelných pohybov sa môžu rozdielne v rôznych miestach v koróne, v konkrétnom prípade týchto meraní 220s a 300s. Zistili sme navyše, že perióda 300s nemohla byť spôsobená vplyvom 5-minútových oscilácií v slnečnej fotosfére.

1. ÚVOD

Plazma slnečnej koróny emituje žiarenie nielen v zakázaných emisných čiarach vo vizuálnej oblasti slnečného spektra ale i v dovolených čiarach v jeho ultrafialovej oblasti (Rušin a Rybanský, 1990). Tvar profilu týchto spektrálnych čiar je vo väčšine prípadov možné aproximovať gaussovským profilom pričom získavame parametre intenzity, dopplerovského posunu a gaussovej polšírky spektrálnej čiary. Zmeny týchto parametrov hovoria potom (za predpokladu termodynamickéj rovnováhy panujúcej v koróne) o variáciách hustoty voľných elektrónov, o pohybe plazmy smerom od/k pozorovateľovi a o netermálnom rozšírení čiary. Zmeny týchto parametrov nám umožňujú analyzovať šírenie energie v slnečnej koróne. Táto otázka nás zaujíma kvôli jej priamemu súvisu s globálnejším (a stále nevyriešeným) problémom ohrevu slnečnej koróny a urýchľovania slnečného vetra (pozri príspevky Rybáka ako i Rybanského a Minarovjecha v tomto zborníku).

2. MERANIA OSCILÁCIÍ V KORÓNE

Prácou Billingsa (1959), ktorý prvý poukázal na niekedy sa vyskytujúce pravidelné zmeny polšírky koronálnych čiar, sa začala dlhá a bohatá séria publikácií, v ktorých autori informovali o meraniach pravidelných zmien jednotlivých parametrov gaussovských profilov koronálnych čiar. Súhrn výsledkov starších prác, ktoré nie sú zďaleka jednoznačné, keďže výsledky sa líšia nielen zistenými periodami ale výskyt oscilácií bol zistený len niekedy a len v niektorých parametroch, bol spracovaný prvý-

krát Tsubakim (1988). I neskoršie merania zmien intenzity zelenej a červenej koronálnej čiary, získané na Lomnickom štíte (Rušin a Minarovjech, 1991, 1994; Minarovjech a Rušin, 1993), viedli k určeniu viacerých periód v rozsahu desiatok až stoviek sekúnd, ktoré ale neboli rovnaké pre obe čiary. Merania oscilácií, získané počas úplných zatmení Slnka, takisto nevyjasnili túto neprehľadnú zmes rôznych výsledkov (Pasachoff a kol., 2002).

3. MOTIVÁCIA TEJTO PRÁCE

Nedávna práca Ichimota a Singha (2000), ktorí publikovali predbežné výsledky simultánneho merania oscilácií dopplerovského posunu zelenej i červenej koronálnej čiary, poukázala na fakt, že perióda 230s sa vyskytla v oboch čiarach, ale periódy 300 a 330s len v meraniach zelenej čiary. Autori nezistili žiadne variácie intenzít týchto čiar ani pomeru týchto intenzít. Predpokladajúc existenciu plazmy v koronálnych slučkách magnetického poľa interpretovali tieto merania ako Alfvénove vlny, šíriace sa v nestlačiteľnej plazme pozdĺž magnetických siločiar.

Tieto predbežné výsledky nás zaujali kvôli tomu, že ak berieme do úvahy, že žiarenie zelenej a červenej čiary vzniká pri odlišných teplotách (1 a 2MK), rôznosť zistených periód oscilácií pohybu plazmy je možné vysvetliť viacerými spôsobmi, napríklad kmitaním viacerých izotermálnych slučiek s jednotlivými periodami alebo len kmitaním v dvoch slučkách o rozdielnych teplotách, ale každá slučka by kmitala s viacerými periodami. Navyše prichádza do úvahy i zmena pozorovaného miesta v koróne či zmena periódy oscilácií počas pozorovania. Keďže uvedené predbežné výsledky Ichimota a Singha je možné vysvetliť toľkými možnými spôsobmi, pozorovanie neumožňuje dostatočne pokročiť v štúdiu prenosu energie do

slnечnej koróny, napriek tomu, že bol zaznamenaný rozlíšený pravidelný pohyb plazmy v koronálnych sľučkách.

V snahe vyriešiť nejednoznačnosť týchto interpretácií sme sa pokúsili 'pohrať sa' s dátami a tak zistiť možné dôsledky pre dynamiku slnечnej koróny s dostatočným a jednoznačnejším odôvodnením.

4. DÁTA

Veľkým koronografom so spektrografom na observatóriu Norikura (Japonsko) bola 11. septembra 1997 získaná unikátna séria simultánnych meraní profilov emisných spektrálnych čiar koróny FeXIV 530,3nm (zelená čiara) a FeX 637,4nm (červená čiara). štrbina spektrografu o šírke 5 oblúkových sekúnd bola umiestnená tangenciálne slnечnému limbu v emisii aktívnej oblasti. Počas 105 minút merania bolo získaných 490 expozícií spektier s integračnou dobou 10s a s kadenciou 12,5s. Dvojrozmerné obrazy spektier boli fotometricky redukované a emisné čiary boli aproximované gaussovským profilom, keď intenzita čiar bola vyjadrená v relatívnych jednotkách a dopplerovský posun čiar bol prevedený do škály rýchlostí. Pre účel tejto práce bola vybraná poloha na štrbine s najvýraznejšími zmenami dopplerovskej rýchlosti v oboch čiarach (obr.1). Tieto dáta veľmi jasne ukazujú pravidelné zmeny posunu spektrálnych profilov čiar, ktoré nastali v prípade oboch čiar.

5. VÝSLEDKY 'HRANIA SA'

Dáta dopplerovských rýchlostí boli podrobené fourierovej analýze a vypočítané boli ako ich výkonové spektrá tak i odhad hladiny významnosti amplitúd 95% (obr. 2). Dostatočne nad touto úrovňou sa ukázala perióda 230s a 300s pre obe čiary a navyše periódy 200 a 170s pre červenú koronálnu čiaru.

Na zistenie možných časových zmien výkonového spektra sme použili metódu vlnkovej transformácie (napr. Torrence a Compo, 1998). Výpočet výkonového spektra pomocou Morletovej materskej vlnky s parametrom útlmu 6 boli urobené v rozsahu periód 100 až 500s s rozlíšením 12,5s (čas) a v priemere približne 4 sekundy (perióda). časovo-periódové rozloženie výskytu amplitúdy v dvojrozmerných výkonových spektrách vlnkovej transformácie (obr. 3) ukázali, že periódy, zistené pomocou fourierovej transformácie, sa vyskytujú len v niektorých častiach série meraní dopplerovskej rýchlosti, a teda že rady týchto dát sú nestacionárne. Navyše výkonové spektrá ukazujú, že spomínané periódy sa nevyskytujú súčasne ale v každom okamihu existuje len jedna prevládajúca perióda. V okolí času 50min sa posun oboch čiar menil s periódou približne 300s a neskôr v čase okolo 80min zas s periódou len asi 200, resp. 150s. Okrem toho zvýšená amplitúda v časovom intervale 3–55min je v prípade zelenej čiary súvislá s periódou 300s ale v prípade zelenej čiary je tento

časový vývoj prerušený zvýšením amplitúdy pre periódu asi 470 s.

Opätovná prehliadka pôvodných dát dopplerovskej rýchlosti (obr. 1) ukázala, že výsledky vlnkovej transformácie sú identifikovateľné i v priebehu pôvodných dát. Priebehy dopplerovskej rýchlosti vykazujú pre obe čiary veľmi podobný priebeh okrem neprítomnosti jedného kmitu v červenej čiare (40min), kedy metóda identifikovala periódu asi 450s. Táto zmena periódy je spôsobená práve tým, že nebol nameraný jeden zákmit dopplerovskej rýchlosti so základnou periódou. To spôsobuje zistenie zvýšenia amplitúdy s periódou približne dvakrát dlhšou ako je táto základná perióda.

Bez ohľadu na tento efekt ale použitie vlnkovej metódy jednoznačne ukázalo, že prítomnosť pôvodne zistených period 230 a 300s nie je súčasná ale že plazma, ktorej žiarenie sme zaznamenali, vykazovala najprv pravidelný pohyb s periódou 300s a až neskôr zas pohyb s periódou 230s.

Táto zmena periódy pohybu plazmy ako i súčasný pohyb plazmy v zelenej a červenej čiare vylučuje jeden s možných zdrojov oscilácií koróny s periódou 300s. Týmto vylúčeným zdrojom je parazitný vplyv posunu fotosférickej čiary ležiacej v blízkosti zelenej čiary, spôsobovaný 5-minútovými osciláciami fotosférickej plazmy.

V snahe interpretovať zmenu periódy oscilácií plazmy v koróne, sme študovali i priebeh zmien intenzity týchto koronálnych spektrálnych čiar. Zistili sme, že intenzita oboch čiar počas meraní monotónne pomaly rastie. Okrem toho sú detekovateľné výrazné zmeny intenzít čiar medzi jednotlivými spektrami a to s opakovaním každých približne 10-12 minút. Hoci tieto zmeny nastali len niekedy je tento jav viditeľný po celej dĺžke štrbiny. Tento fakt je ilustrovaný na obr. 4, kde sú oba javy síce navzájom preložené, ale dobre viditeľné v priebehoch priemernej intenzity čiar v závislosti od času, získané priemerovaním intenzity čiar po celej výške štrbiny. Porovnanie priebehov dopplerovskej rýchlosti čiar a ich vlnkových výkonových spektier ukazuje, že v časoch 30, 40 a 80 minút sú zmeny intenzity a zmeny priebehu dopplerovskej rýchlosti simultánne. Naopak tomu tak nie je v čase 55 minút.

6. ZÁVER

Vysvetlením zisteného priebehu dopplerovskej rýchlosti a priemernej intenzity koronálnych čiar, je podľa nášho názoru, nepresná pointácia koronografu počas pozorovania. Táto prebiehala pomocou fotoelektrického pointera, ktorý počas pozorovania opakovane kompenzoval nepresný pohyb koronografu, sledujúceho obraz Slnka pohybujúci sa na oblohe. Takéto vysvetlenie ale vedie k záveru, že počas pozorovania nebolo sledované stále to isté miesto na oblohe čo dokumentuje monotónne sa zvyšujúca úroveň priemernej intenzity emisných čiar. Počas pozorovania bola meraná emisia plazmy z rôznych miest (sľučiek) v koróne, keď len v niektorých z nich plazma oscilovala s uvedenými periódami s amplitúdami do 1 km/s.

Navyše sa ukázalo, že plazma pri oboch teplotách kmítala zhruba s rovnakými periódami v rovnakom čase pozorovania (mieste v koróne) ako i s rovnakou amplitúdou dopplerovskej rýchlosti. Náhle posuny štrbiny spektrogra-

fu, snažiace sa doladiť pointáciu ďalekohľadu počas pozorovania, spôsobili v niektorých okamihoch výraznú zmenu zaznamenaných dopplerovských rýchlostí v tých miestach koróny, kde bol gradient rýchlostného poľa najvýraznejší.

Napriek týmto faktom, ktoré hranie sa týmito dátami odhalilo, sa ukazuje že v koronálnych slučkách môžu existovať viaceré periody dopplerovských oscilácií plazmy s teplotami 1 i 2MK, ako napríklad v prípade tohoto pozorovania 220s a 300s, nie však súčasne. Príklad tohoto pozorovania ukazuje, že tieto oscilácie s rôznymi periodami sú lokalizované v rôznych koronálnych slučkách.

7. POUČENIA

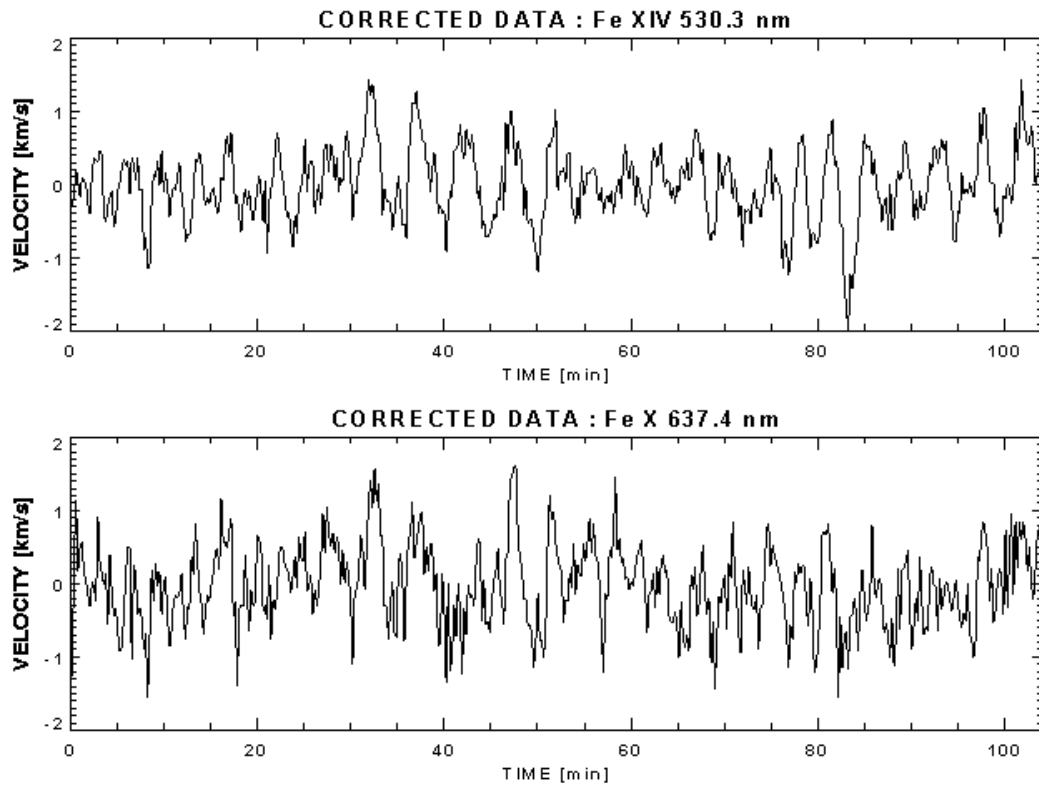
Okrem tohoto astrofyzikálneho záveru hranie sa s týmito dátami vedie k poučeniu že pre takéto typy pozorovaní je presná pointácia ďalekohľadu na to isté miesto v koróne rozhodujúca. Výber polohy štrbiny i dátumu pozorovania by mal zohľadňovať tento fakt tak, aby bol pohyb obrazu Slnka po oblohe čo najbližší rovnomernému pohybu ďalekohľadu. Okrem nepriamych informácií o polohe štrbiny počas pozorovania by bolo výhodné mať priame meranie polohy štrbiny v obraze koróny, napríklad v H alfa spektroheliograme meranej aktívnej oblasti nad limbom Slnka. Len pri splnení týchto požadaviek bude napríklad možné odpovedať napríklad na otázku o dĺžke trvania takýchto oscilácií v koronálnych slučkách.

8. POĎAKOVANIE

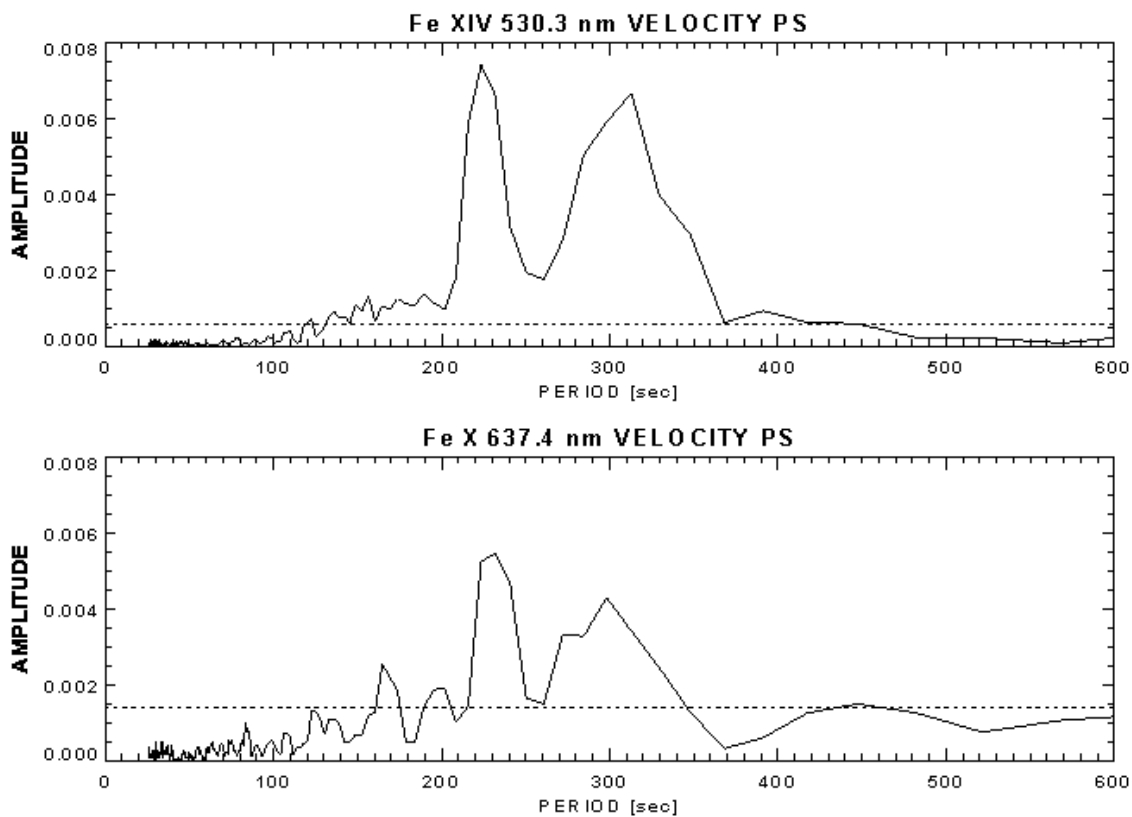
Autori ďakujú za poskytnutie programu na výpočet vlnkovej transformácie, ktorý bol vyvinutý C. Torrencom a G. Campom - Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Colorado, Boulder, USA (<http://paos.colorado.edu/research/wavelets>). Príspevok vznikol v rámci grantu 2/7229/20 grantovej agentúry VEGA (JR) a vďaka projektu JSPS-SAV 'Observational study of solar activity by using coronagraph' (KI).

LITERATÚRA

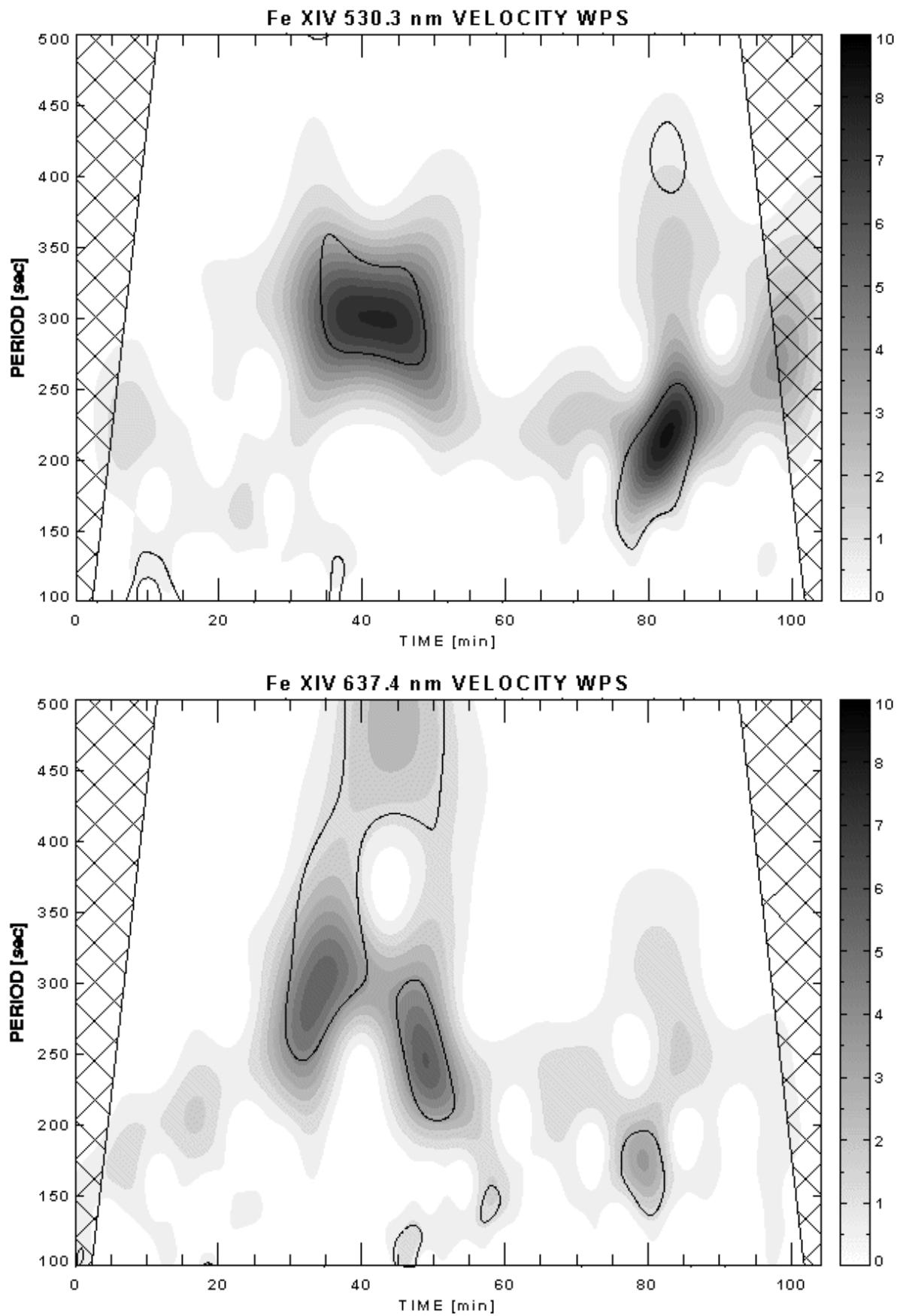
- Billings, D.E., 1959, *Astrophysical Journal*, 130, 255
Ichimoto, K., Singh, J., 2000, in 'The Last Total Solar Eclipse of the Millennium in Turkey', ed. W.Livingston, A.Ozguc, ASP Conference Series, 205, 11
Mínarovjeh, M., Rušin, V., 1993, in 'Zborník referátov z 11. celoštátneho slnečného seminára, Donovaly 1992', ed. B.Lukáč, SÚH, Hurbanovo, 80
Pasachoff, J.M., Babcock, B.A., Russell, K.D., Seaton, D.B., 2002, *Solar Physics*, 207, 241
Rušin, V., Mínarovjeh, M., 1991, in 'Mechanism of Chromospheric and Coronal Heating', proceedings of the International Conference, Heidelberg, 5-8 June 1990, ed. P.Ulmschneider, E.R.Priest, R.Rosner, Springer, Berlin, 30
Rušin, V., Mínarovjeh, M., 1994, in 'Solar Coronal Structures', proceedings of the 144th IAU colloquium, Tatranska Lomnica (Slovakia) September 20-14, 1993, ed. V.Rusin, P.Heinzel and J.-C.Vial, Veda, Bratislava, 487
Rušin, V., Rybanský, M., 1990, *Slnečná koróna*, VEDA, Bratislava
Torrence, C., Compo, G.P., 1998 *Bul. American Meteorological Soc.*, 79, 61
Tsubaki, T., 1988, in 'Solar and stellar coronal structure and dynamics', proceedings of the Ninth Sacramento Peak Summer Symposium, ed. R.N.Altrock, NSO/SP, Sunspot (USA), 140



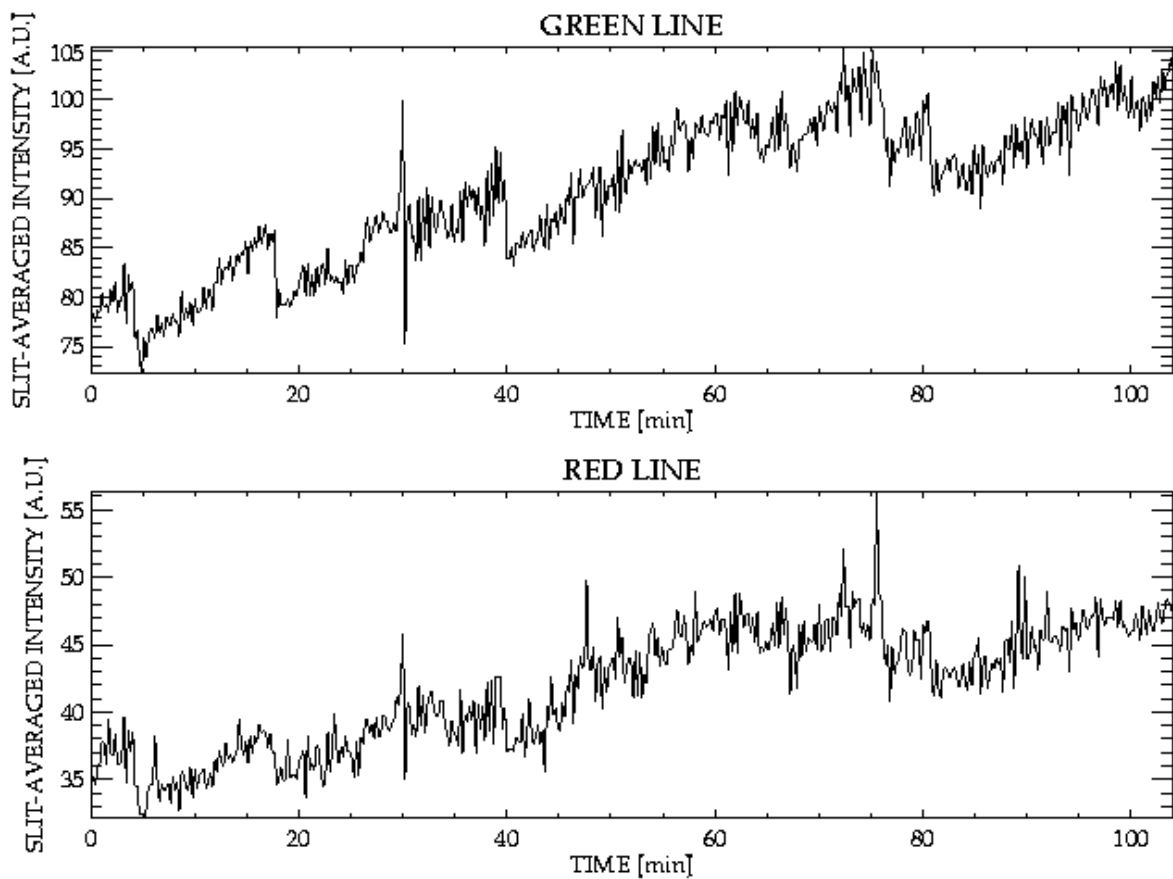
Obrázok 1. Korigované rady dopplerovskej rýchlosti určenej z meraní zelenej (horný graf) a červenej spektrálnej koronálnej čiary (dolný graf). (Os X : Time (min) - čas (min), os Y : Velocity (km/s) - rýchlosť (km/s)).



Obrázok 2. Výkonové spektrá dopplerovskej rýchlosti určenej z meraní zelenej (horný graf) a červenej koronálnej čiary (dolný graf). Horizontálne čiary udávajú hranicu významnosti 95%. (Os X : Period (min) - Perióda (min), os Y : Amplitude - Amplitúda).



Obrázok 3. Dvojmerné časovo-periódové výkonové spektrá vlnkovej transformácie dopplerovskej rýchlosti určenej z meraní zelenej (horný graf) a červenej čiary (dolný graf). Súvislé hrubé čiary udávajú hranicu významnosti 95%.šrafované oblasti vyznačujú oblasti potlačenej amplitúdy spôsobené ohraňovaním radu dát a algoritmom vlnkovej transformácie. (Os X : Time (min) - čas (min), os Y : Period (sec) - Perióda (s)).



Obrázok 4. Časový priebeh priemernej intenzity zelenej (horný graf) a červenej čiary (dolný graf), vypočítanej pozdĺž celej štrbiny spektrografu, aby bol minimalizovaný vplyv lokálnych zmien koronálnych čiar. (Os X : Time (min) - čas (min), os Y : Slit-averaged intensity (A.U.) - intenzita zpriemerovaná pozdĺž štrbiny (ľub. jednotky)).