

Vlnková analýza variácií žiarenia Slnka vo vybraných spektrálnych oblastiach na vzostupnej vetve 23. slnečného cyklu

V. Karlovský, Hvezdáreň a planetárium Hlohovec, astrokar@gmail.com
M. Lorenc, I. Dorotovič, SÚH Hurbanovo, lorenc@suh.sk, dorotovic@suh.sk

Abstrakt

Počas jednotlivých cyklov slnečnej aktivity (SA) možno pozorovať variácie žiarenia Slnka v celom rozsahu slnečného spektra. Lorenc a Dorotovič (2002) skúmali takéto variácie porovnaním údajov o celkovom žiarení Slnka (Total Solar Irradiance - TSI) a o žiarení Slnka vo vybraných spektrálnych oblastiach (Mg II, resp. Ca II) počas rokov 1997 -2001 (teda od minima po maximum 23. cyklu SA). Bolo zistené, že korelácia medzi indexami slnečnej aktivity a celkovým žiarením Slnka je vyššia v období vzostupu a maxima SA ako v období minima cyklu. V tejto práci bola na analýzu použitá vlnková transformácia. Výsledok analýzy časovej premennosti slnečnej aktivity reprezentovanej Mg II indexom (Solar UV Core to wing index) a Ca II K indexom je prezentovaný na intervale 2 až 512 dní. Denné dáta týchto indexov boli použité za pomoci vlnkovej transformácie na určenie významnosti nájdených períód. Analýza bola sústredená na hľadanie vzájomných vzťahov medzi indexami pomocou krížovej vlnkovej transformácie a vlnkovej koherencie. V práci bola skúmaná variabilita slnečnej aktivity od roku 1996 do roku 2001. Taktiež boli skúmané vzťahy medzi Mg II indexom a Koronálnym indexom (CI) od marca 2001 do februára 2002.

1. ÚVOD

Slnečné žiarenie vykazuje variácie počas jednotlivých cyklov slnečnej aktivity (SA), pričom hlavným zdrojom variability slnečného žiarenia (prejavujúcej sa v celom rozsahu slnečného spektra) sú zmeny magnetickej aktivity Slnka. Schühle a kol. (2000) zistili, že žiarenie pokojného Slnka v čiarach UV (merania pomocou prístroja SUMER) z oblasti blízko stredu slnečného disku značne narastá od minima SA po jej maximum. Prejavom magnetickej aktivity sú také aktívne javy, ako napr. slnečné škvrny, fotosférické fákule, chromosférická sieť, slnečné erupcie, protuberancie a iné. Zmeny TSI merané prístrojmi na družiciach sú spôsobené najmä prechodom slnečných škvŕn, fakuľových polí a chromosférickej siete cez disk Slnka (Unruh, Solanki a Fligge, 1999). Tieto javy sa rôznym spôsobom podieľajú na celkovom žiarení Slnka (Total Solar Irradiance - TSI): napr. slnečné škvrny spôsobujú pokles celkového žiarenia, na druhej strane fotosférické fákule a chromosférická sieť spôsobujú nárast celkového žiarenia. Skutočnosť, že TSI je vyššie v období maxima SA, naznačuje, že vplyv fakuľ a siete je väčší ako vplyv slnečných škvŕn (Fröhlich a Lean, 1998). Pauluhn a Solanki (2003) ukázali, že magnetický tok v oblastiach pokojného Slnka skúmaných Schühlem a kol. (2000) sa výrazne mení s časom a existuje dobrá korelácia medzi žiarením a nameraným magnetickým tokom. Rozdiely sú aj v amplitúde zmien celkového

žiarenia a zmien žiarenia vo vybraných oblastiach spektra: kým zmeny TSI od minima do maxima slnečného cyklu dosahujú hodnoty $\sim 0,1\%$, amplitúda zmien žiarenia v UV oblasti je až o rád vyššia, 6-7% (Solanki, 2007).

Uvedené variácie skúmali nedávno aj Lorenc a Dorotovič (2002), keď porovnali údaje o celkovom žiarení Slnka (Total Solar Irradiance - TSI) a o žiarení Slnka vo vybraných spektrálnych oblastiach (Mg II, resp. Ca II) počas rokov 1997 -2001 (teda od minima po maximum 23. cyklu SA). Výsledky v citovanej práci ukázali, že korelácia medzi indexami SA a celkovým žiarením Slnka je vyššia v období vzostupu a maxima SA ako v období minima cyklu. Relatívne vysoká korelácia poskytuje možnosť dopĺňania databáz indexov slnečnej aktivity a slnečného žiarenia v rôznych spektrálnych oblastiach z napozorovaných indexov, a tým aj možnosť skúmania vplyvu SA na pozemské prostredie počas oveľa dlhšieho časového úseku ako umožňujú len družicové pozorovania. Solanki (2007) rozdelil kvantitatívne modely použité na rekonštrukciu variácií žiarenia do minulosti na dve skupiny: a) modely, ktoré používajú koreláciu medzi rekonštruovanou úrovňou žiarenia a niekoľkými indexami použitými ako vstupné údaje pre rekonštrukciu; b) modely, ktoré sa zakladajú na modelových atmosférach s rôznymi typmi magnetických štruktúr ako základ pre výpočet ich spektier.

V tejto práci bola na analýzu použitá vlnková transformácia. Metóda vlnkovej transformácie umožňuje

analyzovať podobne ako fourierovská transformácia časový rad hodnôt a zisťovať periódy. Na rozdiel od fourierovskej transformácie umožňuje zisťovať rôzne periódy pre každý okamih radu. Vlnková transformácia sa zakladá na hľadaní podobnosti rôzne dlhých častí celého súboru údajov s prekrývajúcimi sa, rôzne škálovanými funkciami (vlnami) potrebných vlastností. Na vlastné výpočty boli použité počítačové programy pre vlnkovú analýzu svetelných kriviek premenných hviezd ako aj program, ktorý je prístupný na internetovej adrese:

<http://paos.colorado.edu/research/wavelets>.

Krížová vlnková transformácia ukazuje oblasti s vysokým spoločným výkonom a ukazuje tiež informáciu o vzťahoch fáz jednotlivých radov. O vlnkovej koherencii môžeme uvažovať ako o lokálnej korelácii medzi časovými radmi v časovo frekvenčnom priestore. V lokálnej mierke vlnková koherencia ukazuje, či fáza časových radov má rovnaké chovanie.

2. METÓDY

V našej práci bola použitá spojitá vlnková transformácia (CWT). Podrobnosti možno nájsť v práci Torrence a Compo (1998). Popis metódy krížovej vlnkovej transformácie a vlnkovej koherencie ako aj popis niektorých problémov je v prácach Grinsted, Moore a Jevrejeva 2004 a tiež Maraun a Kurths 2004

3. DÁTA

Na analýzu boli použité časové rady :

Časový rad od marca 2001 po február 2002 denných hodnôt Mg II indexu na stránke National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado USA:

ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_UV/NOAAMgII.dat

a hodnoty Mg II indexu od roku 1996 po rok 2001 zo stránky:

<http://www.swpc.noaa.gov/ftpdir/sbu/NOAAMgII.dat>

a tiež časový rad denných hodnôt koronálneho indexu od marca 2001 po február 2002 ako aj hodnoty koronálneho indexu od roku 1996 po rok 2001

ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_CORONA/

Relatívne čísla od roku 1996 po rok 2002 sú z adresy:

ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/RIDAILY.PLT

Mg II index (Mg II core-to-wing ratio) je pomer slnečného žiarenia v jadrách spektrálnych čiar Mg II h a k voči žiareniu v ich krídlach (napr. Heath a Schlesinger, 1986; Viereck a kol., 2001). Koronálny index je žiarenie Slnka ako hviezdy v zelenej spektrálnej čiare koróny - Fe XIV, 530.3 nm (Rybanský a kol., 2005).

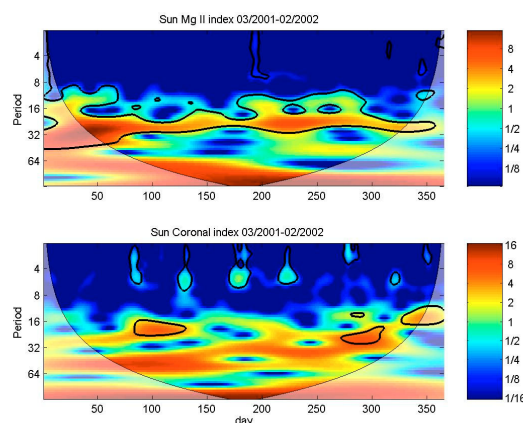
Na analýzu radov bola použitá spojitá vlnková transformácia s tzv. Morletovou materskou vlnkou, kde sínusová vlnka je modulovaná v čase Gaussovou funkciou. Na súbory dát bol aplikovaný výpočtový algoritmus Torrence a Compa (1998) v jazyku IDL. Na

určenie významnosti lokálnych maxim výkonového spektra bol použitý červený šum (red noise). Použitie červeného šumu je opodstatnené na krátkych periódach (okolo rotačnej periódy), pretože napríklad Wolfove čísla nie sú nezávislé na sebe, ale sú korelované s typickým korelačným časom približne 7 dní Oliver a Ballester, 1995, Rybák a Karlovský 2003. Lokálne maximá boli určené na hladine spoľahlivosti 95 %.

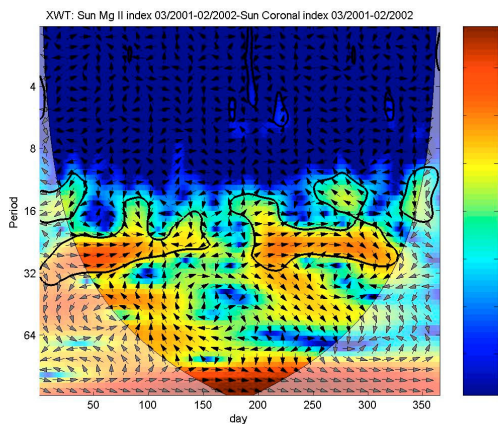
Ďalej bol na súbory dát časových radov aplikovaný výpočtový algoritmus pre určovanie spoločného (krížového) výkonového spektra vlnkovej transformácie a na určovanie vlnkovej koherencie vyvinutý Aslakom Grinstedom (2004) v prostredí MatLab

4. VÝSLEDKY

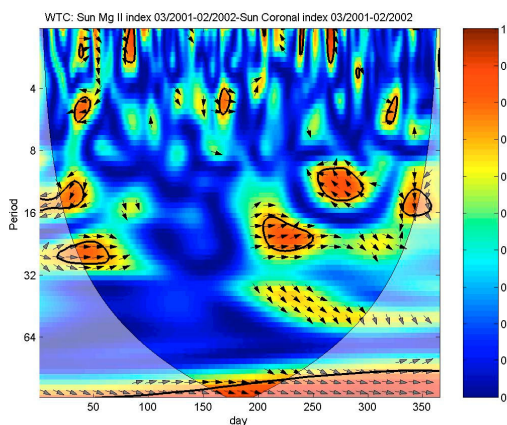
Spojité vlnkové transformácie na obrázku 1 nám dáva informáciu a výkonovom spektre indexov MgII a koronálneho indexu. Na hladine spoľahlivosti 95% je významný výkon v okolí synodickej rotačnej periódy (27,2753 dňa) pre Mg II index, pre koronálny index je táto perióda významná iba sporadicky v danom období. Situácia na obrázku 2, kde je spoločné (krížové) vlnkové výkonové spektrum oboch časových radov ukazuje najvýznamnejší výkon v oblasti rotačnej periódy počas celého skúmaného obdobia. Vlnková koherencia (obr. 3) prezentuje chaotické chovanie jednak v oblastiach okolo rotačnej periódy, ale aj v oblastiach periód väčších ako 40 dní.



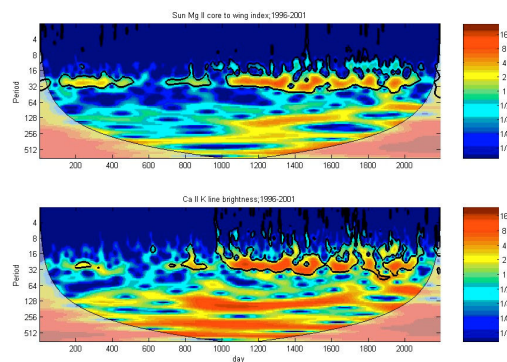
Obr.1 Vlnkové výkonové spektrum indexu MgII indexu od marca 2001 po február 2002 a vlnkové výkonové spektrum koronálneho indexu v tom istom období.



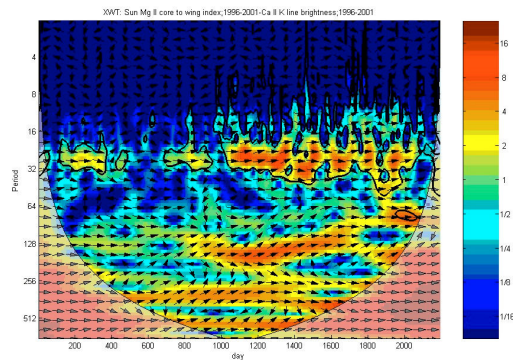
Obr.2 Krížové vlnkové výkonové spektrum *MgII* indexu a koronálneho indexu(03/2001-02/2002).



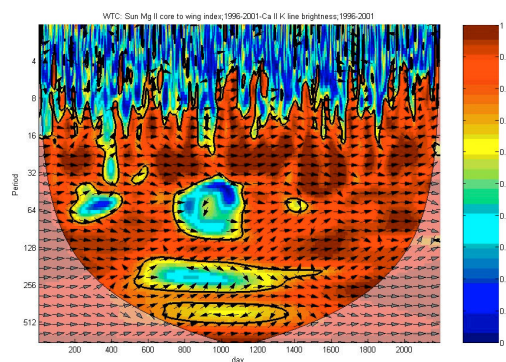
Obr.3 Vlnková koherencia *MgII* indexu a koronálneho indexu (03/2001-02/2002).



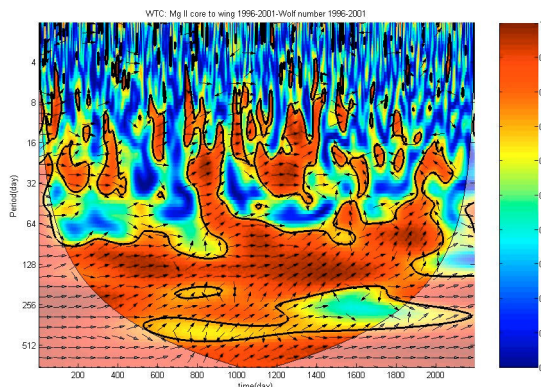
Obr.4 Vlnkové výkonové spektrum *MgII* indexu a *CaII* K indexu od roku 1996 do roku 2001.



Obr.5 Krížové vlnkové výkonové spektrum *Mg II* indexu a *Ca II* K indexu 1996 – 2001.



Obr.6 Vlnková koherencia *Mg II* indexu a *Ca II* K indexu 1996 – 2001.



Obr.7 Vlnková koherencia Wolfvho relatívneho čísla a *Mg II* indexu 1996 – 2002.

5. DISKUSIA

Výsledky analýzy ukazujú, že najvyšší spoločný výkon časových radov Mg II indexu a koronálneho indexu je v intervale períód, ktoré sú blízke rotačnej períóde. Spoločné chovanie oboch radov je možné považovať za koherentné iba sporadicky na períódach, ktoré sú blízke rotačnej.

Výsledky analýzy časových radov Mg II a Ca II K indexu od roku 1996 po rok 2001 ukazujú, že oba indexy sú koherentné ako na krátkych períódach, tak aj na períódach dlhších, prinajmenšom po 512 dní. Výpadky koherencie, ktoré vidíme na obrázku 6 v rokoch 1996 a 1998 sú spôsobené malým počtom denných dát, ktoré mohli byť použité. Pretože oba indexy sú koherentné aj na malých períódach, je možné faktické nahradenie jedného indexu druhým na určité účely.

Analýza koherencie Wolfvho relatívneho čísla a Mg II indexu (obr. 7) ukazuje, že oba indexy sú koherentne s fázou v okolí 0 stupňov na períódach 128 a 512 dní a viac. V rotačnej períóde dochádza ku koherencii iba sporadicky.

6. ZÁVER

Záverom môžeme konštatovať, že koherencia medzi dvoma časovými radmi Mg II indexu a Ca II K indexu (obr. 6) je významná na períódach od 10 po 512 dní v období rokov 1996 až 2001; koherencia Wolfvho relatívneho čísla a Mg II indexu (obr. 7) je významná na períódach od 128 po 512 dní.

Koherencia medzi Mg II indexom a koronálnym indexom (obr. 3) za obdobie 03/2001-02/2002 je iba sporadická a značne chaotická, preto na krátkych períódach nie je možné určiť užší vzťah medzi týmito indexami.

Pod'akovanie

Výpočty boli urobené za použitia modifikovaných programov algoritmov vlnkovej transformácie, originál ktorých bol vyvinutý C. Torrence a G. Compo (Wavelet software was provided by C. Torrence a G. Compo, and is available at URL:

<http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>)

v programovacom jazyku IDL.

Pod'akovanie patrí aj Aslakovi Grinstedovi za software vyvinutý na krížovú vlnkovú transformáciu a vlnkovú koherenciu v programovacom prostredí MatLab (2002-2004).

<http://www.pol.ac.uk/home/research/waveletcoherence/download.html>

(Crosswavelet and wavelet coherence software were provided by A. Grinsted)

LITERATÚRA

Fröhlich, C., Lean, J., 1998, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 4377

Grinsted, A., Moore, J.C., and Jevrejeva, S., 2004, *Nonlinear Processes in Geophysics*, **11**, 561

Heath, D. F., Schlesinger, B. M., 1986, *J. Geophys. Res.*, **91**, 8672-8682

Lorenc, M. a Dorotovič, I., 2002, v „Zborník referátov zo 16. celoštátneho slnečného seminára, Turčianske Teplice 2002“, ed. I. Dorotovič, SÚH, Hurbanovo, 82

Maraun, D. and Kurths, J., 2004 *Nonlinear Processes in Geophysics* (2004), **11**, 505

Oliver, R., Ballester, J.L., 1995, *Solar Phys.*, **156**, 145

Pauluhn, A. a Solanki, S.K., 2003, *A&A*, **407**, 359

Rybák, J., Karlovský, V., 2003, v Proc. ISCS 2003 Symposium, 'Solar Variability as an Input to the Earth Environment', Tatranská Lomnica, Slovakia, 23-28 June 2003, ESA SP-535 A. Wilson (ed.), 145

Rybanský, M., Rušin, V., Minarovjech, M., Klocok, E. a Cliver, E. W., 2005, *J. Geophys. Res.*, **110**, A08106

Schühle, U., Wilhelm, K., Hollandt, J., Lemaire, P., a Pauluhn, A., 2000, *A&A*, **354**, L71

Solanki, S. K., 2007, v Proc. Coimbra Solar Physics Meeting 'The Physics of Chromospheric Plasmas', Coimbra, Portugal, 9-13 October, 2006, ASP Conference Series, Vol. 368, P. Heinzel, I. Dorotovič, and R. J. Rutten (eds.), 481

Torrence C., Compo G.P., 1998, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**, 61

Unruh, Y. C., Solanki, S. K., Fligge, M., 1999, **345**, 635

Viereck, R., Puga, L., McMullin, D., Judge, D., Weber, M., Tobiska, W. K., 2001, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 1343