

# Křížová vlnková transformácia a vlnková koherencia medzi relatívnym číslom slnečných škvŕn na severnej a južnej hemisfére Slnka.

V.Karlovský, Hvezdáreň a planetárium Hlohovec, astrokar@gmail.com

## Abstrakt

Výsledok analýzy časovej premennosti slnečnej aktivity reprezentovanej relatívnym číslom slnečných škvŕn na severnej pologuli Slnka a na južnej pologuli Slnka je prezentovaný na intervale 2 až 256 mesiacov a tiež na intervale 2 až 1024 dní. Denné a mesačné dáta týchto indexov boli použité za pomoci vlnkovej transformácie na určenie významnosti nájdených periód. Analýza bola sústredená na hľadanie vzájomných vzťahov medzi indexami pomocou křížovej vlnkovej transformácie a vlnkovej koherencie. V práci bola skúmaná variabilita slnečnej aktivity od januára 1945 do decembra 2004 pre mesačné dáta a od januára 1993 do decembra 2004 pre denné dáta.

## 1. ÚVOD

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>.

Křížová 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 křížovej 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 relatívnych čísel slnečných škvŕn pre severnú a južnú pologuľu Slnka, ktoré publikovala Temmer et.al. (2006) a ktoré sú prístupné na Internete nasledovne:

Časový rad od januára 1945 po december 2004 mesačných hodnôt relatívnych čísel

<ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/J/A+A/447/735>

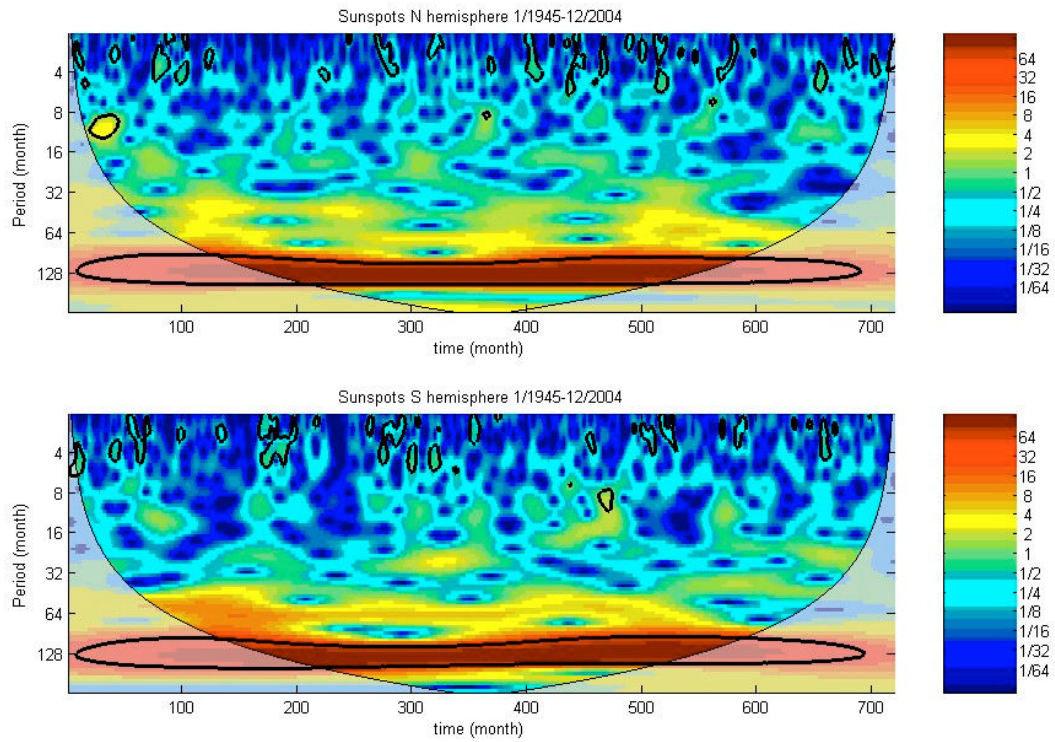
a tiež časový rad od januára 1993 po december 2004 denných hodnôt relatívnych čísel na adrese:

<ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/J/A+A/447/735>

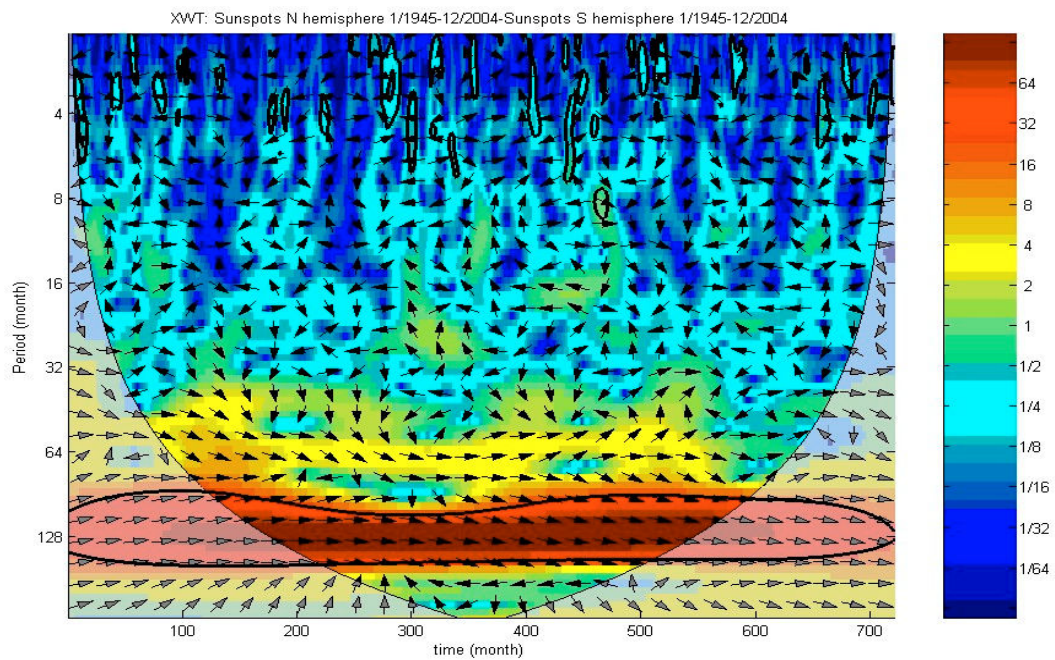
Na analýzu radov bola použitá spojitá vlnková transformácia s tzv. Morletovou materskou vlnkou, kde sinusová vlnka je modulovaná v čase Gaussovou funkciou. Na súbory dát bol aplikovaný výpočtový algoritmus Torrence a Compa (1998) v jazyku IDL. Na určenie významnosti lokálnych maxim výkonového spektra bol použitý červený šum (red noise). Lokálne maximá boli určené na hladine spoľahlivosti 95 %.

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

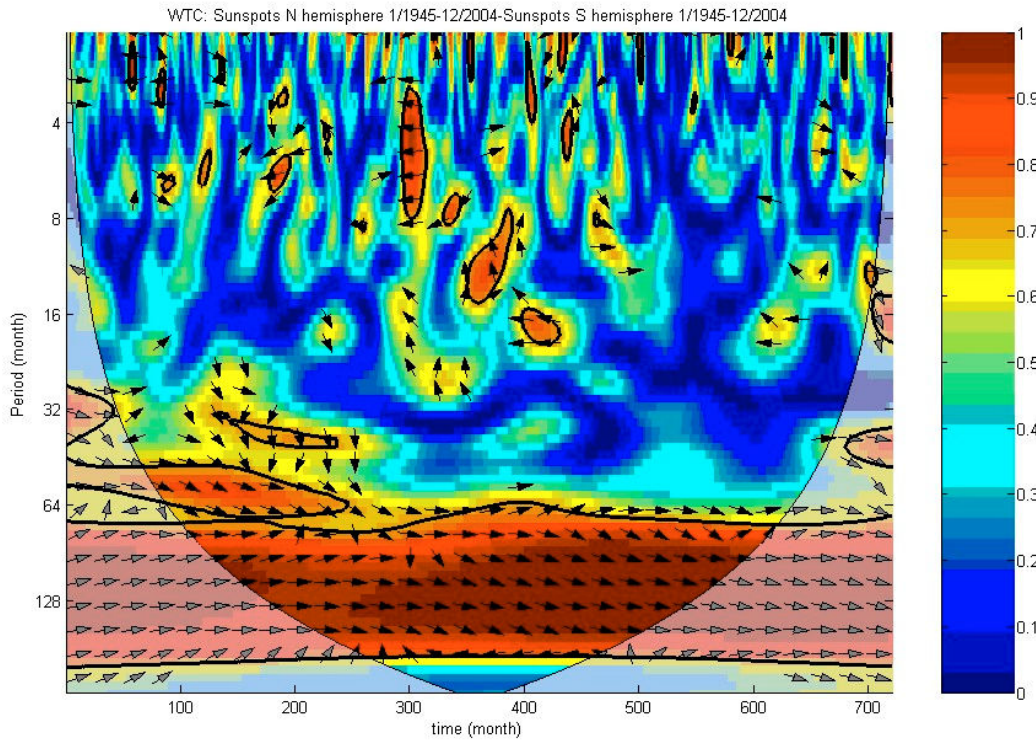
## 4. VÝSLEDKY



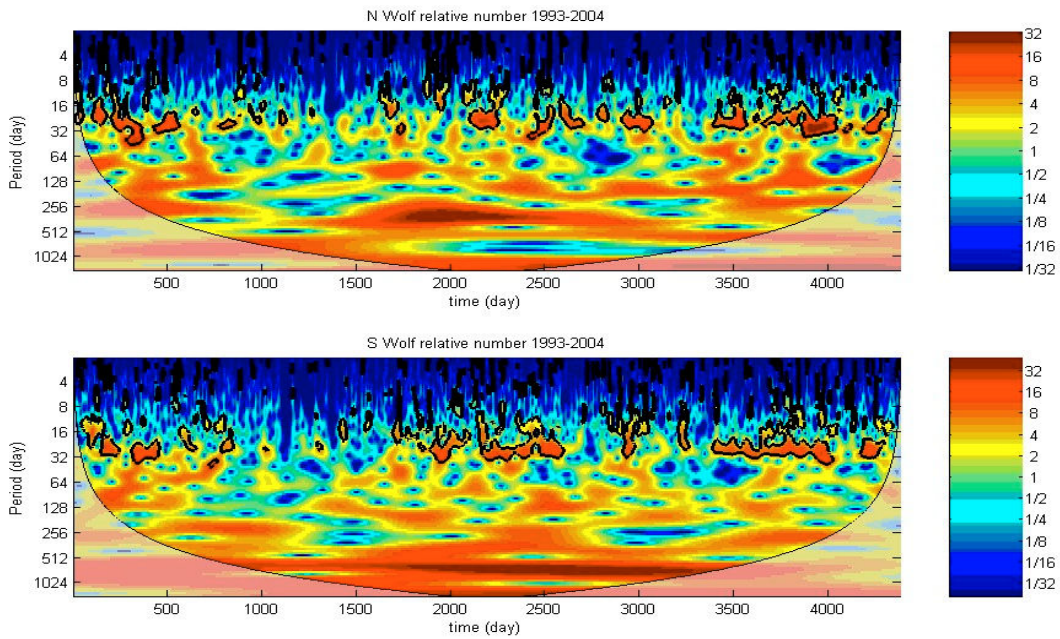
*Obr.1 Spojitá vlnková transformácia (CWT) pre mesačné dáta (január 1945 – december 2004)*



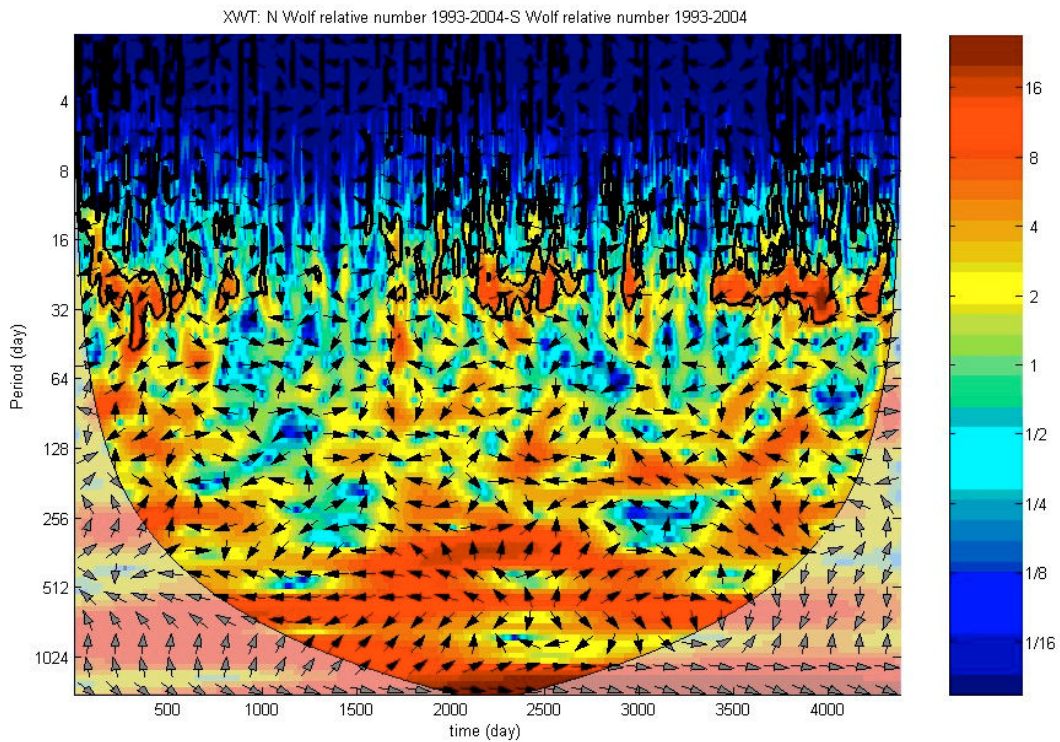
*Obr.2 Krížová vlnková transformácia (XWT) pre mesačné dáta (Jan.1945-Dec.2004)*



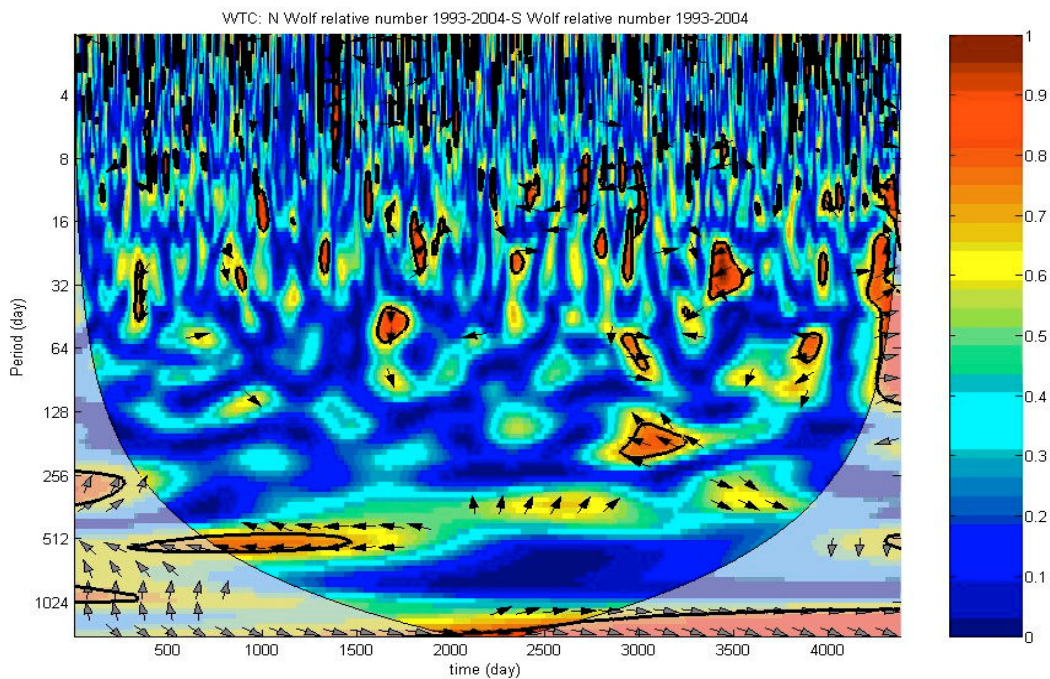
**Obr.3** Vlnková koherencia (WTC) medzi relatívnym číslom na severnej a južnej pologuli Slnka, mesačné dáta (Jan.1945- Dec.2004).



**Obr.4** Spojitá vlnková transformácia (CWT) pre denné dáta (Jan.1993-Dec.2004).



**Obr.5** Križová vlnková transformácia (XWT) pre denné dáta (Jan.1993-Dec.2004).



**Obr.6** Vlnková koherencia (WTC) medzi relatívnym číslom na severnej a južnej pologuli Slnka, denné dáta (Jan.1993-Dec.2004).

Na obrázkoch 1, 2 a 3 vidíme výkonové spektrum vlnkovej transformácie pre relatívne číslo na severnej a južnej pologuli Slnka, krížovú vlnkovú transformáciu týchto indexov, ktorá ukazuje spoločný výkon a vlnkovú koherenciu indexov pre mesačné dáta od 1.1.1945 po 31.12.2004. Vlnková koherencia ukazuje ako sa chovajú indexy, aký je rozdiel ich fáz pre jednotlivé periódy (frekvencie). Na obrázkoch 4, 5 a 6 vidíme výsledky získané pre denné dáta od 1.1.1993 po 31.12.2004.

Na hladine spoľahlivosti 95% je pre mesačné dáta najvýznamnejší výkon pre spojitú vlnkovú transformáciu v okolí periódy 128 mesiacov (10,67 roka) a 3-5 mesiacov a to isté vidíme pre krížovú vlnkovú transformáciu. Na obrázku 3 pre vlnkovú koherenciu je na hladine spoľahlivosti 95% významná perióda 128 mesiacov a na začiatku obdobia (1945-1953) aj perióda okolo 60 mesiacov (5 rokov). Významné sú ešte sporadicky periódy 3, 6, 10 a 16 mesiacov. Koherencia medzi severnou a južnou pologulou Slnka v relatívnom čísle je neobvyklá a ukazuje, že aktivity na severnej aj južnej pologuli sa chovajú prakticky nezávisle. K synchronizácii dochádza iba na veľkých periódach.

Pre výsledky pre denné dáta od 1.1.1993 po 31.12.2004 na hladine spoľahlivosti 95% je významný výkon v okolí synodickej rotačnej periódy (27,2753 dňa). Podobnú situáciu vidíme na obrázku 5, kde je spoločné (krížové) vlnkové výkonové spektrum oboch časových radov. Najvýznamnejší je výkon v oblasti rotačnej periódy počas celého skúmaného obdobia. Vlnková koherencia (Obr.6) prezentuje chaotické chovanie jednak v oblastiach okolo rotačnej periódy, ale aj v oblasti periód okolo 150 a 512 dní. Určitú významnú koherenciu vidíme na konci obdobia (1999-2004), perióda okolo 1200 dní. (3,29 roka).

## 5. DISKUSIA

Výsledky analýzy ukazujú, že najvyšší spoločný výkon časových radov relatívneho čísla na severnej a južnej pologuli Slnka je v intervale periód, ktoré sú blízke perióde 128 mesiacov (10,67 roka). Spoločné chovanie oboch radov je možné považovať za koherentné iba na periódach, ktoré sú blízke perióde 128 mesiacov. V krátkych časových periódach ale spoločné chovanie je zhodné iba sporadicky. Severná a južná pologul'a Slnka sa chovajú nezávisle vo škrvnovej aktivite. Môžeme konštatovať, že škrvnová aktivita sa pravdepodobne synchronizuje na veľkých časových škálach.

Zolotova a Ponyavin 2007 v súvislosti s aktivitou na severnej a južnej hemisfére uvádzajú, že existuje iba zriedkavá a epizodická synchronizácia na časovej škále dní. Po filtrácii dát vysokofrekvenčné komponenty vykazujú šumový charakter s 11 ročnou moduláciou. Typ synchronizácie zodpovedá synchronizácii

amplitúdy. Fázová synchronizácia bola pozorovaná iba v nízko-frekvenčných komponentoch slnečnej aktivity.

Donner a Thiel 2007 po detailnej analýze konštatujú, že asymetria medzi severnou a južnou hemisférou nie je dôsledkom fázovej asynchronizácie, ale iba rozličným prerozdelením fázy. Nepredložili však konkrétny fyzikálny mechanizmus prerozdelenia, iba naznačili určité možné mechanizmy.

## 6. ZÁVER

Záverom môžeme konštatovať, že koherencia medzi dvoma časovými radmi relatívneho čísla na severnej a južnej pologuli Slnka je významná na periódach blízke perióde 128 mesiacov. To znamená, že severná a južná pologul'a Slnka sa chovajú viac - menej nezávisle a väčšina aktivity preto pravdepodobne prebieha v povrchových vrstvách Slnka. Teória slnečného dynamika takéto chovanie pologul' nedokáže vysvetliť.

## Pod'akovanie

Výpočty boli urobené za použitia modifikovaných programov algoritmov vlnkovej transformácie, originál ktorých bol vyvinutý C.Torrence a G.Compo v programovacom jazyku IDL.

(Wavelet software was provided by C.Torrence a G.Compo, and is available at URL:

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

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

Donner R., Thiel M., 2007, Astron.Astrophys.(2007), 475, L33-L36

Grinsted A., Moore J.C., and Jevrejeva S., 2004, Nonlinear Processes in Geophysics (2004) 11: 561-566

Maraun D. and Kurths J., 2004 Nonlinear Processes in Geophysics (2004), 11: 505-514

Temmer et al., 2006, Temmer M., Rybak J., Bendik P., Veronig A., Vogler F., Otruba W., Poetzi W., Hanslmeier A., Astron. Astrophys. (2006), 447, 735

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

Zolotova N.V., Ponyavin D.I., 2007, Solar Phys. (2007) 243, 193-203



