

O identifikácii magnetoakustických gravitačných vln v slnečných póroch

I. Dorotovič, SÚH Hurbanovo, dorotovic@suh.sk

R. Erdélyi, Solar Physics & Space Plasma Research Centre (SP²RC), Dept. of Applied Mathematics, University of Sheffield, Sheffield, England, UK, robertus@sheffield.ac.uk

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

Abstrakt

Slnečné póry sú jedným z mnohých prejavov slnečnej magnetickej aktivity. Dorotovič a kol. (2002) analyzovali 11-hodinovú sériu pozorovaní póru v bielom svetle s vysokým priestorovým rozlíšením v aktívnej oblasti NOAA 7519 z 5. júna 1993, s dôrazom na skúmanie horizontálnych pohybov v okolí póru. Dorotovič a kol. (2008) následne analyzovali zmeny (pokles) plochy tohto póru s časom metódou vlnkovej transformácie. V tejto práci boli použité navyše obrázky póru získané pomocou ďalekohľadu DOT - Dutch Open Telescope (La Palma, Kanárske ostrovy, Španielsko) z 12. augusta 2007, kde bol zistený naopak nárast plochy póru s časom. Výsledky analýzy časovej premennosti plochy jednotlivých pórov sú prezentované na intervale 2 až 200 minút (5. 6. 1993), resp. 1 až 25 minút (12. 8. 2007). Zmena plochy pórov bola použitá za pomoci vlnkovej transformácie na určenie významnosti nájdených periód. Analýza bola sústredená na hľadanie pozorovateľského dôkazu lineárnych nízko-frekvenčných pomalých pozdĺžnych vln (magnetoakustické gravitačné vlny) ako prejav prepojenia medzi vnútrom Slnka (globálnymi slnečnými osciláciami) a magnetickou atmosférou.

1. ÚVOD

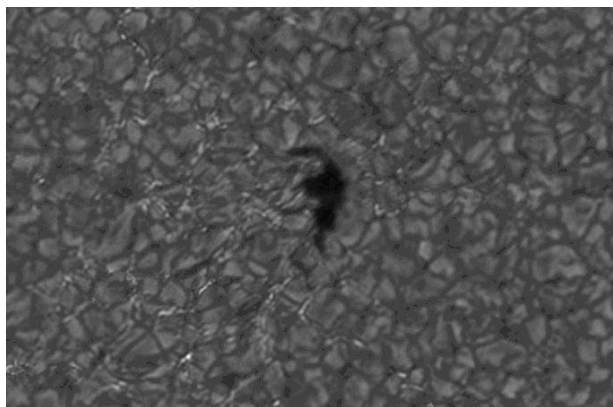
Magnetické prepojenie medzi dolnými a vyššími vrstvami atmosféry Slnka prostredníctvom magneto-hydrodynamických (MHD) vln a oscilácií zohráva dôležitú úlohu pri procesoch pozorovaných v magnetizovanej slnečnej atmosfére (napr. prehľadové práce Banerjee a kol., 2007; Erdélyi, 2006). McAteer a kol. (2003) skúmali prepojenie priečných vln s periódami $P = 8-12$ minút pohybujúcich sa smerom hore s pozdĺžnymi vlnami s periódami $P = 4-6$ minút. Rutten a Krijger (2003) zistili gravitačné vlny v chromosfére. De Pontieu a kol. (2003a) prezentovali pozorovateľskú analýzu interakcie chromosféry s hornou prechodovou vrstvou (Transition Region – TR). Intenzitné oscilácie v TR nad aktívnymi oblasťami skúmali De Pontieu a kol. (2003b), pričom autori považovali periodické toky plazmy za príčinu týchto oscilácií. Bloomfield a kol. (2004a,b) aplikovali vlnkovú analýzu na skúmanie vlnkových balíkov a identifikovanie MHD vln v sieťke pokojného Slnka.

V tejto práci sme sa zamerali na skúmanie vývoja plochy póru v dvoch vybraných sériách pozorovaní fotosféry s vysokým rozlíšením. Naším hlavným cieľom je identifikácia lineárnych MHD vln v magnetickom póre a poskytnutie ďalších pozorovateľských dôkazov existencie magnetoakustických pozdĺžnych vln v tenkých vertikálnych tokových trubiciach.

2. ÚDAJE A METÓDA ANALÝZY

Dorotovič a kol. (2004) vykonali analýzu 11-hodinovej série obrázkov fotosféry v bielom svetle s vysokým rozlíšením. V skupine škvŕn pozorovanej 5. júna 1993 pomocou 0,5 metrového Swedish Vacuum Solar Telescope – SVST (La Palma, Kanárske ostrovy, Španielsko) v aktívnej oblasti NOAA 7519 (Sobotka a kol., 1997) sa nachádzal aj pór, ktorého plocha vykazovala počas celej pozorovacej doby neustály pokles s priemernou rýchlosťou $-0,23 \text{ Mm}^2 \text{ h}^{-1}$. Údaje o vývoji plochy póru boli hlavnými vstupnými údajmi pre našu identifikáciu možných vlnových balíkov v pozorovanom magnetickom póre. Ďalším súborom obrázkov, ktorý bol použitý v tejto práci, sú pozorovania póru získané pomocou Dánskeho otvoreného ďalekohľadu (Dutch Open Telescope – DOT, La Palma, Kanárske ostrovy, Španielsko) z 12. augusta 2007 (obr. 1), kde bol zistený naopak nárast plochy póru s časom. V oboch prípadoch bol najprv odstránený trend nárastu, resp. poklesu plochy póru.

V našej práci bola na skúmanie efektov MHD vln na vývoj plochy pozorovaných pórov použitá spojité vlnková transformácia s tzv. Morletovou materskou vlnkou, kde sínusová vlnka je modulovaná v čase Gaussovou funkciou. Na súbory dát bol aplikovaný výpočtový algoritmus Torrenca a Compa (1998) v jazyku IDL.



Obr. 1. Pór z pozorovaní DOT-u 12. augusta 2007.

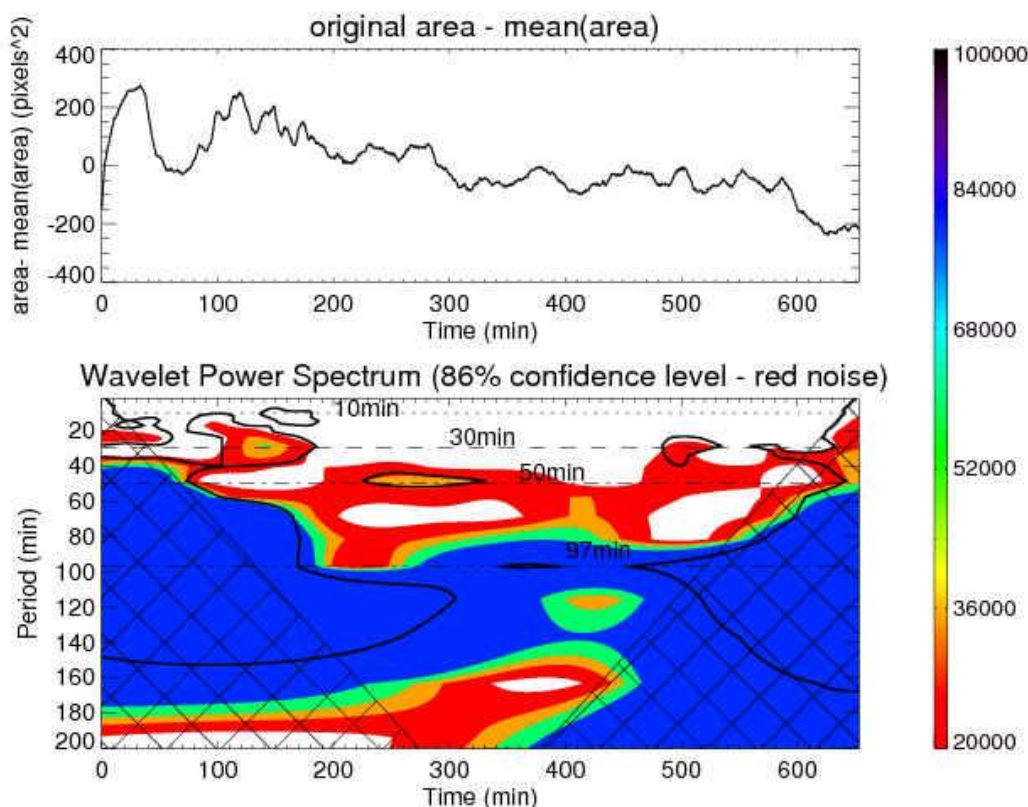
3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pozorovanie z 5. júna 1993

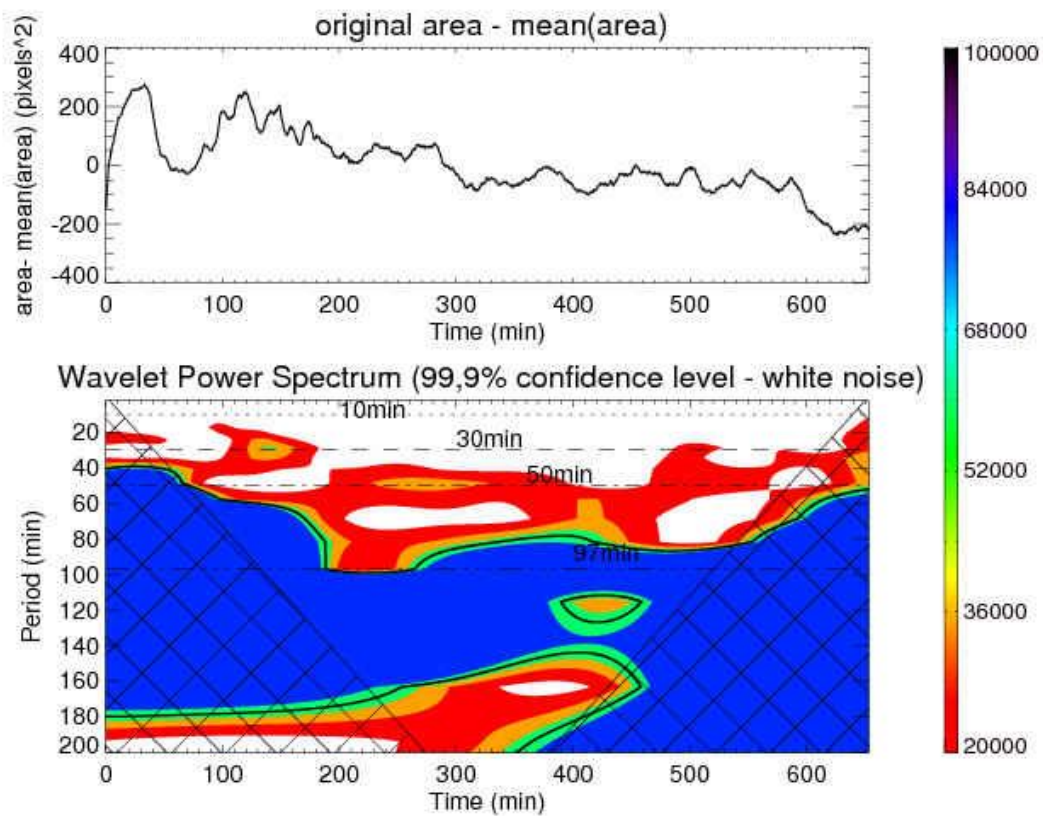
Spojité vlnková transformácia na obr. 2 – 4 nám dáva informáciu o výkonovom spektre vývoja plochy

póru 5. júna 1993. Vyšrafované oblasti na okrajoch označujú miesta, kde sú zistené amplitúdy potlačené vplyvom použitej metódy. Tučné spojité čiary ohraničujú oblasti s 86% mierou spoľahlivosti spektra (červený šum a GWS šum), resp. oblasti s 99,9% mierou spoľahlivosti spektra (biely šum).

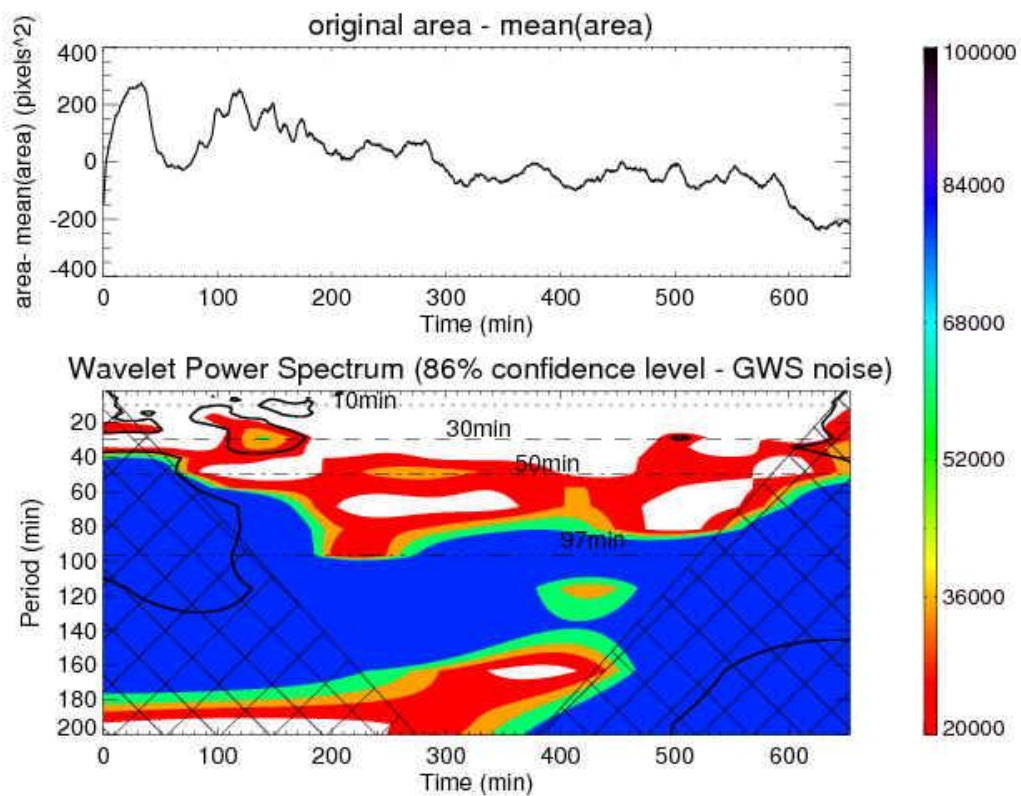
Na základe výkonových spektier sme identifikovali nasledovné periódy: 12, 17, 29, 48, 97 minút. Periódy 17 a 49 minút dobre zodpovedajú výsledkom práce Gelfreicha a kol. (2004), ktorí našli nad malými škvrnami na vlnovej dĺžke 1,76 cm rádiové oscilácie s periódami 20, 30, resp. 40 minút. Periódy z našej práce, konkrétne 29, 48 a 97 minút, dobre zodpovedajú hodnotám periód 30, 50 a 90 minút nájdenými pre veľké škvrny Gelfreichom a kol. (2004). Nárast periodicity zo 17 na 29, 48 a 97 minút naznačuje disipáciu energie oscilácií. To sa prejavuje v poklese plochy póru. Oscilácie v dolnej atmosfére môžu pravdepodobne spúšťať oscilácie koronálnych slučiek, ktoré sú zdrojom rádiovkej emisie.



Obr. 2. Zmena plochy póru s časom (horný panel) a vlnkové výkonové spektrum pre červený šum.



Obr. 3. Zmena plochy póru s časom (horný panel) a vlnkové výkonové spektrum pre biely šum.

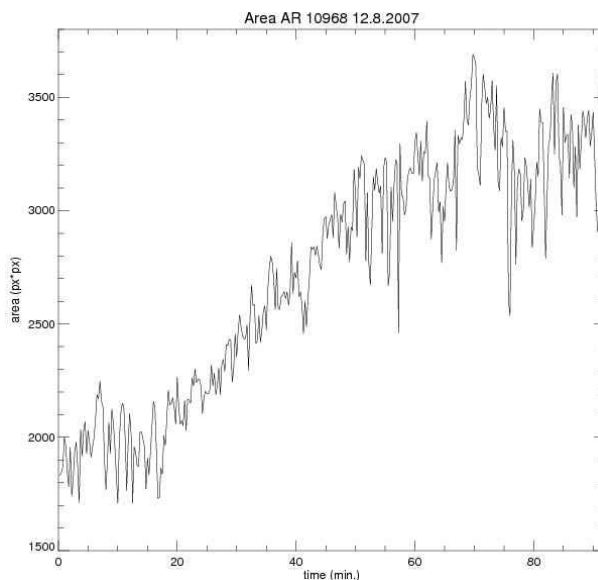


Obr. 4. Zmena plochy póru s časom (horný panel) a vlnkové výkonové spektrum pre GWS šum.

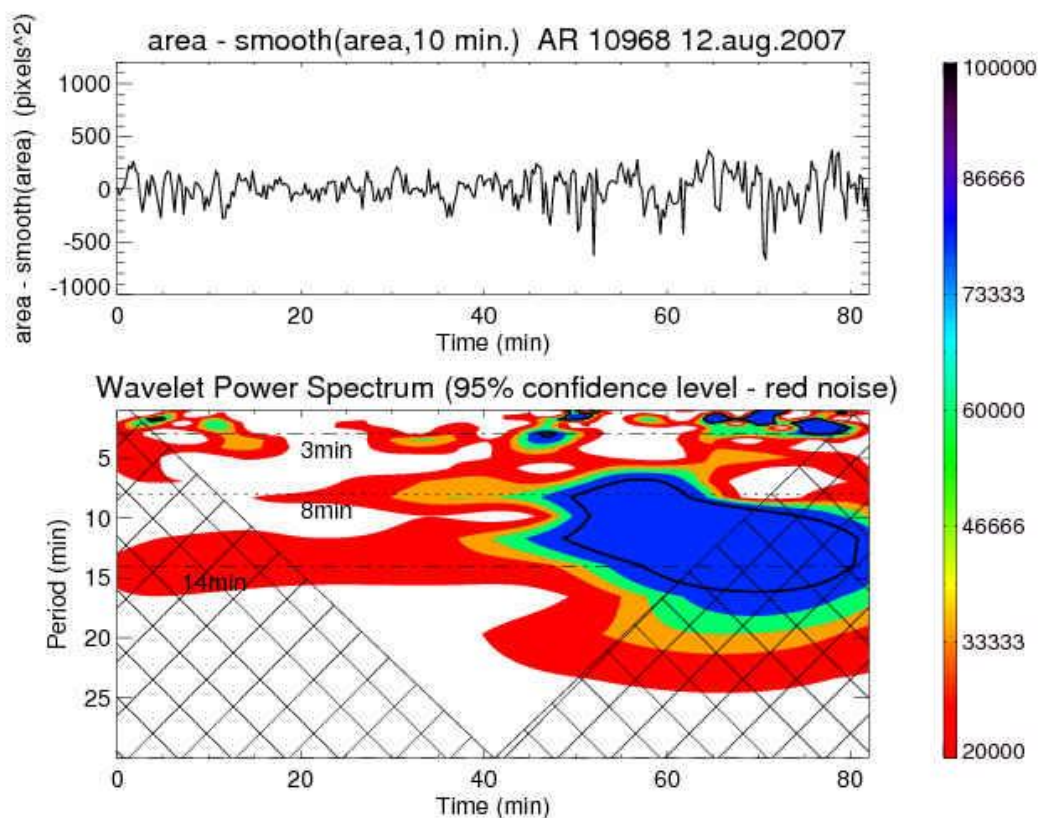
Pozorovanie z 12. augusta 2007

Na obr. 5 je znázornený vývoj plochy póru 12. augusta 2007. Spojitá vlnková transformácia na obr. 6 – 8 nám dáva informáciu o výkonovom spektre tohto vývoja. Vyšrafované oblasti na okrajoch označujú miesta, kde sú zistené amplitúdy potlačené vplyvom použitej metódy. Tučné spojité čiary ohraničujú oblasti s 95% mierou spoľahlivosti spektra pre červený a GWS šum, resp. 99% pre biely šum.

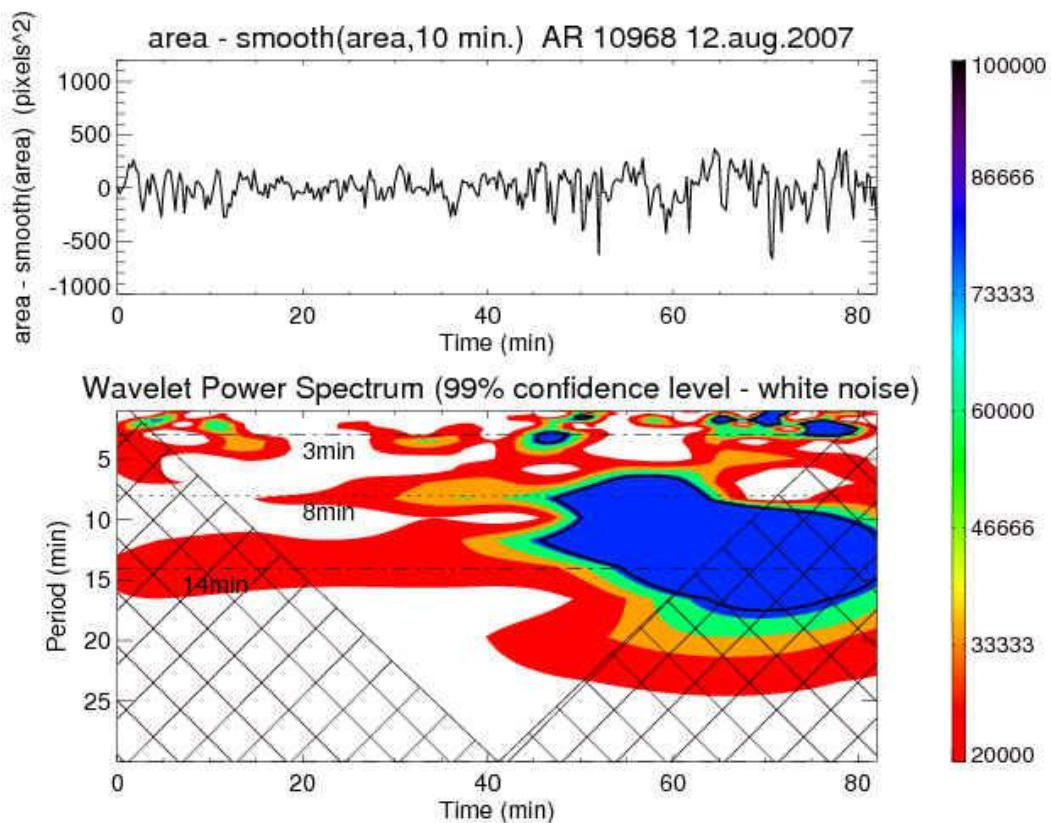
V čase rastu plochy póru boli oscilácie potlačené, od 20. do 30. minúty od začiatku záznamu boli dokonca potlačené aj 3 minútové oscilácie. Ukazujú sa periódy 3 a 4 minútové, ďalej 8 a 14 minútové; 14 minútová perióda prechádza na konci záznamu na 17- 20 minútovú periódu, čo naznačuje zmenu magnetického toku v oblasti póru.



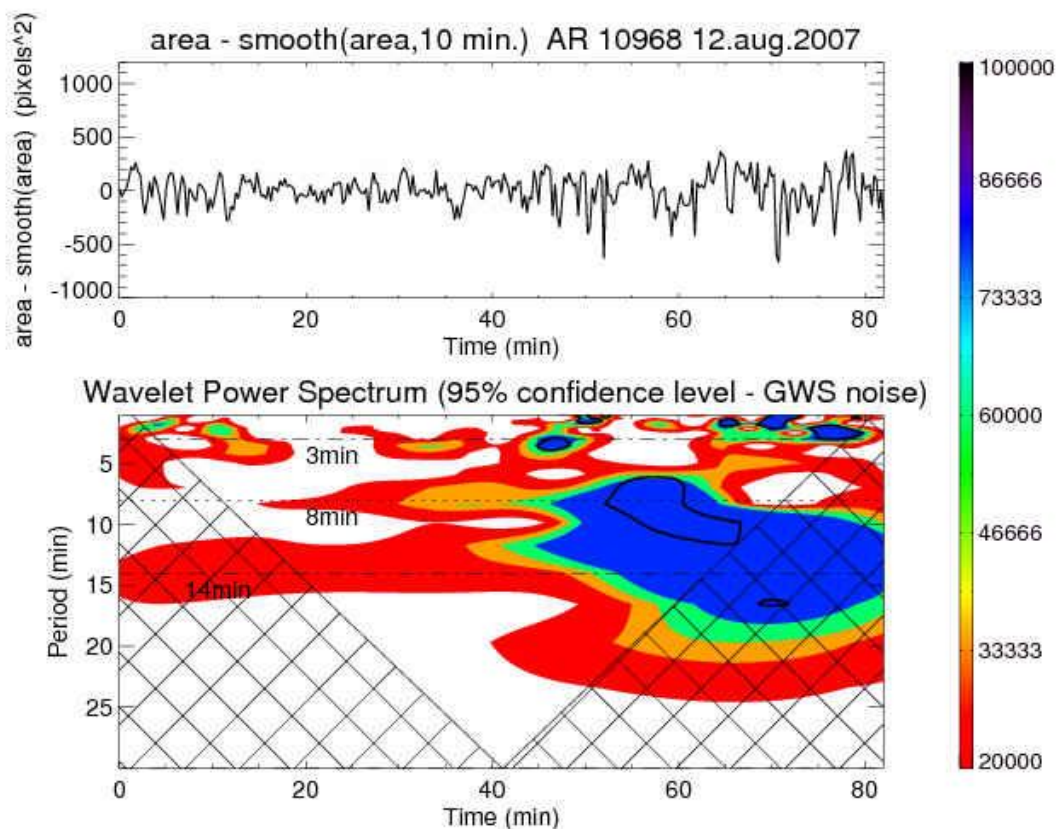
Obr. 5. Zmena plochy póru z pozorovania 12. 8. 2007.



Obr. 6. Zmena plochy póru s časom (horný panel) a vlnkové výkonové spektrum pre červený šum.



Obr. 7. Zmena plochy póru s časom (horný panel) a vlnkové výkonové spektrum pre biely šum.



Obr. 8. Zmena plochy póru s časom (horný panel) a vlnkové výkonové spektrum pre GWS šum.

4. ZÁVER

V prípade pozorovania z 5. júna 1993 môžeme na základe časového vývoja skúmanej plochy póru prirodzene interpretovať pozorované periodické zmeny ako zmeny prierezu úzkej tokovej trubice, prejavujúcej sa ako pór, čo je dôkazom existencie lineárnych pomalých (magnetoakustických) pozdĺžnych vln. Nárast periódy s časom naznačuje disipáciu energie oscilácií, pričom táto disipácia poukazuje na prenos akustických vln do chromosféry, prechodovej vrstvy a koróny. Vlastnosti vrstiev nad fotosférou sú značne premenlivé. Akustické vlny sa v takom nelineárnom prostredí správajú tak, že tok energie v smere lúča vln je konštantný (Whitham, 1974). Keďže hustota s výškou rýchlo klesá, energia sa musí prerozdeliť na stále menší počet častíc, čím dochádza k ohrievaniu. Absorbcia v takomto prostredí závisí ako od frekvencie, tak aj od tepelnej vodivosti, ktorá je vo fotosfére škvŕn okolo 10W/m.K. Akustické vlny majú zrejme celú škálu frekvencií. Vzhľadom na silnú absorbciu vo vzťahu k frekvencii (tým aj k perióde), vyššie frekvencie (kratšie periódy) sú absorbované viac ako menšie frekvencie (dlhšie periódy). Tak potom pravdepodobne vzniká stav, že perióda sa postupne zväčšuje. Zaujímavé je aj to, že okolo času 500 minút sa objavuje znova 30 minútová perióda – akoby ďalšia dávka akustických vln, čo vedie k ďalšiemu zmenšovaniu plochy pozorovaného póru (strate energie).

V prípade pozorovania z 12. augusta 2007 došlo medzi 20. a 40. minútou pozorovania k značnému zväčšeniu plochy póru, čo naznačuje zvýšenie magnetického toku v danej oblasti. S tým súvisí iný fyzikálny mechanizmus, na ktorý nemožno aplikovať interpretácie z predchádzajúceho odseku.

Pod'akovanie

Výpočty boli urobené za použitia modifikovaných programov algoritmov vlnkovej transformácie, originál ktorých vyvinuli 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/>)

LITERATÚRA

- Banerjee, D., Erdélyi, R., Oliver, R. a O'Shea, E.: 2007, *Solar Phys.*, 246, 3
- Bloomfield, D.S., McAteer, R. T. J., Mathioudakis, M., Williams, D. R., Keenan, F. P.: 2004a, *Astrophys. J.*, 604, 936
- Bloomfield, D.S., McAteer, R. T. J., Lites, B. W., Judge, P. G.; Mathioudakis, M., Keenan, F. P.: 2004b, *Astrophys. J.*, 617, 623
- De Pontieu, B., Tarbell, T., Erdélyi, R.: 2003a, *Astrophys. J.*, 590, 502
- De Pontieu, B., Erdélyi, R., de Wijn, A. G.: 2003b, *Astrophys. J.*, 595, L63
- Dorotovič I., Sobotka M., Brandt P.N., Simon G.W.: 2004, *Zborník referátov zo 16. celoštátneho slnečného seminára, Turčianske Teplice 2002*, ed. I. Dorotovič, SÚH Hurbanovo, 46
- Erdélyi, R.: 2006, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A364, 351
- Gelfreikh G.B., Shibasaki K., Nagovitsyna E.Yu., a Nagovitsyn Yu.A.: 2004, in: A.V.Stepanov, E.E.Benevolenskaya & A.G.Kosovichev (eds.), *Multi-Wavelength Investigations of Solar Activity*, Proceedings IAU Symposium No.223, Cambridge Univ. Press, 245
- McAteer, R. T. J., Gallagher, P. T., Williams, D. R., Mathioudakis, M., Bloomfield, D. S.; Phillips, K. J. H. a Keenan, F. P.: 2003, *Astrophys. J.*, 587, 806
- Rutten, R. J. a Krijger, J. M.: 2003, *Astron. Astrophys.*, 407, 735
- Sobotka, M., Brandt, P.N. a Simon, G.W.: 1997, *Astron. Astrophys.*, 328, 682
- Torrence, C. a Compo, G.P.: 1998, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, 61
- Whitham, G.B.: 1974, *Linear and Nonlinear Waves*, Wiley & Sons