

Pozorovanie slnečnej fotosféry a chromosféry prístrojmi SST a DOT s veľkým priestorovým rozlíšením

A. Kučera, *Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica, akucera @astro.sk*
P. Gömöry, *Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica, gomory @astro.sk*

Abstrakt:

Uvádžeme pozorovania aktívnej slnečnej fotosféry a chromosféry uskutočnené so Švédskym Slniečným teleskopom (SST) a Holandským otvoreným teleskopom (DOT). Pozorovali sme kraj aktívnej oblasti AR 10955 dňa 12. mája 2007 s dobre vyvinutými fibrilami viditeľnými v čiare H-alfa. Pozorovania z SST pokrývali spektrálne oblasti 614.9 nm, 630.1 nm a 557.6 nm. Rovnakú oblasť sme pozorovali s DOT v modrom a červenom kontinuu, a v spektrálnej čiare CaII H. Čiaru H-alfa sme snímali v piatich bodoch profilu. Diskutujeme predbežné výsledky výskumu ukotvenia a prejavu chromosférických fibril vo fotosfére.

1. ÚVOD

V slnečnej atmosfére sa stretávame s viacerými útvarmi, ktoré majú podobný charakter a pravdepodobne aj podobnú fyzikálnu podstatu. Sú to fibrily – tmavé jemne útvary pozorované v čiare H-alfa v chromosfére, ďalej spikuly – pozorované nad okrajom slnečného disku ako jasné výtrysky, a potom tzv. mottels, tmavé relatívne chladné jemné útvary vystrelujúce zo spodnej chromosféry do koróny s nadzvukovou rýchlosťou. Všetky tieto objekty sú kandidátmi na riešenie problému prenosu energie potrebnej pre ohrev koróny a preto sa im venuje v poslednej dobe veľká pozornosť. Sú intenzívne skúmané prístrojmi umožňujúcimi veľké priestorové a časové rozlíšenie avšak podstata týchto jemných magnetických útvarov v slnečnej atmosfére nie je stále jasná. Viacero prác sa zameriava na skúmanie ich dynamických a rozmerových charakteristík a pravdepodobnú fyzikálnu podstatu (viď napríklad De Pontieu a kol., 2007, Langangen a kol., 2008, Lin a kol., 2008, Bostanci a Erdogan, 2007, Tsiropoula a Tziotziou, 2004, Koza a kol., 2008). Otvorenou ostáva otázka, kde presne a ako, sú fibrily a malé magnetické chromosférické útvary ukotvené vo fotosfére. V tomto príspevku prinášame predbežné výsledky skúmania dynamických prejavov fibril v chromosfére a v priestorovo odpovedajúcej fotosfére a diskutujeme predbežné výsledky výskumu ukotvenia a prejavu chromosférických fibril vo fotosfére. Použili sme simultánne pozorovania fotosféry Švédskym Slniečným teleskopom (získané spektrá a obrázky okolia štrbiny spektrografu) a Holandským otvoreným teleskopom (získané obrázky chromosféry v

čiarach H-alfa a CaII H a fotosféry v G-band a v kontinuuach 432nm a 655nm.

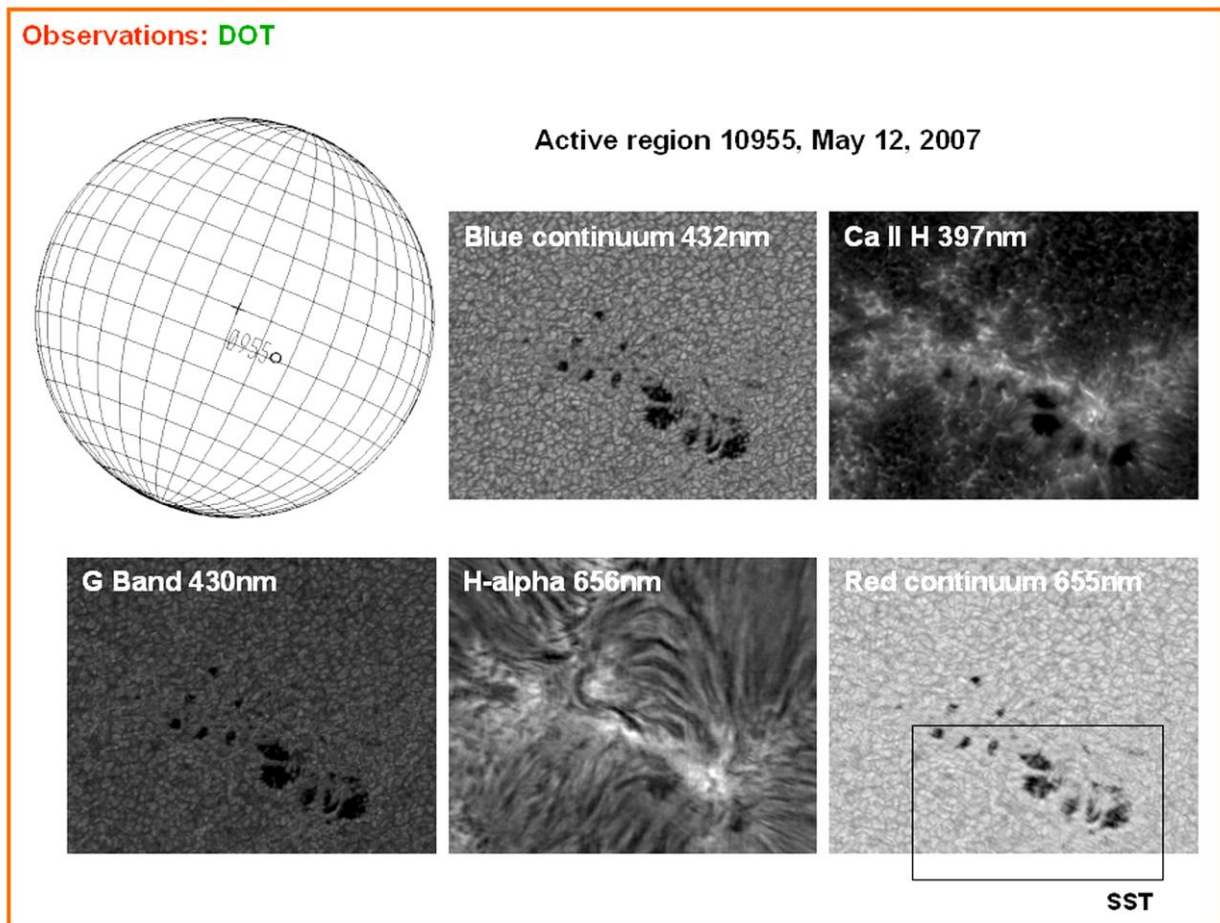
2. POZOROVANIA A SPRACOVANIE DÁT

Pozorovania prebehli 12. mája 2007 a bola pozorovaná slabá aktívna oblasť AR 10955, ($S=8.3^\circ$, $W=14.5^\circ$, $\mu=0.964$), ktorá vykazovala dobre viditeľné chromosférické fibrily. Na Obr. č. 1. je ukázaný príklad pozorovaní vykonávaných prístrojom DOT s vyznačenou oblasťou, ktorá bola simultánne pozorovaná aj prístrojom SST. Základné charakteristiky pozorovaní s prístrojom DOT sú uvedené v Tabuľke I.

Tabuľka I. DOT pozorovania.

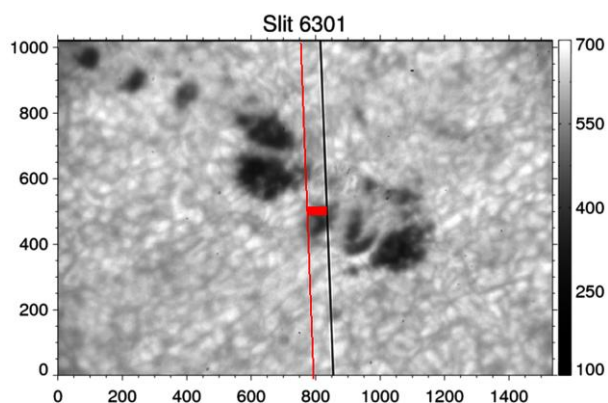
Dátum: 12.05.2007
Čas: 08:43 - 08:59 UT celkove 28 obrazov
Target: AR 10955 ($S=8.3^\circ$, $W=14.5^\circ$, $\mu=0.964$)
Kvalita, Fried parameter r_0 (G-band):
maximum 7.5, min
minimum 4.3,
priemer 5.7
Snímky: CaII H 397nm
G Band 430nm
Blue continuum 432nm
Red continuum 655nm
H-alpha 656 nm skanovanie cez čiaru
(5 bodov, -0.7, -0.35, 0, 0.35, 0.7 Å)
Priestorové rozlíšenie: 0.071 arcsec/pixel.

Observations: DOT



Obr. č. 1. Ukážka pozorovaní z prístroja DOT. Pozorovania časového vývoja aktívnej oblasti blízko stredu slnečného disku sme robili v piatich spektrálnych oblastiach, pričom čiaru H-alfa sme skanovali v piatich bodoch profilu. Obdĺžnik v pravom dolnom rohu ukazuje oblasť pozorovanú simultánne prístrojom SST.

Všetky obrazy získané v časovom intervale 08:43 - 08:59 UT boli prvotne spracované, odstránený flat-field a temný prúd a potom boli spracované špeciálnou procedúrou „speckle reconstruction“. Získali sme tak časovú sériu 28 obrazov v každej pozorovanej spektrálnej oblasti.



Obr. č. 2. Oblasť skanovaná štrbinou spektrogramu SST

Na Obr. č. 2. je ukázaná oblasť pozorovaná prístrojom SST, v Tabuľke II. sú uvedené základné parametre pozorovaní s prístrojom SST a na Obr. č. 3. je

Tabuľka II. SST pozorovania.

Dátum: 12.05.2007

Čas: 08:21 - 08:56 UT

Target: AR 10955 (S=8.3°, W=14.5°, $\mu=0.964$)

Obrazy: Slit-jaw 633 nm expozícia 90 ms

Slit-jaw 523 nm expozícia 90 ms

CaII H 397 nm expozícia 40 ms

Počet obrázkov: 2345

Spektrá: 557.6 nm expozícia 240 ms

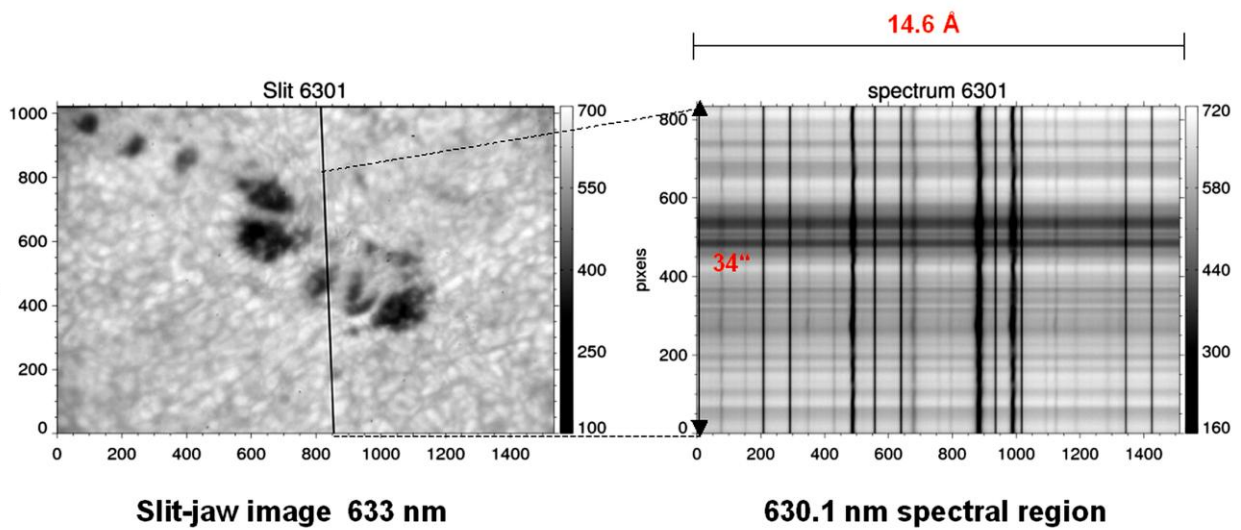
630.1 nm expozícia 35 ms

614.9 nm expozícia 160 ms

Počet spektier: 2345

Šírka štrbiny: 0.11"

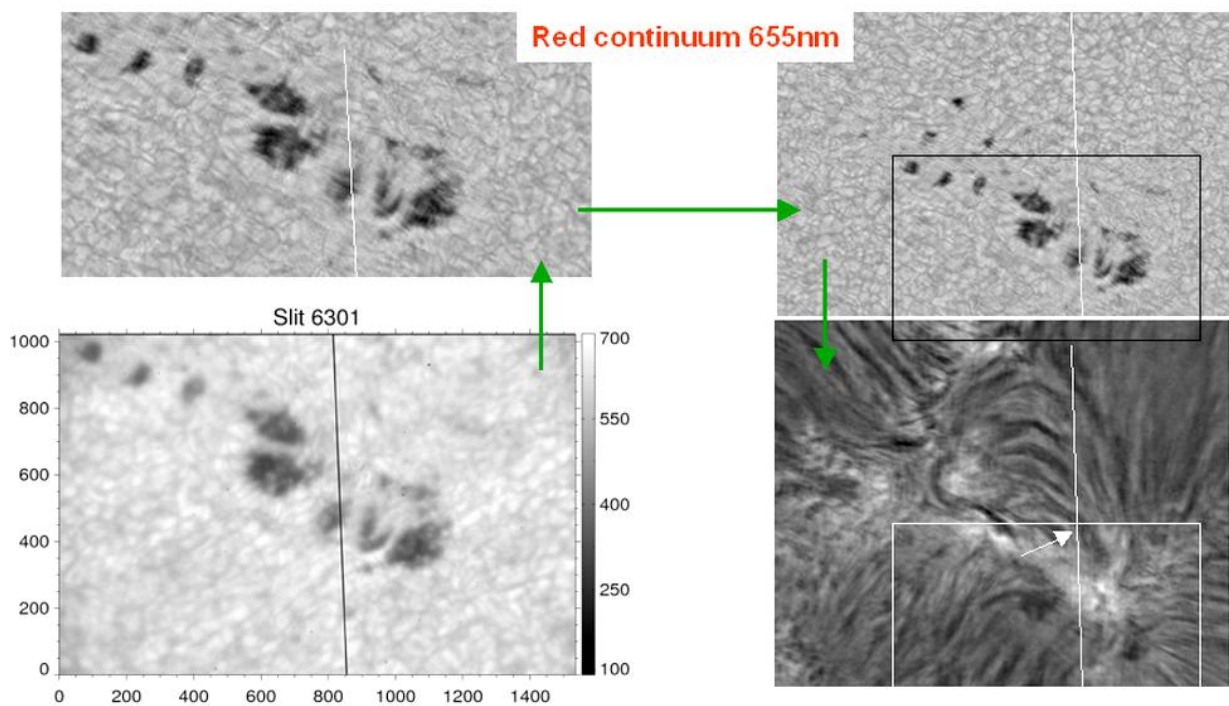
Skannovací mód: krok 0.2", 10 krokov v jednom cykle, celkovo 14 cyklov



Obr. č. 3. Poloha štrbiny spektrografu a odpovedajúce spektrum v spektrálnej oblasti 630.1 nm. Spektrum pokrývalo oblasť v rozsahu 1.46 nm, kde sa nachádzali dve významné spektrálne čiary Fe I 630.1 a 630.2 nm, pri ktorých sú terrestrické čiary vhodné pre kalibráciu Dopplerovských rýchlostí.

ukázaný príklad typického spektra z SST. Ako je uvedené v Tabuľke II. so spektrografom prístroja SST sme získali dvojrozmerné spektra pomocou skanovania malej oblasti 2'' s krokom 0.2''. Keďže štrbina spektrografu bola dlhá 34'' získali sme 2D spektra 2'' x 34''. Po základnom spracovaní pozorovaní z SST, t.j. odstránení

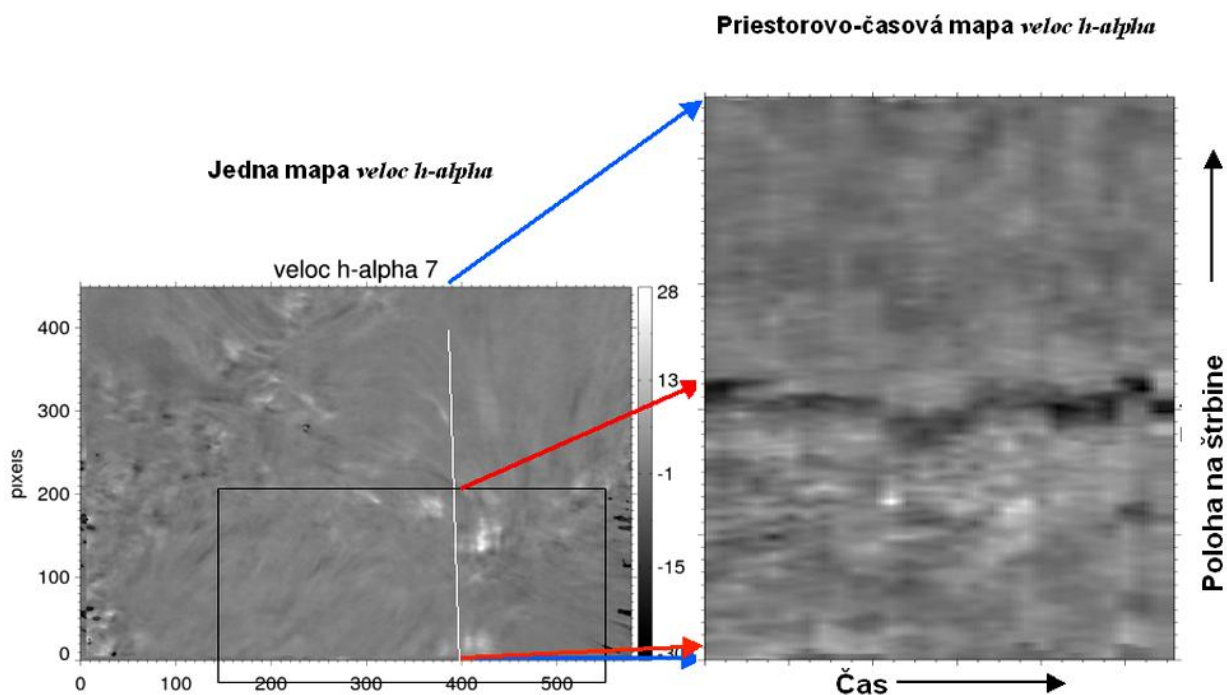
flat-fieldu, temného prúdu a distorzií spektier, boli vypočítané základné spektrálne charakteristiky ako je intenzita kontinua I_c , reziduálna intenzita v centre čiary I_r , pološírka spektrálnej čiary fw_{hm} , a Dopplerovský posun čiary D_{vel} . Základným krokom v ďalšom spracovaní dát bolo presné zosúladenie pozorovaní z DOTu



Obr. č. 4. Ukážka zosúladenia pozorovaných targetov prístrojom DOT a SST. Naľavo sú pozorovania s SST a v pravo sú obrázky získané prístrojom DOT. Orámované obdĺžniky v pravých paneloch ukazujú oblasť pozorovanú prístrojom SST a biela zvislá čiara v obrázku H-alfa predstavuje štrbinu spektrografu SST pretínajúcu v orámovanej časti niekoľko fibril. Biela šípka ukazuje miesto, kde výrazná fibrila ukotvená vo fotosfére bola pokrytá aj štrbinou spektrografu SST.

a z SST. K tomu sme využili obrázky okolia štrbiny v spektrálnej oblasti 630.1 nm z prístroja SST a obrázky v kontinuu 655 nm z prístroja DOT. Koreláciou uvedených obrázkov bol nájdený vzájomný posuv medzi nimi a tak bolo možné zosúladiť aj ďalšie obrázky z prístroja DOT s dátami z SST. Popísanú procedúru ilustruje Obr. č. 4, kde zelené šípky ukazujú postupnosť zosúladovania obrázkov a následného prenesenia polohy štrbiny spektrografu SST do obrázku H-alfa.

alfa Dopplerovských posunov je na Obr. č. 6. Tento obrázok dokumentuje, že práve v miestach kde sú ukotvenia chromosférických fibril vo fotosfére a ich sklon je tu takmer kolmo k slnečnému povrchu, tam sú výrazné zmeny rýchlostí ako vo fotosférických čiarach (červené šípky), tak aj v H-alfa Dopplerovských posunoch. Najmarkantnejšie je tento efekt badateľný pri ukotvení výraznej fibrily tesne v hornej časti spoločného poľa prístrojov DOT a SST (viď bielu šípku v Obr. č. 4.). Vo



Obr. č. 5. Ukážka zostrojenia priestorovo-časovej mapy Dopplerovských posunov „*veloc_H-alfa*“. Rýchlosti v „*H-alfa* mapách rýchlostí“, ktoré odpovedajú miestam pokrytým štrbinou spektrografu SST boli pre jednotlivé časové momenty zoradené do mapy. Priestorová oblasť pokrytá pozorovaniami z oboch prístrojov je vyznačená červenými šípkami.

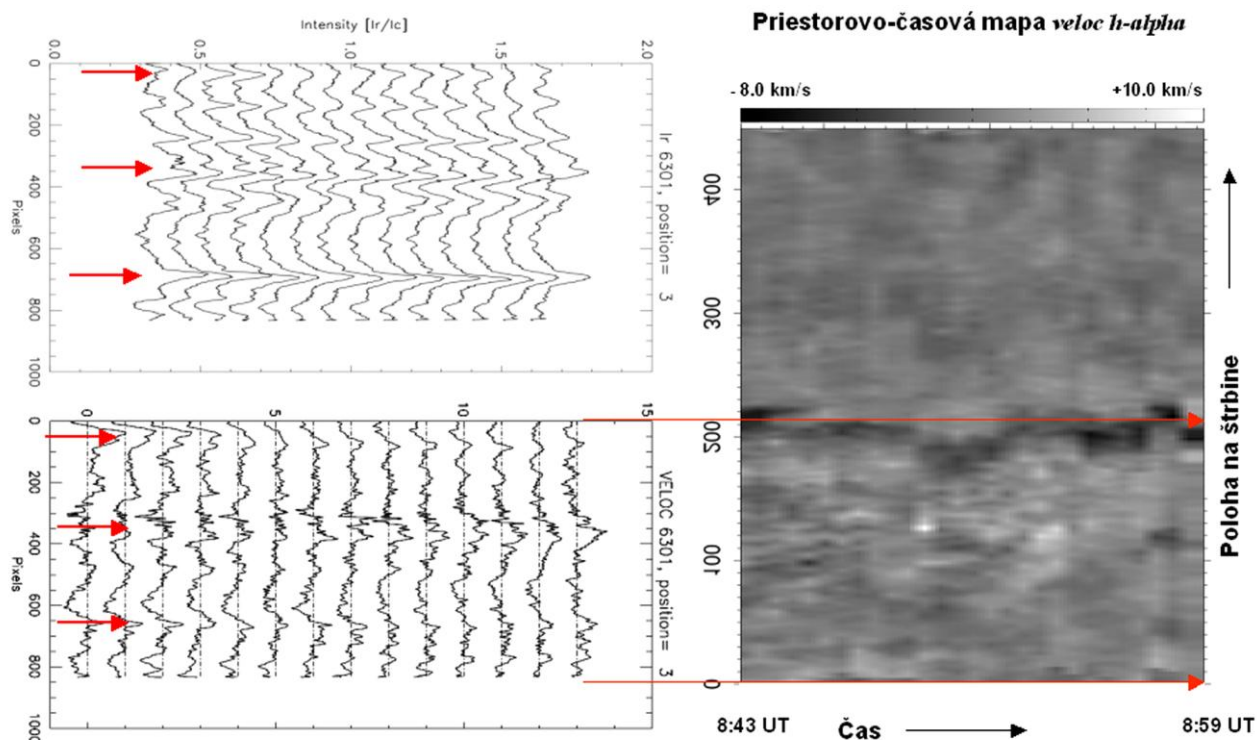
3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pre získanie predbežných výsledkov prezentovaných v tomto príspevku, sme sa zamerali na študovanie dynamických vlastností zakončení chromosférických fibril vo fotosfére a hľadali sme k nim odpovedajúce dynamické prejavy o fotosférickej spektrálnej čiare 630.1 nm. Pre uvedenú čiaru bolo priestorové rozlíšenie pozdĺž štrbiny 0.0405 arcsec/pixel a v oblasti vlnových dĺžok bolo rozlíšenie 0.9422 nm/pixel.

Najprv sme vypočítali z H-alfa pozorovaní mapy Dopplerovských posunov (*veloc h-alpha*). Potom sme vypočítali Dopplerovské rýchlosti D_{vel} a reziduálne intenzity I_r v čiare 630.1 nm pre všetky miesta na štrbine. Následne sme z celých máp *veloc h-alpha* vybrali iba tie oblasti, ktoré boli pokryté štrbinou spektrografu SST a vytvorili z nich časovo-priestorovú mapu Dopplerovských posunov (viď Obr. č. 5.). Porovnanie časového vývoja reziduálnych intenzít I_r a Dopplerovských rýchlostí D_{vel} s časovo-priestorovou mapou H-

fotosférických čiarach, dosahujú táto rýchlosti ± 1 km/sa v chromosfére vo fibrilách od -8 km/s do $+10$ km/s. Kladné znamienko pri rýchlostiach znamená pohyb od nás smerom k slnečnému povrchu a záporné znamienko pohyb od slnečného povrchu smerom k nám. Pozorovania ukazujú, že práve v mieste ukotvenia výraznej fibrily sme namerali rýchlosť plazmy 8 km/s smerom od slnečného povrchu, pričom rýchlosť vo fotosfére mapovaná čiarou 630.1 nm sa v tomto mieste menila z kladnej rýchlosti 1 km/s do zápornej rýchlosti 0.5 km/s.

Predbežná analýza pozorovaní fibril robených s veľkým priestorovým rozlíšením ukazuje, že existuje vzájomné dynamické prepojenie chromosférických fibril a prislúchajúcich fotosférických oblastí a že toto prepojenie je možné skúmať analýzou spektier a obrazov získaných s veľkým priestorovým rozlíšením.



Obr. č. 6. Porovnanie časového vývoja reziduálnych intenzít „Ir“ a Dopplerovských rýchlostí „Dvel“ fotosférickej čiary 630.1 nm s priestorovo-časovou mapou H-alfa rýchlostí „veloc h-alfa“. Rýchlosti a intenzity čiary 630.1 nm pre jednotlivé časové momenty sú v grafoch umele posunuté pre lepšiu názornosť ich časových zmien..

LITERATÚRA

- Bostanci, Z., Erdogan, N. A.: 2007, „Temporal Evolution of Mottles in H α “, ASPCS, **368**, p.123
- De Pontieu, B., Hansteen, V. H., Rouppe van der Voort, L., van Noort, M., Carlsson, M.: 2007, „High-Resolution Observations and Modeling of Dynamic Fibrils“, ApJ, **655**, pp. 624-641.
- Koza, J., Rutten, R., Vourlidas, A.: 2008, „Dynamic fibrils in Ly alpha“ eprint arXiv:0807.4889
- Langangen, Ø., Rouppe van der Voort, L., Lin, Y.: 2008, „Measurements of Plasma Motions in Dynamic Fibrils“, ApJ, **673**, pp. 1201- 1208.
- Lin, Y., Martin, S. F., Engvold, O., Rouppe van der Voort, L., van Noort, M.: 2008, „On small active region filaments, fibrils and surges“, Adv. Space Res., **42**, Issue 5, p. 803-811.
- Tsiropoula, G., Tziotziou, K.: 2004, „The role of chromospheric mottles in the mass balance and heating of the solar atmosphere“, Astronomy and Astrophysics, **424**, p.279-288