

# ***Dynamika fotosférických jasných bodov v G-páse odvodená použitím dvoch plne automatických algoritmov***

*M. Bodnárová, J. Rybák, Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica  
D. Utz, A. Hanslmeier, Institute of Physics, University of Graz, Graz, Austria*

## **Abstrakt:**

Koncentrácie magnetického poľa malých rozmerov v slnečnej fotosfére je možné identifikovať v G-páse slnečného spektra ako jasné body. Štúdium dynamiky jasných bodov v G-páse (JBGp) nám môže pomôcť aj pri riešení mnohých otázok spojených s problémom ohrevu slnečnej koróny. V tejto práci sme použili súbor 142 speklovaných snímok v G-páse získaných Holandským otvoreným ďalekohľadom (DOT) 19. októbra 2005 na porovnanie dvoch plne automatických algoritmov na identifikáciu JBGp: algoritmu vyvinutého Utzom a kol. (2009, 2010) a algoritmu vyvinutého na základe prác Bergera a kol. (1995, 1998). Následne sme pohyb JBGp identifikovaných oboma algoritmami sledovali v čase a priestore a zostrojili sme rozdelenia ich dĺžok života, ich veľkostí a rýchlostí. Výsledky poukazujú na to, že obidva algoritmy dávajú veľmi podobné výsledky v prípade dĺžok života a rýchlostí pohybu JBGp, ale ich výsledky sa podstatne líšia v prípade veľkostí identifikovaných JBGp. Tento rozdiel je spôsobený tým, že v prípade identifikačného algoritmu založenom na prácach Bergera a kol. neboli aplikované dodatočné kritéria obmedzujúce prípustné veľkosti JBGp. Preto pri ďalšom štúdiu dynamiky JBGp budeme za účelom identifikácie a stopovania JBGp uprednostňovať Utzov algoritmus.

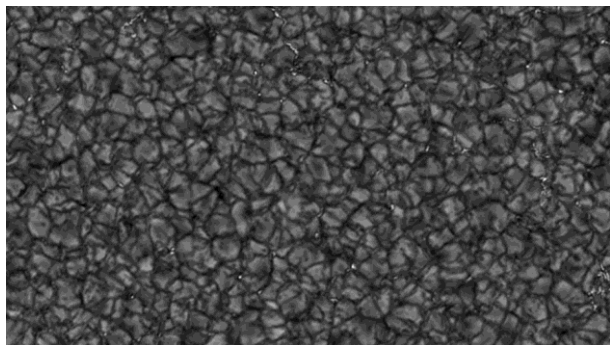
## **1. ÚVOD**

G-pás je molekulárny pás v slnečnom spektre s vlnovou dĺžkou  $\sim 430,5 \pm 1$  nm, v ktorom prevládajú absorbné čiary vytvorené prechodmi elektrónov medzi jednotlivými rotačnými a vibračnými podhladinami molekuly CH. Na snímkach fotosféry získaných pomocou širokopásmového interferenčného filtra ( $\sim 1$  nm) v G-páse sa pozorujú zjasnenia s veľkým kontrastom voči ich okoliu vo vnútri a v blízkosti medzigranulárnych priestorov. Tieto zjasnenia sú spôsobené prítomnosťou silných ( $\sim 1$  kG) koncentrácií magnetického toku (Berger a Title, 2001), a preto je ich možné použiť ako nepriame indikátory magnetického poľa. JBGp sú malé magnetické elementy v slnečnej fotosfére, ktoré je dôležité študovať pre lepšie pochopenie slnečného magnetizmu. Vlastnosťami JBGp sa vo svojich prácach zaoberali už viacerí autori (Muller a kol., 1994; Berger a kol., 1998; Nisenson a kol., 2003 a ďalší). Okrem toho JBGp zohrávajú dôležitú úlohu v slnečnej fyzike, lebo ich pohyb môže generovať magnetohydrodynamické vlny, ktoré môžu prispievať k ohrevu slnečnej koróny.

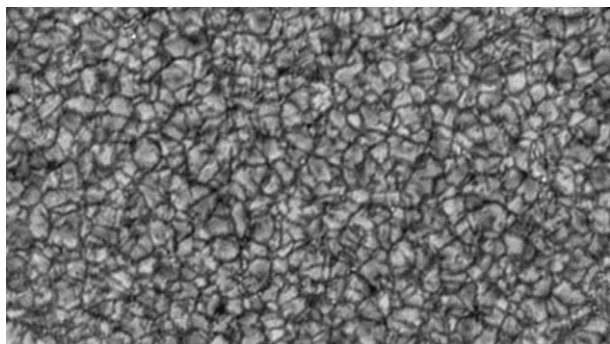
V našej práci predstavujeme štúdiu dvoch plne automatických algoritmov na identifikáciu JBGp na snímkach v G-páse. Výber vhodnejšieho algoritmu na identifikáciu JBGp nám v budúcej práci pomôže k spoľahlivejšiemu výskumu ich dynamiky.

## **2. DÁTA**

V našej práci boli použité dva súbory speklovaných snímok (Sütterlin a kol., 2001) pokojnej slnečnej fotosféry v G-páse (430 nm) a v modrom kontinuu (432 nm), ktoré boli získané simultánne pomocou Holandského otvoreného ďalekohľadu (DOT-Dutch Open Telescope) (Rutten a kol., 2004). Oba súbory snímok boli získané 19. októbra 2005 v čase 09:55-11:05 UT z oblasti blízko centra slnečného disku pri dobrých pozorovacích podmienkach, a pozostávajú zo 142 snímok s kadenciou 30 s, pričom každá snímka má veľkosť  $1112 \times 818$  pixlov a priestorovú škálu 0,071 oblúkových sekúnd na pixel. Na obr. č. 1. je príklad snímky v G-páse a na obr. č. 2. je simultánna snímka v modrom kontinuu.



Obr. č. 1.: Snímka pokojnej slnečnej fotosféry v G-páse.



Obr. č. 2.: Snímka pokojnej slnečnej fotosféry v modrom kontinuu.

### 3. IDENTIFIKAČNÉ ALGORITMY

Na identifikáciu JBGp na snímkach v G-páse sme použili dva rôzne plne automatické algoritmy (vyvinuté v programovacom jazyku IDL).

Prvý algoritmus vyvinuli Utz a kol. (2009, 2010) a pozostáva z troch krokov na identifikáciu JBGp a sledovanie ich vývoja v čase. Prvý krok (segmentácia) je založený na myšlienke segmentácie jednotlivých útvarov na snímke postupne od ich najjasnejších pixlov až po najmenej jasné. V druhom kroku (identifikácia) sú zo segmentov vybrané tie jasné útvary, ktoré spĺňajú kritéria vymedzujúce veľkosti JBGp. V treťom kroku (vytváranie postupností v čase) sú jednotlivé identifikované JBGp stopované v jednotlivých po sebe nasledujúcich snímkach, a pritom sú analyzované aj niektoré ich vlastnosti (konkrétne veľkosť, rýchlosť pohybu a doba života). V tomto procese stopovania sú niektoré identifikácie JBGp, ktoré boli získané v druhom kroku zavrhnuté a vynechané z ďalšej analýzy. Ide najmä o body identifikované na prvých a posledných snímkach, a taktiež veľmi blízko okrajov snímok, keďže ich nemôžeme sledovať počas celej ich existencie a ich zahrnutie do konečnej analýzy by skreslilo naše výsledky.

Druhý algoritmus, ktorý sme v práci použili, bol vytvorený na základe prác Bergera a kol. (1995, 1998) a taktiež umožňuje identifikáciu JBGp na jednotlivých snímkach v G-páse. Tento algoritmus pozostáva z troch

krokov, pričom v každom kroku je vytvorená jedna binárna snímka. Prvá binárna snímka je vytvorená zo snímky v G-páse kde intenzita každého pixla  $I(x,y)$  bola nahradená hodnotou

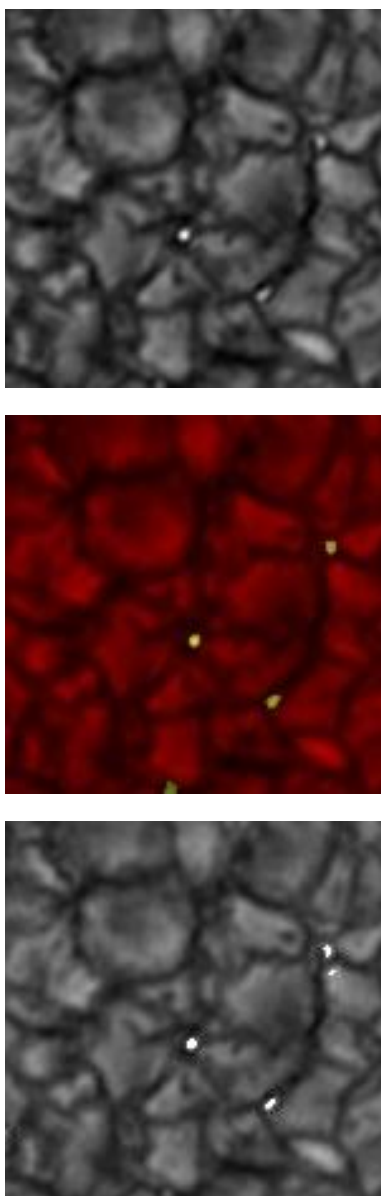
$$B(x,y) = \frac{1}{(2M+1)^2} \sum_{u=x-M}^{u=x+M} \sum_{v=y-M}^{v=y+M} I(u,v) - \frac{1}{(2N+1)^2} \sum_{u=x-N}^{u=x+N} \sum_{v=y-N}^{v=y+N} I(u,v)$$

kde  $M$  a  $N$  sú celé čísla ( $M < N$ ) a  $I(x,y)$  je intenzita pixla s polohou  $(x,y)$  na snímke. Následne sa všetkým pixlom s hodnotou  $B$  väčšou ako určitá konkrétna hodnota priradila hodnota 1 a všetkým ostatným sa priradila hodnota 0 (prvá binárna snímka). Tento krok umožňuje zvýrazniť a následne oddeliť JBGp od granulácie. Druhá binárna snímka sa vytvorila z rozdielovej snímky získanej odčítaním snímky v modrom kontinuu od simultánnej snímky v G-páse. Obe snímky boli predtým normalizované, teda intenzity jednotlivých pixlov boli predelené priemernou intenzitou snímky, pričom v prípade snímky v G-páse do tejto priemernej hodnoty nebola zahrnutá intenzita, ktorou k celkovej intenzite prispievajú JBGp. Znovu sa pixlom s hodnotou intenzity väčšou ako určitá konkrétna hodnota priradila hodnota 1 a zvyšným pixlom hodnota 0 (druhá binárna snímka). Takto boli zo snímky v G-páse vybrané len tie pixle, ktoré sú súčasťou JBGp alebo vytvárajú tzv. difúzny komponent v G-páse. V treťom kroku boli vyššie popísané binárne snímky navzájom vynásobené a takýmto spôsobom bola vytvorená výsledná binárna snímka, ktorá už znázorňuje s hodnotou 1 len pixle, ktoré tvoria identifikované JBGp. Algoritmom identifikované JBGp boli následne sledované v čase s použitím tretieho kroku Utzovho algoritmu.

### 4. VÝSLEDKY

Identifikácia JBGp na snímkach v G-páse fungovala v prípade oboch algoritmov ako sa očakávalo (príklad identifikácie je na obr. č. 3.).

Celkový počet JBGp identifikovaných na všetkých 142 snímkach v G-páse bol pri použití Utzovho algoritmu 38140 a pri použití Bergerovho algoritmu 43639. Následne boli všetky JBGp identifikované oboma algoritmami spracované tretím krokom Utzovho algoritmu (vytváranie postupností v čase). Po tomto spracovaní v prípade JBGp identifikovaných Utzovým algoritmom nám nakoniec z pôvodných 38140 zostalo 26238 identifikácií, ktoré dávajú celkom 4017 jednotlivých JBGp vyvíjajúcich sa v čase. V prípade Bergerovho algoritmu nám nakoniec z pôvodných 43639 zostalo 30234 identifikácií, ktoré dávajú celkom 3900 jednotlivých JBGp vyvíjajúcich sa v čase. U oboch algoritmov boli pri identifikácii pozorované aj prípady, keď boli jasné časti granúl nesprávne identifi-



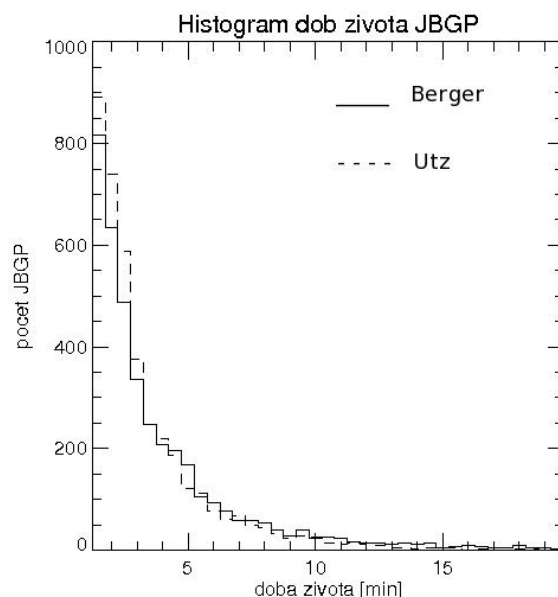
**Obr. č. 3.:** Príklad identifikácie JGBP: (hore) snímka v G-páse; (v strede) JGBP identifikované Utzovým algoritmom; (dole) JGBP identifikované Bergerovým algoritmom. Na dolnej snímke je aj príklad nesprávnej identifikácie zjasnenia na okraji granuly (vpravo hore) ako JGBP.

kované ako JGBP (názorný príklad je na obr. č. 3. dolný panel).

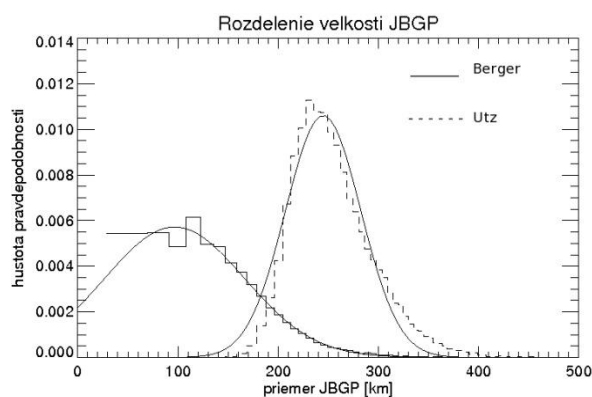
Následne sme analyzovali niektoré vlastnosti JGBP identifikovaných oboma algoritmi a zamerali sme sa pritom na doby života, rýchlosť pohybu a veľkosti jednotlivých JGBP.

V prípade oboch algoritmov sme dostali podobné doby života. Priemerná doba života v prípade Utzovho algoritmu bola  $3.00 \pm 2.73$  min a v prípade Bergerovho algoritmu  $3.5 \pm 3.49$  min. Na obr. č. 4. sú v jednom grafe znázornené priebehy histogramov dôb života pre JGBP identifikované oboma algoritmi (vynesené sú počty identifikovaných JGBP, ktoré existovali na snímkach v G-páse konkrétnu dobu).

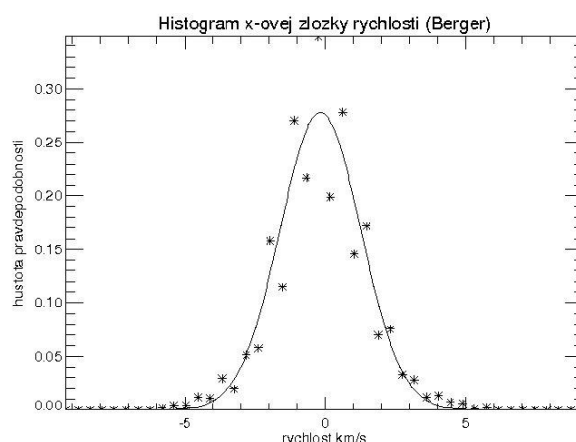
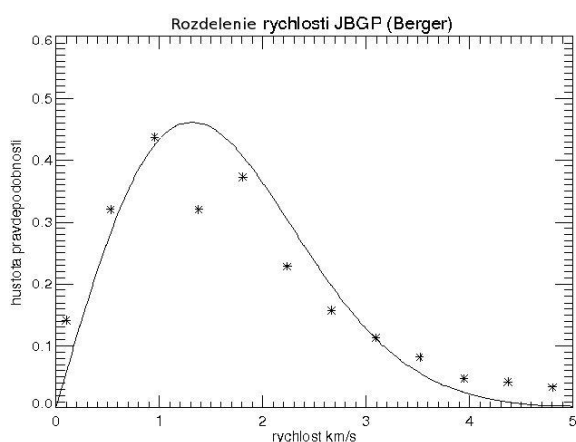
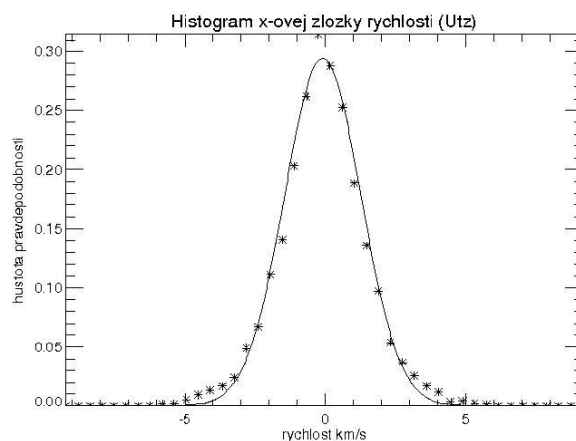
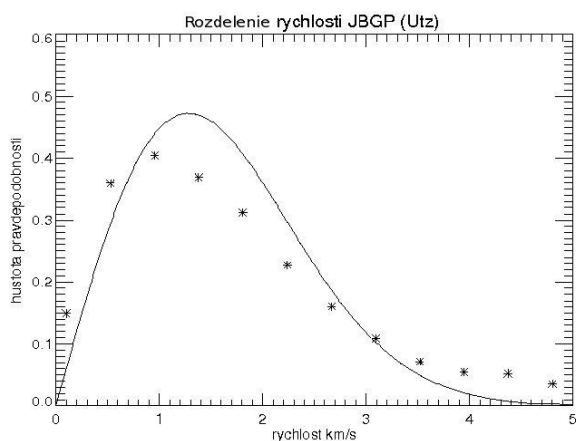
Následne sme porovnali veľkosti JGBP identifikovaných oboma algoritmi (obr. č. 5.). V prípade Bergerovho identifikačného algoritmu bola nami určená priemerná hodnota veľkosti JGBP  $96,64 \pm 69,75$  km a v prípade Utzovho identifikačného algoritmu bola nami určená priemerná hodnota veľkosti JGBP  $244,92 \pm 37,62$  km. Zistené rozdelenie veľkosti bolo v prípade Utzovho algoritmu v dobrej zhode so zisteniami iných autorov (Berger a kol., 1995; Utz a kol., 2009). V prípade Bergerovho algoritmu je však zistená priemerná hodnota veľkosti JGBP v porovnaní s Utzovým algoritmom výrazne posunutá k menším hodnotám a celé rozdelenie veľkostí je širšie. Tento jav je pravdepodobne spôsobený tým, že v prípade Bergerovho algoritmu (na rozdiel od Utzovho algoritmu) sme pri identifikácii JGBP neaplikovali žiadne kritérium obmedzujúce možné veľkosti JGBP,



**Obr. č. 4.:** Histogramy dôb života JGBP identifikovaných Utzovým algoritmom (prerušovaná čiara) a Bergerovým algoritmom (plná čiara).



**Obr. č. 5.:** Rozdelenia veľkostí JGBP identifikovaných Utzovým algoritmom (prerušovaná čiara) a Bergerovým algoritmom (plná čiara). V oboch prípadoch sú zistené rozdelenia preložené krivkami, ktoré predstavujú Gaussovské rozdelenia.



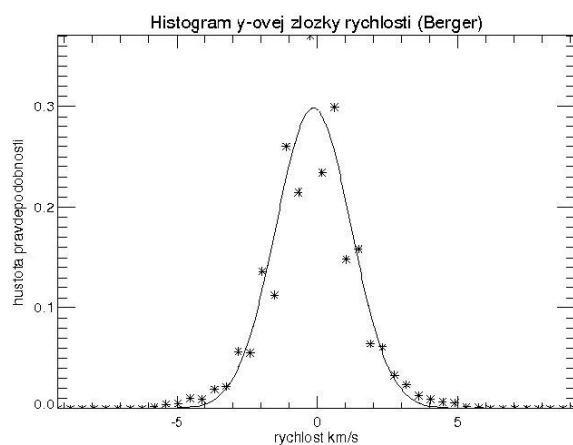
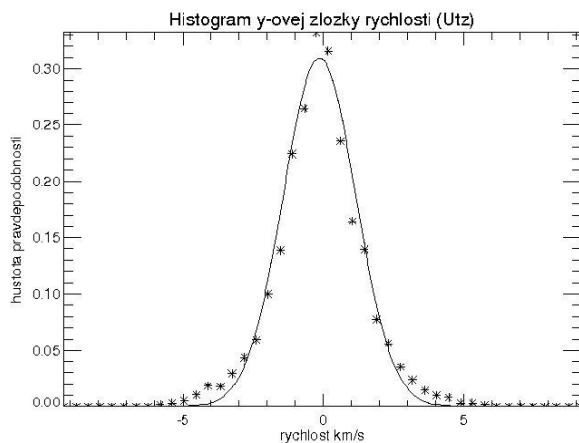
**Obr. č. 6.:** Rozdelenia efektívnych rýchlostí ( $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ ) JBG (hore) Utzovým algoritmom a (dole) Bergerovým algoritmom, pričom grafy sú preložené Rayleighovou funkciou.

**Obr. č. 7.:** X-ové zložky rýchlosti JBG (hore) Utzovým algoritmom a (dole) Bergerovým algoritmom, pričom súvislou čiarou sú preložené Gaussovské rozdelenia.

a teda sme nevyklúčili žiaden príliš malý JBG (ani taký, ktorý pozostával len z jedného pixla). Ďalšou možnou príčinou pozorovaného javu mohol byť aj efekt speklovania, ktorý na malých priestorových škálach môže vytvárať dodatočný šum.

V prípade zistených rýchlostí pohybu boli výsledky pre oba algoritmy veľmi podobné. Na obr. č. 6. je znázornené rozdelenie efektívnych rýchlostí JBG identifikovaných jednotlivými identifikačnými algoritmi. Priemerná efektívna rýchlosť JBG identi-

fikovaných Bergerovým algoritmom je  $1,08 \pm 0,682$  km/s a v prípade Utzovho identifikačného algoritmu je to  $1,06 \pm 0,688$  km/s. Tieto výsledky dobre súhlasia aj s výsledkami iných autorov (Muller a kol., 1994; Berger a kol., 1998; Nisenson a kol., 2005; Utz a kol., 2010). Podobnosť zistených rýchlostí JBG v prípade oboch identifikačných algoritmov je možné demonštrovať aj porovnaním zistených rozdelení x-ových (obr. č. 7.) a y-ových (obr. č. 8.) zložiek rýchlostí JBG identifikovaných Utzovým resp. Bergerovým algoritmom.



**Obr. č. 8.: Y-ové zložky rýchlosti JBGp identifikovaných (hore) Utzovým algoritmom a (dole) Bergerovým algoritmom, pričom súvislou čiarou sú preložené Gaussovské rozdelenia.**

## 5. ZÁVER

V práci sme uskutočnili analýzu výsledku aplikácie dvoch plne automatických algoritmov na identifikáciu JBGp na speklových snímkach v G-páse s cieľom rozhodnúť, ktorý z dvoch algoritmov dáva spoľahlivejšie výsledky vzhľadom na naše súčasné vedomosti o JBGp.

Naša analýza ukázala, že oba algoritmy dávajú porovnateľné výsledky (hlavne v prípade zistených rýchlostí, ktoré nás najviac zaujímajú) pre ten istý súbor dát snímkov v G-páse. V prípade Bergerovho algoritmu bol však konečný počet JBGp sledovaných v čase menší ako v prípade Utzovho algoritmu a to aj napriek vyššiemu počtu identifikácií JBGp. Takisto rozdelenie

veľkostí JBGp v prípade Utzovho algoritmu je spoľahlivejšie ako sme dostali pre Bergerov algoritmus. Preto pre ďalšie štúdium vzťahu dynamiky JBGp a ohrevu slnečnej koróny chceme na účely identifikácie JBGp na snímkach v G-páse v budúcnosti uprednostniť použitie Utzovho algoritmu pred Bergerovým algoritmom.

## Pod'akovanie

Pod'akovanie patrí Slovenskej grantovej agentúre APVV za podporu v rámci projektov 0066-06 a SK-AT-0004-08.

D. U. a A. H. ďakujú za podporu rakúskeho FWF grantu P20762

Pozorovania boli podporované Trans-národným prístupovým programom projektu OPTICON a projektom ESMN (EU FP6).

Ďalekohľad DOT je majetkom Utrecht University a nachádza sa v Observatorio del Roque de los Muchachos of the Instituto de Astrofísica de Canarias.

## LITERATÚRA

- Berger T. E., Löfdahl M. G., Shine R. A. and Title A. M., 1998, *Astrophysical Journal* 495, 973
- Berger T. E., Shrijver C. J., Shine R. S., Tarbell T. D., Title A. M. and Scharmer, G., 1995, *Astrophysical Journal* 454, 531
- Berger T. E. and Title A. M., 2001, *Astrophysical Journal* 553, 449
- Muller R., Roudier Th., Vigneau J. and Auffret H., 1994, *Astronomy and Astrophysics* 283, 232
- Nisenson P., Ballegoijen A.A., de Wijn A. G. and Sütterlin P., 2003, *Astrophysical Journal* 587, 458
- Rutten R. J., Bettonvil F. C. M., Hammerschlag R. H., Jägers A. P. L., Leenaarts J., Snik F., Sütterlin P., Tziotziou K. and de Wijn A. G., 2004, *Multi-Wavelength Investigations of Solar Activity*, IAU Symposium 223, eds. A. V. Stepanov, E. E. Benevolenskaya and A. G. Kosovichev (Cambridge Univ. Press), 597
- Sütterlin P., Hammerschlag R. H., Bettonvil F. C. M., Rutten R. J., Skomorovsky V. I. and Domyshev G. N., 2001, *Advanced Solar Polarimetry: Theory, Observation, and Instrumentation*, ASP Conf. Ser. 236, ed. Sigwarth (San Francisco: ASP), 431
- Utz D., Hanslmeier A., Möstl C., Muller R., Veronig A. and Muthsam H., 2009, *Astronomy and Astrophysics* 498, 289
- Utz D., Hanslmeier A., Muller R., Veronig A., Rybák J. and Muthsam H., 2010, *Astronomy and Astrophysics* 511, A39