

O rotácii povrchu Slnka

I. Dorotovič a M. Rybanský, Slovenská ústredná hviezdáreň, Hurbanovo,
ivan.dorotovic @suh.sk, rybansky.milan @gmail.com

Abstrakt

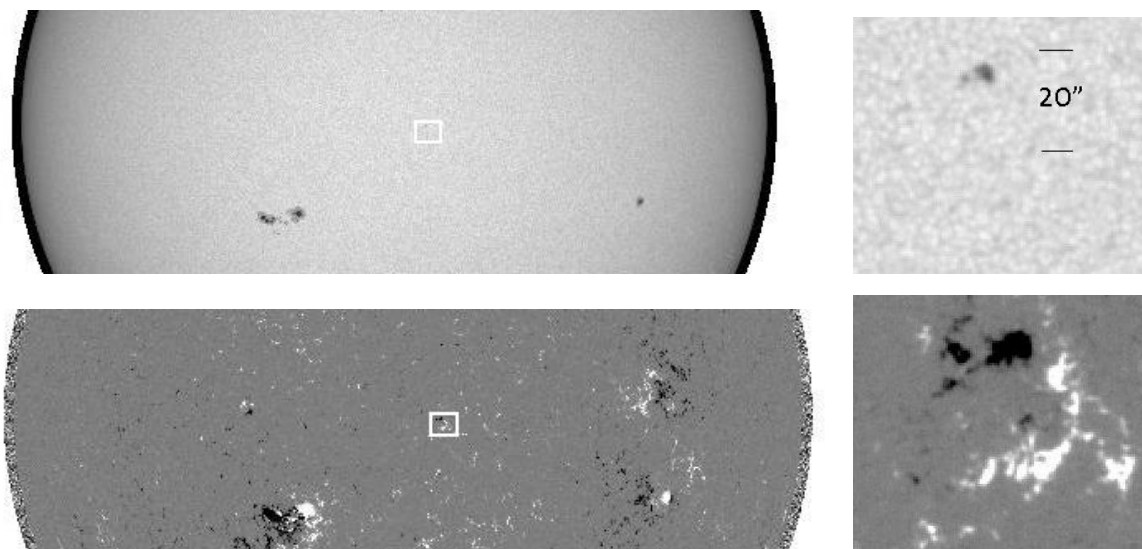
Pred nedávnom sme študovali pohyb póru z 11. 10. 2013 pomocou obrázkov HMI družice SDO. Ukázalo sa, že pohyb póru v celkovej rotácii Slnka bol veľmi rovnomerný. Pri zistenej rýchlosti siderickej rotácie zo 68 meraní $15,404^\circ/\text{deň}$ nebola odchýlka od priamky väčšia ako $0,005^\circ/\text{deň}$ ($2166 \pm 0,7 \text{ ms}^{-1}$). Táto rýchlosť bola o $1,054^\circ/\text{deň}$ (148 m/s) vyššia ako tabuľková hodnota.

V tomto príspevku prezentujeme výsledky pokusu o určenie rotačnej rýchlosti štruktúr v širšom okolí póru. Východiskovým materiálom boli obrázky 4096×4096 pixelov z prístroja AIA družice SDO. Použili sme obrázky vo vlnových dĺžkach $21,1 \text{ nm}$ (FeXIV), $17,1 \text{ nm}$ (FeIX), $30,4 \text{ nm}$ (HeII) a obrázok magnetického poľa z prístroja HMI (MG). Rotačnú rýchlosť sme určovali metódou krížovej korelácie. Rozptyl výsledkov je pomerne veľký. Podarilo sa presvedčivo určiť, že v danej oblasti je priemerná rýchlosť rotácie FeXIV vyššia ako u ostatných obrázkov: $15,31^\circ/\text{deň}$, na rozdiel od FeIX: $13,69^\circ$; HeII: $13,65^\circ$; MG: $13,99^\circ$, teda porovnateľná s rotačnou rýchlosťou póru.

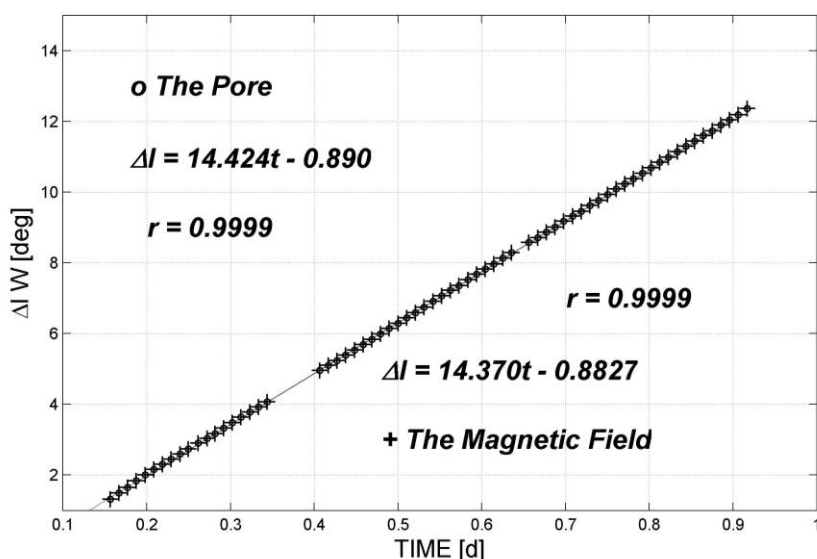
1. ÚVOD

V práci Dorotovič a kol. (2016) sme skúmali časový vývoj magnetického poľa v súvislosti s intenzívnymi vlastnosťami fotosférických pórov. Určovali sme rotačnú rýchlosť (ω) póru vyznačeného na obr. 1 podľa jeho pohybu. Ten sme sledovali v transformovaných pravouhlých súradniciach, pričom sme použili postup opísaný v práci Lorenc, Rybanský a Dorotovič (2012). Vzdialenosť pixelov v hélisférických súradniciach je $0,03^\circ$, čo v strede slnečného disku pri pohľade zo Zeme

zodpovedá $0,5''$. Podarilo sa nám s vysokou presnosťou (cca $\pm 0,1''$) určiť polohu ťažiska póru a minima respektíve maxima (záporná polarita, kladná polarita) magnetického poľa na 68 obrázkoch z 11.10.2013, získaných prístrojom HMI na družici SDO. Získané polohy sú znázornené na obr. 2, heliografická šírka póru kolíše v medziach $5,2^\circ - 5,4^\circ\text{N}$. Odvodená synodická rýchlosť rotácie bola $14,424^\circ \pm 0,005^\circ/\text{deň}$. Chceli by



Obrázok 1. Orientačná poloha póru a magnetického poľa z 11. 10. 2013.



Obrázok 2. Poloha póru voči centrálnemu meridiánu Slnka dňa 11. 10. 2013.

sme zdôrazniť rovnomernosť pohybu, čo pripomína pohyb tuhého telesa. Výsledná synodická rýchlosť rotácie v porovnaní s údajmi Brajša a kol. (2004) – 13,39°/deň je o 1,03°/deň väčšia.

2. ÚDAJE, METÓDA A VÝSLEDKY

Východisková otázka pre súčasný príspevok: ako rotuje okolitý povrch Slnka v susedstve póru? Rovnako ako pór, alebo odlišne, bez spojitosti s ním?

Na riešenie problému boli využité série obrázkov AIA 304, 171, 211, 131. V tomto prípade sa nedá použiť metóda tracerov. Tvary štruktúr sú neostro ohraničené a zo zbežnej prehliadky môžeme vidieť, že sa menia rýchlejšie ako sú zmeny spôsobené ich presunom pri rotačnej rýchlosti. Preto sme volili metódu krížovej korelácie, pri ktorej sa lokálne zmeny do určitej miery spriemerujú.

Pre krížovú koreláciu sme použili pravouhlé mapy, získané transformáciou z hélisférických súradníc pre každý pixel podľa práce Lorenc a kol. (2012). Vybrali sme obrázky s krokom 10 minút, ale prvé pokusné výsledky ukázali, že časový rozdiel medzi porovnávanými obrázkami musí byť aspoň 20 minút, ak máme dostať použiteľné výsledky. Pri konkrétnych výpočtoch sme používali časový rozdiel 20, 30 a 40 minút. Pri hodnote 50 minút sa korelácia podstatne znižuje, zrejme sa prejavuje hlavne zmena štruktúr. Oblasť bola vybraná tak, aby bol pór so sprievodným magnetickým poľom približne v strede.

Rozmer oblasti je: $\Delta b \times \Delta l = (-0,60; 9,00) \times (4,80 \text{ E}; 11,97 \text{ W})$; dáta s krokom 0,03°, t.j. počet hodnôt 321 riadkov x 560 stĺpcov.

Rotačnú rýchlosť sme určovali krížovou koreláciou v každom riadku, celkovo zo 43 obrázkov, s intervalom 10 minút, pre každú vlnovú dĺžku. Okrem toho sme každú vlnovú dĺžku vyhodnocovali trojakým spôsobom: porovnávali sme každý druhý (41 určení ω), každý tretí (40 určení ω) a každý štvrtý (39 určení ω) obrázkov

v čase od 0^h UT do 07^h UT. Pre každý riadok sme teda pred vylúčením chybných hodnôt mali celkovo 120 určení ω .

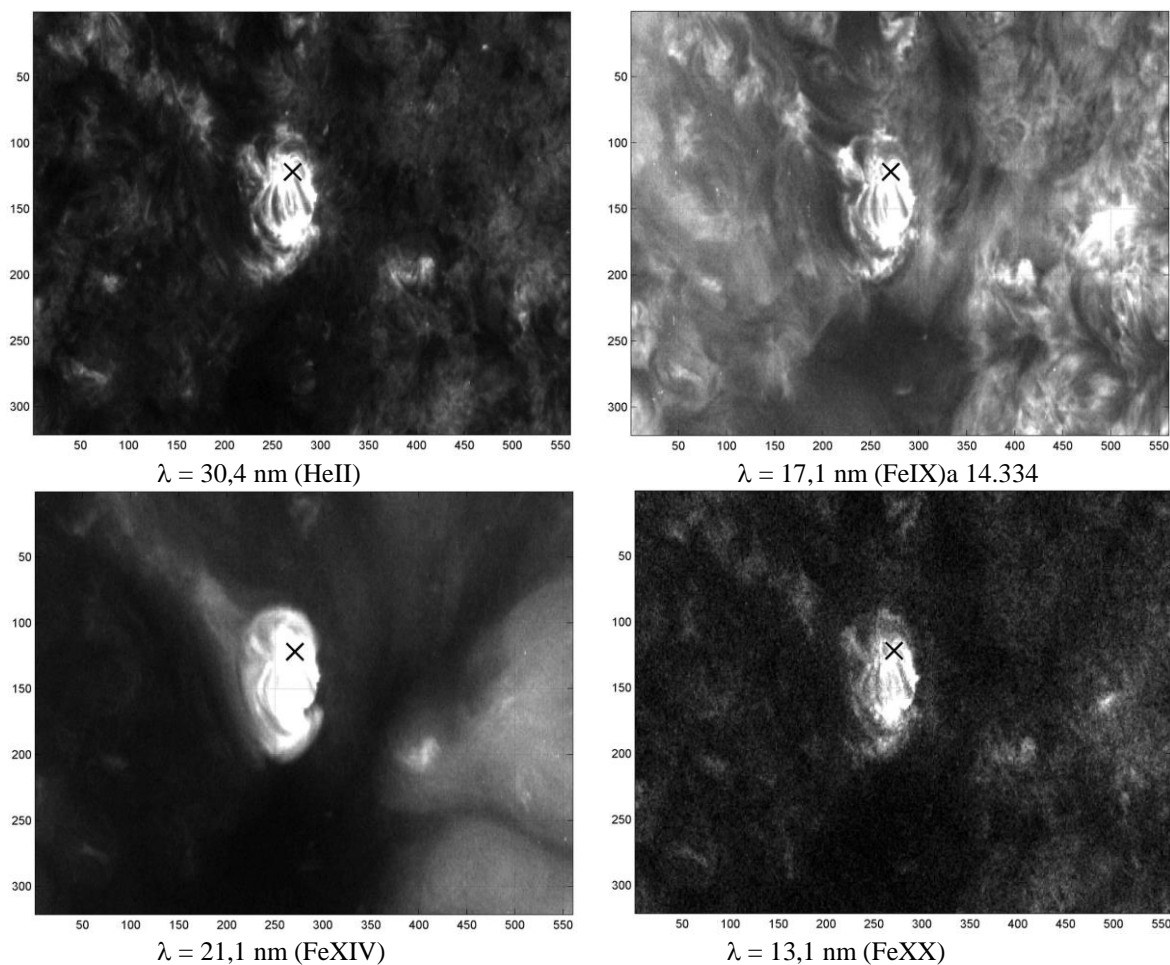
Primárne výsledky boli v niektorých prípadoch celkom nereálne. Vyskytovalo sa to hlavne pri riadkoch, ktoré sa skladali z málo odlišných hodnôt. V takom prípade aj pri malej neregulárnej odchýlke v intenzite niektorého bodu získame celkom nereálnu hodnotu posunu (lag) s maximálnou koreláciou.

Preto pri vyhodnotení výsledkov sme postupovali dvojfázovo. V prvej fáze sme vylúčili výsledky, ktoré sa odlišovali od očakávanej strednej hodnoty rýchlosti synodickej rotácie (ω) o viac ako 63 %, t.j. pri očakávanej $\omega = 13,5^\circ/\text{deň}$ sme vylúčili výsledky menšie ako $5^\circ/\text{deň}$ a väčšie ako $22^\circ/\text{deň}$. Ostávajúce hodnoty sme v druhej fáze postupu štatisticky spracovali; určili sme strednú hodnotu (y_s) a strednú kvadratickú odchýlku (σ). V ďalšom postupe sme použili iba tie hodnoty (y), pre ktoré platilo: $y_s - \sigma < y < y_s + \sigma$.

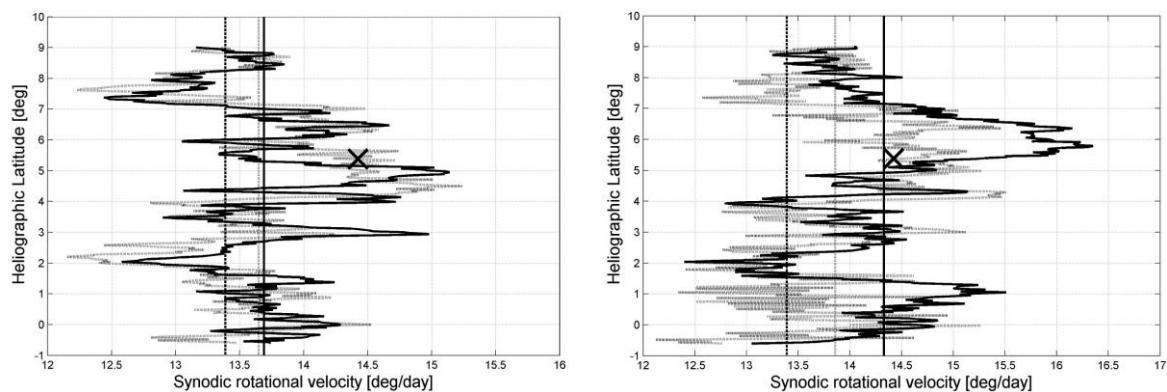
3. ZÁVERY

1) Sledovaný pór sa pohybuje tak rovnomerne ako by bol spojený s pevným telesom. Sledovali sme ho 20 hodín, určili 68 polôh s presnosťou okolo 0,1". Poloha póru sa odlišuje od aproximačnej priamky menej ako $0,005^\circ/\text{deň}$.

2) Pohyby okolitej atmosféry sú rôzne, v závislosti od vlnových dĺžok pozorovania. Priemerná rýchlosť rotácie pre čiaru 21,1 nm je temer rovnaká ako rýchlosť rotácie póru, pre ostatné čiary je priemerná rýchlosť rotácie približne o 1° za deň menšia, avšak celá aktívna oblasť, v ktorej sa nachádza pór sa pohybuje rýchlejšie, zhodne s rýchlosťou rotácie póru. Teda na otázku vzťahu rýchlosti póru a okolia sa dá odpovedať v tom zmysle, že sa pohybujú takmer rovnakou rýchlosťou, ale táto presahuje priemernú rýchlosť rotácie širšieho okolia.



Obrázok 3. Obrázky z SDO, 05:00 UT (X označuje polohu póru o 05:00:32 UT).



Obrázok 4. Výsledné synodické rotačné rýchlosti.

Na ľavom obrázku pre $\lambda = 17,1 \text{ nm}$ – plná čiara; priemerná hodnota $13,69 \pm 1,05 \text{ }^\circ/\text{deň}$ ($1^\circ/\text{deň} = 140,6 \text{ ms}^{-1}$), pre $\lambda = 30,4 \text{ nm}$ – bodkovaná čiara; priemerná hodnota $13,65 \pm 1,38 \text{ }^\circ/\text{deň}$.

Na pravom obrázku pre $\lambda = 21,1 \text{ nm}$ – plná čiara; priemerná hodnota $14,33 \pm 1,42 \text{ }^\circ/\text{deň}$, pre $\lambda = 13,1 \text{ nm}$ – bodkovaná čiara; priemerná hodnota $13,86 \pm 1,78 \text{ }^\circ/\text{deň}$.

Na oboch obrázkoch je čiarkovane naznačená katalógová hodnota: $13,39^\circ/\text{deň}$.
 Poloha a rýchlosť rotácie póru je označená X.

LITERATÚRA

Brajša R., Wöhl H., Vršnak B., Ruždjak V., Clette F., Hochedez J.-F., and Roša D.: 2004, Height correction in the measurement of solar differential rotation determined by coronal bright points, *Astronomy and Astrophysics*, **414**, 707 – 715

Dorotovič I., Rybanský M., Sobotka M., Lorenc M., Barandas M., Fonseca J. M. : 2016, Temporal evolution of magnetic field and

intensity properties of photospheric pores, in Ground-based Solar Observations in the Space Instrumentation Era, Proceedings of the CSPM-2015, University of Coimbra, Coimbra, Portugal, 5-9 October 2015, I. Dorotovič, C. E. Fischer, M. Temmer (eds.), ASP Conf. Series, Vol. **504**, 37 – 41

Lorenc, M., Rybanský, M. and Dorotovič I. : 2012, On rotation of the solar corona, *Solar Phys.*, **281**, 611–619