

Topologie rychlostního pole v různých vývojových fázích aktivní oblasti

*V. Bumba, Astronomický ústav Akademie věd České republiky,
observatoř Ondřejov, Česká republika, bumba @asu.cas.cz*

*M. Klvaňa, Astronomický ústav Akademie věd České republiky
observatoř Ondřejov, Česká republika, mklvana @asu.cas.cz*

*A. Garcia, Observatorio Astronomico, Universidade de Coimbra,
Coimbra, Portugal, adriana @mat.uc.pt*

Abstrakt

Zabýváme se změnami dopplerovského rychlostního pole aktivních oblastí během různých fází jejich vývoje. Naše výsledky ukazují, že systémy lokálních rychlostních i magnetických polí aktivních oblastí lze považovat za určitý typ poruchy kvazipravidelného rozložení rychlostního pole fotosféry, existujícího bez přítomnosti magnetického pole. Její příčinou je zřejmě lokální zesílení konvekce a spolu s ním i vznik lokální koncentrace magnetických polí. Už jsme ukázali, že lokální dopplerovské rychlostní pole aktivní oblasti je charakterizováno koncentrací a určitou organizací pohybů směřujících od pozorovatele, a to do celulárních struktur. Pohyby směrem k pozorovateli aktivní oblast obklopují (kromě pohybů k pozorovateli v Evershedově jevu). Toto rozdělení pohybů je nejzřetelnější blízko středu slunečního disku (asi 20 stupňů na E i W), jeho nápadnost se ve větších vzdálenostech ztrácí. To svědčí o vertikálnosti měřených složek pohybů. Evershedův jev je s tímto rozložením pohybů ve směru od pozorovatele propojen. Vývoj a pravidelnost struktur, do kterých se soustřeďují pohyby od pozorovatele závisí na stáří aktivní oblasti a zřejmě i na struktuře magnetického pole. Zdá se, že je třeba 2 - 3 dní po objevení se nového magnetického toku, aby se pohyby uspořádaly. Se stárnutím a slábnutím magnetického pole tendence k organizování negativních pohybů mizí. Ale opět se objevuje s každou porcí nového magnetického toku.

1. ÚVOD

Už jsme zde referovali o některých zvláštích v organizaci pohybového pole aktivní oblasti v závislosti na intenzitě, organizaci a zřejmě i stáří lokálního magnetického pole, když jsme tu hovořili o aktivní oblasti NOAA 7757 z roku 1994 (Bumba et al., 2002). Především jsme ukázali, že Dopplerovy rychlosti v celé aktivní oblasti, tedy oblasti vyplněné magnetickým polem, jsou organizovány různě pro pohyby dolů a vzhůru. Jak u rychlostního, tak i magnetického pole jde ovšem o složky měřené podél zorného paprsku.

Abychom tento předběžný výsledek potvrdili, použili jsme data zpracovaná už dříve, a to pozorování aktivních oblastí v jednom ze tří komplexů aktivity, které existovaly v roce 1992. Těžiště komplexu mělo souřadnice $L = 30^\circ$ a $B = -12^\circ$. Jeho maximální fáze trvala dvě otočky, a to červencovou a srpnovou, ale celý vývoj trval o mnoho otoček více.

2. STUDOVANÉ AKTIVNÍ OBLASTI A JEJICH POZOROVÁNÍ

Během své maximální fáze tvořily komplex dvě aktivní oblasti: NOAA 7222 a NOAA 7220. Prvou, novou, jsme zachytili prakticky od začátku jejího vývoje. Druhá, větší, byla už v době pozorování v sestupné vývojové fázi, ale prodělávala určité změny, díky nově se objevujícím malým dávkám magnetického toku. Slabá jihovýchodní aktivita, patřící rovněž ke komplexu, byla rekurencí z minulé červnové otočky, a měla podobu malé skupiny skvrn NOAA 7226.

V příští srpnové rotaci jsme v tomto místě pozorovali aktivní oblast NOAA 7248, zdánlivě vypadající jako bipolární skupina. Byla ale tvořena dvěma velkými skvrnami stejné, kladné, vedoucí polarity. Obě totiž reprezentovaly zbytky vedoucích skvrn NOAA 7220 a 7222 z předchozí červencové rotace. K tomu se nově vytvořily dvě menší oblasti NOAA 7251 a 7255.

Vývoj obou hlavních komponent komplexu NOAA 7220 + 7222 byl poměrně nedávno podrobně popsán

spolu s doprovázející ho erupční a koronální aktivitou, a to Kálmánem (2001).

Pokud jde o pozorovaná data, máme v Ondřejově k dispozici fotoelektrická měření podélných složek rychlosti, magnetického pole a intenzit v kontinuu i měřených spektrálních čarách. Pro NOAA 7220+7222 to je 13 sérií měření během 8. až 10. a 13. až 16. července. NOAA 7226 jsme měřili pouze dvakrát. Pro NOAA 7248 jsme získali 28 sérií měření ve dnech 6. až 10. a 12. srpna, a pro NOAA 7251 celkově 18 sérií během 5. až 10. srpna. NOAA 7255 jsme pozorovali šestkrát, 7. až 10. srpna. Redukce dat byla dělána jako dříve (Bumba et al., 1996). Pro srovnání Dopplerových rychlostních map s rozdělením a organizací chromosférických struktur jsme použili spektroheliogramy, získané v čarách K3 CaII a H-alfa HI na Astronomické observatoři university v Coimbre, v Portugalsku.

3. DOPPLEROVY POHYBY

3.1 Simultánní mapování obou směrů

Vedoucí skvrna NOAA 7220 během celého svého průchodu diskem ukazovala rozdělení rychlostí charakteristické pro Evershedův jev, popisující pohyby ve zralé, plně vyvinuté sluneční skvrně.

Pokud jde o vznikající NOAA 7222, první den fotoelektrických měření jsme pozorovali velké Dopplerovy pohyby mající podobu Evershedova jevu, a to v oblasti první vedoucí skvrny, která už existovala tři dny. Maximální rychlosti od pozorovatele a k pozorovateli dosahovaly asi 500 m/sec až 600 m/sec. Ale v chvostové oblasti skupiny, kde se vyskytovaly početné malé, rychle se měnící póry, jsme nenaměřili žádné Dopplerovy pohyby. Až příští den pozorování jsme zachytili v této oblasti pohyby v obou směrech, a to jakmile se vytvořila stabilnější umbrální jádra.

Po dvou dnech, kdy se nepozorovalo, vedoucí, magneticky téměř unipolární, pozitivní část nové skupiny, ukazující již znaky postmaximální deaktivace, předváděla v rozdělení svých Dopplerových pohybových komponent Evershedův jev, který měl značně zvětšenou oblast pohybů směrem od pozorovatele.

A zbytek celé nové aktivní oblasti, to jest oblast okupovaná jejím magnetickým polem obou polarit, ukazoval pomalý pohyb také od pozorovatele, a to rychlostí 150 - 200 m/sec.

Mapy Dopplerových rychlostí skupiny NOAA 7226 také ukazovaly oblasti pohybů od pozorovatele, svým rozsahem odpovídající rozložení magnetického pole oblasti. Pohyby směrem k pozorovateli, obklopovaly tuto oblast. Evershedův jev se nevytvořil.

Během další sluneční otočky se pole Dopplerových rychlostí skupiny NOAA 7248 podstatně zjednodušilo. Během celého jejího průchodu slunečním diskem dominantním jevem zůstávaly pohybové systémy

charakteristického Evershedova jevu, patřící oběma starým vedoucím skvrnám skupin NOAA 7220 a 7222 z předchozí rotace. Zatím co během prvních čtyř, pěti dnů pozorování amplituda pohybů od pozorovatele největší skvrny kolísala okolo 1300 m/sec, rychlost směrem k pozorovateli sotva převýšila 500 m/sec.

Počínaje 9. - 10. srpna, se vzdáleností největší skvrny od středu disku okolo 25°, amplitudy obou směrů začaly růst, zřejmě vlivem geometrie pohybů. Během posledního dne měření ve vzdálenosti 56° od středu disku, složka rychlostí směrem od pozorovatele dosáhla velikosti asi 1600 m/sec, a složka směrem k pozorovateli velikosti asi 1000 m/sec. Amplitudy rychlostí menších a starších skvrn byly menší: okolo 1000 m/sec složka směrem od pozorovatele a okolo 700 m/sec složka směrem k pozorovateli. Přitom tyto složky se neměnily tak mnoho jako ve větší skvrně.

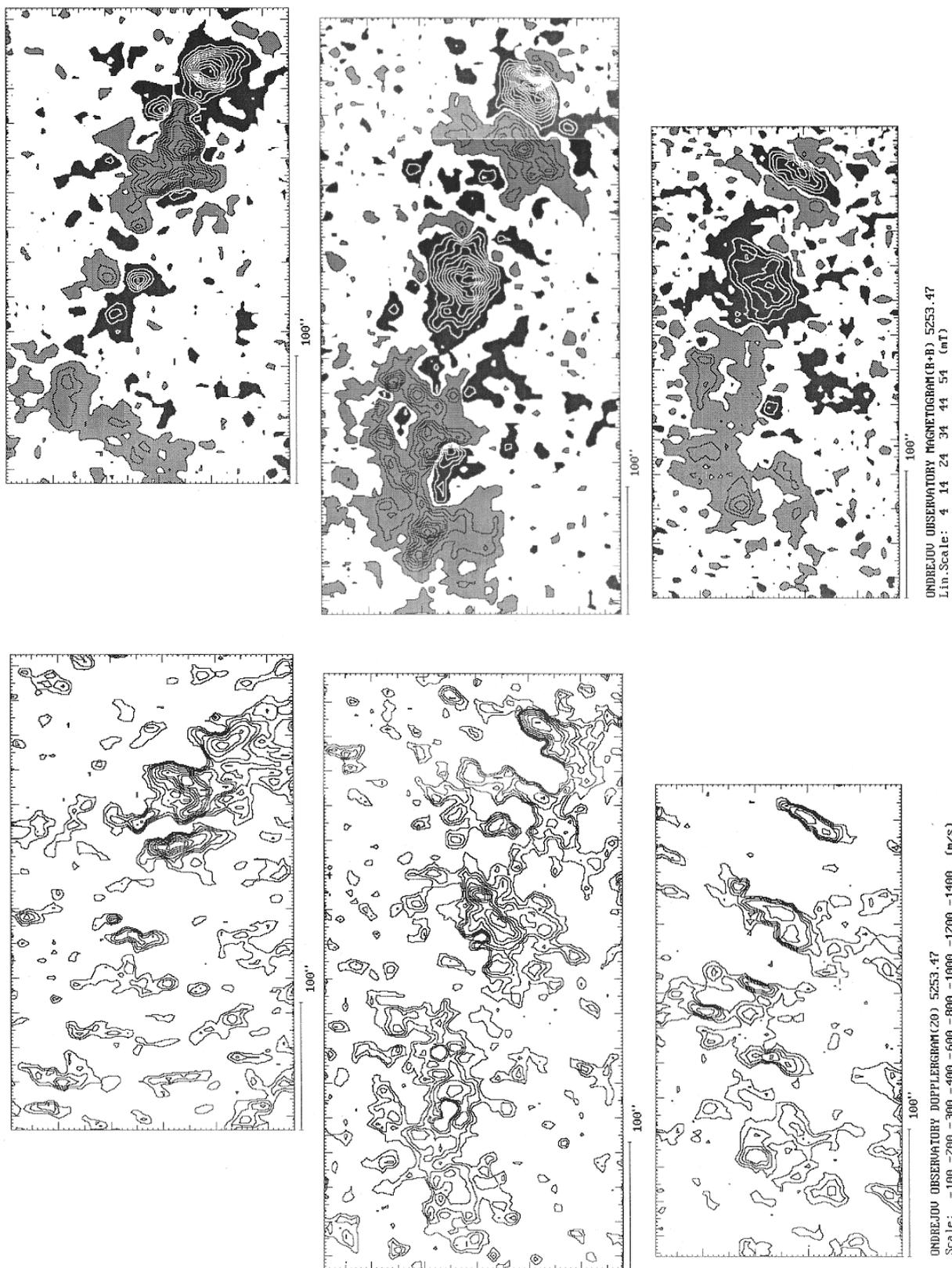
Jako obyčejně, v oblasti druhotného „magnetického centra“ jižně od hlavní skvrny, v místech, kde se několikrát objevil nový magnetický tok a kde byl pozorován velký gradient magnetického pole, oblast složky rychlosti směrem k pozorovateli byla obklopena rozsáhlou plochou složky rychlosti směrem od pozorovatele. Její amplituda dosáhla velikosti okolo 500 m/sec.

Rozdělení rychlostních složek Dopplerova rychlostního pole skupiny NOAA 7251 bylo méně jasné. Zdá se, že jeho hlavní část se vytvořila v rozsáhlé velkoškálové struktuře pohybů směrem od pozorovatele, a ostrůvky pohybů směrem k pozorovateli ji obklopovaly. Maximální amplituda složky rychlosti směrem od pozorovatele dosahovala 500 m/sec.

Na mapách Dopplerových rychlostí skupiny NOAA 7255, oblast okupovaná magnetickým polem byla pokryta nerovnoměrně rozdělenými pohyby směrem od pozorovatele, s mnoha špičkami o rychlostech okolo 350 m/sec. Okolo této oblasti, kde nebylo měřitelné magnetické pole, se nacházely oblasti rychlostí směrem k pozorovateli, dosahující rovněž okolo 350 m/sec.

3.2 Složky Dopplerových rychlostí mapované odděleně pro pohyb vzhůru a dolů a magnetické pole

Studujeme-li obě složky pohybu odděleně a mapujeme-li odděleně pohyb směrem od pozorovatele a směrem k pozorovateli, a to pro všechny sledované aktivní oblasti, dostaneme zajímavý výsledek: složka rychlosti směrem od pozorovatele vytváří zvláštní struktury, které mají kruhový tvar podobný supergranulím, a zaujímají plochu, která je obsazena magnetickým polem (bez ohledu na polaritu). Složka rychlosti směrem k pozorovateli vytváří ve stejné oblasti pouze řídké ostrůvky. Jediný ostrov velkých rychlostí, vytvořený pohyby směrem k pozorovateli a současně nejstabilnější útvar v oblasti s velmi řídkými



Obr.1: Rychlostní a magnetické pole NOAA 7220 + 7222 pro tři dny: 9. (levý sloupec), 14. (uprostřed) a 16. července 1992 (pravý sloupec). V dolní řadě jsou rychlosti od pozorovatele, nahoře magnetické pole. Je zřetelně vidět závislost organizace a formování rychlostí od pozorovatele na stáří magnetického pole.

pohybu směrem k pozorovateli, je složka Evershedova jevu, tvořená rychlostmi směrem k pozorovateli u největších slunečních skvrn: vedoucích skvrn a nově vzniklé centrální skvrny. A opět, tyto oblasti zesílených a organizovaných pohybů dolů, vyplňující celé oblasti okupované lokálním magnetickým polem, jsou obklopeny plochou bez magnetického pole, obsazenou podobnými kruhovými útvary, ale tvořenými složkou pohybů směrem k pozorovateli, také podobnými supergranulím.

Zdá se, že stupeň organizovanosti pohybů směrem od pozorovatele do kruhových útvarů závisí na vývojovém stupni každé aktivní oblasti. Zkoumaná maximální fáze vývoje komplexu aktivity dává možnost podívat se na změny útvarů složky Dopplerových pohybů směrem od pozorovatele, na stupeň jejich organizovanosti, stability útvaru, a to se stářím aktivní oblasti nebo její určité části. Díky našim pozorováním během dvou slunečních rotací jsme měli možnost zkoumat jednu velkou aktivní oblast během sestupné fáze vývoje, druhou od prvního objevení se do fáze maximální. Kromě těchto dvou hlavních procesů jsme monitorovali menší druhotné procesy doprovázející doplňování nového magnetického toku do fotosféry, jak během prvé, tak i během druhé otočky. Z našich map vyplývá, že je třeba 2 - 3 dnů po objevení se prvních skvrn a nového magnetického toku, aby se kruhový útvar vytvořil. Když sledovaná část aktivní oblasti patřičně zestárne, zdá se, že také úsilí vytvářet kruhové útvary zeslábně, a zmizí úplně během poslední vývojové fáze oblasti. Na příklad v oblasti NOAA 7222 se charakteristické kruhové struktury pohybové složky směrem od pozorovatele ustavily plně 10. Července, zatím co stejné útvary skupiny NOAA 7220 v této době silně zesláblly. Kromě toho jak jsme uvedli minule, staré magnetické pole zaniklé skvrny, blízké svému konci, ukazovalo obrácenou orientaci pohybů nežli je v Evershedově jevu, tedy místo vytékání, vtékání hmoty do daného místa (Bumba et al., 2002).

Nejlepší souhlas kruhově organizovaných složek Dopplerových pohybů směrem od pozorovatele s tělesem lokálního magnetického pole (bez ohledu na polaritu) je patrný během průchodu aktivní oblasti blízko středu slunečního disku. Je to pravděpodobně spojeno s faktem, že nejen siločáry slabších magnetických polí jsou organizovány převážně radiálně, ale že i směr kruhově organizovaných Dopplerových pohybů směrem od pozorovatele je orientován převážně radiálně ke slunečnímu povrchu. Dále od středu disku (asi 27°), jednotlivé pohybové struktury obou směrů jsou silně protaženy ve směru kolmém na sluneční rovnoběžky, a horizontální složka pohybu tu zřejmě převládá.

3.3 Srovnání s rozdělením chromosférické struktury

S rozložením složky Dopplerova rychlostního pole směrem od pozorovatele a tělesem lokálního magnetického

pole koinciduje i rozdělení chromosférické emise pozorované v čáře CaII K3. Naopak s elementy složky pohybu směrem k pozorovateli a oblastmi s velmi slabým nebo nulovým magnetickým polem souhlasí středy tmavých cel (supergranulí) chromosférické struktury pozorované ve stejné spektrální čáře (Bumba et al., 2003).

4. ZÁVĚR

Uvedené výsledky pozorování nás vedou k závěru, že celý lokální systém magnetického a rychlostního pole aktivní oblasti představuje určitý druh poruchy polopravidelného rozdělení pohybových složek obou směrů, pozorovaného v klidné fotosféře, kde není magnetického pole. Tato porucha má zřejmě svůj fyzikální základ v lokálním zesílení konvekce a následující koncentraci magnetického pole. Teprve v její určité vývojové fázi se vytvoří popsání charakteristické rozdělení složek Dopplerových pohybů spolu se vznikem Evershedova jevu (pokud se vyvine patřičná sluneční skvrna), který se může stát hlavním článkem rychlostního pole aktivní oblasti.

Současně rozdílná koncentrace složek obou směrů Dopplerových pohybů v závislosti na přítomnosti nebo absenci magnetického pole, a především pozorovaná závislost intenzity organizačního úsilí rychlostních útvarů na vývojovém stupni a stáří magnetického pole, nám mohou pomoci porozumět lépe dynamice pohybů ve sluneční atmosféře pod aktivní oblastí, formujících pozorované rychlostní pole. Dosavadní naše výsledky souhlasí s řadou novodobých pozorování zesílených pohybů směrem od pozorovatele okolo slunečních skvrn. Ovšem k dosažení platnějších závěrů potřebujeme prostudovat více rychlostních a magnetických polí mnoha aktivních oblastí zejména v počátečních a konečných fázích vývoje.

Poděkování

Děkujeme Grantové agentuře České republiky za podporu, poskytnutou formou grantového projektu GAČR 205/04/2129, Výzkumnému záměru AVČR K 2043105 a portugalské „Proc 4.1.1 Ac.C.Rep. Checa - GRICES, POCTI-SFA-2-675 from Fundacao para a Ciencia e Tecnologia“.

LITERATURA

- Bumba V., and Klvaňa M.: 1995, Solar Phys. 160, 245
Bumba V., Klvaňa M., Garcia A.: 2002, Zborník referátov zo 16. Celostátného slnečného seminára, Turčanské Teplice 2002, ed. I. Dorotovič, SÚH Hurbanovo, 16
Bumba V., Klvaňa M., Garcia A.: 2003, Proc. ISCS 2003 Symposium „Solar Variability as an Output to the Earth's Environment“, Tatranská Lomnica, Slovakia 23-28 June 2003 (ESA SP-535, Sept. 2003), 71
Bumba V., Klvaňa M., and Kálmán B. 1996, A&A Suppl. 118, 35

Kálmán B., 2001, A&A 371, 731