

## POSUVY DOPPLEROVSKÉHO RYCHLOSTNÍHO POLE VE SKVRNÁCH

M. Klvaňa<sup>1</sup>, V. Bumba<sup>1</sup>, M. Švanda<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Astronomický ústav Akademie věd České republiky, Observatoř Ondřejov

<sup>2</sup>Astronomický ústav, MFF UK, Praha

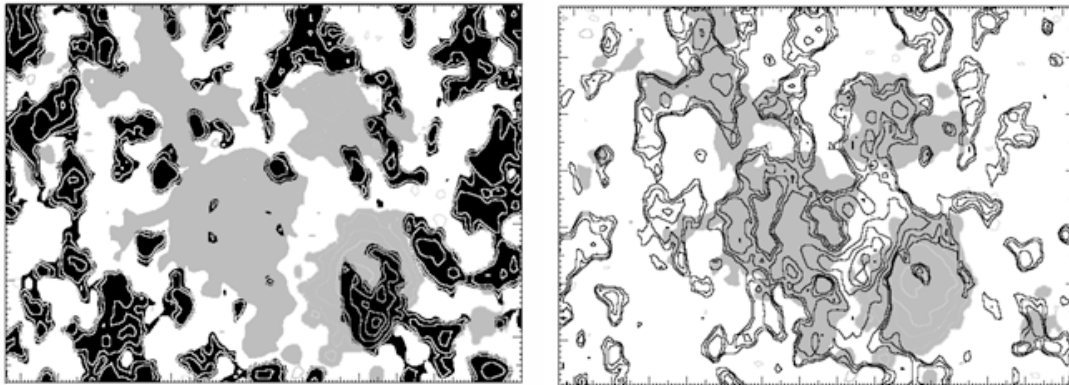
### Abstrakt:

V práci demonstrujeme efekt posuvu fotosférických rychlostních polí v oblastech vyplněných magnetickým polem vůči rychlostním polím přiléhajících nemagnetických oblastí. Efekt analyzujeme na datech měření aktivní oblasti NOAA 8086 ze dne 18.09.1997, získaných ondřejovským magnetografem. Ustředněná hodnota dopplerovského rychlostního pole v oblastech vyplněných magnetickým polem vykazuje systematický rudý posuv vůči sousedním oblastem bez magnetického pole v rozmezí 37 – 191 m/sec.

Analyzujeme změny v morfologii Evershedova efektu v důsledku posuvu nuly dopplerovských rychlostí výše uvedeným systematickým posuvem. Systematický rudý posuv zvětšuje rozdíl mezi plochami modrého a rudého posuvu v Evershedově rychlostním poli a jeho ovlivňuje vektorové rychlostní pole.

### Úvod:

Při analýze měření aktivních oblastí, získaných magnetografem ondřejovské observatoře jsme si všimli souvislosti mezi střední hodnotou dopplerovských rychlostních polí a magnetickým polem (Bumba, Klvaňa, 1995). Oblasti, vyplněné magnetickým polem vykazují rudý posuv střední hodnoty dopplerovských rychlostí vzhledem k rychlostním polím okolních nemagnetických struktur. Na základě analýzy simultánně měřených magnetických a rychlostních polí jsme zjistili, že v různých spektrálních čarách se hodnota tohoto rudého posuvu pohybuje v rozmezí 37 - 192 m/sec. Předpokládáme, že efekt rudého posuvu střední hodnoty dopplerovských rychlostních polí by mohl souviset s blokováním granulárních pohybů v oblastech magnetických polí a tím i zmenšením velikosti modrého posuvu, způsobovaného právě těmito granulárními pohyby (Klvaňa a kol., 2006).



*Obr.1: Dopplerovské rychlostní pole aktivní oblasti NOAA 7757 ze dne 21.07.94 s odděleně vykreslenými polaritami rychlostí. Tmavé plochy se světlými izočarami vlevo vyznačují modrý posuv (pohyb k nám), světlé plochy s tmavými izočarami vpravo naopak rudý posuv. Izočáry rychlostí jsou voleny po 200 m/sec. Šedivé plochy označují oblasti magnetického pole. Vidíme, že v oblastech magnetického pole převládají rychlosti od nás a naopak rychlosti kolem magnetických struktur směřují k nám. Evershedův efekt velké skvrny (v pravém dolním kvadrantu map) svým vlastním rychlostním polem toto rozdělení poněkud narušuje.*

Vzájemný posuv rychlostních polí v magnetických a nemagnetických oblastech můžeme dokumentovat na obr. 1. Šedivými plochami jsou vyznačeny oblasti s magnetickým polem, jehož absolutní hodnota je větší než 100 G. Polarity rychlostního pole jsou zde pro názornost vykresleny odděleně do dvou map (rudý posuv vpravo a modrý posuv vlevo).

Vidíme, že oblasti modrého posuvu se nalézají převážně mimo oblasti magnetického pole a oblasti rudého posuvu naopak uvnitř oblastí s magnetickým polem. Evershedův efekt velké skvrny v pravém dolním kvadrantu map svým vlastním rychlostním polem toto rozdělení poněkud narušuje. Z provedené analýzy rychlostního pole ve skvrnách vyplývá, že i přes silné rychlostní pole Evershedova efektu se zde pozoruje rudý posuv středních hodnot rychlostního pole. Výsledky analýzy podle způsobu výběru oblastí rychlostních polí a pro různé spektrální čáry jsou uvedeny v Tab. 1 (Klvaňa a kol., 2006).

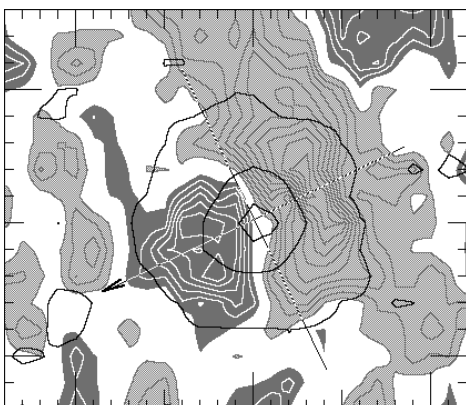
Parametry měření <b>NOAA 8086</b> <b>1997 09 18</b>	měřené hodnoty	všechny body mapy	Způsob výběru bodů masky magnetického pole							
			obě polarity		polarita plus		polarita minus		pouze skvrna	
			maska	okolí	maska	okolí	maska	okolí	maska	okolí
1. měření FeI: $\lambda=5253.47\text{\AA}$ g=1.5 7:35 – 7:44 UT	<v>[m/s]	-10.56	-157.68	33.97	-163.76	4.78	-151.81	12.55	-171.61	-4.93
	N [body]	91207	21189	70018	8298	82909	12823	78384	3079	88128
	posuv		- 191.65 m/s		- 168.54 m/s		- 164.36 m/s		- 166.68 m/s	
2. měření MgI: $\lambda=5172.7\text{\AA}$ g=1.75 8:07 – 8:10 UT	<v>[m/s]	4.21	-18.51	18.81	-65.13	18.67	18.37	0.36	-13.16	4.83
	N [body]	91207	35671	55536	15735	75472	19522	71685	3147	88060
	posuv		- 37.32 m/s		- 83.80 m/s		+ 18.01 m/s		- 17.99 m/s	
3. měření FeI: $\lambda=5123.7\text{\AA}$ g=0 8:27 – 8:38 UT	<v>[m/s]	-6.61	-71.50	13.02	0.25	-7.30	-115.95	11.27	-101.31	-3.55
	N [body]	91207	21189	70018	8298	82909	12823	78384	2855	88352
	posuv		- 84.52 m/s		+ 7.55 m/s		- 127.22 m/s		- 97.76 m/s	
4. měření FeI: $\lambda=5250.2\text{\AA}$ g=3 8:45 – 8:55 UT	<v>[m/s]	-11.68	-126.44	8.88	-145.61	-1.20	-108.90	-3.31	-188.22	-5.48
	N [body]	91207	13858	77349	6622	84585	7236	83971	3098	88109
	posuv		- 135.32 m/s		- 144.41 m/s		- 105.59 m/s		- 182.74 m/s	
5. měření FeI: $\lambda=5253.47\text{\AA}$ g=1.5 9:03 – 9:17 UT	<v>[m/s]	-55.66	-169.06	-20.75	-162.94	-42.10	-174.87	-38.94	-191.17	-49.94
	N [body]	91207	21468	69739	10238	80969	11217	79990	3695	87512
	posuv		- 148.31 m/s		-120.84 m/s		- 135.93 m/s		- 141.23 m/s	

Tab. 1: Vliv magnetického pole na posuv střední hodnoty dopplerovských rychlostí. Kladné rychlosti v tabulce odpovídají modrému posuvu (pohyb směrem k nám). Jak vyplývá z tabulky, je podle našich měření v různých spektrálních čarách průměrná hodnota systematického rudého posuvu ve skvrnách přibližně - 120 m/s.

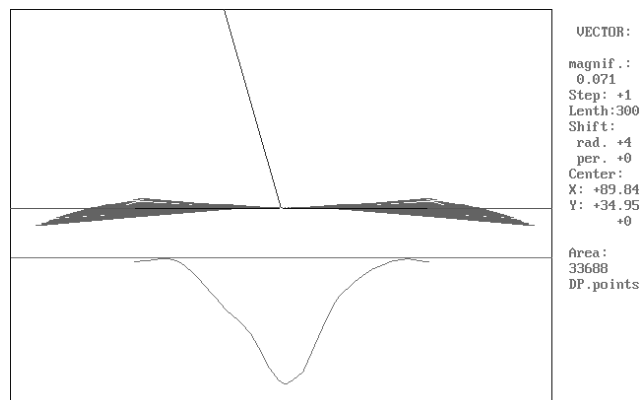
Zajímalo nás, jakým způsobem se rudý posuv rychlostního pole v magnetickém poli projeví v rychlostním poli Evershedova efektu a do jaké míry tento posuv změní topologii rychlostního pole skvrny.

### Evershedův efekt v symetrické skvrně

Vlastnosti Evershedova efektu budeme demonstrovat na vedoucí skvrně aktivní oblasti NOAA 7552 ze dne 30.7.1993. Tato skvrna se nám jeví dokonale symetrická, chvostové magnetické pole oblasti je zanedbatelné a proto je vhodná pro věrohodné modelování vektorových rychlostních polí.



Obr. 2: Evershedův efekt ve skvrně bez posuvu nuly rychlostního pole



Obr. 3: Vektory rychlostí ve skvrně, odpovídající rychlostnímu poli na obr. 2.

Vektorové rychlostní pole skvrny bylo vypočteno námi vypracovanou metodou, vycházející z vlastností symetrické skvrny, konkrétně ze symetrického rozložení vektorů rychlosti. Velikost a směr vektorů pak závisí pouze na vzdálenosti počátku vektoru od středu symetrie skvrny (Klvaňa a kol.,1998). Poloha středu symetrie byla nalezena jako těžiště skvrny v kontinuu spektra a jeho poloha byla subpixelově korigována tak, aby vektorové rychlostní pole umbrý bylo nulové.

Nulová referenční hladina dopplerovských rychlostí byla stanovena ustředněním rozsáhlé měřené oblasti. Předpoklad nulové rychlosti v umbrě skvrny je u tohoto typu skvrn používán velmi často, dokonce se rychlostní pole umbrý používá pro kalibraci nuly rychlostních měření.

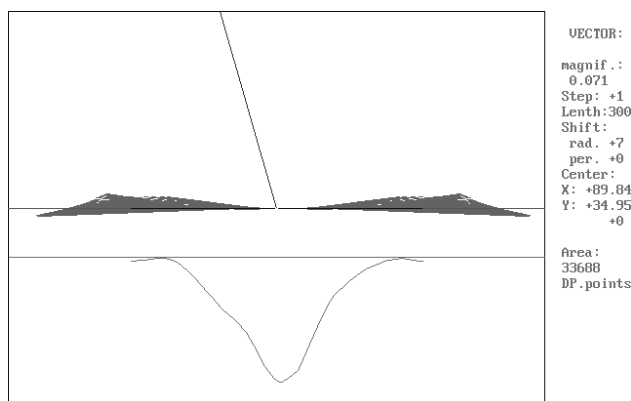
Na obr.2 je vykresleno dopplerovské rychlostní pole ve skvrně, odpovídající typickému Evershedově efektu s fotosférickými obrysy skvrny. Osy, v jejichž průsečíku se nachází střed symetrie, jsou orientovány podle směru na střed disku, označený šipkou.

Vektorové rychlostní pole skvrny je na obr.3 znázorněno jako projekce vektorů do roviny kolmé ke slunečnímu povrchu. Vektorové rychlostní pole je téměř horizontální. Ve spodní části obr. 3 je vykreslen průběh jasu v kontinuu skvrny. Směr, pod nímž skvrnu pozorujeme, je znázorněn úsečkou v horní části obrazu.

Vliv posuvu nuly dopplerovských dat jsme sledovali ve dvou případech, kdy jsme celé rychlostní pole posunuli o 100 m/sec a o -100 m/sec. Takový posuv se již markantně projeví na vzhledu dopplerovského rychlostního pole.



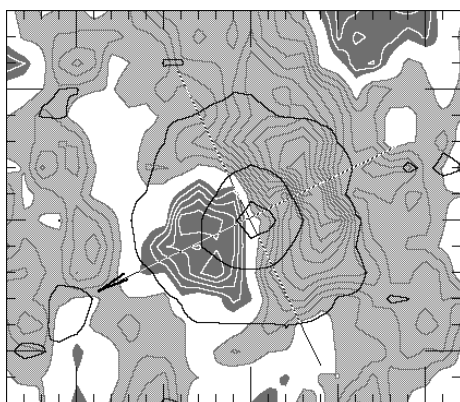
Obr. 4: Evershedův efekt ve skvrně při posuvu nuly rychlostního pole o +100 m/s



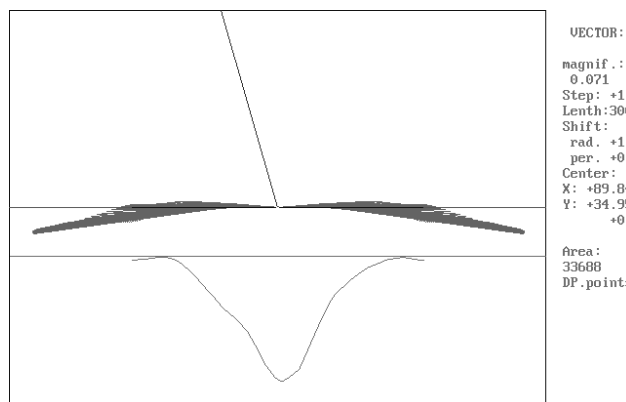
Obr. 5: Vektory rychlostí ve skvrně, odpovídající rychlostnímu poli na obr. 4.

Pro dosažení nulových rychlostí v umbrě skvrny je nutno provést korekci polohy středu symetrie vůči nulové čáře rychlostního pole. Velikost této korekce je velmi malá. Geometrický posuv středu symetrie je menší než 1 obl.sec, což je pod prostorovým rozlišením daného měření. Pro orientaci – jeden dílek na obvodu mapy odpovídá 3 obl.sec.

Rozložení vektorových rychlostních polí, nehledě na značné posuvy nuly, zůstává lokalizováno v horizontální rovině a jejich charakter zůstává zachován. Pouze při bližším studiu má vektorové rychlostní pole na obr. 7 větší tendenci směřovat pod fotosféru ve srovnání s polem na obr. 5.



Obr. 6: Evershedův efekt ve skvrně při posuvu nuly rychlostního pole o - 100 m/s

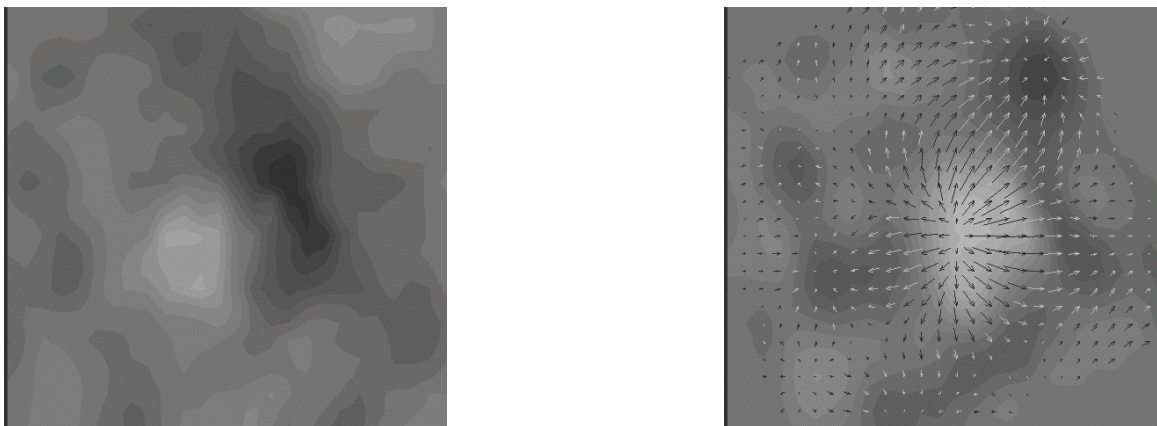


Obr. 7: Vektory rychlostí ve skvrně, odpovídající rychlostnímu poli na obr. 5.

Mnohem více se liší rozložení dopplerovských polí v Evershedově efektu. Původní plochy rudého posuvu (tmavé oblasti) a modrého posuvu (světlé oblasti) na obr.2 se s posuvem nuly výrazně mění. Na obr. 4 vidíme vzhled dopplerovského pole, posunutého o +100 m/sec. Je zřejmé, že plocha tmavé (kladné) polaroty se zvětšila a

naopak plocha světlé (záporné) polarity se zmenšila. V případě posuvu o  $-100$  m/sec vidíme na obr. 6 situaci opačnou, tzn. plocha kladné polarity se zmenšila a plocha záporné naopak vzrostla.

Rozložení polarit v Evershedově efektu se u symetrických skvrn projevuje tak, že oblast modrého posuvu, která je bližší středu disku, mívá velmi často menší plochu než odvrácená oblast rudého posuvu. Částečně se tato vlastnost dá vysvětlit geometrií rozložení vektorového rychlostního pole, ale, jak vyplývá z našich zkušeností při modelování rychlostních polí, ne úplně. Plocha oblasti modrého posuvu zůstává i po přepočtu na symetrické vektorové pole Evershedova efektu na střed disku menší, než bychom očekávali. Protože rychlostní pole Evershedova efektu na obr. 4 se více blíží rovnoměrnému rozdělení polarit, je možno předpokládat, že i ve skvrnách dochází k rudému posuvu, který jsme u obr.4 uměle kompenzovali posuvem rychlostního pole o  $+100$  m/s.



Obr.8: Rychlostní pole této skvrny jsme zkoumali také metodou, vyvinutou pro nesymetrické skvrny (Klvaňa a kol.,1999). Zleva je změřené dopplerovské rychlostní pole. Zprava je vykresleno výsledné vektorové pole, spočtené podle dat levé mapy a otočené na střed slunečního disku. Šípkami je znázorněna horizontální složka vektoru rychlosti, vertikální složku pohybu vykresluje barva pozadí (modrý posuv – pohyb k nám – světlá barva)

Předpokládáme, že systematický rudý posuv dopplerovských rychlostí v oblastech magnetických polí může být způsoben potlačením konvekce a tím i potlačením známého modrého posuvu v rychlostních polích. Jak vyplývá z Tab.1, je podle našich měření v různých spektrálních čarách průměrná hodnota systematického rudého posuvu jak ve skvrnách, tak i v celé aktivní oblasti přibližně  $-120$  m/s.

## Závěr

Systematický rudý posuv dopplerovského rychlostního pole v oblastech magnetického pole vůči rychlostnímu poli okolních nemagnetických struktur se pravděpodobně uplatňuje i ve skvrnách. Zvětšuje oblast rudého posuvu a zmenšuje oblast modrého posuvu a prohlubuje tak asymetrii polarit v obraze rychlostního pole Evershedova efektu.

Podle našich měření v různých spektrálních čarách je průměrná hodnota systematického rudého posuvu jak ve skvrnách, tak i v celé aktivní oblasti přibližně  $-120$  m/s.

Modelované vektorové rychlostní pole v symetrické skvrně se po kompenzaci systematického rudého posuvu mírně zvedá vůči původnímu vektorovému poli směrem nad rovinu fotosféry.

## Poděkování:

Tato práce byla realizována díky účinné podpoře grantových projektů GAČR 205/04/2129, GAAV ČR IAA 300 30808 a Výzkumného záměru AV0Z 100 30 501.

## Literatura:

Bumba V., Klvaňa M.: 1995, *Solar Phys.* 160, 245

Klvaňa M., Bumba V. Krivtsov A. M. 1998: „Configuration of the Velocity and Magnetic Field Vectors in the Photosphere of Symmetrical Sunspot”, Proceedings of the Conference, Astronomical Society of the Pacific Conference Series Vol. 155, 79-84

Klvaňa M., Krivtsov A., Bumba V., 1999: “Photospheric velocity vector fields in irregular sunspots”, Proceedings of the 9th conference on solar physics: Magnetic fields and Solar Processes, Florence, Italy, Volume 1, 1999, 313-318

Klvaňa M., Bumba V., Švanda M. 2006: „Doppler velocity fields in magnetic structures and their surroundings”, Central European Astrophysical Bulletin, **30** (2006) 1, 21-30