

Fotoelektrické magnetografy ondřejovské observatoře - jejich vlastnosti a výsledky

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

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

Abstrakt:

V současné době se uzavírá éra činnosti fotoelektrických skanujících magnetografů ondřejovské observatoře. Považujeme proto za vhodné připomenout při této příležitosti krátce historii magnetografických měření u nás, porovnat vlastnosti obou magnetografů a shrnout výsledky, kterých jsme během jejich provozu dosáhli. Není bez zajímavosti, že náš první magnetograf byl uveden do provozu pouhých dvacet let po sestrojení prvního magnetografu na světě a zahájil tak u nás systematická pozorování magnetických a později i rychlostních polí ve sluneční fotosféře.

1. ÚVODEM TROCHU HISTORIE

Magnetografická měření patří mezi nejnáročnější měření ve sluneční fyzice. Hlavní důvod spočívá v jejich principu – měření polarizace světla. První magnetograf byl sestaven H.W a H.D. Babcocky v roce 1952 v jejich soukromé laboratoři v Pasadeně. Bob Howard zahájil tímto přístrojem pravidelná pozorování celého Slunce na Mt. Wilsonu roce 1959.

Náš první magnetograf byl uveden do provozu v roce 1972, třináct let poté a zařadil se tím mezi první pravidelně provozované magnetografy na světě. V Evropě v té době systematicky pracovaly magnetografy v Meudonu, Postupimi a na Krymu, sporadicky pak v Izmiranu a v Pulkově.

2. PRINCIP MAGNETOGRAFU

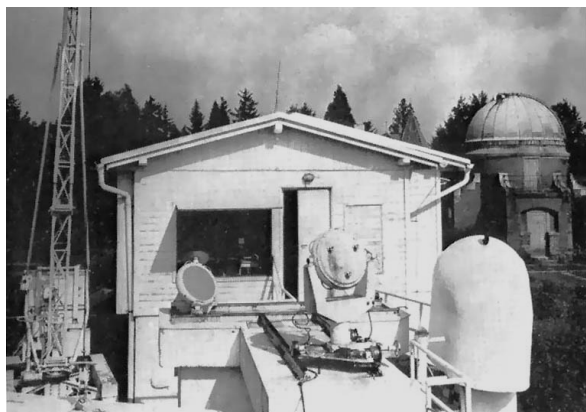
Magnetografická měření se zakládají na měření vzájemné vzdálenosti dvou polarizovaných σ komponent magneticky citlivé spektrální čáry, rozštěpené Zeemanovým efektem. Měření využívá polarizace světla v křídlech spektrální čáry a podle typu elektrooptického modulátoru, modulujícího intenzity kruhové a lineární polarizace získáváme buď všechny čtyři Stokesovy parametry V, U, Q a I, z nichž můžeme určit celý vektor magnetického pole nebo jen parametry V a I pro určení jeho podélné složky. Naše oba magnetografy měřily pouze podélnou složku

magnetického pole jednak proto, že takový přístroj dokáže obsluhovat pouze jeden pozorovatel a také proto, že v našich podmínkách přínos od měření příčných komponent vektoru není velký (špatný poměr signál/šum z důvodu 100x nižší citlivosti v kanálech parametrů U a V).

Měření polarizace světla v křídlech spektrální čáry vyžaduje kompenzaci jejich dopplerovských posuvů. K tomuto účelu byla u obou magnetografů do optické cesty spektrografu těsně před zobrazovací rovinou spektrální čáry zařazena planparalelní destička. Tato planparalelní destička při svém otáčení v důsledku lomu paprsků jemně posouvala spektrální čáru a zpětnovazební smyčka, řídicí servomotor planparalelní destičky, udržovala spektrální čáru přesně v nastavené poloze. Úhel natočení destičky, kompenzující dopplerovský posuv spektrální čáry poskytoval tak další měřený údaj, informaci o dopplerovských rychlostech plazmatu.

3. SLUNEČNÍ MAGNETOGRAF I (1972 – 1983)

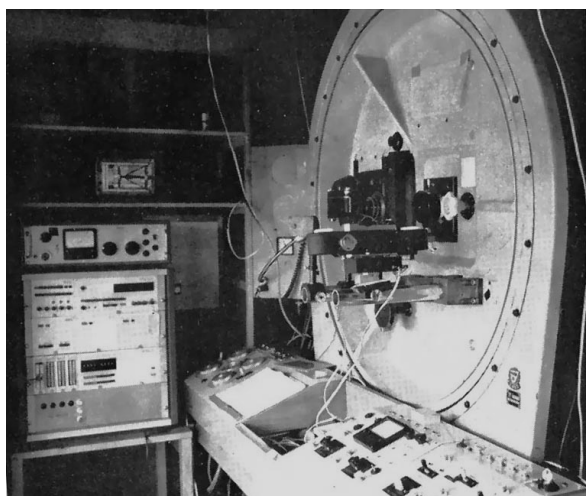
Sluneční magnetograf I byl postfokálním zařízením Velkého horizontálního dalekohledu se spektrografem. Horizontální dalekohled byl napájen coelostatem o průměru zrcadel 450 mm a dále obsahoval pomocné rovinné zrcadlo a objektiv o průměru 450 mm s ohniskovou vzdáleností 35 m. Pohled na coelostat a budovu slunečního magnetografu I vidíme na obr.1.



Obr.1: Velký horizontální dalekohled, napájející sluneční magnetograf I. V popředí vidíme obě zrcadla coelostatu.

Základem našeho prvního magnetografu byla elektronika, dodaná pracovníky SIBIZMIR v Irkutsku. Magnetograf měřil podélnou složku magnetického pole, intenzitu záření ve středu a obou křídlech spektrální čáry a v kontinuu spektra.

Vzhledem k nestabilitě spektrografu a malým zkušenostem s měřením rychlostních polí nebyla dopplerovská rychlostní pole používána. Původní zápis měření na registrační papír byl v roce 1974 nahrazen digitální registrací na děrnou pásku.



Obr.2: Ovládací pult slunečního magnetografu I. Vlevo měřící ústředna MT 143, zprava otočný disk se vstupní štěrbinou spektrografu. Součástí celého zařízení byl také náš první spektroheliograf pro záznam spektroheliogramů na fotografickou desku. Těleso spektroheliografu se zasouvalo do držáku místo zobrazeného fotoaparátu.

Zautomatizování magnetografických měření si vyžádalo novou koncepci řízení napájecího dalekohledu. Velký horizontální dalekohled slunečního magnetografu jsme proto od roku 1974 jako první dalekohled u nás vybavili souřadnicovým systémem, automatickou pointací a skanovacím systémem vlastní konstrukce. Po nastavení velikosti vybrané oblasti probíhalo měření celé oblasti zcela automaticky.

Původně byla měřená data zapisována na registrační papír a vyhodnocována ručně. Od roku 1974 byla však již data v reálném čase digitalizována měřicí ústřednou MT 143, novým výrobkem Metry Blansko. Data byla digitalizována na děrnou pásku a dále zpracovávána sálovým počítačem observatoře. Magnetograf I byl prvním přístrojem na naší observatoři, používajícím digitalizaci měření v reálném čase.

Magnetograf I pracoval bez přerušení celkem dvanáct let. Za tuto dobu jsme získali celkem 528 sad simultánních měření podélné složky magnetického pole, fotosférického jasu v kontinuu spektra a dopplerovských rychlostí. Doba, potřebná pro změření oblasti 300x200 obl.sec byla cca 1 hodina. Počet magnetografických měření magnetografu I v letech 1972 – 1983 jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab.1: Počty magnetografických měření

1972	1973	1974	1975	1976	1977
45	65	57	49	11	40
Magnetograf I					
1978	1979	1980	1981	1982	1983
39	39	46	62	13	62

Pro zvýšenou poruchovost elektroniky byl provoz magnetografu koncem roku 1983 ukončen. Vzhledem ke změnám ve výpočetní technice se digitální data nezachovala, mapy magnetických polí a jasů měřených aktivních oblastí jsou však dostupné v našem archivu.

Zkušenosti s měřením dopplerovských rychlostí, které jsme při pozorování s tímto magnetografem získali, jsme uplatnili až při vývoji nového magnetografu.

4. VÝVOJ NOVÉHO MAGNETOGRAFU

Období vývoje nového magnetografu v letech 1984 – 1989 bylo poznamenáno vývojem výpočetní techniky. Na počátku jsme sledovali koncepci záznamu dat na magnetopáskovou jednotku PT-105, standardně používanou u sálových počítačů. V této době byly vhodné stolní počítače pro nás nedostupné. Po mnoha experimentech s různou výpočetní technikou jsme se k řízení magnetopáskové jednotky rozhodli použít "Inteligentní procesor" TP08.

Zařízení neobsahovalo žádný software a bylo ho třeba programovat prakticky od nuly a to ve strojovém kódu. Základní úlohou se stalo právě řízení magnetopáskové jednotky. Tuto úlohu se podařilo zvládnout, ovšem ne k naší spokojenosti. Magnetopásková jednotka vykazovala vysokou chybovost, kterou se nepodařilo odstranit.

V roce 1989 jsme zakoupili stolní počítač – PP06. Byl to první stolní počítač naší výroby, bez pevných disků, vybavený pouze dvěma mechanikami pro 5.25" diskety. Počítač jsme osadili vlastní

digitalizační kartou, ovládanou programem ve strojovém kódu. Díky tomu byl systém řízení magnetografických pozorování dostatečně rychlý, a nezpomaloval proces magnetografických měření.

5. SLUNEČNÍ MAGNETOGRAF „SOLMAG“



Obr.3: Horizontální sluneční dalekohled se spektrogra-fem, označovaný HSF A1, v němž byl v letech 1990 - 2001 provozován sluneční magnetograf II. V přední části obrazu vidíme coelostat s průměrem zrcadel 600 mm.

Solmag - magnetograf druhé generace - byl namontován jako postfokální zařízení přístroje HSF A1, dodaného na zakázku firmou C. Zeiss – Jena začátkem osmdesátých let (Ambrož a kol. 1981). Firma prakticky převzala naši koncepci řízení dalekohledu a jeho souřadnicového systému (Gutcke, 1979). Horizontální dalekohled je vybaven coelosta-tem typu Jensch se zrcadly o průměru 600 mm a osazen zrcadlovým objektivem o průměru 500 mm, s ohniskovou vzdáleností 35 m. Spektrograf typu Cerny-Turner má rovinnou mřížku 602 vrypů/mm a 10 m ohniska kolimátoru a kamerového zrcadla.



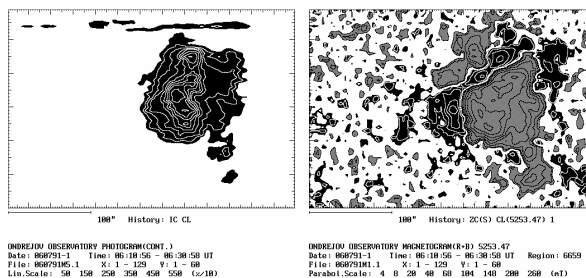
Obr. 4: Pozorovací místnost magnetografu s jeho ovládacím pultem a počítačem PP 06. Uprostřed kruhové desky v horní části obrazu, určené ke kalibraci souřadnicového systému, je vstupní štěrbiná spektrografu.

Pro měření magnetických polí byl instalován stokesmetr potsdamské konstrukce, vyrobený Vývojovými dílnami Německé akademie věd. Stokesmetr dovozoval měření všech čtyř Stokesových parametrů V, U, Q a I. Z důvodu menší náročnosti na počet pozorovatelů byly v běžném provozu magnetografu měřeny parametry V a I.

Jak jsme se už zmínili, veškeré funkce magnetografu včetně digitalizace analogových veličin byly řízeny počítačem PP06, který byl pro nás v roce 1989 jediným cenově dostupným řešením. Díky sestavení měřícího software ve strojovém kódu tento počítač (přes svou pomalost) nikdy nezpomaloval průběh měření. Rychlost měření byla limitována pouze rychlostí pohybu dalekohledu.



Obr.5: Srdcem řídicího systému dalekohledu a magnetografu je pointační čidlo, umístěné na tomto skanovacím stolku. Chybové signály z čidla řídí pohyb zrcadel coelostatu tak, že obraz slunečního disku se neustále nachází v jeho středu. Pohybem stolku ve dvou navzájem kolmých směrech pak můžeme obraz slunečního disku umístit do požadované polohy. Stejným způsobem se bude pohybovat obraz Slunce po vstupní štěrbině spektro-grafu. Souřadnice bodu slunečního disku na štěrbině jsou definovány polohou skanovacího stolku.



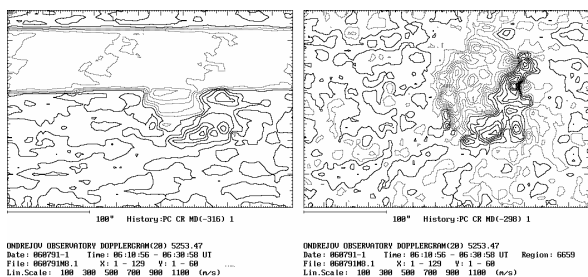
Obr.6: V levé části obrazu vidíme velkou sluneční skvrnu, vpravo podélnou složku vektoru jejího magnetického pole. Atmosférické podmínky pro pozorování nebyly dobré, v horní části levého snímku je vidět ztemnění, způsobené oblačností.

Dopplerovská rychlostní pole byla měřena vlastním, námi vyvinutým kompenzačním systémem, který spolu se speciálním programovým vybavením, založeným na zcela regulární fyzikální korekci (Klvaňa, Bumba, 1994), zcela odstraňuje nedostatky klasických kompenzátorů posuvu spektrální čáry, kterými jsou

snížení citlivosti ve skvrnách a důsledky mechanické setrvačnosti kompenzátoru.

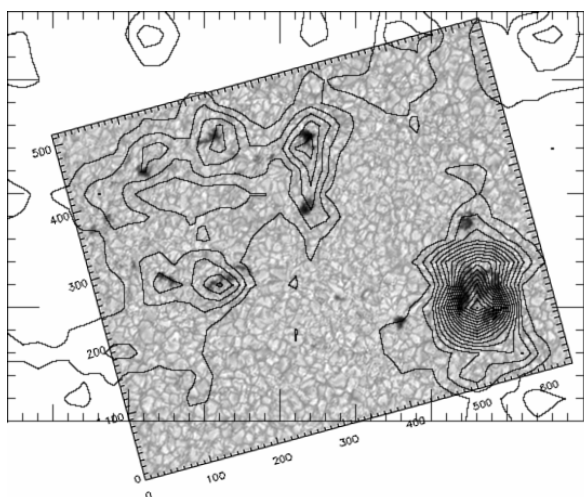
Tato fyzikální korekce, používaná při zpracování dopplerovských měření, nám dovolila podstatně zvýšit skanovací rychlost magnetografu, což se projevilo mimo jiné i v počtu získaných měření.

Efekt fyzikální korekce ukážeme na měření, narušeném oblačností (obr.7). Před příchodem mraku bylo nutno měření přerušit. Současně byl vypnut i kompenzátor dopplerovského posuvu spektrální čáry. Omylem však nebyl zapnut ihned po ukončení přerušování, ale podstatně později. Jeho vypnutí způsobilo výpadek v mapě v levé horní části obr.7.



Obr.7: V levé části obrazu vidíme dopplerovské rychlostní pole skvrny a jejího okolí, narušené v horní části vypnutým kompenzátořem dopplerovského posuvu spektrální čáry. Po zpracování takto narušených dat naší metodou nepoznáme ve výsledné dopplerovské mapě v pravé části obrazu, kdy byl kompenzátor znovu zapnut.

Toto narušení bylo vykresleno vypnout fyzikální korekci. V pravé části obr.7 jsme data měření zpracovali standardním postupem s fyzikální korekcí. Její funkce je natolik efektivní, že v korigované mapě vůbec nepoznáme rozhraní, kde byl kompenzátor znovu zapnut.



Obr.8: Přeložení fotosférického snímku s vysokým prostorovým rozlišením a segmentu fotosférické mapy našeho magnetografu. Všechny póry jsme schopni na mapě identifikovat. Posuvy pór jsou způsobeny jejich vlastními pohyby, měření nebyla současná.

Kvalitu našich magnetogramů můžeme doložit i na dalším příkladě. Bylo třeba vyhledat nulovou čáru rychlostních polí v oblasti fotosférických pór.

Snímek fotosféry s vysokým prostorovým rozlišením byl pořízen na Kanárských ostrovech. Po vkopírování fotosférických izochar do tohoto snímku jsme s velkým překvapením zjistili, že všechny póry ve snímku jsou v našich měřeních identifikovatelné (viz obr.8). Nesouhlas v pozicích pór je způsoben rozdílem v době pořízení obou pozorování.

Tab.2: Počty magnetografických měření

1990	1991	1992	1993	1994	1995
66	286	306	137	214	314
Solmag – celkem 2824 měření					
1996	1997	1998	1999	2000	2001
196	279	125	417	280	204

Solmag pracoval bez přerušení dvanáct let. Za tuto dobu jsme získali celkem 2824 sad simultánních měření podélné složky magnetického pole, fotosférického jasu v kontinuu spektra a dopplerovských rychlostí. Rychlost měření Solmagu se v porovnání s dřívějším magnetografem zvýšila 8x a doba měření oblasti, velké 300x200 obl.sec se tím naopak snížila z jedné hodiny na 7'40".

Z důvodu rekonstrukce HSFA1 firmou Space Devices bylo v roce 2001 přerušeno pozorování Solmagem a vzhledem k neustále se posouvajícím termínům ukončení rekonstrukce bylo v roce 2005 rozhodnuto o ukončení jeho činnosti.

6. ZÁVĚR

Archiv Solmagu obsahuje velké množství zajímavého materiálu. Zůstává i nadále k dispozici všem zájemcům, včetně bohatého a uživatelsky jednoduchého software, umožňujícího nejrůznější metody jeho zpracování. Přehled různých typů měření, seznam měřených oblastí včetně jejich lokalizace a mapy měřených oblastí v různém provedení jsou veřejně přístupny na adrese:

<http://asu.cas.cz/~solmag/>

Poděkování

Tato práce byla realizována díky účinné podpoře grantového projektu GAČR 205/04/2129 a výzkumného záměru AVOZ 1003 0501.

LITERATURA:

- Gutcke Dietrich., 1979: Jenaer Rundschau, 1979/1, 32-34
- Ambrož P., Bumba V., Klvaňa M., Macák P.: 1981 Zborník referátov z celoštátného slnečného seminára v Povážskej Bystrici, 1980, 262-267
- Klvaňa M., Bumba V.: 1994 Handling & Archiving Data from Ground-based Telescopes, ESO, Conference and Workshop Proceedings No.50, Garching, 173-177