

## HSFA - největší sluneční dalekohled a spektrograf v ČR vlastnosti, výsledky, perspektivy.

*Pavel Kotrč, Astronomický ústav v.v.i., AV ČR, Ondřejov*

Abstrakt. Optický systém velkého horizontálního slunečního dalekohledu a spektrografu (50/3500 cm) byl nedávno přestavěn z typu Czerny-Turner na mnohokamerový přístroj. Difrakční mřížka Baush&Lomb s 632 vrypy na mm byla zaměněna mřížkou Richardson s 1200 vrypy na mm. Do spektrografu bylo nainstalováno 5 kamerových zobrazovacích systémů pro simultánní snímání spekter v čarách H-alfa, H-beta, D3 He, CaH (nebo CaK) a Ca 8542 Angstromů CCD kamerami. Šestá CCD kamera snímá obraz z břitů štěrbin přes úzkopásmový filtr v čáře H-alfa. Kamery Vosskuehler mohou pracovat ve dvou módech (1280 x 1024 px, nebo 1280 x 512 pixelů). Obvyklá expoziční doba pro jevy na slunečním disku je kratší než 50 ms, protuberance se snímají expozicemi řádově stovek ms. Nejrychlejší režim umožňuje exponovat až několik snímků za sekundu současně ve všech kamerách. Data jsou ukládána, archivována a poté redukována o dark-frame a flat-field. Popis slunečního spektrografu, technické detaily a pozorovaná data je možné nalézt a prohlížet na stránce <http://www.asu.cas.cz/~sos/>.

### Úvod.

Dva, v současné době největší funkční sluneční horizontální dalekohledy se spektrografem ve střední Evropě, byly instalovány v nové části observatoře v Ondřejově v 80. letech 20. století. Byly vyvinuty a vyrobeny firmou Carl Zeiss v Jeně jako součást malé série o pěti kusech a jsou známy pod zkratkou HSFA (Horizontal Sonnen Forschungs Anslage). Zatímco HSFA1 byl používán jako magnetograf, funkce HSFA2 spočívala ve snímání vysokodisperzních spekter slunečních aktivních jevů. Původní fotografické detektory u HSFA2 byly později nahrazeny rychlými CCD kamerami v rámci první etapy modernizace, která proběhla v letech 2000 až 2004. Původně jednokamerový spektrograf byl přestavěn na vícekamerový, došlo i na modernizaci řídicí elektroniky. Byl instalován optický systém simultánního snímání filtrů z primárního obrazu Slunce z reflexní plochy kolem vstupní štěrbin spektrografu. Stanoviště pozorovatele bylo přesunuto z místnosti okolí primárního zrcadla a ohniska horizontálního dalekohledu do suterénu pavilónu. Byla podniknuta i další opatření ke zmenšení vlivu rušivých vlivů jako je rozptýlené světlo a zbytečné nahřívání okolí ohniskové roviny. V r. 2009 probíhá další modernizace HSFA2. Jejím účelem je zajistit větší kvalitu pořizovaných dat. Zvýší se stabilita snímání dat. Pozorovatel získá nástroje pro správné nastavení expoziční doby. Frekvence snímání bude spolehlivější. Budou doplněny další možnosti pořizování snímků, zejména skanování nastavené oblasti na Slunci, pointace dalekohledu na množinu zadaných oblastí. Každý snímek ze štěrbin i spektrum bude obsahovat potřebné údaje pro zpracování, nově pak zejména kartézské souřadnice x,y v soustavě, kde osa Y je průmětem osy rotace Slunce a osa X prochází středem slunečního disku. Spolehlivá znalost souřadnic umožní i lepší koordinaci pozorování v rámci kampaní, jichž se účastní i přístroje na kosmických sondách. Dalekohled na povel najede na pozici zadanou souřadnicemi x,y.

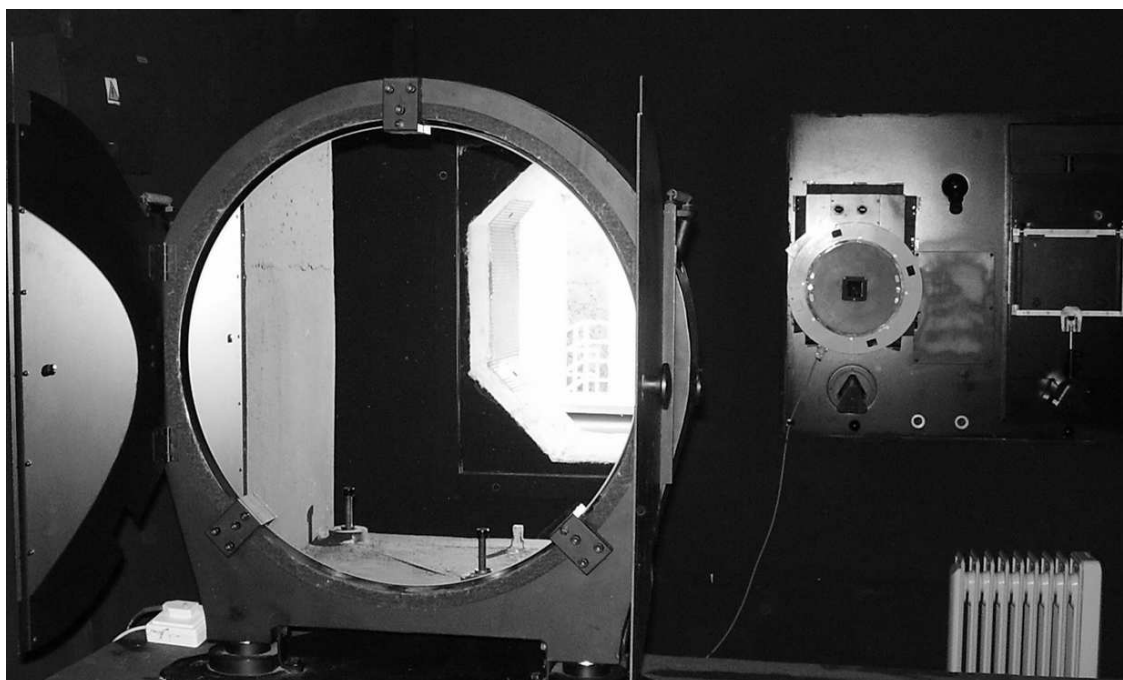
### Stručné charakteristiky HSFA2



Horizontální dalekohled se spektrografem se nachází v severní části observatoře, blízko dvoumetrového dalekohledu. Okolní lesní a luční porosty zmírňují nadbytečné nahřívání slunečními paprsky a zpětné vyzařování akumulované energie. Bílé nátěry budovy dalekohledu a spektrografu, stejně jako bílý nátěr plechových krytů předsunuté věže s coelostatem, pozitivně ovlivňují kvalitu seeingu v bezprostřední blízkosti přístroje.



Coelostat typu Jensch se nachází ve výšce 4 – 6 m nad okolním terénem. Dvě plochá zrcadla coelostatu mají průměr 60 cm. Ploché posuvné zrcadlo na pilíři (ve středu) slouží k zalomení optického systému horizontálního dalekohledu a současně i k zaostření. Jemný pohyb zrcadel coelostatu je využíván k nastavení pozorované aktivní oblasti na štěrbinu.

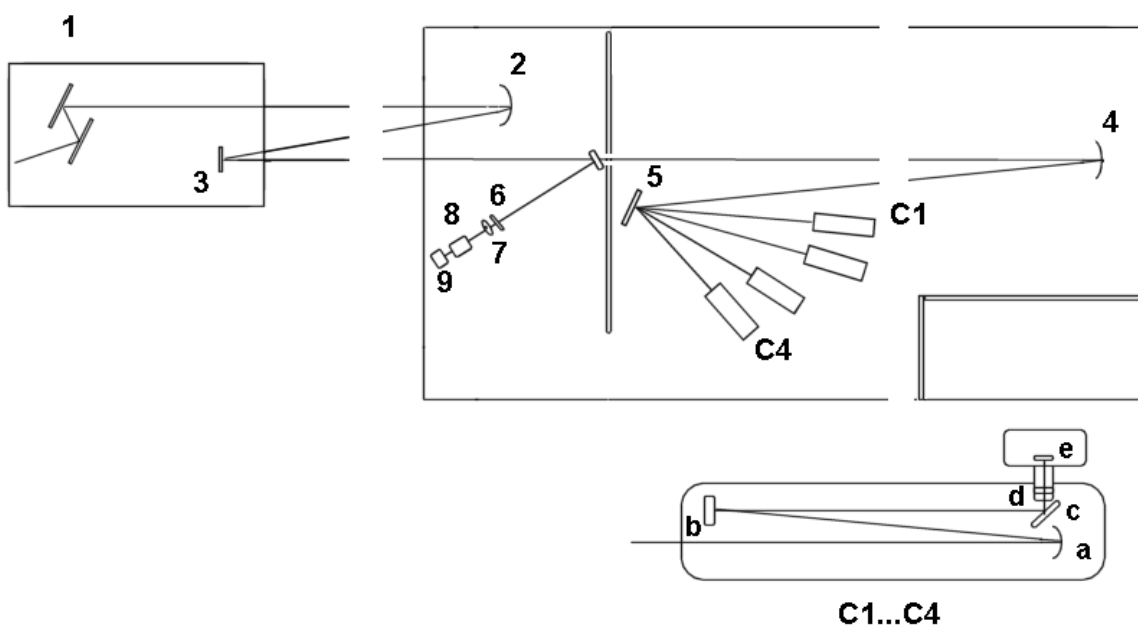


Nejdůležitější částí horizontálního dalekohledu je hlavní objektiv M1 o průměru 50 cm a ohniskové vzdálenosti 35 m. Vidíme jej v levé části obrázku. Před objektivem se nachází malý pointační dalekohled, který část svazku zobrazuje na pointační stolek nad přední částí objektivu M1. Pointace umožňuje udržovat nastavenou část slunečního disku na vstupní štěrbině spektrografu. Ohniskovou rovinu dalekohledu spolu se vstupní štěrbinou spektrografu vidíme v pravé části obrázku. Původní výškově i šířkově nastavitelná kovová vstupní štěrbinu spektrografu je roztažena a její funkci převzala fixní štěrbinu v destičce z křemenného skla. Destičku vidíme na obrázku jako tmavý obdélník ve středu kruhové masky. Funguje jako rovinné zrcadlo s vertikální propustnou štěrbinou vysokou 5 cm a šířkou 100 mikronů. Světlo dopadající na štěrbinu prochází do spektrografu, zatímco světlo z okolí štěrbinu je odraženo do refraktoru s H-alfa filtrem. Simultánně snímané obrázky z břitů štěrbinu (slit-jaws) poskytují důležité informace o stavu chromosféry nebo protuberance v okamžicích kdy je

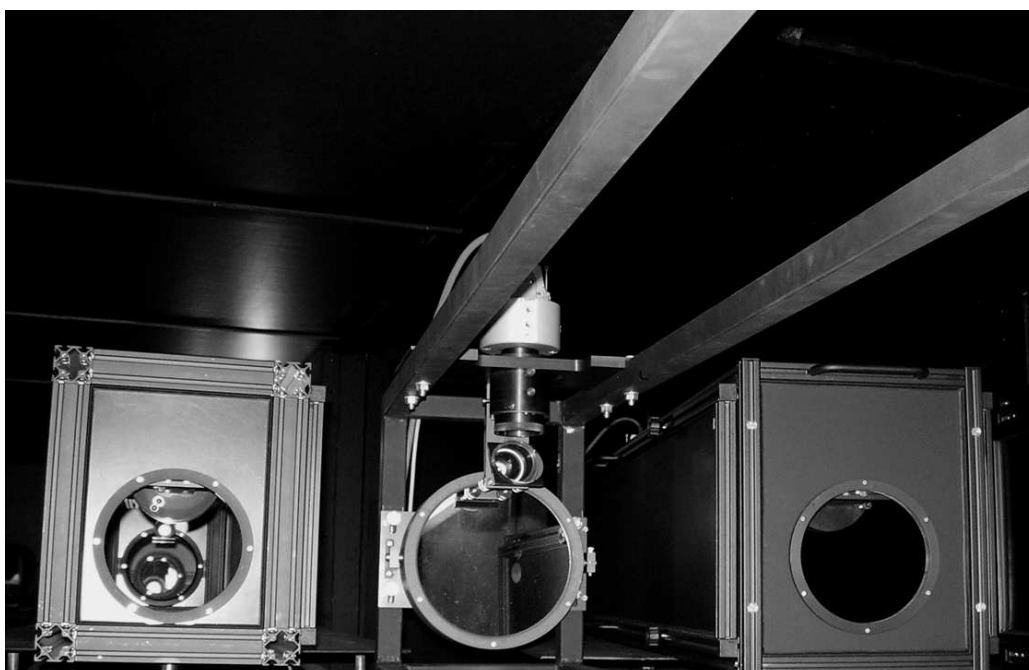
exponováno sluneční spektrum. Na výsuvnou optickou lavici trojúhelníkového profilu pod štěrbinou je možné umístit filtry nebo optické členy, jako např. polarizátory, dichroické členy, apod), které je občas užitečné vložit do systému, nebo i proměřit velkým spektrografem.

Při modernizaci v letech 2000 – 2004 byl jednocestný spektrograf typu Czerny-Turner přestavěn na mnohokamerový systém. K tomu bylo nutné provést optimalizaci kamerových optických systémů se zřetelem na malé čipy detektorů a na omezený prostor při zachování spektrálního a úhlového rozlišení

Optické schéma horizontálního slunečního dalekohledu a spektrografu na následujícím obrázku obsahuje tyto prvky: 1 – Jenschův coelostat o průměru obou zrcadel 60 cm, 2 – Hlavní zrcadlový objektiv M1 o průměru 50 cm a ohniskové vzdálenosti 35 m, 3 – pomocné rovinné zrcadlo, 4 – zrcadlo kolimátoru, 5 – difrakční mřížka, 6 – rámcovací filtr, 7 – objektiv dalekohledu slit-jaw, 8 – H-alfa filtr Day Star, 9 – CCD kamera, C1 až C4 označují samostatné kamerové zobrazovací objektivy kamer, jejichž detailní schéma je znázorněno dole vpravo s následujícím popisem: a – hlavní objektiv, b – rovinné zrcadlo, c – eliptické zrcadlo, d – destička ke korekci astigmatismu a kómy, e – zaostřovací výťah a CCD kamera.

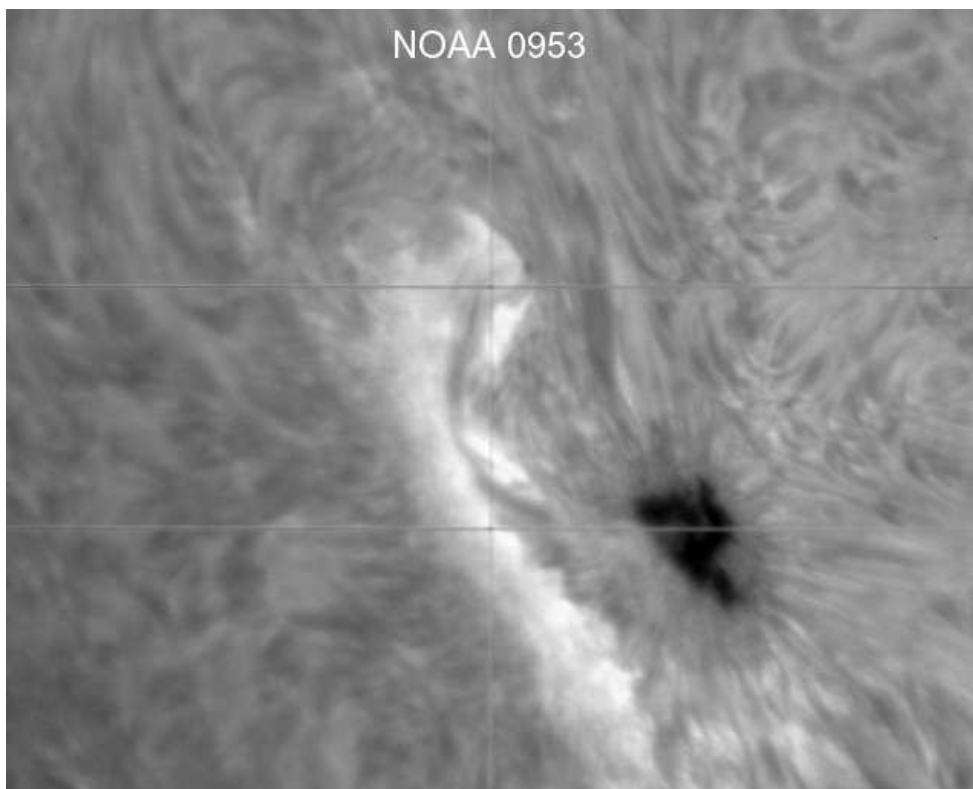


Detailní náhled na zobrazovací kamerové objektivy ukazuje ve středu následujícího obrázku pevný rám, na němž je zavěšen hlavní objektiv, nad ním je eliptické zrcátko, korekční člen a CCD kamera. Vlevo i vpravo jsou další dva zobrazovací objektivy zakryté černými plechovými kryty.



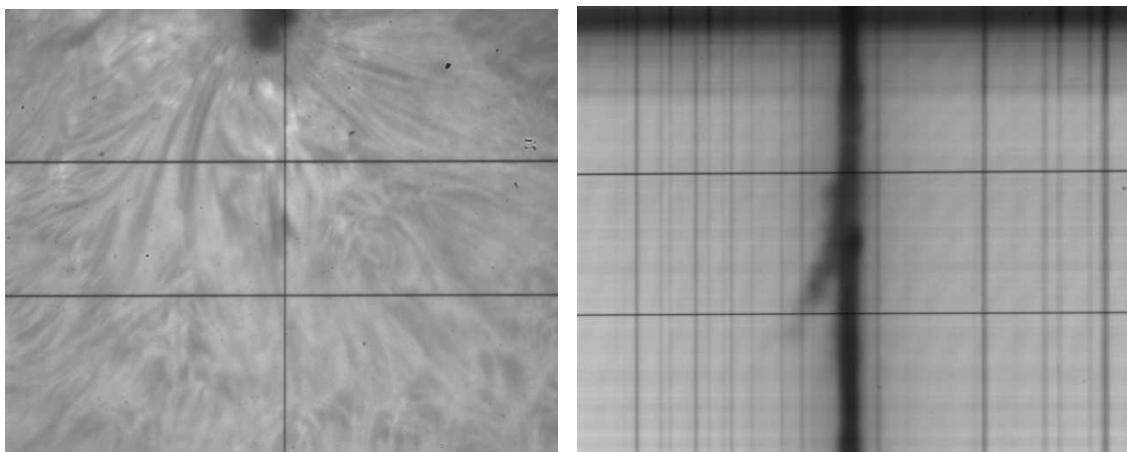
### Výsledky a perspektivy přístroje

Přístroj je ve zkušebním provozu od r. 2004. Prakticky všechna pozorovaná data je možno nalézt na serveru s webovou stránkou [www.asu.cas.cz/~sos/](http://www.asu.cas.cz/~sos/). Ukázka snímku aktivní oblasti NOAA zobrazeného na břitech štěrbin v čáře H-alfa dokumentuje možnosti dosažení dobrého seeingu. Na snímku jsou jasně patrné dva horizontálně natažené vlasy a vertikální štěrbina. Vlasy slouží ke stanovení měřítka v kamerových systémech, které mohou obecně mít různě veliká zvětšení. K datům je postupně vytvářen kalibrační software. Ten umožňuje provést flat-fielding, stanovení dispersních křivek i kalibraci spektrálních profilů v intenzitě odpovídající buď procentům odpovídajícího slunečního kontinua nebo v jednotkách soustavy CGS.



Na další dvojici snímků je vlevo snímek aktivní oblasti s částečně vyobrazenou sluneční skvrnou (ve středu nahoře) a vpravo pak odpovídající spektrum z oblasti vodíkové čáry H-alfa (6562,8 Angstromu). Dobře jsou patrné dvě horizontální temné čáry, které jsou v místech, kde vlasy před štěrbinou blokovaly průchod světla do spektrografu. Nahoře na spektru vidíme typické potměnění ve všech vlnových délkách, což odpovídá sluneční skvrně. V centru snímku je vidět mohutná absorpční čára H-alfa, z níž se odklání další absorpční útvar. Jde o záznam spektra aktivovaného filamentu, který se pohybuje vzhůru (k pozorovateli) a přitom rotuje. Právě pro rotaci zářícího, nebo absorbujícího útvaru, jsou typické odkloněné části spektrálních čar. Porovnáním slit-jaw filtrogramu a simultánně zachyceného spektra komplexněji posoudíme situaci v aktivní oblasti. Ze změřeného profilu čáry můžeme soudit na velikost a charakter Dopplerovských rychlostí v aktivovaném filamentu aktivní oblasti.

Data lze prohlížet na [www.asu.cas.cz/~sos/](http://www.asu.cas.cz/~sos/), subdirektory *latest.data* ve dvou modech view/full, ke stažení: <http://helios.asu.cas.cz/spectra/>. Přístroj je užíván též jako pozemní podpora kosmických pozorování kdykoliv, když je příznivé počasí.



Pokud jde o publikované výsledky, v ApJ Vol. 686 byl publikován článek, který využil spektra protuberance a další data získaná v průběhu mezinárodní koordinované kampaně ke studiu průběhu opacit v klidné protuberanci a její souvislosti s koronálním zeslabením. V přípravě jsou další články zabývající se vlastnostmi protuberancí, studiem oscilací ve spektrálních čarách, kinematikou a dynamikou protuberancí, slunečními erupcemi, atd. Spektrograf se též využívá k výuce a výchově studentů a k proměřování některých optických vlastností filtrů.

Ve zlepšování parametrů přístroje se zaměřujeme na blok štěrbin, doplnění karuselu s filtry pro kombinovanou expozici limbu a protuberance. Rádi bychom též vyměnili objektivy kamer pro snímání krátkých vlnových délek, abychom využili spektrálního rozlišení. Učiníme další kroky ke zlepšení lokálního seeingu v okolí přístroje.

#### **Literatura**

- Valníček B., Letfus V., Blaha M., Švestka Z. and Seidl Z.: 1959, Bull. Astron. Inst. Czechosl. 10, 149.  
 Kotrč, P., Heinzel, P. and Knížek M.: 1993, JOSO Annual Report 1992, 114.  
 Kotrč P.: 1997; Hvar Obs. Bull., Vol. 21, p. 97-108.  
 Klvaňa M., Sobotka M., Kotrč P., Knížek M., Heinzel P.: 2001, Astronomische Nachrichten, Vol. 322, p. 371-374.  
 Kotrč P., Kschioneck K.: 2003; ESA SP-535, A. Wilson (ed.), p. 717-722.  
 Kotrč P.: 2006, In Coimbra Solar Physics Meeting Proceedings, ASP Conference Series, Vol. 368, pp. 559-568, P. Heinzel, I. Dorotovič and R. J. Rutten (eds.)  
 Kotrč P.: 2009; The Modernized Horizontal Spectrograph at the Ondřejov Observatory., Cent. Eur. Astrophys. Bull. 33, pp. 327-336.  
 Kotrč P.: 2009; Solar Optical Spectroscopy in the Ondřejov Observatory., Publications Astron. Obs. Belgrade 86, pp. 27-38.  
 Heinzel, P., Schmieder, B., Fárník, F., Schwartz, P., Labrosse, N., Kotrč P., Anzer, U., Molodij, G., DeLuca, E. E., Golub, L., Watanabe, T. and Berger, T.: 2008; Hinode, TRACE, SOHO, and Ground-based Observations of a Quiescent Prominence., ApJ 686, pp. 1383-1396