

Spektropolarimeter CoMP-S na Observatóriu Lomnický štít AsÚ SAV

J. Rybák, J. Ambróz, P. Gömöry, M. Kozák, A. Kučera, Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica

S. Tomczyk, S. Sewell, P. Aumiller, R. Summers, L. Sutherland, A. Watt, High Altitude Observatory, National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA

Abstrakt

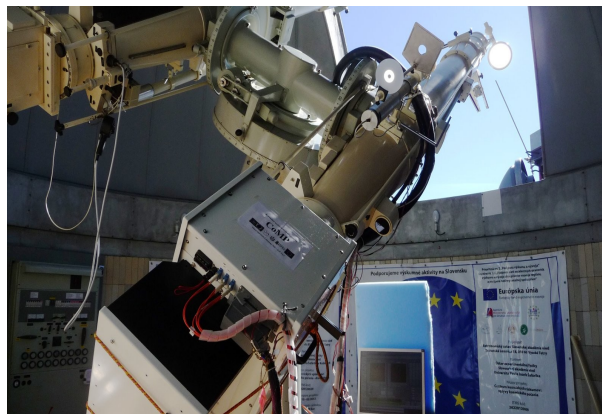
Príspevok prezentuje koronálny multi-kanálový spektropolarimeter CoMP-S, inštalovaný na jednom z koronografov ZEISS Observatória Lomnický štít Astronomického ústavu SAV v roku 2011. Prístroj je popísaný po jednotlivých súčiastiach s opisom ich umiestnenia na koronografe a v budove observatória, so základnými parametrami prístroja a jeho ovládaním. Príspevok prezentuje i ukážku meraní získaných počas uvádzania prístroja CoMP-S do pravidelnej prevádzky a pripravované rozšírenia prístroja.

1. ÚVOD

V slnečnej fyzike je dlhodobo známa potreba priamych meraní rýchlostí plazmy a magnetických polí v slnečnej koróne a protuberanciách s čo najvyššou presnosťou, priestorovým rozlíšením a rozsahom ako i časovým pokrytím. Takéto pozorovania sú nenahraditeľné ako pre výskum ohrevu slnečnej koróny, tak i pre analýzu erupčných procesov v slnečnej koróne vrátane koronálnych výronov hmoty. V súčasnosti však existuje len jediný prístroj schopný poskytovať takéto merania pravidelne - "Koronálny Multikanálový Polarimeter" (CoMP) - umiestnený na observatóriu Mauna Loa na Havajských ostrovoch a prevádzkovaný inštitúciou HAO/NCAR (Tomczyk a kol., 2008).

Po analýze súčasného stavu pozorovacích prístrojov ako i plánov iných observatórií a vesmírnych agentúr pre pozorovanie slnečnej koróny a protuberancií sme sa preto rozhodli pre modernizáciu prístrojového post-fokusového vybavenia Observatória Lomnický štít (LSO) práve vybavením aspoň jedného z ZEISS 20/300 koronografov observatória (Lexa, 1963) spektropolarimetrom pre pozorovania slnečnej koróny a protuberancií (Rybák a kol., 2010, Kučera a kol., 2011). Finačne bol tento prístroj uhradený z prostriedkov Štrukturálnych fondov Európskej únie pre SR - Operačný program Veda a Výskum, výzvy 2008 a 2009 - v rámci Centra excelentnosti "Centrum kozmických výskumov: vplyvy kozmického počasia". Nový spektropolarimeter pre LSO - "Koronálny Multikaná-

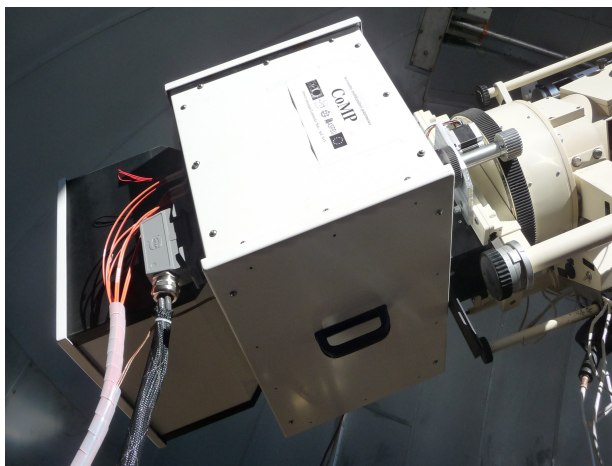
lový Polarimeter pre Slovensko" (CoMP-S) - nie je však presnou kópiou staršieho prístroja CoMP. Vďaka skúsenostiam, získaným so starším prístrojom, progresu v polarizačnej optike a polovodičových detektoroch, tím HAO/NCAR vedený Dr. S. Tomczykom a Ing. S. Sewellom, pripravil prístroj CoMP-S s významnými rozšíreniami a vylepšeniami v porovnaní s prístrojom CoMP. Prístroj CoMP-S bol preto navrhnutý a vyrobený s využitím najnovších polarizačných materiálov a polovodičových detektorov špeciálne pre koronograf ZEISS Observatória Lomnický štít (Lexa, 1963). Prístroj CoMP-S bol nainštalovaný na koronografe v kupole LSO v marci 2011 (obr. 1).



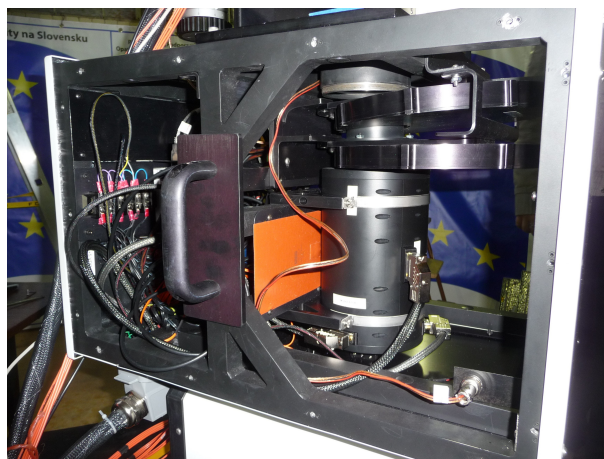
Obr.1: Koronálny Multikanálový Polarimeter pre Slovensko - CoMP-S nainštalovaný na pravom koronografe ZEISS v kupole LSO.

2. SÚČASTI PRÍSTROJA CoMP-S

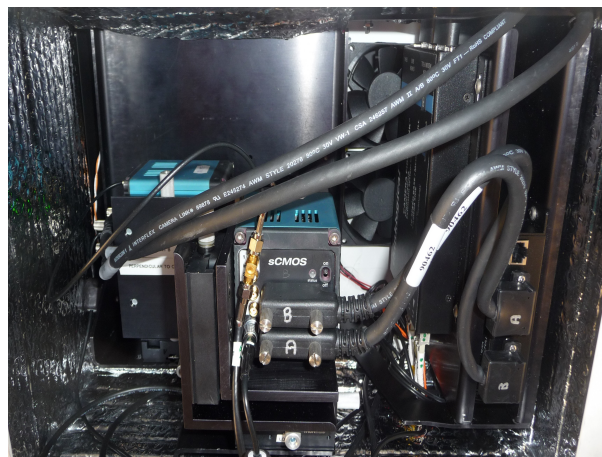
Prístroj CoMP-S pozostáva z troch modulov umiestnených spolu na koronografe ZEISS (obr. 2). Mechanický modul umožňuje upevnenie filtrového a kamerového modulu ku koronografu. Jadrom prístroja je Lyotov úzkopásmový filter s polarimetrom, ktorý je umiestnený s dvoma karuselmi polarizačných filtrov a farebných predfiltrov v kamerovom module (obr. 3). Lyotov filter je laditeľný v rozsahu 500-1100 nm a šírka pásma priepustnosti Lyotovho filtra sa pohybuje medzi 0,03 nm (530 nm) a 0,13 nm (1057 nm). Lyotov filter prepúšťa dve, vo vlnových dĺžkach posunuté, pásma v opačných polarizáciách pre simultánne meranie emisie v spektrálnej čiare a v blízkom kontinuu. Prístroj obsahuje celkovo 9 interferenčných predfiltrov pre najvýraznejšie emisné čiary koróny a protuberancií vo vizuálnej a blízkej IR oblasti spektra (koróna: Fe XIV 530.3, Ca XV 569.5, Fe X 637.5, Fe XIII 1074.7, Fe XIII 1079.8, protuberancie: He I 587.6, H I 656.3, Ca II 854.2, He I 1083.0 nm). Dva detektory pco.edge sCMOS firmy PCO (2560x2160 6.5 μm pixelov, 16 bitov, 50 snímok za sekundu) sú umiestnené v kamerovom module spolu s elektronikou pre konverziu výstupných dát z elektrického na optický signál (obr. 4). Elektronika ovládajúca súčasne Lyotov filter, polarimeter, expozície kamier a stabilizáciu teploty Lyotovho filtra je umiestnená v skrinke na nohe montáže koronografov (obr. 5). Filtrový a kamerový modul sú temperované na 23°C a teplota v skrinke s elektronikou sa pohybuje len v rozsahu 20°-30° C. Teplota samotného Lyotovho filtra je stabilizovaná na 35°C s presnosťou 0,001°C. Ovládacie počítače a dátové diskové polia sú umiestnené v suteréne observatória v klimatizovanej serverovni.



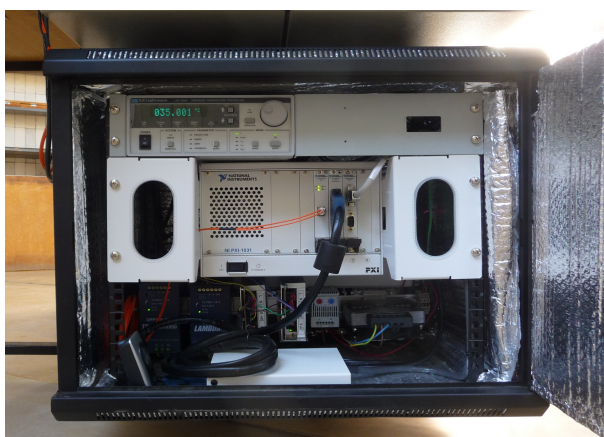
Obr.2: Pohľad na kamerový modul (čierno-biela časť vľavo), filtrový modul (veľká biela časť s nápisom v strede) a mechanický modul (malá čierna časť vpravo) prístroja CoMP-S upevnené v koncovej časti jedného z koronografov v kupole Observatória Lomnický štít. Oranžové optické kábly zabezpečujú prenos dát pozorovani z detektorov do počítača umiestneného v serverovni. Čierny zväzok káblov ústiaci do sivého konektora zas zabezpečuje napájanie elektronických prvkov v moduloch elektrickou energiou a ich ovládanie. V pravej časti obrázku je vidieť zariadenie pre motorizované otáčanie celého prístroja v pozičných uhloch.



Obr.3: Pohľad do vnútra filtrového modulu po odobratí jeho bočnej steny. Lyotov filter je umiestnený vo zvislom čiernom valci, nad ním je vidieť dva karusely s farebnými predfiltromi a kalibračnou optikou. Oranžový diel je radiátor zabezpečujúci ohrev vzduchu vo vnútri kamerového a filtrového modulu.



Obr.4: Pohľad zozadu do kamerového modulu s dvoma detektormi sCMOS umiestnených na polohovacích stolíkoch a s elektronikou pre prevod výstupného signálu z kamier na optický signál.



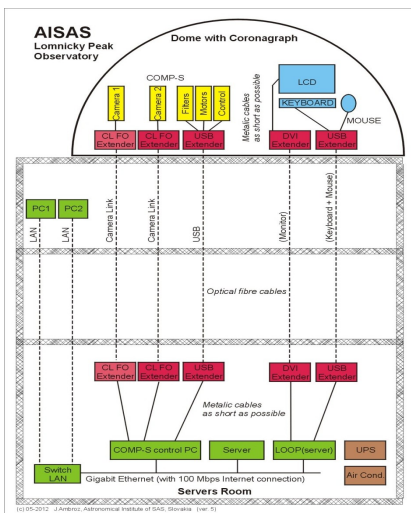
Obr.5: Skrinke s elektronikou ovládajúcou súčasne Lyotov filter, polarimeter, expozície kamier a stabilizáciu teploty Lyotovho filtra (displej s údajom 35,001°C) umiestnená na nohe montáže koronografov tesne nad podlahou kupoly. Na otvorených dverkách je dobre viditeľná termálna izolácia vnútorného priestoru skrinke.

Pre optimálne využitie prístroja CoMP-S bola urobená motorizácia troch funkcií koronografu ZEISS – fokusácia koronografu pomocou posunu primárneho objektívu, zasúvanie difúzera do optickej cesty pred primárny objektív koronografu a rotácia prístroja CoMP-S v pozičnom uhle.

3. OVLÁDANIE PRÍSTROJA COMP-S

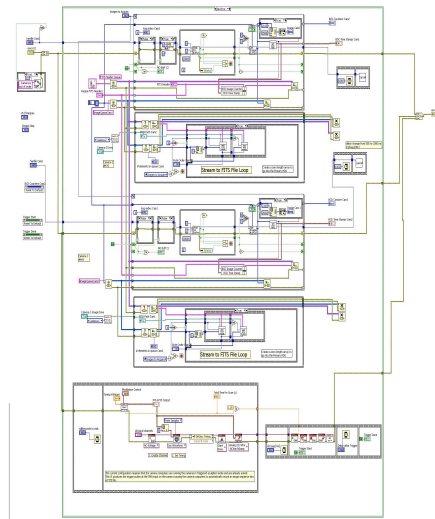
Umiestnenie prístroja CoMP-S na koronografe ZEISS na LSO si vyžiadalo viacero úprav súvisiacich so zabezpečením bezpečnosti jednotlivých súčastí prístroja pri ohrození elektrickým nábojom a ich funkčnosti pri prevádzkových teplotách už od teploty vzduchu -20°C . V exponovaných miestach sa nachádzajú len tam nevyhnutné súčasti prístroja; všetky metalické vedenia, pri ktorých to bolo umožné, boli nahradené pomocou príslušných konvertorov optickými káblami. Kamerový a filtračný modul s nevyhnutnou elektronikou sú umiestnené síce priamo na koronografe, ale elektronika, ktorá nemohla byť umiestnená ďaleko od Lyotovho filtra je na nohe montáže (~ 7 m od Lyotovho filtra); počítače, diskové polia, záložné zdroje sú v serverovni (~ 20 m od Lyotovho filtra) ako vidieť na schéme (obr. 6). Riadenie prístroja je možné z ktoréhokolvek miesta na observatóriu a teda nielen v kupole.

Riadiaci program prístroja CoMP-S bol vytvorený v programovom prostredí LabVIEW a zabezpečuje ovládanie Lyotovho filtra, polarimetra, detektorov, ukladanie dát, ovládanie pohybov difúzera, primárneho objektívu a rotácie prístroja (obr.7). Pozorovacie programy sú pripravované pred pozorovaním vo forme krátkych skriptov príkazov pre riadiaci program a súborov stavových parametrov pre tieto príkazy. Pozorovateľ má k dispozícii informáciu o stave Lyotovho filtra, polarizátora, expozíciách, ako i aktuálny obraz snímaný oboma detektormi. Riadiaci počítač ukladá dáta ako binárne rozšírenia formátu FITS s parametrami v hlavičkách súborov. Pre potreby testov je k dispozícii i program CamWare (obr. 8).

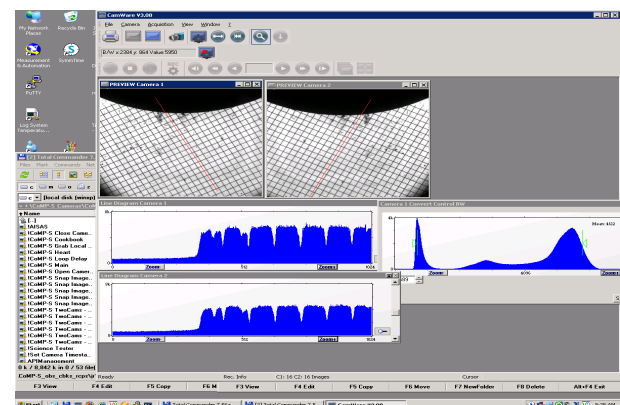


Obr.6: Schéma rozmiestnenia základných častí prístroja CoMP-S a ostatných nevyhnutných elektronických prvkov, počítačov, napájania a klimatizácie serverovne v budove observatória LSO.

Počas testov prístroja CoMP-S bolo vykonaných viacero úprav prístroja vynútených skúsenosťami s elektrickým napájaním prístroja, s ohrevom modulov, s detektormi v podmienkach LSO.



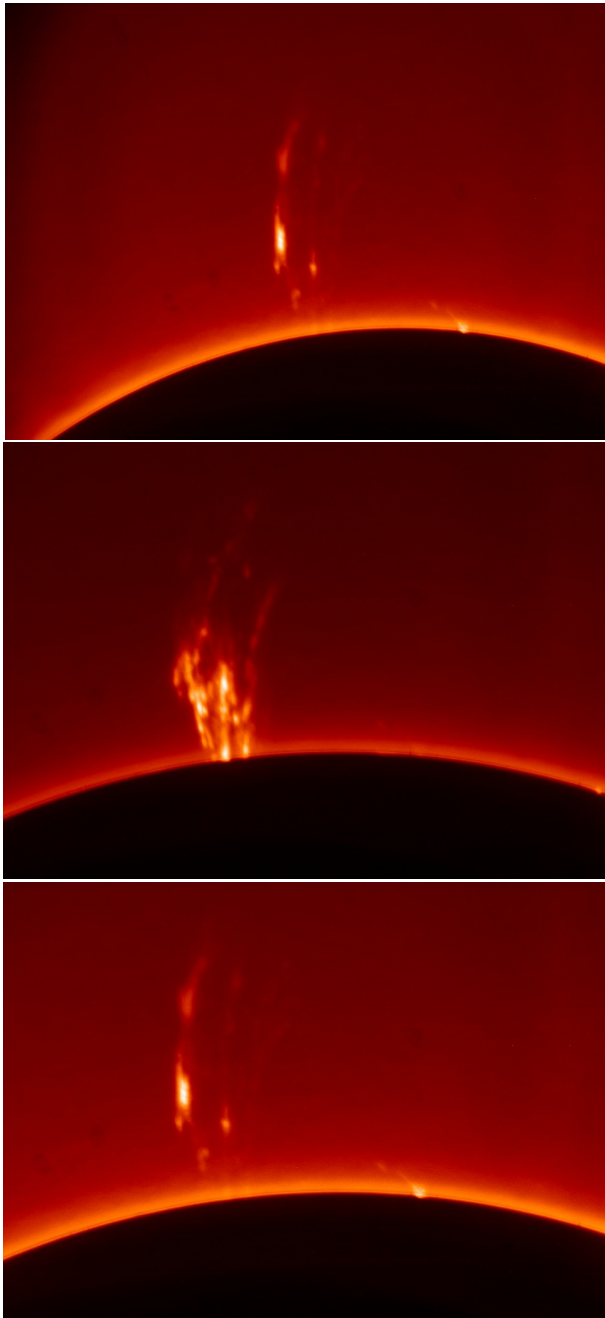
Obr.7: Ukážka grafického znázornenia časti riadiaceho programu prístroja CoMP-S v programovom prostredí LabVIEW.



Obr.8: Obrazovka programu CamWare počas testu ostrosti obrazu v zornom poli oboch detektorech sCMOS s priebehmi dát pozdĺž vybraných úsečiek v obrazoch a distribúcie hodnôt jedného z obrazov v jednotlivých oknách programu. Počas testu je v ohniskovej rovine primárneho objektívu koronografu umiestnená optická súčiastka s pravidelnou nepriehľadnou mriežkou.

4. UKÁŽKY MERANÍ PRÍSTROJOM COMP-S

Pre ilustráciu uvádzame príklad pozorovaní protuberancie v spektrálnej čiare H alfa získaných počas testovacej prevádzky prístroja CoMP-S. Príklad ukazuje snímky aktívnej protuberancie z 26. apríla 2012 (AR 11459, PA=250°). Pásmo priepustnosti Lyotovho filtra bolo postupne ladené do polôh zodpovedajúcich dopplerovských posunom plazmy -150 , 0 , a $+150$ km/s (obr. 9). Snímky boli získané s expozičným časom $0,1$ s a predstavujú záznam získaný pri lineárnej kombinácii jednotlivých meraných Stokesových parametrov. Na obrázku sú uvedené originálne dáta bez akejkoľvek ďalšej post-facto redukcie o prístrojové efekty.

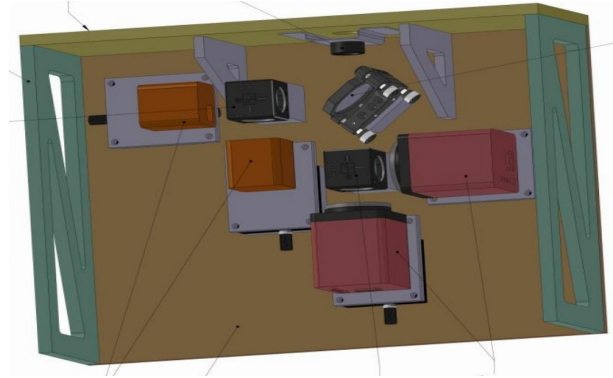


Obr.9: Príklad pozorovaní aktívnej protuberancie v čiare H alfa z 26. apríla 2012 (AR 11459, PA=250°). Pásmo priepustnosti Lyotovho filtra bolo postupne ladené do polôh vo vlnovej dĺžke zodpovedajúcich dopplerovským posunom emitujúcej plazmy -150, 0, a +150 km/s (obrázky hore, v strede a dolu). Snímky boli získané s expozičným časom 0,1s a predstavujú záznam získaný pri lineárnej kombinácii jednotlivých meraných Stokesových parametrov.

5. ROZŠÍRENIA PRÍSTROJA COMP-S

V súčasnosti sa pripravuje technické riešenie rozšírenia prístroja CoMP-S o dodatočné detektory citlivé v blízkej infračervenej oblasti spektra. Kamerový modul prístroja bude upravený tak, aby sa v ňom dali umiestniť tak pôvodne vizuálne detektory ako i nové infračervené kamery takým spôsobom, aby zmena snímania medzi nimi nevyžadovala žiaden optomechanický zásah (obr. 10). Ako infračervené detektory budú najpravdepodob-

nejšie použité kamery Goodrich GA1280J (1280 x 1024 15 μ m pixelov s citlivosťou vo vlnovom rozsahu 0.9-1.7 μ m).



Obr. 10: Ukážka konceptu umiestnenia jednotlivých optických prvkov – achromatického negatívneho člena, jedného dichroického rozdeľovača svetelného zväzku, dvoch polarizačných rozdeľovacích kociek a dvoch dvojích detektorov pre vizuálne a blízke infračervené svetlo na samostatných polohovacích stolíkoch.

Pod'akovanie

Práca vznikla vďaka projektu grantovej agentúry VEGA 02/0064/09. Tento článok bol vytvorený realizáciou projektu ITMS číslo 26220120029, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Autori príspevku ďakujú za pomoc ďalším pracovníkom AsÚ SAV, ktorí sa podieľali na zabezpečení inštalácie a testovacej prevádzky prístroja CoMP-S na Observatóriu Lomnický štít, menovite F. Budzákovi, P. Habajovi, J. Kleinovi, R. Mačurovi a S. Štefánikovi.

LITERATÚRA

Kučera, A., Ambróz, J., Gömöry, P., Kozák, M., Rybák, J., 2011, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso 40, 135

Lexa, J., 1963, Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia 14, 107

Rybák, J., Ambróz, J., Gömöry, P., Kozák, M., Kučera, A., Tomczyk, S., Sewell, S., Summers, R., Sutherland, L., Watt, A., 2010, Zborník z 20. celoslovenského slnečného seminára Papradno 2010, SÚH Hurbanovo, 196

Tomczyk, S., Card, G., Darnell, T., Elmore, D., Lull, R., Nelson, P., Streander, K., Burkepile, J., Casini, R., Judge, P.: 2008, Sol Phys. 247, 411