APVV

Agentúra na podporu výskumu a vývoja
Mýtna 23, P.O.BOX 839 04, 839 04 Bratislava 32

Formulár RS1

Ročná správa o riešení projektu za rok 2014

Názov projektu | Evidenčné číslo projektu **APVV–0816–11**

Slnečná koróna: výskum fyzikálnych procesov

Zodpovedný riešiteľ **RNDr. Ján Rybák, CSc.**

Príjemca **Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica**

Začiatok riešenia projektu	**07/12**
Koniec riešenia projektu	**12/15**

ROZBOR RIEŠENIA PROJEKTU (max. 10 strán)

Uveďte podľa nasledujúcej záväznej osnovy:

1. **Postup prác pri riešení projektu u príjemcu, ako aj spolupríjemcu podpory APVV vzhľadom na harmonogram riešenia projektu**
2. **Rozbor výsledkov riešenia vzhľadom na stanovené ciele**
3. **Zoznam výstupov a prínosov projektu za posledný rok** – uveďte v prílohe – formulár Výstupy a prínosy projektu za rok/obdobie (priložte kópie deklarovaných výstupov)
4. **Upresnenie harmonogramu prác a cieľov na nasledujúci rok**

↓↓

1. POSTUP PRÁC PRI RIEŠENÍ PROJEKTU U PRÍJEMCU VZHĽADOM NA HARMONOGRAM RIEŠENIA PROJEKTU:

Postup realizácie a naplnenia stanovených vedeckých cieľov uvádzame podľa členenia uvedeného v tabuľke schematického časového plánu v časti 3.3 vecného zámeru projektu.

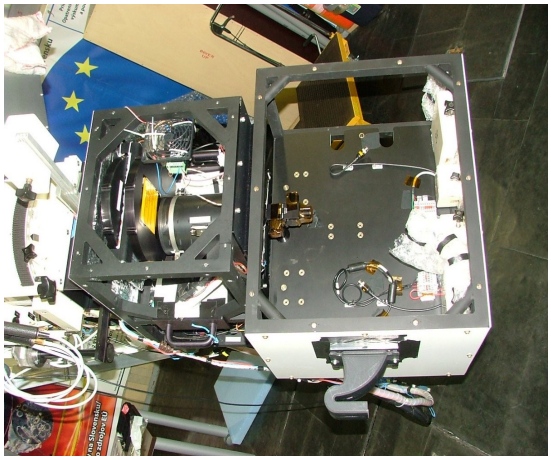
Vylepšenia, vývoj a rozšírenia možností pozorovacích prístrojov na Observatóriu Lomnický Štít (LSO): začiatok 07/2012 – koniec 12/2013

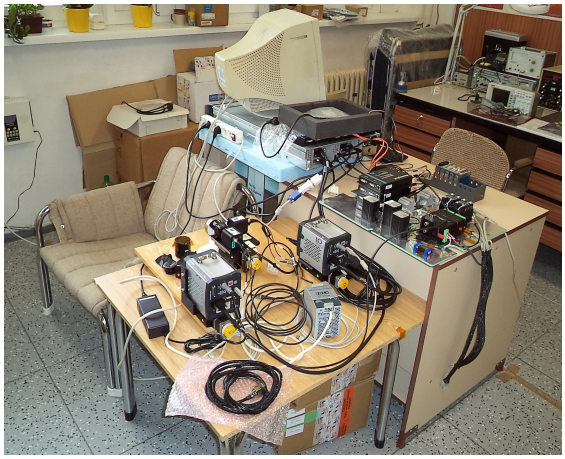
- **Koronálny multi-polarimeter CoMP-S:** prístroj pokračoval v roku 2014 v regulárnej prevádzke a pozorovania týmto prístrojom sú zabezpečované nepretržite. V roku 2014 bolo riešiteľmi projektu vykonaných **niekoľko ďalších vylepšení prístroja,** ktoré zvýšili spoľahlivosť činnosti prístroja a rozšírili jeho možnosti. Menovite boli zrealizované: 1/ inštalácia finálnej verzie chladenia filtrového modulu prístroja Peltierovým článkom, 2/ úprava elektroniky ohrevu filtrového modulu, 3/ tepelná

izolácia medzi modulmi prístroja, 4/ úpravy pre možnosť pozorovania prístrojom i na slnečnom disku, 5/ zjednodušenia elektrickej a optickej kabeláže, 5/ príprava softvéru pre vytvorenie metadát pre databázu pozorovaní LSO a sumárneho výpisu pozorovaní. Okrem týchto prác boli vypracované itineráre pozorovacích programov 003, 004 a 005 a vzory logovacích súborov pozorovaní.

- **Digitálny pointer pre pravý koronograf s prístrojom CoMP-S:** pre zlepšenie navádzania koronografu s prístrojom CoMP-S počas pozorovaní bola vyvíjaná nová elektronika a softvérové ovládanie pointera. Elektronika bola pripravená a v roku 2015 budú vykonané prevádzkové testy. Spolu so softvérom, vytvoreným v prostredí LabVIEW, by mali prispieť k desaťnásobnému zvýšeniu presnosti pointovania.

- **druhá etapa prípravy prístroja CoMP-S:** pre rozšírenie možností pozorovacích prístrojov na LSO bolo v spolupráci s pracovníkmi HAO/NCAR (USA) dokončené **rozšírenie pôvodnej verzie prístroja CoMP-S** nielen o detektory citlivé v infračervenom pásme spektra ale i o nové detektory pre vizuálnu oblasť spektra vrátane novej konštrukcie mechanického riešenia kamerového modulu prístroja. Riešitelia projektu sa podieľali na testoch jednotlivých komponentov rozšírenia (vizuálne kamery, kamery citlivé v infračervenom pásme spektra, polohovacie stolíky, prostriedky pre stabilizáciu teploty modulu, synchronizácia el. signálov a expozícií) u výrobcu. Rozšírenie prístroja CoMP-S bolo dodané výrobcom v marci 2014 na AsÚ. Tu potom pracovníci pokračovali v overovacích testoch mechaniky, chladenia a elektroniky prístroja až do konca roka 2014 (obr.1). Na základe výsledkov testov, urobených riešiteľmi projektu na AsÚ SAV, výrobca vykonal nevyhnutné úpravy mechanického medzičlánku medzi filtrovým modulom pôvodnej verzie prístroja CoMP-S a spomínaným rozšírením.

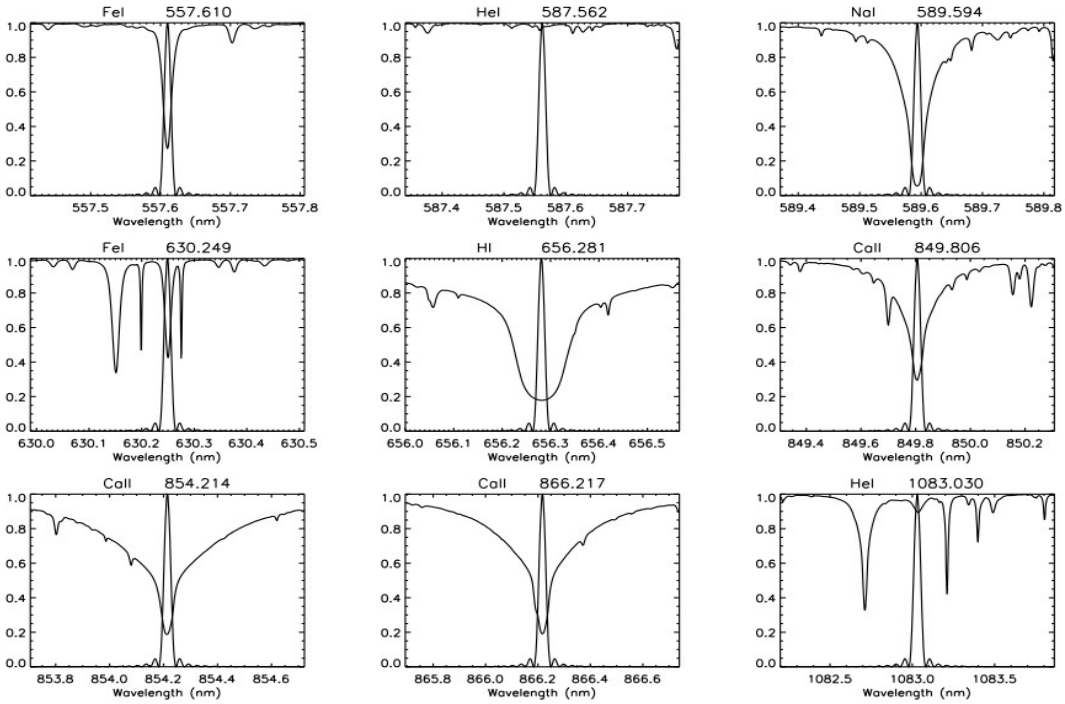




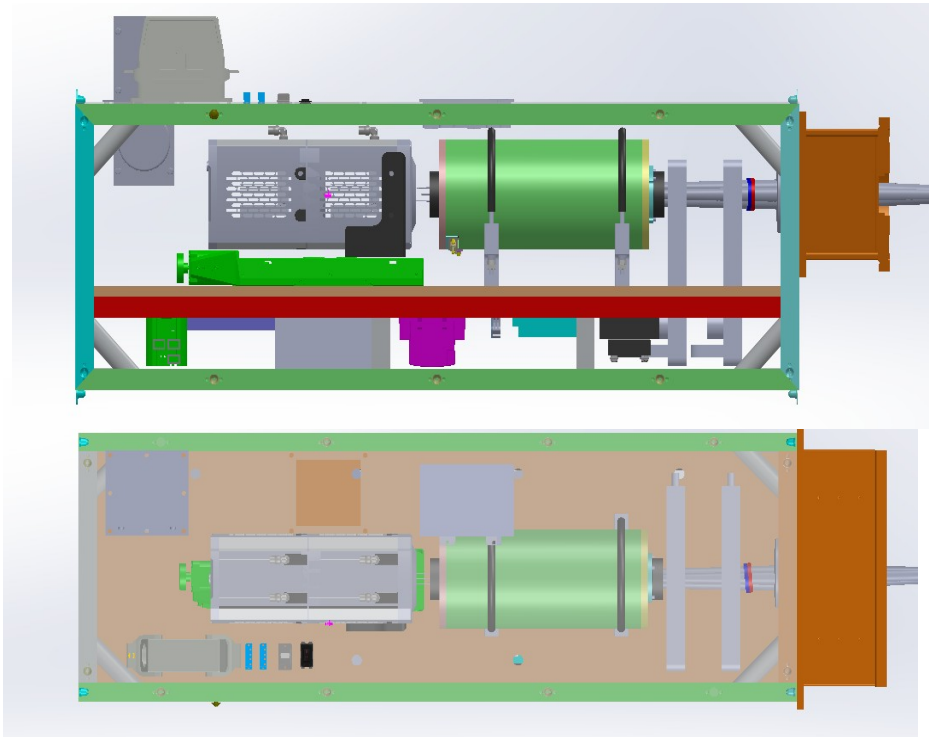
Obr.1. Nový kamerový modul prístroja CoMP-S: mechanické testy konštrukcie prístroja s testovacím závažím na koronografe Observatória Lomnický štít (vľavo) a elektronické súčasti prístroja počas testovania detektorov a ich ovládania v hlavnej budove AsÚ (vpravo).

- **príprava technického riešenia nového prístroja Solar Chromospheric Detector (SCD):** v spolupráci s pracovníkmi HAO/NCAR (USA) pokračovali práce na pôvodnom návrhu **nového prístroja SCD** pre LSO. Pôvodný návrh bol výrazne modifikovaný na základe návrhov pracovníkov HAO i na základe dodatočných požiadaviek riešiteľov projektu APVV. Riešitelia projektu APVV vypracovali za základe ostatných poznatkov zoznam spektrálnych čiar, ktoré by mal dokázať tento prístroj v prvotnej konfigurácii pozorovať (obr.2), ako i alternatívne napájanie prístroja achromatickým teleskopom, umožňujúce efektívnejšie merania celého slnečného disku súčasne namiesto pôvodného limitovaného zorného poľa prístroja len na časť slnečného disku. Riešitelia projektu APVV pracovali i na otvorených otázkach mechaniky, optiky i elektroniky prístroja spolu s viacerými pracovníkmi HAO. Návrh prístroja bol pripravovaný v priebehu roku 2014 a dodaný má byť až v apríli 2015 (obr.3). Prístroj bude umiestnený

na druhom koronografe, resp. na prídavnom teleskope na LSO a jeho testovacia prevádzka by mala začať už v priebehu roka 2015.



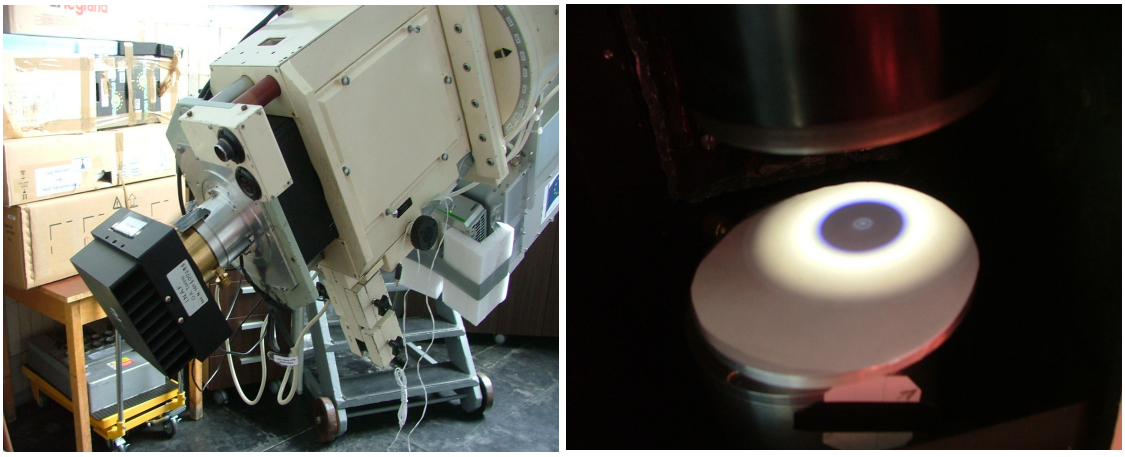
Obr.2. Výber spektrálnych čiar pre pozorovania prístrojom SCD na slnečnom disku. Obrázok ilustruje pásma priepustnosti Lyotovho filtra prístroja centrované na stredy jednotlivých spektrálnych čiar.



Obr.3. Model prístroja SCD pri pohľade zboku (horný obrázok) a zvrchu (dolný obrázok) s hlavnými časťami prístroja a bez ich káblovania. Pohľad zboku ukazuje rozdelenie prístroja na optickú a elektronickú časť s polohou detektora, Lyotovho filtra a ostatných súčastí, pohľad zvrchu ilustruje rozmiestnenie súčastí v optickej časti prístroja.

- **príprava nového prístroja Coronal Magnetometer (CorMag) pre LSO:** v spolupráci s tímom pracovníkov INAF/Torino (Taliansko), vedeným prof. S. Fineschim, pokračovali v roku 2014 práce na inštalácii prístroja CorMag pre spektropolarimetrické merania zelenej koronálnej emisnej čiary (Fe XIV 530.3 nm) na ľavom koronografe LSO. S

podporou projektu COST Action MP1104 s názvom „Polarization as a tool to study the solar system and beyond“ boli riešené viaceré technické detaily súvisiace s mechanickým umiestnením, optikou, záznamom dát a ovládaním meraní. Hlavnou zmenou, na ktorej riešitelia projektu APVV pracovali, bola zmena optickej konfigurácie prístroja z paralelného na zbiehavý svetelný zväzok a nevyhnutná s tým súvisiaca úprava mechaniky prístroja. Takto upravený prístroj bol namontovaný na koronograf v septembri 2014 a začala jeho testovacia prevádzka (obr.4).



Obr.4. Inštalácia prístroja CorMag na ľavom koronografe v kupole LSO ale už v zbiehavom svetelnom zväzku (vľavo). Detail svetelného zväzku v koronografe pred prístrojom CorMag počas testovania prístroja.

- **zosúladenie koronografov na spoločnej montáži:** v priebehu roka 2013 bola firmou HANKOM (Holandsko) opravená nedostatočná funkčnosť a presnosť elektroniky pointovacieho zariadenia pre zosúladenie dvoch koronografov ZEISS 200/3000 na spoločnej montáži v kupole LSO. Riešitelia projektu sa podieľali na zabezpečení priebehu opravy priamo na observatóriu a začali testy pointovacieho zariadenia. So zariadením, pre ktoré je používané označenie „pointer H“, bolo v roku 2014 vykonané finálne zjustovanie a zariadenie bolo uvedené do regulárnej prevádzky. Toto zariadenie umožnilo 21.mája 2014, po viac ako 40 rokoch od prvotnej idei, realizáciu súčasných pozorovaní dvomi koronografmi observatória s dlhodobým nastavením umelého zatmenia Slnka počas pozorovania.

- **ďalšie vylepšenia pozorovacích prístrojov a postupov na LSO:** okrem horeuvedených prác boli na LSO vykonané ďalšie **vylepšenia pracovných postupov,** napr. nová verzia pomocného pointačného zariadenia pre hrubé nastavovanie zatmenia, vyleštenie pôvodných umelých mesiačikov koronografov ÚMMS SAV v Bratislave, úpravy ohrevu skriniek s elektronikou zariadení v kupole LSO.

- **účasť na aplikácii „Waves and Magnetism in the Solar Atmosphere“ (WAMIS):** ako člen konzorcia žiadateľov o financovanie projektu spektropolarimetrie emisnej koróny Slnka pomocou Lyotovho koronografu a Lyotovho filtra s polarimetrom zo stratosférického balónového experimentu NASA (PI: J. Yuan-Kuen Ko, Naval Research Laboratory, Washington, USA) tím riešiteľov projektu APVV pracoval okrem prípravy upravenej žiadosti i na zisťovaní fotometrických vlastností detektora projektu WAMIS – kamera Goodrich GA1280J.

Príprava nového programového vybavenia pre spracovanie a analýzu dát pozorovaní: začiatok 07/2012 – koniec 7/2013

Pre frekvenčnú a časovo-priestorovú analýzu časových sérií 2D obrázkov slnečnej atmosféry počas slnečných erupcií bol vyvinutý súbor programov v jazyku IDL. Programy umožňujú

prípravu dát pre metódu priestorovo-frekvenčnej separácie signálu za pomoci vlnkovej transformácie. Programy budú využité pre riešenie úloh projektu s využitím dát z meraní prístroja AIA družice SDO (NASA) a neskôr i dát z prístroja CoMP-S.

V súvislosti s určovaním charakteristík spektrálnej čiary Halfa pozorovanej Lyotovim filtrom Holandského otvoreného ďalekohľadu DOT bola vyvinutá a na vybranú sekvenciu dát aplikovaná nová IDL procedúra korigujúca odchýlky nameraných spektrálnych charakteristík spôsobené nízkym spektrálnym rozlíšením DOT pozorovaní a fitovacou aproximáciou. Realistickosť korigovaných charakteristík musí byť v budúcnosti ešte kriticky overená nezávislým postupom.

Na modelovanie magnetického poľa slnečných filamentov z rastrových pozorovaní Stokesových profilov infračerveného tripletu hélia polarimetrom TIP na ďalekohľadoch VTT a GREGOR na Tenerife bol vyvinutý v jazyku IDL balíček front-end procedúr k modelu HAZEL na automatické modelovanie takýchto dátových kociek.

Príprava koordinovaných pozorovacích kampaní prístrojov na Observatóriu Lomnický Štít s ďalšími pozemskými ďalekohľadmi a prístrojmi umiestnenými na družiciach a satelitoch: začiatok 07/2012 – koniec 6/2014

Projekt APVV sa podieľal v roku 2014 na príprave dvoch nových koordinovaných pozorovacích programov spomínaného typu. Prvou bola pozorovacia kampaň „Coordinated three-site observations of quiescent prominences“ prístrojov THEMIS (Observatorio del Teide, Tenerife, Španielsko) a CoMP-S (LSO). Druhou zas kampaň „Topology and physical parameters of the magnetic fields in solar filaments“ prístrojov VTT (Observatorio del Teide, Tenerife, Španielsko) a CoMP-S (LSO). Kampane boli realizované a financované v spolupráci s európskym projektom SOLARNET.

Získavanie pozorovaní podľa vedeckých zameraní A/ - D/ na Observatóriu Lomnický Štít a prostredníctvom vlastných koordinovaných pozorovacích kampaní: začiatok 01/2013 – koniec 12/2015

V roku 2014 boli vykonané pozorovania 4 koordinovaných pozorovacích kampaní:

- Pre vedecké zameranie projektu B/ boli **dvakrát** vykonané pozorovania koordinovanej kampane s názvom **„Spectroscopic study of “magnetic tornadoes“ (**HOP 237) pomocou prístrojov: EIS na družici Hinode a CoMP-S na LSO v čase 18.5.-20.5. 2014 a 12.7.-20.7.2014. Kvôli nepriaznivému počasiu na Observatóriu Lomnický štít AsÚ SAV neboli získané simultánne pozorovania prístrojom COMP-S. Informácie o kampani sú uvedené na web stránke kampane: *http://www.isas.jaxa.jp/home/solar/hinode_op/hop.php?hop=0237*.

- Pre vedecké zameranie projektu C/ bola vykonaná koordinovaná kampaň s názvom **Prominence fine structure from comparison of the non-LTE modelling with observations** v období 1.–7.9. 2014. Popri spektrometri SUMER/SoHO (NASA/ESA) boli do kampane zapojené i multispektrálne spektrografy AsÚ AV ČT v Ondřejove a prístroj COMP-S Observatória Lomnický štít AsÚ SAV.

- Nová koordinovaná pozorovacia kampaň „Coordinated three-site observations of quiescent prominences“ prístrojov THEMIS (Observatorio del Teide, Tenerife, Španielsko) a CoMP-S (LSO) bola realizovaná 28.7-7.8. 2014. Detaily o kampani sú uvedené na stránke *https://www.astro.sk/~koza/themis2014/*. Cieľom kampane bolo získanie simultánnych spektropolarimetrických, spektroskopických a obrazových pozorovaní pokojných protuberancií pomocou ďalekohľadu THEMIS, koronálneho

multikanálového spektropolarimetru CoMP-S, spektrografov HSFA-2 a MFS a spektrometra SUMER kozmického slnečného observatória SoHO.

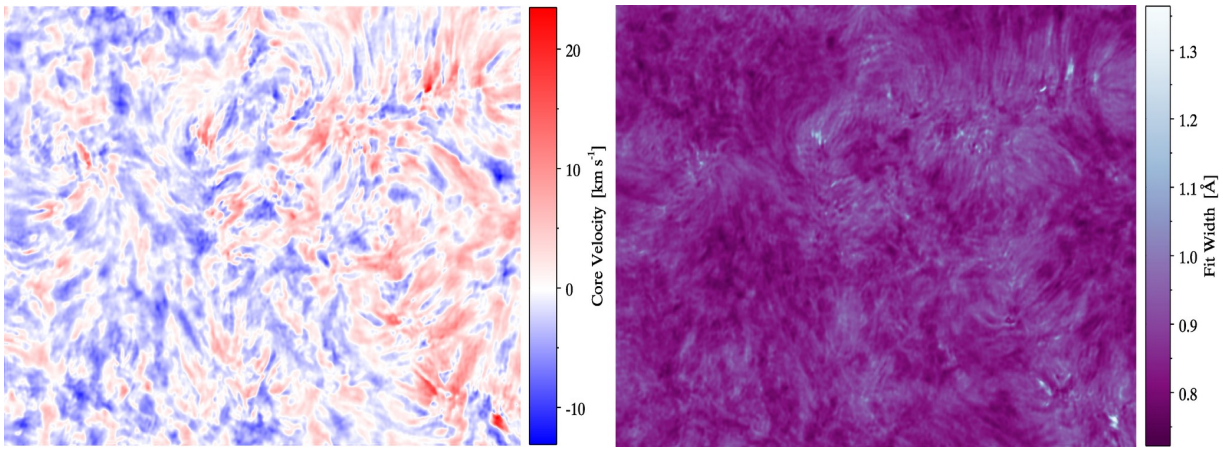
- Kampaň „Topology and physical parameters of the magnetic fields in solar filaments“ prístrojov VTT (Observatorio del Teide, Tenerife, Španielsko) a CoMP-S (LSO) prebehla 2.-16.9. 2014.

- Prístroj CoMP-S v roku 2014 pozoroval celkovo v 63 pozorovacích dňoch počas ktorých sa podarilo získať pozorovacie dáta 3 pozorovacích programov. Prístroj CorMag pozoroval celkovo v 5 dňoch. Ďalších 91 dní bolo možné využiť kvôli nedostatočnej kvalite pozorovacích podmienok na observatóriu len na testy prístrojov CoMP-S a CorMag, testy pointerov R a H a ďalších súvisiacich prístrojov.

Spracovanie dát pozorovacích kampaní: redukcia dát a ich zosúladenie: začiatok 03/2013 – koniec 12/2015

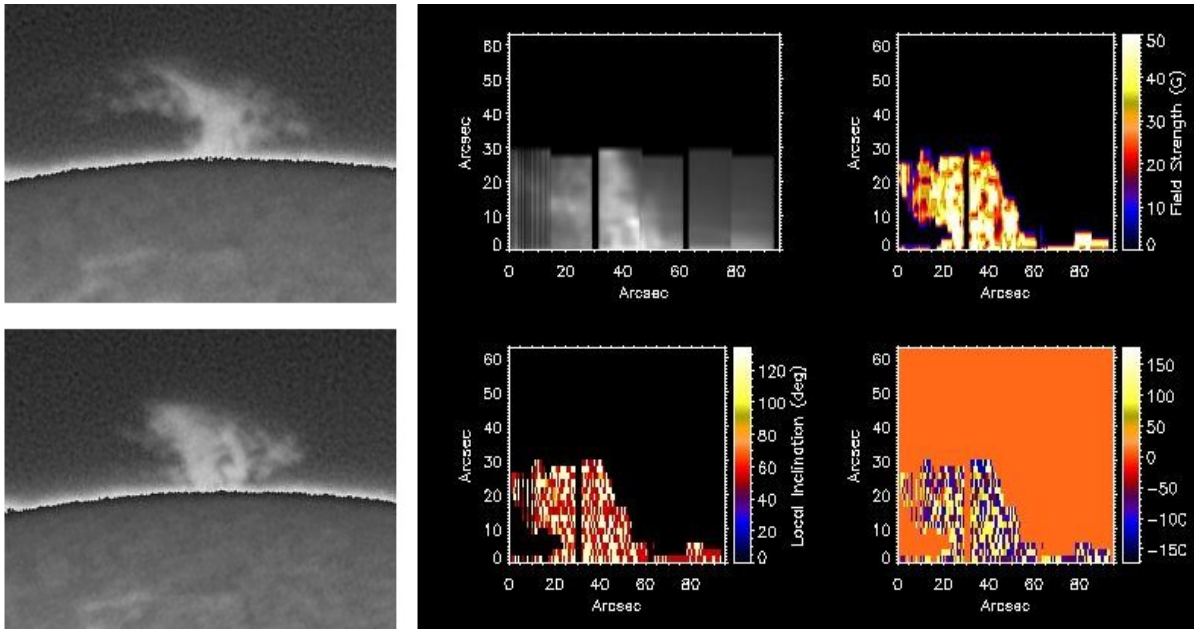
V priebehu roku prebiehali práce na spracovaní vybraných dát pozorovaní z viacerých prístrojov, ktoré boli predbežne vybrané pre analýzu. Práce na spracovaní dát, vykonanom v roku 2014, ilustrujeme nasledovnými príkladmi.

Bola vypracovaná metóda odvodenia Dopplerovskej rýchlosti, centrálnej intenzity, šírky a asymetrie jadra spektrálnej čiary Halfa pozorovanej Lyotovým filtrom Holandského otvoreného ďalekohľadu DOT, ktorá bola aplikovaná na časovú sériu Halfa snímok z 19.októbra 2005 zachytávajúcich magnetickú sieť pokojnej slnečnej chromosféry. Z ukážky výsledkov použitia metódy na Obr.5 vyplýva, že v magnetickej sieti sú malé izolované oblasti, v ktorých plazma krátkodobo prúdi k povrchu nadzvukovou rýchlosťou niekedy až 20 kms^{-1}.



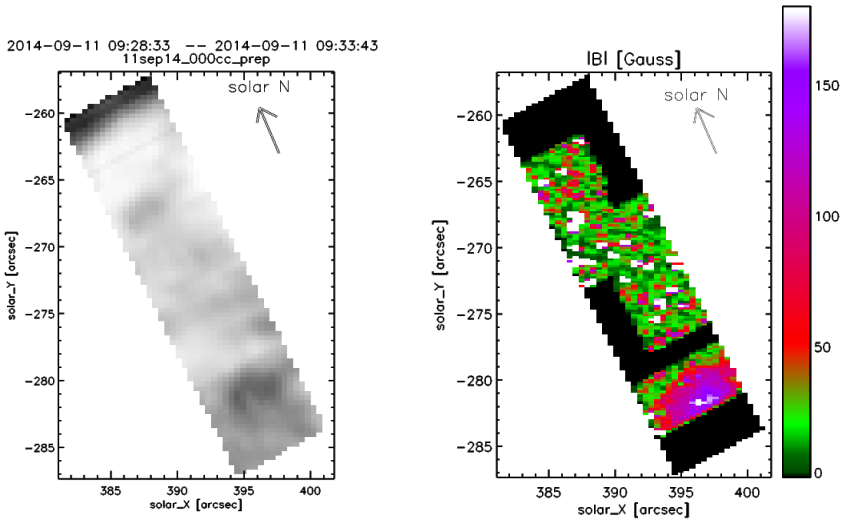
Obr. 5. Dopplerovské rýchlosti (vľavo) a šírky jadra spektrálnej čiary Halfa (vpravo) v magnetickej sieti získané z pozorovaní pokojnej slnečnej chromosféry Holandským otvoreným ďalekohľadom DOT 19. októbra 2005. Znamienková a farebná konvencia: kladná rýchlosť (červená) zodpovedá pohybu plazmy smerom od pozorovateľa a záporná (modrá) zodpovedá smeru pohybu k pozorovateľovi.

Vybrané spektropolarimetrické pozorovania teleskopu THEMIS v spektrálnej čiare He I D_3 boli spracované redukčným softvérovým balíkom DeepStokes, ktorého autorom je A. López Ariste. Výsledky inverzie sú ilustrované na Obr. 6. Hoci sa jednalo o pomerne jasnú a štandardne pozorovanú protuberanciu s nominálnou hladinou šumu v spracovaných dátach, Hanleho jav depolarizoval žiarenie protuberancie do takej miery, že Stokesove profily Q, U a V mali prakticky nulovú úroveň. Preto inverzia mohla poskytnúť iba indukciu magnetického poľa bez informácie o jeho priestorovej štruktúre. Indukcia magnetického poľa protuberancie bola v rozpätí od 20 do 50 G a v mapách jeho indukcie, sklonu a azimutu nie sú výraznejšie štruktúry z dôvodu uvedeného vyššie.



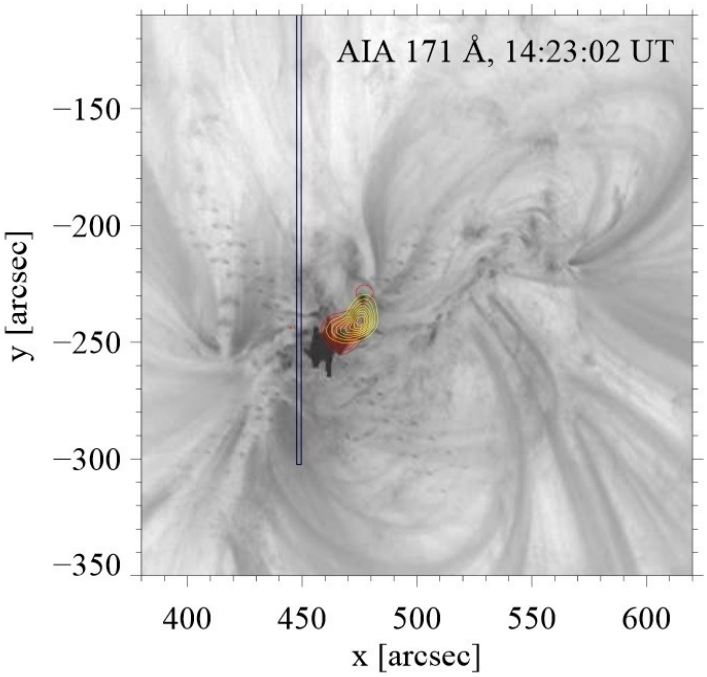
Obr. 6. *Vľavo:* Pokojná protuberancia v pozičnom uhle 116° dňa 1. augusta 2014 o 15:09 UT (hore) a 17:33 UT (dolu) pozorovaná v spektrálnej čiare Halfa observatóriom GONG. *Vpravo:* Obraz protuberancie v spektrálnej čiare He I 587,6 nm (D_3) zrekonštruovaný zo skenovacieho spektropolarimetrického pozorovania ďalekohľadom THEMIS v čase od 15:09 do 17:33 UT (vľavo hore). Indukcia magnetického poľa (vpravo hore), sklon vektora magnetického poľa vzhľadom k lokálnej súradnicovej sústave (vľavo dolu) a jeho azimut vzhľadom k tej istej súradnicovej sústave (vpravo dolu). Autor: A. López Ariste.

Spektropolarimetrické pozorovania fotosférickej spektrálnej čiary Si I 10786 Å chromosférického tripletu He I (vlnové dĺžky okolo 10830 Å) vykonané na polarimetri TIP ďalekohľadu VTT boli kvôli problémom s pointáciou VTT a nevhodným atmosférickým podmienkam získané iba z jedného filamentu nedostatočnej kvality (Obr.7). Tieto dáta používame na testovanie a prípravu inverzných kódov tak, aby boli pripravené na použitie na kvalitné dáta, ktoré by sme chceli získať počas pozorovacej kampane v roku 2015.



Obr.7. *Vľavo:* Integrálna intenzita červenej komponenty infračerveného tripletu hélia 10830 Å pozorovaného polarimetrom TIP na ďalekohľade VTT, Tenerife 11. septembra 2014. Šípka označuje smer k severnému polu rotačnej osi Slnka. *Vpravo:* Intenzita magnetického poľa určená modelovaním Stokesových profilov infračerveného tripletu hélia 10830 Å. Napriek tomu, že atmosférické podmienky počas pozorovania neboli vhodné, v mieste aktívneho filamentu (X=395 – 400”, Y ~ -280”) sme určili pomerne homogénnu magnetickú štruktúru zvýšenej intenzity magnetického poľa okolo 160 Gauss, čo je realistická hodnota pre aktívny filament.

Bola vykonaná analýza spektroskopických meraní a 2D snímok koróny zachytávajúcich priebeh slnečnej erupcie zo dňa 16.2.2011. Stanovené boli základné fyzikálne parametre erupčnej atmosféry Slnka (dopplerovské rýchlosti emitujúcej plazmy, hustoty voľných elektrónov). Spektroskopické pozorovania boli priestorovo zosúladené so snímkami vrchnej časti slnečnej atmosféry získanými družicou SDO/AIA a s pozorovaniami získanými družicou RHESSI, ktorá pozoruje Slnko v röntgenovej oblasti spektra, a tak poskytuje informácie o vysokoenergetickom žiarení pochádzajúcom z erupcie (Obr.8).

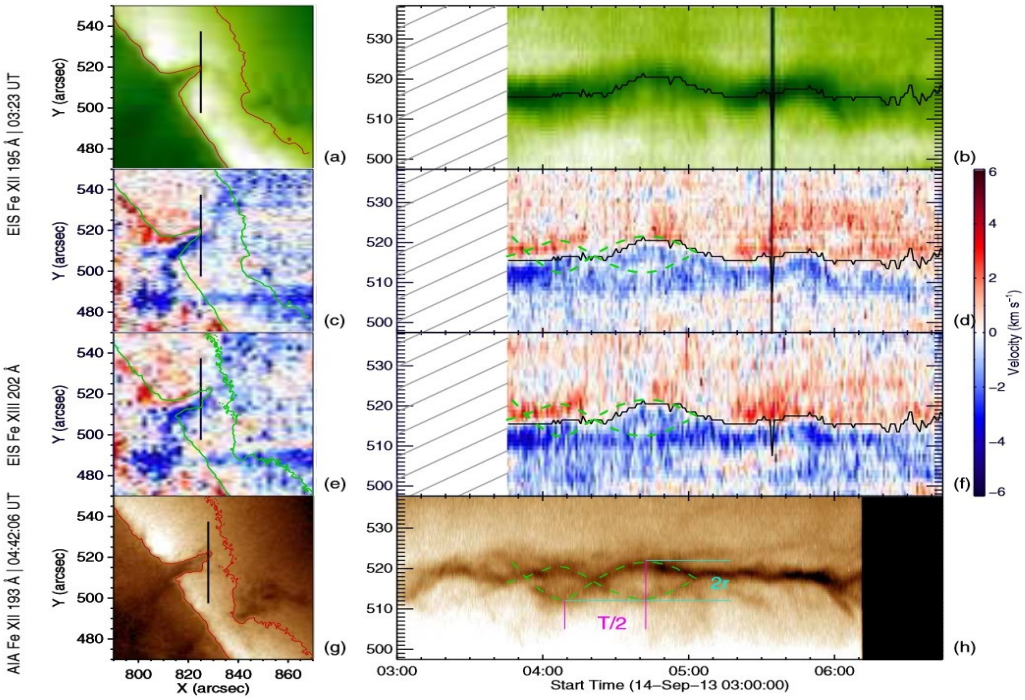


Obr.8. Obrázok dokumentujúci stav slnečnej atmosféry v momente maxima analyzovanej erupcie. Čiernobiele pozadie zodpovedá snímku slnečnej koróny, ktorý bol získaný družicou SDO/AIA v spektrálnom kanály 171 Å. Pozícia štrbiny spektrografu Hinode/EIS je znázornená modrým obdĺžnikom. Tvrdé röntgenové žiarenie zaznamenané počas erupcie družicou RHESSI je znázornené pomocou červených kontúr. Žlté kontúry naopak reprezentujú oblasť emisie mäkkého röntgenového žiarenia.

Spracovávané boli dáta pozorovaní dvoch vybraných erupcií protuberancií z celodiskových pozorovaní ďalekohľadu AIA na družici SDO pozorujúcich v EUV oblasti spektra. Boli spracované pozorovania v celkovo 9 kanáloch z erupcií z 18. augusta 2012 a 12. septembra 2014.

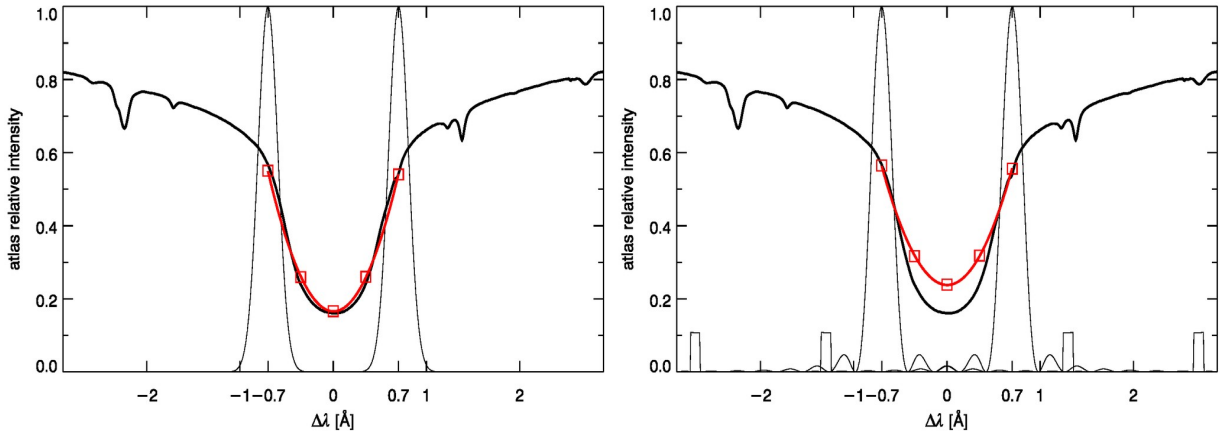
Analýza a interpretácia získaných dát pozorovaní za pomoci observačných predpovedí numerických simulácií a modelovania prenosu žiarenia a konfigurácií magnetického poľa, príprava publikácií: začiatok 06/2013 – koniec 12/2015

Analyzovali sme jedinečný súbor dát získaný prístrojmi na družiciach Hinode a SDO. Spomenuté pozorovania poskytujú prvé spektroskopické merania vlastností tzv. slnečného tornáda v extrémne ultrafialovej oblasti elektromagnetického spektra (Obr.9). Na základe získaných dát bolo možné určiť dôležité fyzikálne parametre (intenzitu vyžarovania, Dopplerovskú rýchlosť, netepelné rýchlosti) plazmy formujúcej pozorované slnečné tornádo. Preukázali sme, že charakter Dopplerovských rýchlostí emitujúcej plazmy tornáda nie je možné pripísať možným osciláciám, alebo proti sebe smerujúcim tokom plazmy, ale že jasne poukazuje na rotáciu celej magnetickej štruktúry. Pričom práve otázka či materiál tvoriaci slnečné tornáda skutočne rotuje alebo nie zostávala pri výskume týchto štruktúr dlhodobo nevyriešená. Toto zistenie má zásadné dôsledky pre stanovenie obmedzení teoretických modelov popisujúcich formovanie sa slnečných protuberancií a filamentov.



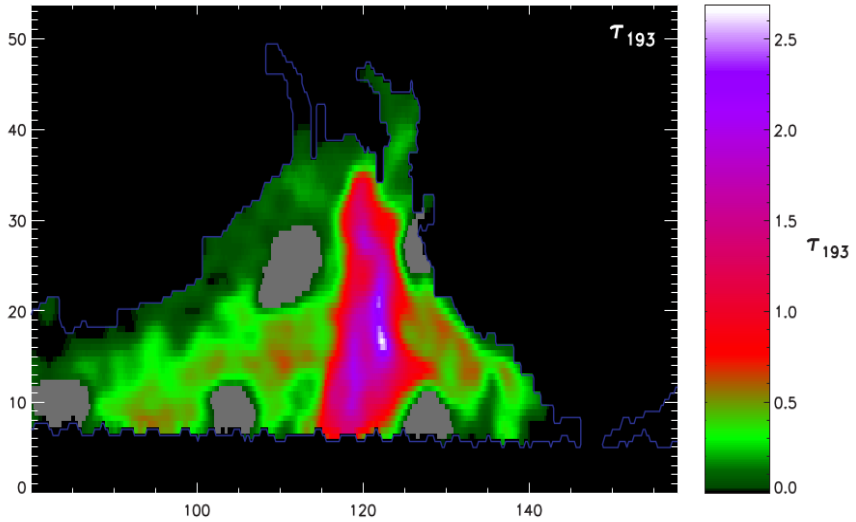
Obr.9. Ilustrácia pozorovaní slnečného tornáda z 14.9. 2013 spektrometrom EIS družice Hinode a prístroja AIA družice SDO. Ľavá strana obrázku ukazuje priestorové rozloženie intenzity a dopplerovských rýchlostí a pravá strana obrázku časový vývoj týchto parametrov pozdĺž štrbiny, ktorej poloha je označená čiernou čiarkou na pravej strane.

Profily spektrálnych čiar pozorované úzkopásmovým filtrom, akým je aj Lyotov filter spektropolarimetra CoMP-S, sú výsledkom konvolúcie skutočného profilu spektrálnej čiary s transmisným profilom filtra. Porovnávali sme tento efekt pre dva rôzne teoretické modely transmisného profilu Halfa Lyotovho filtra Holandského otvoreného ďalekohľadu DOT so šírkou pásma priepustnosti FWHM = 250 mÅ. V prípade modelu profilu aproximovaného Gaussiánom (Obr. 10 vľavo) je efekt konvolúcie malý a pozorované intenzity (štvorčeky) kvalitatívne dobre zodpovedajú skutočným. Ak však uvažujeme realistickejší model transmisného profilu aproximovaný mocninou funkcie *sinus cardinalis* doplnenou dvomi obdĺžnikovými funkciami (Obr.10 vpravo), potom dochádza k významnej kontaminácii hlavne jadra pozorovaného profilu parazitným svetlom z kontinua a medzi pozorovaným a skutočným profilom spektrálnej čiary je výrazný nesúlad. Tento efekt je možné kompenzovať dekonvolúciou pozorovaných spektrálnych profilov, ktorá však vyžaduje znalosť skutočného transmisného profilu filtra.



Obr. 10. *Vľavo:* Intenzity (štvorčeky) získané konvolúciou profilu spektrálnej čiary Halfa (hrubá čierna čiara) a teoretického transmisného profilu úzkopásmového filtra aproximovaného Gaussiánom (tenká čiara). Pre názornosť je intenzitami preložený parabolický fit (červená čiara). *Vpravo:* Rovnako ako na obr. vľavo, ale pre profil filtra aproximovaný mocninou funkcie *sinus cardinalis* doplnenou dvomi obdĺžnikovými funkciami.

Napriek predpokladanej zanedbateľnej absorpcii v röntgenovej oblasti spektra bola najhustejšia časť protuberancie z 22. júna 2010 na severozápadnom limbe, tzv. spine, pozorovaná ako tmavá štruktúra röntgenovým ďalekohľadom XRT/Hinode v dvoch fitroch. Tmavá štruktúra je výraznejšia v pozorovaniach Al-mesh filtrom, ale merateľný pokles intenzity je na jej mieste aj v pozorovaniach s Ti-poly filtrom. Pri optickej hrúbke okolo 2 vodíkovej a héliovej plazmy protuberancie na vlnovej dĺžke 193 Å určenej z pozorovaní AIA tejto protuberancie, je optická hrúbka rádovo len 0.1 na vlnových dĺžkach okolo 10 Å, kde majú obidva filtre maximum priepustnosti (Obr.11). Teda za viditeľnosť protuberančnej štruktúry v röntgenových pozorovaniach XRT je zodpovedný deficit koronálnej emisie.



Obr. 11. Optická hrúbka τ_{193} protuberancie z 22. júna 2010 na severozápadnom limbe určená z pozorovaní prístrojom AIA/SDO pre vlnovú dĺžku 193 Å.

Práce na príprave nadväzujúcich projektov a spoluprác: začiatok 06/2015 – koniec 12/2015

Napriek tomu, že táto časť prác v rámci projektu je plánovaná podľa harmonogramu prác až v roku 2015, aj v roku 2014 mal projekt príležitosti aplikovať o financovanie projektov, resp. pracovať v nadväzujúcich projektoch a spoluprácach priamo súvisiacich s témou riešeného APVV projektu.

Priamo s vedeckým zameraním B/ nášho projektu súvisí projekt APVV bilaterálnej spolupráce s názov **Diagnostika plazmy slnečnej atmosféry ovplyvnenej prechodom EIT vĺn a erupciami** (APVV SK-AT-0003-12). V rámci programu prebehli aj koordinované kampane.

Pre všetky vedecké zamerania APVV projektu bola veľmi dôležitou účasť AsÚ SAV, reprezentovaná zapojením riešiteľov projektu, do projektu 7.RP EÚ s názvom **High-Resolution Solar Physics Network – SOLARNET** (výzva INFRA-2012-1.1.26 - Research Infrastructures, číslo projektu: 312495). V rámci tohto projektu bol poskytnutý bezplatný prístup pre riešiteľov projektu APVV v roku 2014 k dvom z najkvalitnejších pozemských ďalekohľadov na svete na pozorovanie Slnka – Vacuum Tower Telescope ako i k prístroju THEMIS (Observatorio del Teide, Tenerife).

Hlavne pre vedecké zameranie projektu E/ bolo dôležitým pristúpenie SR, reprezentované AsÚ SAV, k projektu **COST** s názvom **Polarization as a tool to study the solar system and beyond** (číslo projektu COST Action MP1104). Do roku 2015 takto má kolektív riešeného APVV projektu prístup k poznatkom, aktivitám i spolupráci s renomovanými pracovníkmi venujúcimi sa v Európe výskumu astronomických objektov prostredníctvom polarizovaného žiarenia. Okrem spolupráce na využití a analýze polarizácie emisného žiarenia slnečnej koróny a protuberancií z prístrojov CoMP-S a CorMag na Observatóriu Lomnický štít sa riešitelia v rámci projektu APVV zapojili aj do získavania, spracovania a analýzy

spektropolarimetrických pozorovaní protuberancií pomocou ďalekohľadu TMEMIS (OdT, Tenerife).

V roku 2014 bol už realizovaný bilaterálny **projekt DAAD-SAV „The magnetic vector field of solar filaments“** (Co-PI: Horst Balthasar, Leibniz Institute for Astrophysics, Potsdam, NSR a Pavol Schwartz, AsÚ SAV), ktorého spoluriešiteľmi sú celkovo 4 riešitelia projektu APVV. Projekt DAAD-SAV zabezpečil dodatočné prostriedky na mobilitu vedeckých pracovníkov a pre realizáciu koordinovaných pozorovaní prístrojom CoMP-S na LSO a prístrojom VTT na Observatorio del Teide, Tenerife.

2. ROZBOR VÝSLEDKOV RIEŠENIA VZHĽADOM NA STANOVENÉ CIELE:

V roku 2014 boli stanovené ciele a výstupy projektu nasledovne: príprava koordinovaných pozorovacích kampaní prístrojov na Observatóriu Lomnický Štít s ďalšími pozemskými ďalekohľadmi a prístrojmi umiestnenými na družiciach a satelitoch; získavanie pozorovaní podľa vedeckých zameraní A/ - D/ na Observatóriu Lomnický Štít a prostredníctvom vlastných koordinovaných pozorovacích kampaní; spracovanie dát pozorovaní: redukcia dát a ich zosúladenie; analýza a interpretácia získaných dát za pomoci predpovedí numerických simulácií a modelovania prenosu žiarenia.

Na neskoršie obdobie boli plánované i práce na príprave nadväzujúcich projektov a spoluprác.

Aktuálne riešenie projektu si však vyžiadalo i pokračovanie riešenia projektu vylepšeniami, vývojom a rozšíreniami možností pozorovacích prístrojov na Observatóriu Lomnický Štít a pokračovaním v príprave nového programového vybavenia pre spracovanie a analýzu dát.

K jednotlivým plánovaným i neplánovaným cieľom a výstupom projektu boli dosiahnuté tieto výsledky vzhľadom na stanovené ciele:

- **vylepšenia, vývoj a rozšírenia možností pozorovacích prístrojov na Observatóriu Lomnický Štít :** vylepšenia prístrojov CoMP-S, digitálneho pointera R a pointera H, technická realizácia a testy rozšírenia prístroja CoMP-S, technického riešenie prístrojov CorMag a príprava technického riešenia prístroja SCD.

- **príprava nového programového vybavenia pre spracovanie a analýzu dát, pozorovaní, práce spojené s budovaním databázy a archívu dát :** program pre odvodenia Dopplerovskej rýchlosti, centrálnej intenzity, šírky a asymetrie jadra spektrálnej čiary Halfa pozorovanej Lyotovým filtrom Holandského otvoreného ďalekohľadu DOT; programy pre frekvenčnú a časovo-priestorovú analýzu časových sérií 2D obrázkov slnečnej atmosféry počas slnečných erupcií; komplexná metóda na určovanie hmotnosti protuberancií z miery poklesu intenzity koronálnych EUV čiar na vlnových dĺžkach pod 912 Å v dôsledku ich absorpcie v rezonančných kontinuách vodíka a hélia (fotoionizáacia).

- **príprava koordinovaných pozorovacích kampaní prístrojov na Observatóriu Lomnický Štít s ďalšími pozemskými ďalekohľadmi a prístrojmi umiestnenými na družiciach a satelitoch:** zrealizovanie prípravy dvoch nových koordinovaných kampaní. Kampane sú k dispozícii i pre opakované realizácie v neskorších rokoch.

- **získavanie pozorovaní podľa vedeckých zameraní A/ - D/ na Observatóriu Lomnický Štít a prostredníctvom vlastných koordinovaných pozorovacích kampaní:** zrealizovanie viacero behov štyroch jednotlivých koordinovaných kampaní.

- **spracovanie dát pozorovaní:** pre neskoršiu analýzu a interpretáciu boli spracované série simultánnych snímok v G-páse a čiare H alfa, získané Holandským otvoreným

ďalekohľadom DOT; analyzované boli spektroskopické merania charakteristík slnečných tornád pozorovaných prístrojom Hinode/EIS; boli spracovávané pozorovania Lymanových čiar vodíka zo spektrografu SUMER na družici SoHO; spektrá protuberencií z viacerých prístrojov; dáta z prístroja AIA na družici SDO pozorujúceho v EUV oblasti spektra.

- **analýza a interpretácia získaných dát za pomoci predpovedí numerických simulácií a modelovania prenosu žiarenia:** mimo výsledkov uverejnených v roku 2014 boli vykonané práce na komplexnej metóde na určovanie hmotnosti protuberancií z miery poklesu intenzity koronálnych EUV čiar na vlnových dĺžkach pod 912 Å v dôsledku ich absorpcie v rezonančných kontinuách vodíka a hélia a interpretácií pozorovaní s jej využitím;

- **Práce na príprave nadväzujúcich projektov a spoluprác:** práca na projekte COST a projekte SOLARNET 7.RP EÚ, na projekte DAAD-SAV, schválenie a realizácia medzinárodnej spolupráce jednotlivých koordinovaných kampaní, účasť v aplikácii WAMIS pre financovanie NASA - ciele boli dosiahnuté s výrazným časovým predstihom.

3. ZOZNAM VÝSTUPOV A PRÍNOSOV PROJEKTU ZA POSLEDNÝ ROK – uveďte v prílohe – formulár Výstupy a prínosy projektu za rok/obdobie

Všetky výstupy a prínosy projektu za rok 2014 sú uvedené v spomínanej prílohe. Kvantitatívne bolo plnenie všetkých očakávaných výstupov riešenia splnené, resp. prekročené.

4. UPRESNENIE HARMONOGRAMU PRÁC A CIEĽOV NA NASLEDUJÚCI ROK:

Vylepšenia, vývoj a rozšírenia možností pozorovacích prístrojov na Observatóriu Lomnický Štít (LSO): začiatok 07/2012 – koniec predĺžený do 12/2015

Riešitelia projektu ešte budú pokračovať vo vylepšeniach, vývoji a rozšírení možností pozorovacích prístrojov na Observatóriu Lomnický Štít so zameraním na: dokončenie druhej etapy prípravy prístroja CoMP-S, dokončenie prístroja CorMag a realizáciu prístroja SCD, zavedenie automatického otáčania kupoly počas dňa, zdokonalenie presnosti pointovania koronografov vylepšeniami motorov, elektroniky a ovládacieho programu digitálneho pointera, prípravu druhého koronografu pre inštaláciu prístroja SCD.

Príprava nového programového vybavenia pre spracovanie a analýzu dát pozorovaní, práce spojené s databázou pozorovaní a archívu dát: začiatok 07/2012 – koniec predĺžený do 12/2015

Pre redukciu a analýzu meraní prístroja CoMP-S bude pripravená nová verzia softvéru vrátane zodpovedajúceho manuálu kvôli využitiu nového kamerového modulu s inými detektormi. Do konca roka 2015 bude pripravená databáza pozorovaní observatória LSO pre prístroje CoMP-S, CorMag a SCD.

Bude vyvinutá IDL procedúra merania charakteristík spektrálnej čiary Halfa pozorovanej vysokovýkonným inštrumentom CRISP inštalovaným na Švédskom 1-metrovom slnečnom ďalekohľade na ostrove La Palma. Procedúra bude testovaná a aplikovaná na vzorovej kocke dát získanej v r. 2014 od Dr. Matsa Löfdahla (Institute for Solar Physics, Dept. of Astronomy, Stockholm University) na AsÚ SAV počas letnej školy v rámci projektu SOLARNET. Ďalej bude vylepšená už existujúca IDL procedúra merania dynamických Lyman-alfa výtryskov pozorovaných v r. 2002 ultrafialovým raketovým ďalekohľadom VAULT. Procedúra bude

aplikovaná na sekvenciu VAULT Lyman-alfa snímok pozorovaných na disku 14. júna 2002 a dostupných v archíve dát: http://wwwsolar.nrl.navy.mil/rockets/vault/archives.html.

V dôsledku degradácie a poškodenia filtrov rontgénovského teleskopu XRT na družici Hinode už dáta z tohto prístroja nie sú ďalej použiteľné. Preto ich plánujeme nahradiť v ďalších pozorovacích kampaniach pozorovaniami v zelenej koronálnej čiare prístrojom COMP-S. Tomuto bude potrebné prispôsobiť náš programový balík v jazyku IDL určený na určovanie celkových hmotnosti a stupňov ionizácie vodíkovej a héliovej plazmy pokojných protuberancií.

Pre prácu s dátami, získanými prístrojom SOT na družici HINODE 2. júna 2007, budú prepracované programy v IDL na štúdium dynamiky jasných bodov v G-páse a na výskum ich vzťahu s koncentráciami magnetického poľa odvodenými na základe spektro-polarimetrických dát prístroja SOT.

Získavanie pozorovaní podľa vedeckých zameraní A/ - D/ na Observatóriu Lomnický Štít a prostredníctvom vlastných koordinovaných pozorovacích kampaní: začiatok 01/2013 – koniec 12/2015

V roku 2015 sa pokúsime zabezpečiť minimálne po jednom vykonaní horeuvedených koordinovaných pozorovacích kampaní pre vedecké zamerania projektu C/ a B/.

Spracovanie dát pozorovacích kampaní: redukcia dát a ich zosúladenie: začiatok 03/2013 – koniec 12/2015

Pre potreby projektu bude vykonaná redukcia a zosúladenie pozorovaní pre vybrané dáta z vykonaných kampane a prikročíme k spracovaniu a redukcii dát týchto kampaní.

Analýza a interpretácia získaných dát pozorovaní za pomoci observačných predpovedí numerických simulácií a modelovania prenosu žiarenia a konfigurácií magnetického poľa, príprava publikácií: začiatok 06/2013 – koniec 12/2015

Pre potreby projektu bude vykonaná analýza a interpretácia dát pozorovaní z kampaní HOP186 vrátane numerického semiempirického modelovania prenosu žiarenia (vedecké zameranie C/). V rámci projektu vykonáme analýzu a interpretáciu dát pozorovaní dynamických javov v slnečnej chromosfére z ďalekohľadu DOT so zameraním na rázové vlny (vedecké zameranie D/) ako i analýzu vlnení a oscilácií z meraní emisie erupčných slučiek v slnečnej koróne v röntgenovej oblasti spektra z prístroja AIA/SDO a z prístroja XRT družice Hinode (vedecké zameranie A/). V prípade úspešného prevedenia kampane HOP180 v roku 2014 so zachytením EIT vĺn pristúpime k spracovaniu a interpretácii týchto pozorovaní (vedecké zameranie B/).

Práce na príprave nadväzujúcich projektov a spoluprác: začiatok 06/2015 – koniec 12/2015

V roku 2014 budeme spolupracovať v horeuvedených projektoch a spoluprácach, ktoré sa podarilo zabezpečiť už v predstihu v rokoch 2012 až 2014.

Potvrdzujeme, že údaje uvedené v správe a jej prílohách sú pravdivé a úplné.

Zodpovedný riešiteľ	**Štatutárny zástupca príjemcu**
RNDr. Ján Rybák, CSc.	RNDr. Aleš Kučera, CSc.
V Tatranskej Lomnici, 30. 01. 2015	V Tatranskej Lomnici, 30. 01. 2015
.....	.....
podpis zodpovedného riešiteľa	podpis štatutárneho zástupcu príjemcu