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 2013

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 schématického 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, nainštalovaný na observatóriu v marci 2011, bol po ukončení testovacej prevádzky uvedený do regulárnej prevádzky 1. mája 2013 a pozorovania týmto prístrojov sú zabezpečované už nepretržite (obr.1). Od začiatku roku 2013 bolo riešiteľmi projektu vykonaných **niekoľko ďalších vylepšení prístroja,** ktoré nielen zvýšili spoľahlivosť činnosti prístroja ale i zefektívnili jeho činnosť. Menovite bolo zrealizované: 1/ odizolovanie elektrického zemnenia prístroja

CoMP-S od elektrickej zeme budovy postupným odizolovaním častí prístroja CoMP-S, ktoré boli prepojené s uzemnením budovy, 2/ dokončenie inštalácie koncových spínačov pre motory fokusácie a difúzera, 3/ inštalácie výkonnejšieho motora pre fokusáciu a jeho ovládanie, 4/ inštalácia a testy prvej verzie chladenia filtrového modulu prístroja Peltierovým článkom. Okrem týchto prác bol vypracovaný plnohodnotný **Manuál pozorovateľa**, itineráre pozorovacích programov 001 a 002 a vzory logovacích súborov pozorovaní. Na web stránke prístroja CoMP-S (*www.astro.sk/LSO/COMP-S/*) začali byť zverejňované informácie o vykonaných pozorovaniach.

- **Digitálny pointer pre pravý koronograf s prístrojom CoMP-S:** pre zabezpečenie navádzania koronografu s prístrojom CoMP-S počas pozorovaní bol podľa potrieb v priebehu roka mechanicky, elektronicky a programovo upravovaný jeho digitálny pointer (nový polohovací stolík optiky, nové mechanické umiestnenie a uchytenie aktívnych el. prvkov a zlepšenie ich ochrany, voliteľnosť oneskorenia reakcie motorov). Jeho aktuálna verzia je používaná pre pozorovania prístrojom CoMP-S. Pre vylepšenie pointovania koronografu v budúcnosti je vyvíjaná nová elektronika a softvérové ovládanie pointera. Elektronika spoločne so softvérom, vytvoreným v prostredí LabVIEW, by mali prispieť k desať násobnému zvýšeniu presnosti pointovania.

- **druhá etapa prípravy prístroja CoMP-S:** pre rozšírenie možností pozorovacích prístrojov na LSO bol v spolupráci s pracovníkmi HAO/NCAR (USA) dokončený technický návrh **rozšírenia prvej 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 (obr.2). Riešitelia projektu sa podieľali i na testoch jednotlivých komponentov nového technického návrhu (vizuálne kamery, kamery citlivé v infračervenom pásme spektra, polohovacie stolíky, prostriedky pre stabilizáciu teploty modulu, synchronizácia el. signálov a expozícií). Rozšírenie prístroja CoMP-S bude dodané výrobcom do marca 2014.

- **príprava technického riešenia nového prístroja Solar Chromospheric Detector (SCD):** v spolupráci s pracovníkmi HAO/NCAR (USA) pokračovali práce na pôvodnom návrhu **nového prístroja SCD** (pôvodný názov CHROMAG-S) pre LSO. Pôvodný návrh, spolunavrhnuté riešiteľmi projektu, bolo čiastočne upravené a špecifikoval sa zoznam spektrálnych čiar, ktoré by mal dokázať tento prístroj v prvotnej konfigurácii pozorovať. Prístroj bude zostrojený až v priebehu roku 2014 a dodaný má byť až v apríli 2015 kvôli kapacitným obmedzeniam výrobcu. Prístroj bude umiestnený na druhom koronografe na LSO v priebehu roka 2015.

- **príprava nového prístroja Coronal Magnetometer (CorMag) pre LSO:** v spolupráci s tímom pracovníkov INAF/Torino (Taliansko), vedeným prof. S. Fineschim, začali v roku 2013 práce na základnom technickom riešení umiestnenia prístroja CorMag na koronografe LSO. Prístroj by mal vykonávať spektropolarimetrické merania zelenej koronálnej emisnej čiary (Fe XIV 530.3 nm). 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, ich prenosom z detektora na úložné disky riadiaceho počítača v serverovni, ovládaním meraní a spoluprácou prístroja s periférami na koronografe. Prístroj by mal byť namontovaný na koronograf vo februári 2014 a mala by začať jeho testovacia prevádzka (obr.3).

- **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

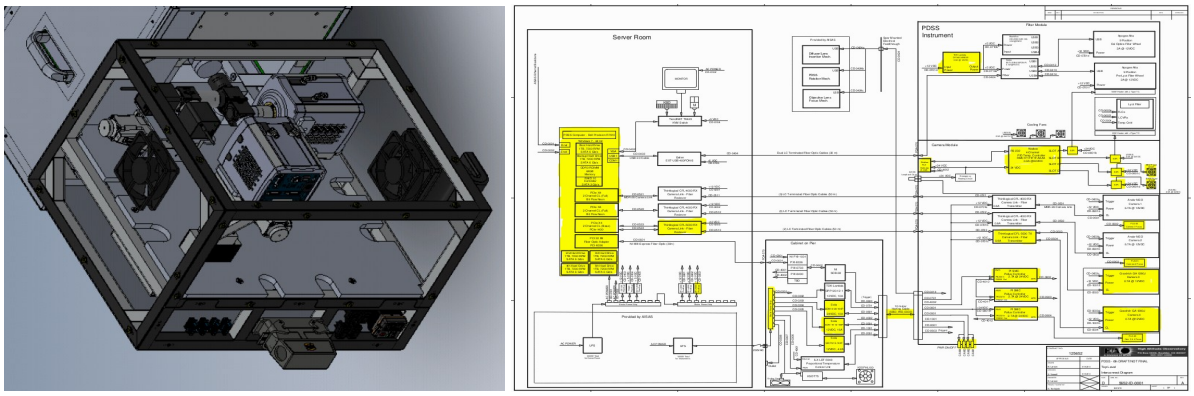
(obr.4). Toto zariadenie umožní po viac ako 40 rokoch od prvotnej idei súčasné pozorovania dvomi koronografmi observatória s dlhodobým nastavením umelého zatmenia Slnka počas pozorovania.

- **príprava technického riešenia nového prístroja Solar Coronal Dopplermeter:** v priebehu roka 2013 boli v spolupráci s partnermi z UCL (Londýn, Veľká Británia) a Observatoire de Paris (Meudon, Francúzsko) dokončené hľadanie technického návrhu prístroja Solar Coronal Dopplermeter pre LSO. Bohužiaľ, zistili sme že nie je možné vyrobiť takýto prístroj s požadovanými technickými špecifikáciami tak, aby bol prakticky umiestniteľný a prevádzkovaný na koronografe ZEISS 200/3000 v kupole LSO. Hlavnou príčinou sú príliš veľké rozmery prístroja. Po tomto zistení sme boli nútení ukončiť práce na príprave takéhoto prístroja.

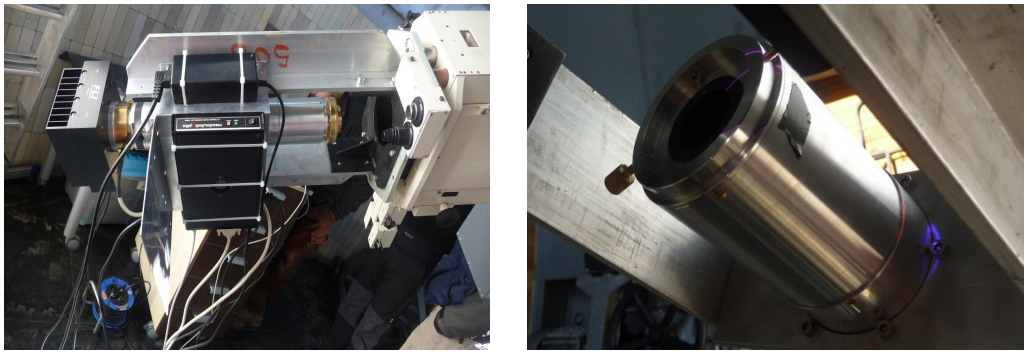
- **ďalšie vylepšenia pozorovacích prístrojov a postupov na LSO:** okrem horeuvedených prác boli na LSO vykonané ďalšie **vylepšenia pracovných postupov,** napr. náhradný zdroj 24 VDC pre prípad poruchy zdrojov Gr1-3 v hlavnom el. rozvádzači v kupole, náhradné riešenie ovládania pohybov kupoly a štrbiny, utesnenie kupoly počas zimných víchric, výroba modulárnych protizávaží pre vyvažovanie koronografov, riadenie pozorovaní z pracovne namiesto priamo v kupole.

- **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, Lyotovho filtra a polarimetra z stratosférického balónového experimentu NASA (PIs: J. Daniel Moses, Yuan-Kuen Ko, Naval Research Laboratory, Washington, USA).

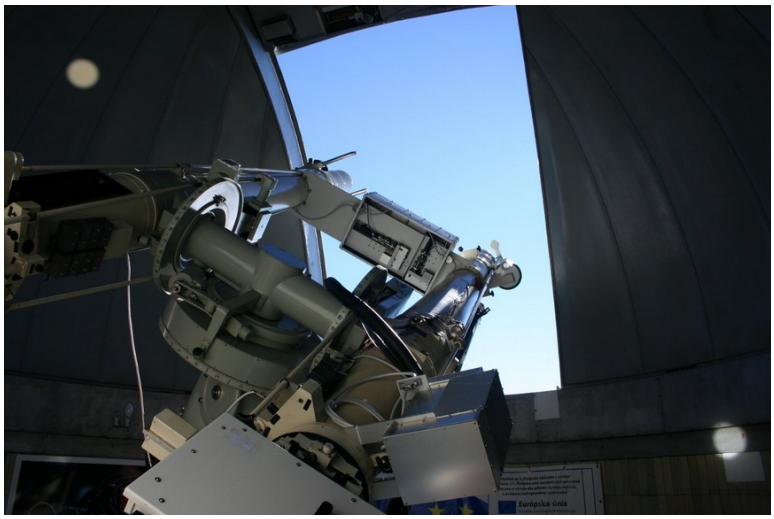
Obr.1. Prístroj CoMP-S na LSO: pozorovatelia observatória Peter Habaj, Rastislav Mačura a Juraj Kavka (zľava doprava) počas zaúčania sa do vykonávania pozorovaní pomocou prístroja CoMP-S.



Obr.2. Ilustrácie návrhu mechanickej konštrukcie kamerového modulu, vyvíjaného ako druhá etapa prípravy prístroja CoMP-S (vľavo) a bloková schéma celého prístroja CoMP-S s označením nových komponentov (žlté časti) – súčastí druhej etapa prípravy prístroja (vpravo).



Obr.3. Ilustrácie dočasnej inštalácie prototypu prístroja CorMag na ľavom koronografe v kupole LSO. Vľavo prístroj s kamerou a elektronikou ovládania Lyotovho filtra na testovacej konzole za hlavnou ohniskovou rovinou koronografu, vpravo detail obrazu v tejto ohniskovej rovine počas umelého zatmenia.



Obr.4. Pointer firmy HANKOM zabezpečujúci zosúladenie dvoch koronografov na jednej montáži v akcii - „svetelné prasiatka“ v ľavom hornom a pravom dolnom rohu obrázku dokumentujú súčasný odraz svetla slnečného disku z umelých mesiačikov v oboch koronografoch. V strede obrázku medzi prednými časťami koronografov je pointačná jednotka pointera (s odkrytým krytom) a v strede dolu na obrázku je sivá detekčná časť pointera na pravom koronografe.

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

Pre frekvenčnú analýzu časových sérií 2D obrázkov slnečnej emisnej koróny bola pôvodne vyvinutá IDL metóda priestorovo-frekvenčnej separácie signálu za pomoci vlnkovej transformácie upravená aj pre analýzu dát numerických simulácií magneto-akustických oscilácií v slnečnej koróne ako i pre analýzu dát z meraní prístroja AIA družice SDO (NASA).

V jazyku IDL bol vytvorený program na meranie spektroskopických parametrov čiary H alfa z filtergramov získaných pomocou Holandského otvoreného ďalekohľadu DOT. Program určuje centrálnu intenzitu čiary, dopplerovský posun, šírku jadra čiary a jej asymetriu. V súvislosti s týmto programom bola vyvinutá metóda a samostatný program pre opravu spomenutých spektrálnych charakteristík o odchýlky spôsobené malým spektrálnym rozlíšením DOT filtergramov a polynomickou aproximáciou meraní. Ďalej bola vytvorená metóda a program pre nepriame testovanie pásma priepustnosti Lyotovha filtra.

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

Na začiatku roku 2013 prebehla príprava koordinovanej kampane **„Spectroscopic study of "magnetic tornadoes"** (HOP237). Okrem zapojenia primárneho prístroja kampane – spektrometra EIS/Hinode (NASA/JAXA), bolo do kampane pripravené i zapojenie prístroja **COMP-S** Observatória Lomnický štít AsÚ SAV. Web stránka kampane: *http://www.isas.jaxa.jp/home/solar/hinode_op/hop.php?hop=0237*.

V lete roku 2013 prebehla i príprava koordinovanej kampane **„Prominence fine structure from comparison of the non-LTE modelling with observations".** Popri primárnom prístroji kampane – spektrometri SUMER/SoHO (NASA/ESA) – bolo do kampane pripravené i zapojenie družice IRIS, multispektrálnych spektrografov AsÚ AV ČT v Ondřejove a **prístroja COMP-S** Observatória Lomnický štít AsÚ SAV.

Projekt APVV sa podieľal i na príprave a na realizácii pozorovacieho programu **Dynamics and magnetic field topology of small-scale loops,** ktorý bol vykonaný na teleskope VTT na Observatorio del Teide (Tenerife, Španielsko) v súčinnosti s nižšie popísanou koordinovanou pozorovacou kampaňou „Dynamics and physical properties of large scale coronal waves ("EIT waves".

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 2013 boli vykonané pozorovania 4 koordinovaných pozorovacích kampaní:

- Pre vedecké zameranie projektu B/ bola **dvakrát** vykonaná koordinovaná kampaň s názvom **Dynamics and physical properties of large scale coronal waves ("EIT waves") (HOP180)** v obdobiach 30/3–12/4/2013 a 6-18/10/2013. Informácie o kampaniach vrátane sumáru získaných meraní sú uvedené na verejnej web stránke projektu APVV v položke KAMPANE (*http://www.astro.sk/~choc/open/apvv_0816-11/kampane.html*).

- Okrem tejto kampane bola pre toto vedecké zameranie projektu vykonaná koordinovaná kampaň s názvom **Spectroscopic study of "magnetic tornadoes" (HOP237)** v období 9-16/9/2013. Popri dátach z primárneho pristroja kampane – spektrometra EIS/Hinode (NASA/JAXA) - však kvôli nepriaznivému počasiu na Observatóriu Lomnický štít AsÚ SAV neboli získané simultánne pozorovania prístrojom COMP-S. Informácie o kampani vrátane popisu a sumáru získaných meraní sú uvedené na vyššie uvedenej web stránke.

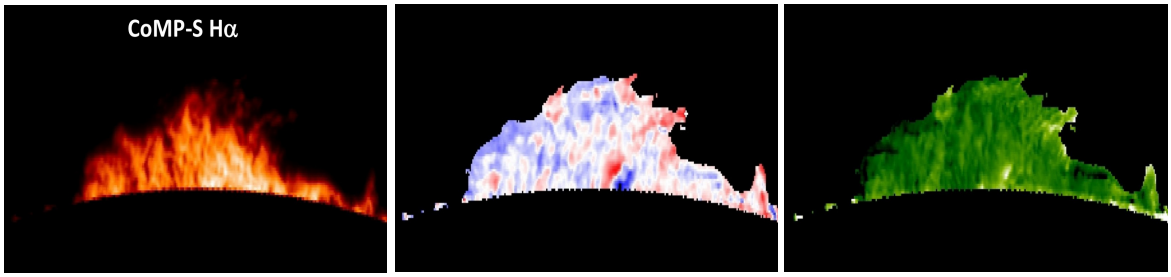
- Pre vedecké zameranie projektu C/ bola vykonaná koordinovaná kampaň s názvom **Prominence fine structure from comparison of the non-LTE modelling with observations** v období 22–24/10/2013. Popri spektrometri SUMER/SoHO (NASA/ESA) boli do kampane zapojené i spektrometer družice IRIS, multispektrálne spektrografy AsÚ AV ČT v Ondřejove a prístroj COMP-S Observatória Lomnický štít AsÚ SAV. Napriek veľmi obmedzenému časovému rozsahu kampane sa podarilo získať simultánne merania pozemských i družicových prístrojov. Informácia o kampani vrátane popisu, sumáru získaných meraní a ukážok pozorovaní je uvedená na web stránke projektu v položke KAMPANE (*http://www.astro.sk/~choc/open/apvv_0816-11/kampane.html*).

- Prístroj CoMP-S v roku 2013 pozoroval celkovo v 61 pozorovacích dňoch počas ktorých sa podarilo získať pozorovacie dáta 2 pozorovacích programov. Ďalších 75 dní bolo možné využiť kvôli nedostatočnej kvalite pozorovacích podmienok na observatóriu len na testy prístroja CoMP-S, pointera 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 dát.

Prístroj CoMP-S vo svojej prvotnej verzii poskytuje len dáta spektrálnych čiar vo vizuálnej oblasti. Dáta boli spracovávané nateraz len v nepolarizovanom svetle pričom pre analýzu dát boli pripravované i gaussovské aproximácie profilov emisných čiar, ktoré prístroj počas meraní sekvenčne v čase skenuje cez spektrálny profil čiary. Príklad amplitúdy, dopplerovského posunu a polšírky emisnej čiary H alfa v protuberancii je ilustrovaný na obr.5.



Obr.5. Príklad spracovaných pozorovaní slnečnej protuberancie v emisnej čiare H alfa (656.2 nm), získaných 20.10. 2012 počas prvej koordinovanej kampane prístroja CoMP-S (pozičný uhol 170°, čas 07:08:40 UT). Panely zobrazujú amplitúdu (vľavo), dopplerovský posun (v strede) a gaussovskú polšírku (vpravo) aproximácie tvaru profilu spektrálnej čiary Gaussovým profilom. Priestorové rozlíšenie spracovania dát je 1.3“, rozsah dopplerovského posunu je ±12 km/s (červená - smerom od pozorovateľa, a modrá - smerom k pozorovateľovi), a rozsah polšírky čiary je 0.020-0.045 nm.

Boli spracované H alfa filtergramy získané Holandským otvoreným ďalekohľadom DOT dňa 19. októbra 2005 tak, že intenzitná informácia z filtergramov bola prevedená na štyri spektrálne charakteristiky čiary H alfa, menovite centrálnu intenzitu čiary, dopplerovský posun, šírku jadra čiary a jej asymetriu. V ďalšom kroku boli uvedené charakteristiky opravené o odchýlky spôsobené malým spektrálnym rozlíšením DOT filtergramov a polynomickou aproximáciou meraní.

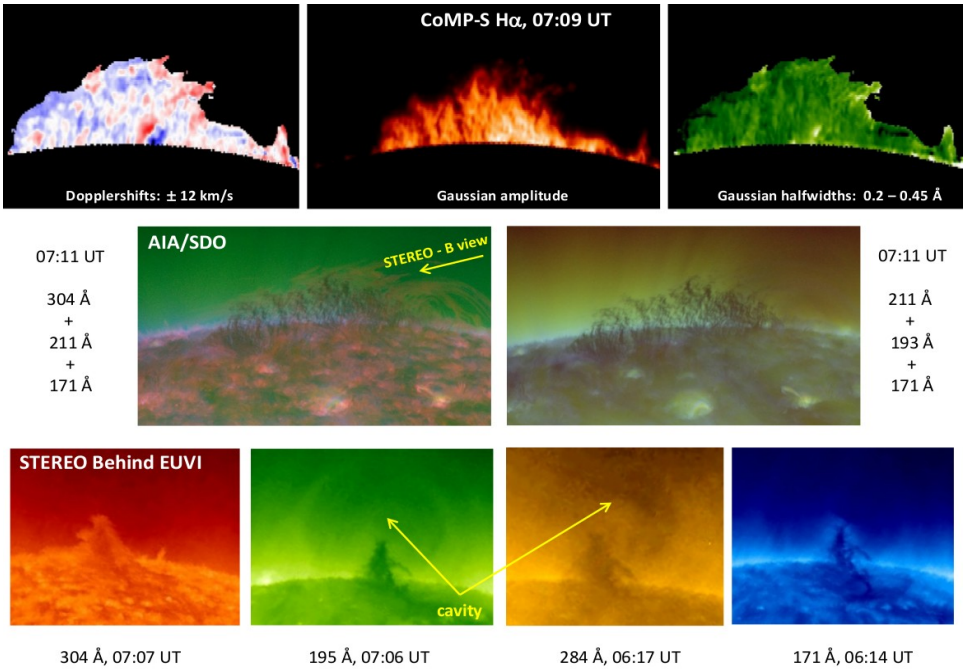
Na simultánnych snímkach v G-páse a H alfa čiare, získaných Holandským otvoreným ďalekohľadom DOT dňa 19. októbra 2005, boli vyhľadávané oblasti vhodné pre následné štúdium prejavov prenosu energie/hmoty naprieč slnečnou atmosférou - konkrétne vo fotosfére a v chromosf0re.

Pokračovali sme v spracovávaní a analýze dát získaných pomocou prístroja Hinode/EIS počas erupcie dňa 16.2.2011. Na základe multikomponentného fitovania spektrálnych čiar slnečnej koróny z maxima slnečnej erupcie sme preukázali existenciu vysokorýchlostných tokov plazmy s rýchlosťami až ~250 km/s. Vypočítali sme hustoty voľných elektrónov v jadre erupcie. Spracované boli i dáta z pristroja SDO/AIA dokumentujúce časový priebeh skúmanej erupcie. Spektrografické dáta (EIS) boli priestorovo zosúladené s priestorvými obrázkami (AIA).

Boli spracovávané dáta pozorovaní protuberancií z celodiskových ďalekohľadov: XRT na družici Hinode pozorujúceho v rentgénovej oblasti spektra, a AIA na družici SDO pozorujúceho v EUV oblasti. Boli spracované pozorovania v spektrálnych čiarach Lymanovej série vodíka protuberancie z 18. mája 2005.

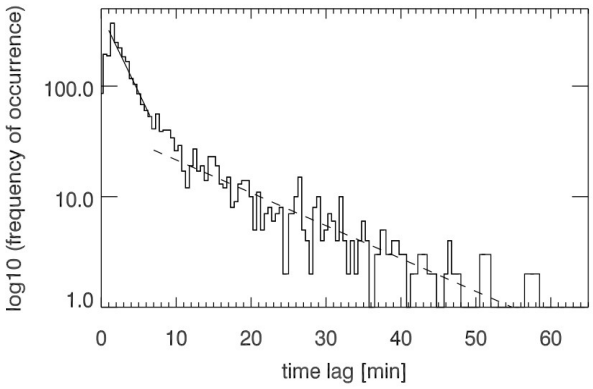
Analýza a interpretácia získaných dát pozorovaní za pomoci observačných predpovedí numerických simulácií a modelovania prenosu žiarenia a konfigurácií magnetického poľa, príprava publikácií: začiatok 06/2013 – koniec 12/2015

V súvislosti s pokojnou protuberanciou pozorovanou prístrojom CoMP-S 20. októbra 2012 boli v databázach kozmických slnečných observatórií SDO a STEREO-B vyhľadané simultánne pozorovania tej istej protuberancie v extrémnej ultrafialovej oblasti získané z iného zorného uhla. Výsledky dokumentuje nasledujúci obrázok (Obr.6).



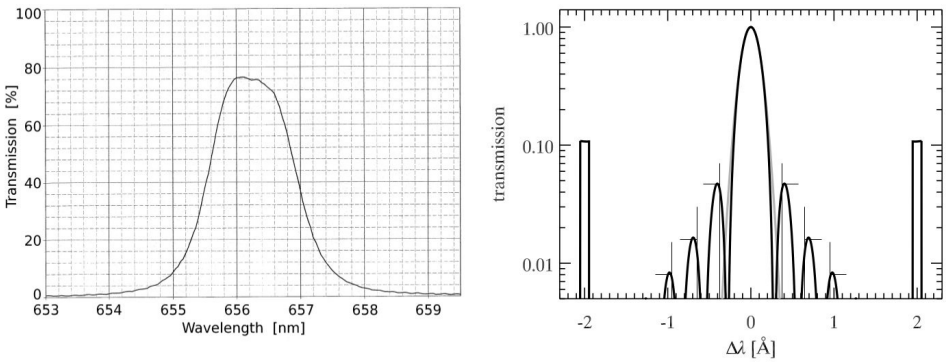
Obr.6. *Hore*: Spektrálne charakteristiky pokojnej protuberancie získané prístrojom CoMP-S dňa 20. októbra 2012. *Uprostred*: Multispektrálne pozorovanie tej istej protuberancie prístrojom AIA kozmického slnečného observatória SDO v šiestich pásmach extrémnej ultrafialovej oblasti. *Dole*: Bočný pohľad na tú istú protuberanciu z perspektívy kozmického slnečného observatória STEREO B. Jedná sa o multispektrálne pozorovanie v štyroch pásmach extrémnej ultrafialovej oblasti. Šípky vyznačujú takmer kruhovo symetrickú dutinu protuberancie.

Boli analyzované rozdelenia viacerých parametrov popisujúcich dynamiku jasných bodov v G-páse s cieľom odhaliť fyzikálne príčiny pozorovaného správania. Obr.7 dokumentuje zistené rozdelenie časových odstupov medzi zánikom a objavením sa JBGP na tom istom mieste zorného poľa.



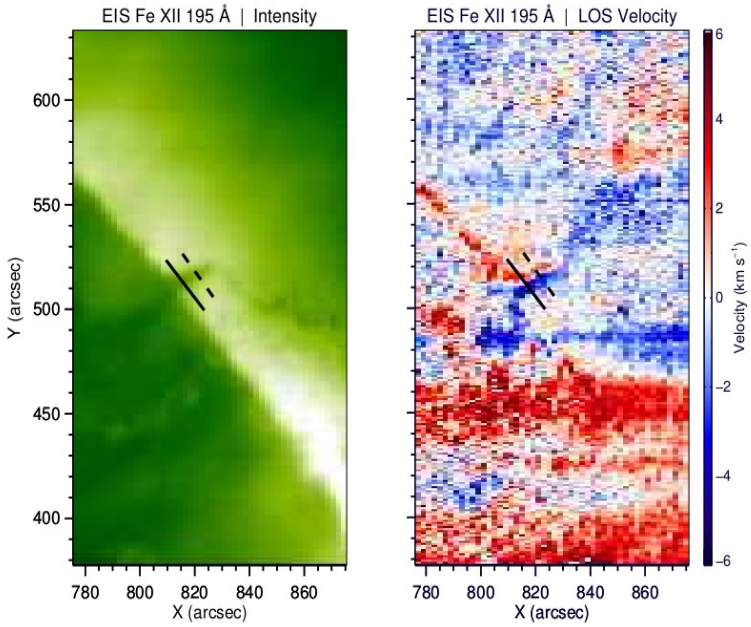
Obr. 7. Histogram časových odstupov (time lag) medzi zánikom a objavením sa jasných bodov v G-páse na tom istom mieste (kruh s priemerom 0.36 oblúkových sekúnd) zorného poľa Holandského otvoreného ďalekohľadu DOT. Dve vložené čiary naznačujú rozdiel vo fyzikálnej podstate zistených časových odstupov pre časové odstupy kratšie (súvislá čiara) a dlhšie (prerušovaná čiara) ako 7 minút.

Dôležitou charakteristikou každého filtra je tvar jeho pásma priepustnosti. Jeho detailné poznanie má zásadný význam pri interpretácii pozorovaní a hlavne pri porovnávaní pozorovaní s výsledkami numerických simulácií. V tomto kontexte nasledujúci obrázok dokumentuje pásma priepustnosti H alfa filtrov Holandského otvoreného ďalekohľadu DOT.



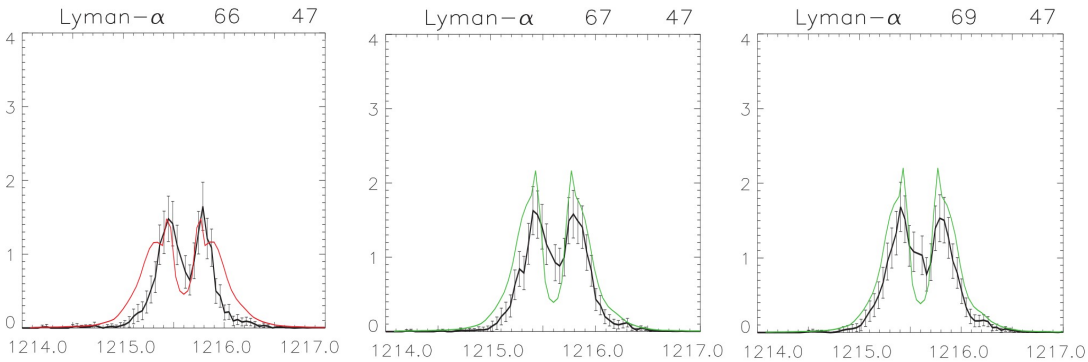
Obr. 8. *Vľavo:* Merané pásmo priepustnosti širokopásmového predfiltra Lyotovho Halfa filtra ďalekohľadu DOT. *Vpravo:* Teoretické pásmo priepustnosti Lyotovho H alfa filtra ďalekohľadu DOT v logaritmickej škále: Gaussova funkcia (šedá krivka) a druhá mocnina funkcie „sinus cardinalis“ doplnená dvomi obdĺžnikovými funkciami (čierna krivka).

Analyzovali sme jedinečný súbor dát, ktoré poskytujú prvé spektroskopické merania vlastností tzv. slnečného tornáda v extrémne ultrafialovej oblasti spektra (obr. 9. vľavo). Preukázali sme, že charakter zaznamenaných dopplerovských rýchlostí plazmy z oblasti zodpovedajúcej tornádu poukazuje na rotáciu celej pozorovanej štruktúry (obr. 9. vpravo). Toto zistenie je dôležitým limitom pre teoretické modely popisujúce vznik slnečných protuberancií a filamentov.



Obr. 9. 2D mapy intenzít (vľavo) a dopplerovských rýchlostí (vpravo) zobrazujúce slnečné tornádo (tmavá vertikálna štruktúra viditeľná nad slnečným limbom na obrázku vľavo) a jeho okolie z meraní spektrálnej čiary Fe XII 19.5 nm . Rotačný charakter pohybu plazmy, tvoriacej slnečné tornádo, je jasne viditeľný na mape dopplerovských rýchlostí. Časť plazmy v tornáde vykazuje tzv. červený posun – pohyb hmoty smerom od pozorovateľa, zatiaľ čo opačná strana vykazuje tzv. modrý posun – pohyb hmoty smerom k pozorovateľovi.

Dáta z družicových prístrojov XRT a AIA v roentgénovskej a EUV oblastiach spektra boli využité na spektroskopickú analýzu plazmy protuberancie z 22. júna 2010. Spektroskopické pozorovania protuberancie z 18. mája 2005 v Lymanových čiarach vodíka boli použité na modelovanie jemnej štruktúry protuberancie v dvoch rozmeroch (Obr. 10). Bolo zistené, že jemná štruktúra protuberancie je tvorená jemnými vláknami, ktorá majú vo vnútri teplotu 8000 až 10000 K a v každom vlákne dochádza k nárastu teploty a pritom k poklesu hustoty a tlaku v jeho okrajových častiach. Modely s vyššími teplotami vo vnútri okrajových vláken sa nezhodujú s pozorovaním.



Obr. 10. Príklad troch profilov spektrálnej čiary vodíka Lyman alfa pozorovaných v protuberancii 22. júna 2005 spektrografom SUMER na družici SoHO. Tieto profily boli pozorované na vrchu protuberancie a kvôli vhodnej projekcii vykazujú charakter profilov pozorovaných vo filamentoch na disku. Tieto profily boli reprodukované pomocou dvoch NLTE modelov filamentu (červenou a zelenou farbou).

Pozorovania protuberancie vykonaných 22. júna 2010 na spektrografe SUMER na družici SoHO, roentgenovskom ďalekohľade XRT na družici Hinode a EUV ďalekohľade AIA na družici SDO boli analyzované boli použité modelovanie magnetického poľa pomocou bezsilovej metódy, detailný prenos žiarenia v dvoch rozmeroch s určovanie hmoty protuberancie z množstva EUV koronálneho žiarenia pohlteného protuberanciou. Bolo zistené, že veľká časť plazmy prechodovej oblasti (teplota niekoľko desiatok tisíc Kelvinov) sa nachádza v štruktúrach malých rozmerov v priehlbinách na magnetických siločiarach okolo chladnej protuberančnej plasmy (teplota okolo 8000 K) v centre priehlbín. Okrem toho sa zistilo, že tmavé dutiny viditeľné v jasnej protuberancii v spektrálnych čiarach HeII 30.4 nm a H I Lyman a sú formované perturbanciami v bipolárnej magnetickej štruktúre protuberancie, ktoré sú spôsobené parazitickými magnetickými dipólmi, ktoré narúšajú priehlbiny na magnetických siločiarach.

Spektroskopickou metódou bola určená celková hmotnosť šiestich protuberancií pozorovaných v rámci pozorovacej pozemnými multikamerových spektrografoch a družicovými celodiskovými ďalekohľadmi. Hmotnosti protuberancií boli určené z množstva EUV koronálneho žiarenia pohlteného vodíkovou a héliovou plazmou protuberancie.

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 2013 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) schválený na roky 2013-2014. V rámci programu prebehla aj príprava koordinovaných kampaní spolu s jedným z pozorovacích programov prístroja CoMP-S na Observatóriu Lomnický štít, ktorý bol vykonávaný v druhej polovici roku 2013.

Pre všetky vedecké zamerania APVV projektu je 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 2013 k jednému z najkvalitnejších pozemských ďalekohľadov na svete na pozorovanie Slnka – Vacuum Tower Telescope (Observatorio del Teide, Tenerife), pre pozorovací program „Dynamics and magnetic field topology of small-scale loops“. Bohužiaľ počas procesu negociácie projektu s EÚ boli úplne zrušené finančné

prostriedky ktoré pôvodne plánované pre zabezpečenie dodatočného rozšírenia dátového priestoru pre uskladnenie dát pozorovaní prístroja CoMP-S.

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 bude mať 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 prístroja CoMP-S na Observatóriu Lomnický štít sa chcú riešitelia v rámci projektu APVV zapoji aj do získavania, spracovania a analýzy spektropolarimetrických pozorovaní protuberancií i pomocou ďalekohľadu TMEMIS (OdT, Tenerife).

V roku 2013 bol schválený 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 zabezpečí dodatočné prostriedky na mobilitu vedeckých pracovníkov a napomôže pri realizácii koordinovaných pozorovaní prístrojom CoMP-S na LSO a prístrojmi VTT a GREGOR na Observatorio del Teide, Tenerife.

Okrem týchto oficiálnych projektov pokračujeme v neoficiálnych spoluprácach s pracovníkmi AsÚ AV ČR na projekte výskumu slnečných protuberancií s pomocou pozorovaní prístroja CoMP-S na Observatóriu Lomnický štít a numerického semiempirického modelovania (kód HAZEL pre NLTE prenos polarizovaného žiarenia) emisných profilov spektrálnych čiar.

2. ROZBOR VÝSLEDKOV RIEŠENIA VZHĽADOM NA STANOVENÉ CIELE:

V roku 2013 boli stanovené ciele a výstupy projektu nasledovne: vylepšenia, vývoj a rozšírenia možností pozorovacích prístrojov na Observatóriu Lomnický Štít; príprava nového programového vybavenia pre spracovanie a analýzu dát; 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.

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 prístroja CoMP-S s ukončením jeho testovacej a začiatkom regulárnej prevádzky, vylepšenia digitálneho pointera, príprava príprava technickej realizácie rozšírenia prístroja CoMP-S (2. etapa), príprava technického riešenia prístrojov CorMag a SCD, zabezpečenie funkčného zosúladenia oboch koronografov observatória.

- **príprava nového programového vybavenia pre spracovanie a analýzu dát, pozorovaní, práce spojené s budovaním databázy a archívu dát :** vyvinuté bolo rozšírenie metódy priestorovo-frekvenčnej separácie signálu za pomoci vlnkovej transformácie; bola vyvinutá metóda a softvér pre výpočet spektrálnych charakteristík čiary H alfa z intenzitných filtergramov získaných pomocou Lyotovho filtra, bola vyvinutá metóda a softvér pre výpočet dynamických parametrov jasných bodov v G-

páse a ich následnú analýzu pre fyzikálnu interpretáciu; bol zdokonalený počítačový program na prenos žiarenie v jemnej štruktúre protuberancií tak, že je možné do neho zadávať vlákna rôznych teplôt.

- **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 celkovo štyroch behov troch jednotlivých koordinovaných kampaní.

- **spracovanie dát pozorovaní:** bola spracovaná séria H alfa filtergramov získaných pomocou Holandského otvoreného ďalekohľadu DOT a prevedená na spektrálne charakteristiky čiary H alfa, bola spracované simultánne snímky v G-páse a H alfa, získané Holandským otvoreným ďalekohľadom DOT, a boli nájdené oblasti vhodné pre následné štúdium prejavov prenosu energie/hmoty vo fotosfére a v chromosfére; analyzované boli spektroskopické merania erupcie zo dňa 16.2.2011 uskutočnené prístrojom Hinode/EIS. Študovali sme vlastnosti spektrálnych charakteristík slnečného tornáda pozorovaného prístrojom Hinode/EIS 14.9.2013; boli spracovávané pozorovania Lymanových čiar vodíka zo spektrografu SUMER na družici SoHO za účelom modelovania jemnej štruktúry protuberancií; boli spracovávané dáta z rentgénovského ďalekohľadu XRT na družici Hinode a prístroja AIA na družici SDO pozorujúceho v EUV oblasti spektra pre spektroskopické určovanie hmôt protuberancií.

- **analýza a interpretácia získaných dát za pomoci predpovedí numerických simulácií a modelovania prenosu žiarenia:** bola vypracovaná metóda na nepriame testovanie pásma priepustnosti Lyotovho filtra, ktorého presné poznanie je dôležité pre porovnanie pozorovaní s výsledkami numerických simulácií, boli analyzované rozdelenia viacerých parametrov popisujúcich dynamiku jasných bodov v G-páse s cieľom odhaliť fyzikálne príčiny pozorovaného správania; bola zistená prekvapivo silná odozva chromosférických vrstiev slnečnej atmosféry na vynáranie sa magnetickej slučky vo fotosfére s výraznými kvázi-periodickým zjasneniami; študovali sme vývoj spektrálnych charakteristík plazmy tvoriacej tzv. slnečné tornádo, a preukázali sme, že charakter dopplerovských rýchlostí jasne poukazuje na rotáciu celej študovanej štruktúry; porovnávali sme štatisticky charakteristiky (integrálna intenzita, asymetria, hĺbka centrálnej absorpcie) profilov Lymanových čiar vodíka so syntetickými vypočítanými pomocou NLTE modelov jemnej štruktúry protuberancií.

- **Práce na príprave nadväzujúcich projektov a spoluprác:** práca na projekte APVV bilaterálnej spolupráce, na projekte COST a projekte 7.RP EÚ, úspešná aplikácia o projekt DAAD-SAV, schválenie a realizácia medzinárodnej spolupráce jednotlivých koordinovaných kampaní, účasť v aplikácii WAMIS pre financovanie NASA - cieľ bol dosiahnutý 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 2013 sú uvedené v spomínanej prílohe. Kvantitatívne nebolo úplne plnenie výstupu projektu vo forme vedeckých publikácií (2 publikácie z 3 plánovaných, resp. 1 publikácia z 2 plánovaných), no počet ďalších prác zaslaných do časopisov ešte v roku 2013, a momentálne sa nachádzajúcich v recenznom

pokračovaní je 4). Kvantitatívne bolo plnenie všetkých ostatných 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 12/2014

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

Príprava nového programového vybavenia pre spracovanie a analýzu dát pozorovaní: začiatok 07/2012 – koniec 12/2014

Pre redukciu a analýzu meraní prístroja CoMP-S bude pripravená prvá plná verzia softvéru vrátane zodpovedajúceho manuálu. Pre našu prácu bude vytvorený program pre rýchlu vizualizáciu profilov a meraných spektrálnych charakteristík čiary H alfa z intenzitných filtergramov získaných pomocou Holandského otvoreného ďalekohľadu DOT. Budú vytvorené programy na vizualizáciu a analýzu časového vývoja vybranej štruktúry na snímkach v H alfa a v G-páse za účelom interpretácie možných pozorovaných súvislostí medzi dynamikou jasných bodov v G-páse a krátkožijúcimi štruktúrami pozorovanými v H alfe (bright mottles); bude pripravené zdokonalenie modelu jemnej štruktúry protuberancie tak, aby bolo možné zadávať vlákna nielen rôznej teploty, ale aj rôznej hustoty.

Príprava koordinovaných pozorovacích kampaní prístrojov na Observatóriu Lomnický Štít s ďalšími pozemskými ďalekohľadmi a prístrojmi umiestnenými na družiciach a satelitoch: začiatok 07/2012 – koniec 10/2014

V roku 2014 pre vedecké zamerania projektu C/ a B/ pripravíme koordinované kampane so zapojením prístrojov XRT/Hinode (NASA/JAXA), EIS/Hinode (NASA/JAXA), IRIS (NASA/Lockheed), multikamerových spektrografov AsÚ AV ČR v Ondřejove (ČR) a prístroja COMP-S Observatória Lomnický štít AsÚ SAV ako i so zapojením dát patrolných prístrojov SDO (NASA/Lockheed) a STEREO (NASA).

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 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 a 2013.

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, 27. 01. 2014	V Tatranskej Lomnici, 27. 01. 2014
.....	.....
podpis zodpovedného riešiteľa	podpis štatutárneho zástupcu príjemcu