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

Formulár ZS1

Záverečná správa o riešení projektu

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 za posledný rok/obdobie u príjemcu, ako aj spolupríjemcov podpory APVV vzhľadom na harmonogram riešenia projektu**
2. **Rozbor výsledkov za celé obdobie riešenia vzhľadom na stanovené ciele**
3. **Zoznam výstupov a prínosov projektu za posledný rok/obdobie** – uveďte v prílohe – formulár Výstupy a prínosy projektu za rok/obdobie (priložte kópie deklarovaných výstupov)

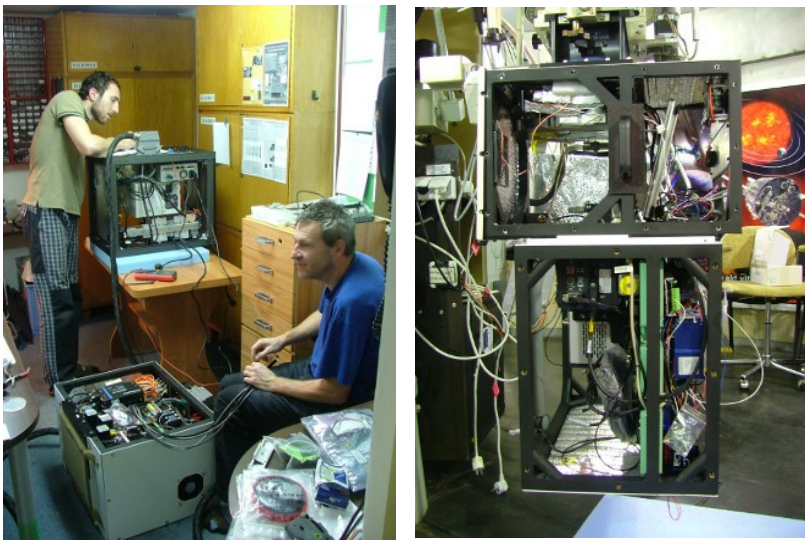
↓↓

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

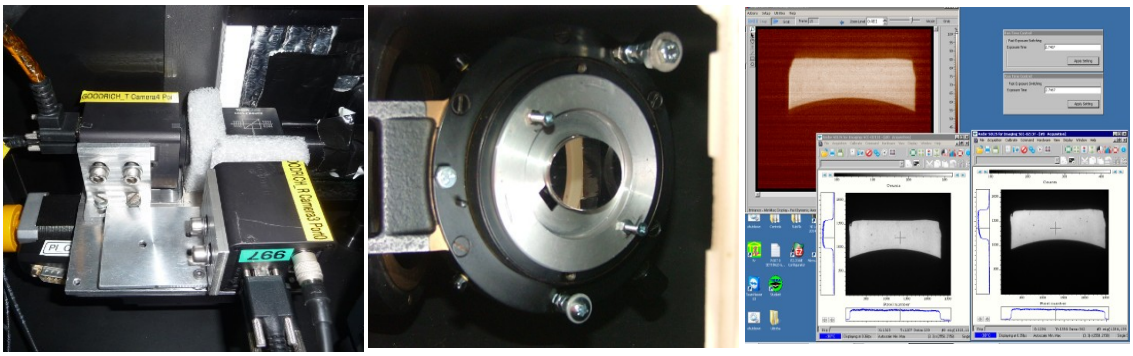
Postup realizácie a naplnenia stanovených vedeckých cieľov uvádzame podľa členenia uvedeného v tabuľke schematického časového plánu v časti 3.3 vecného zámeru projektu.

Vylepšenia, vývoj a rozšírenia možností pozorovacích prístrojov na Observatóriu Lomnický Štít (LSO):

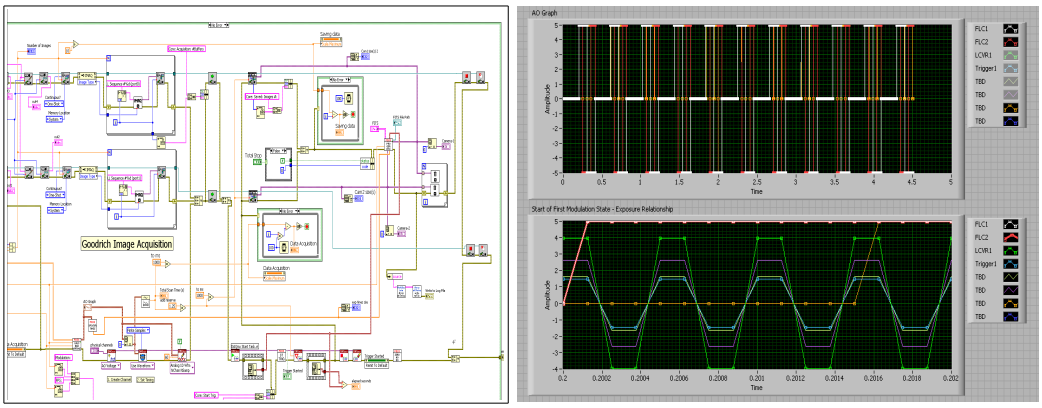
- **Koronálny multi-polarimeter CoMP-S:** prístrojom sa v roku 2015 nevykonávali pozorovania ale prebiehala **druhá etapa prípravy prístroja.** V tejto etape bol pre rozšírenie možností pozorovaní inštalovaný nový kamerový modul prístroja navrhnutý v spolupráci a vyrobený pracovníkmi HAO/NCAR (USA). Modul obsahuje nielen detektory citlivé v infračervenom pásme spektra (0.9-1.5 µm) ale aj nové detektory pre vizuálnu oblasť spektra (0.5-0.9 µm) vrátane novej mechanickej konštrukcie modulu a novej optiky. Riešitelia projektu vykonali samostatne inštaláciu nového kamerového modulu (mechanika, optika, kamery, počítače, káblovanie) a zosúladenie modulu s koronografom a filtrovým modulom prístroja CoMP-S (obr. 1). Ďalej pokračovali overovacími testami mechaniky modulu, justovaním optiky modulu, testami chladenia a ohrevu modulu ako i testami elektroniky modulu. Na základe výsledkov týchto testov boli riešiteľmi projektu vykonané nevyhnutné úpravy mechaniky, optiky, izolácie i ohrevu modulu. V auguste 2015 sa podarilo dosiahnuť uspokojivé zjustovanie modulu, ale len pre limitované zorné pole (obr. 2). Od septembra 2015 pokračujú práce na realizácii úprav modulu pre optimálne využitie plného zorného poľa detektorov s dostatočnou kvalitou obrazu. Paralelne riešitelia projektu pracovali na zabezpečení ovládania nových infračervených detektorov v súčinnosti s ovládaním Lyotovho filtra s polarimetrom prístroja CoMP-S v prostredí LabVIEW a na testovaní týchto detektorov (obr. 3).



Obr. 1. Dokumentácia inštalácie nového kamerového modulu prístroja CoMP-S na Observatóriu Lomnický štít: testy el. zapojení medzi modulmi prístroja (vľavo) a spojené mechanické konštrukcie filtrového a kamerového modulu (bez vonkajších stien) upevnené na koronografe (vpravo).

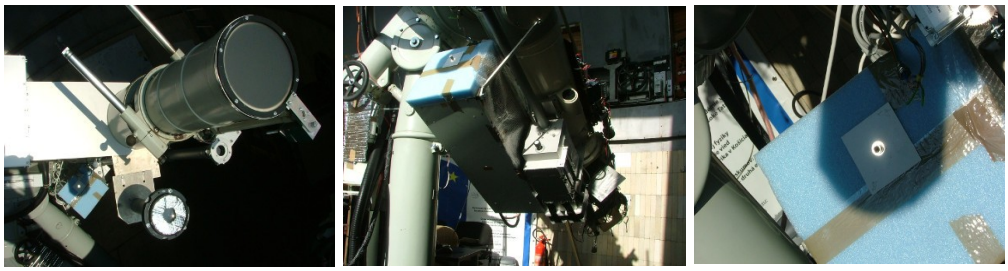


Obr. 2. Dokumentácia úprav nového kamerového modulu prístroja CoMP-S na Observatóriu Lomnický štít: upravené uchytenie infračervených kamier (vľavo), mechanická clona zorného poľa prístroja CoMP-S v primárnom ohnisku koronografu (v strede), limitované zorné pole na vizuálnych a infračervených detektoroch (vpravo).



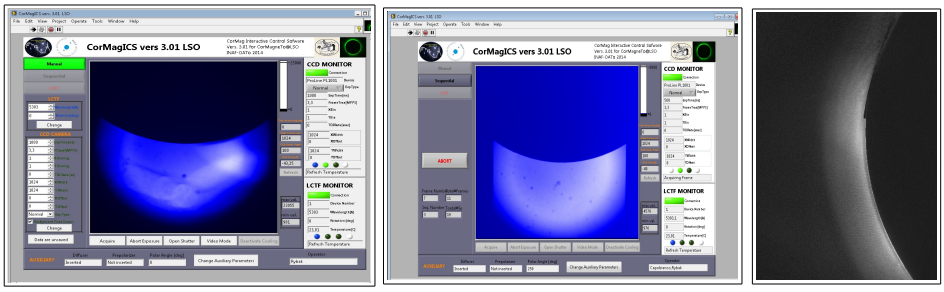
Obr. 3. Dokumentácia vývoja softvéru pre ovládanie infračervených kamier a Lyotovho filtra s polarimetrom prístroja CoMP-S: globálny vývojový diagram časti kódu pre ovládanie kamier (vľavo) a graf generovaných signálov pre súčinné ovládanie 4 stupňov Lyotovho filtra, 2 FLC polarizátorov, snímkovania infračervenými detektormi prístroja CoMP-S a ukladaním získaných dát (vpravo).

- **príprava nového prístroja Solar Chromospheric Detector (SCD):** v spolupráci s pracovníkmi HAO/NCAR (USA) pokračovali práce na výrobe, dodávke (apríl 2015) a testoch inštalácie **nového prístroja SCD** pre LSO. Riešitelia projektu pripravili a úspešne testovali alternatívne napájanie prístroja achromatickým objektívom ZEISS 150/2250. Toto nové riešenie umožňuje efektívnejšie pozorovania celého slnečného disku súčasne namiesto pôvodného zorného poľa, ktoré bolo limitované len na časť slnečného disku (obr. 4). Finálna inštalácia prístroja v kupole LSO však bola pozastavená kvôli podozreniu z možného preťaženia montáže. Od jesene 2015 sú preto zabezpečované potrebné technické podklady a odborná expertíza montáže koronografov v kupole LSO. Testovacia prevádzka prístroja SCD sa preto predpokladá až v roku 2016.



Obr. 4. Dokumentácia testov inštalácie prístroja SCD v kupole Observatória Lomnický štít: zaclonený objektív ZEISS 150/2250 vedľa tubusu ľavého koronografu (vľavo), krabica prístroja SCD uchytená o ľavý koronograf (v strede), obraz slnečného disku na prednej stene krabice prístroja SCD (vpravo).

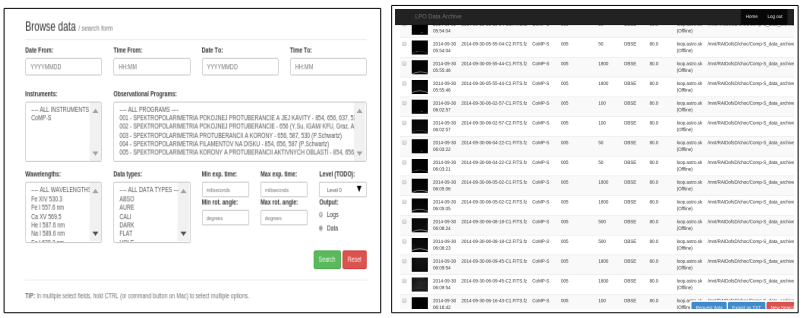
- **príprava nového prístroja Coronal Magnetometer (CorMag) pre LSO:** v spolupráci s tímom pracovníkov INAF/Torino (Taliansko), vedeným prof. S. Fineschim, pokračovali v roku 2015 práce na testoch a úpravách prístroja CorMag pre spektropolarimetrické merania zelenej koronálnej emisnej čiary (Fe XIV 530.3 nm) na ľavom koronografe LSO. S podporou projektu COST Action MP1104 „Polarization as a tool to study the solar system and beyond“ boli riešené viaceré technické detaily súvisiace s optikou, záznamom dát a ovládaním meraní. Hlavným problémom, ktorému sa riešitelia projektu venovali, bol opakovaný výtok oleja z Lyotovho filtra vyrobeného firmou Barr, Inc. (USA) (obr. 5), v septembri spojený i so vznikom vzduchových bublín vo filtri. INAF/Torino (Taliansko) zabezpečí opravu filtra počas zimy 2015/2016. Napriek tomuto prístroj vykonal pozorovania, ktorých spracovaniu sa budeme ďalej venovať.



- **Obr. 5.** Dokumentácia úprav prístroja CorMag na ľavom koronografe v kupole LSO : zorné pole prístroja s reflexami (vľavo), zorné pole po vyčistení filtra od vytečeného oleja – august 2015 (v strede), príklad obrazu slnečnej koróny v zelenej emisnej spektrálnej čiare po fotometrickej redukcii meraní (vpravo).

- **účasť na návrhu prístroja WAMIS („Waves and Magnetism in the Solar Atmosphere“):** riešitelia projektu pracovali na zisťovaní fotometrických vlastností detektora vybraného pre projekt WAMIS – kamery Goodrich GA1280J. Technickými skúsenosťami z práce s týmto detektorom a poznatkami o Lyotovom filtri s polarimetrom prístroja CoMP-S riešitelia projektu prispeli k príprave nového návrhu na financovanie projektu WAMIS organizáciou NASA. Projekt WAMIS bude zameraný na spektropolarimetriu 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).

- **príprava archívu pozorovaní LSO:** pre archiváciu dát získaných prístrojmi na LSO bola v priebehu roku 2015 vyvinutá databáza, ktorá umožňuje prehľadávanie zoznamu pozorovaní podľa viacerých vyhľadávacích kritérií podľa potreby užívateľa (napr. čas, typ pozorovania, prístroj, pozorovací program, vlnová dĺžka a pod.) (obr. 6). Z technických príčin (objem dát a ich aktuálne uloženie na serveroch na LSO) nateraz ešte nie je možný priamy prístup k dátam. O dáta je možné ale požiadať emailom správcu archívu. Databáza je dostupná na adrese *http://www.ofs.astro.sk/db/* doposiaľ len pre registrovaných užívateľov, keďže databáza je v testovacej prevádzke.



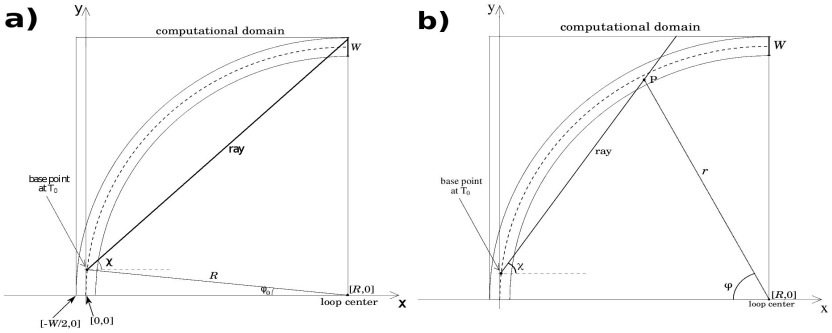
Obr. 6. Dokumentácia archívu pozorovaní LSO: základná stránka archívu pre výber pozorovaní (vľavo), príklad výpisu z archívu s náhľadmi snímok na ľavej strane výpisu pozorovaní (vpravo).

Príprava nového programového vybavenia pre spracovanie a analýzu dát pozorovaní:

Pre frekvenčnú a časovo-priestorovú analýzu časových sérií 2D obrázkov slnečnej atmosféry počas slnečných erupcií boli vyvinuté dodatočné programy v jazyku IDL. Programy umožňujú analýzu dát za pomoci vlnkovej transformácie. Programy boli využité pre riešenie úloh projektu s využitím dát z meraní prístroja AIA družice SDO (NASA) a neskôr budú užitočné pre analýzu dát z prístroja CoMP-S.

V súvislosti s multispektrálnou analýzou minifilamentu pozorovaného 11.9.2014 ďalekohľadom VTT bola vypracovaná a aplikovaná metodika priestorového zosúladenia pozorovaní získaných úzkopásmovým laditeľným spektrálnym snímkovačom TESOS a spektropolarimetrom TIP na spektrografe VTT. Metodika využíva snímky fotosféry v bielom svetle získané prístrojom HMI družice SDO. Naším autorským vkladom je vytvorenie softvérovej nadstavby spájajúcej dielčie procedúry prostredi SSW do funkčného celku.

V spolupráci s prof. P. Heinzelom (AsÚ AV ČR) a doc. M. Varadym (Pf UJEP) bol vytvorený numerický kód na ožiarenie daného bodu na magnetickej slučke z jej ostatných častí. Kód využíva na výpočet poľa žiarenia 2.5D geometriu a slučku aproximuje polkruhom. Na výpočet intenzít spektrálnych čiar a kontinua v rozmedzí vlnových dĺžok 1 až 1000 Å boli použité atomárne dáta z databázy CHIANTI. Kód bol vytvorený ako súčasť komplexného kódu na prenos žiarenia v erupčných slučkách, kde bude spojovacím článkom medzi radiačno-magneto-hydrodynamickým kódom, ktorého výstupom sú teplota, hustota a stupeň ionizácie pozdĺž slučky a samotným riešením prenosu žiarenia, kde pre výpočet zdrojovej funkcie je nutné poznať pole žiarenia v každom bode opticky hrubej časti slučky. Geometria použitá v kóde je zobrazená v schémach na obr. 7.



Obr. 7: Na obrázkoch a) a b) sú zobrazené schémy vysvetľujúce geometriu ožiarenia slučky aproximovanej polkruhom, pričom pre celkové pole žiarenia má zmysel ožiarenie len z štvrťkruhu. Slučka má polomer *R* a hrúbku *W*. Tzv. „base point“ sa nachádza na prostrednej kružnici slučky v mieste, kde je teplota $T_0 = 10^5$ K. Vo výškach pod „base point“ sa rieši prenos žiarenia a ožiarenie sa počíta len z výšok nad ním, pričom pole žiarenia je integrálom cez lúče (ray) pre uhly χ od 0 po 2π.

V spolupráci s Dr. H. Balthasarom a Dr. C. Kuckeinom (Leibniz Institut für Astrophysik, Potsdam) bol vytvorený balík programov na prípravu sektropolarimetrických dát infračerveného tripletu hélia získaných na prístrojoch TIP 1 (Tenerife Infrared Spectropolarimeter) a GRIS (Gregor Infrared Polarimeter) na ďalekohľadoch VTT a GREGOR pre ich spektroskopickú inverziu pomocou kódu HAZEL. V balíku sú aj procedúry na výpočet pozície zorného lúča voči radiálnemu smeru polohy pozorovaného objektu na slnečnom disku, na zosúladenie s dátami z iných družicových či pozemských prístrojov a procedúry na zobrazenie a interpretáciu výsledkov inverzie.

Spolu s prof. P. Heinzelom (AsÚ AV ČR) a Dr. S. Gunárom (School of Mathematics and Statistics, University of St. Andrews) sme vytvorili počítačový kód pre non-LTE prenos žiarenia v dvojdimenzionálnej vertikálnej doske ožiarenej slnečnou chromosférou z jej spodnej hrany a bokov aproximujúcej systém tokových trubíc v aktívnych filamentoch. Tento model bol použitý na modelovanie hlbokých a širokých profilov Hα čiary pozorovaných v malom aktívnom filamente 11.9. 2014 prístrojom TESOS (Triple Etalon Solar Spectrometer) na ďalekohľade VTT.

Získavanie pozorovaní podľa vedeckých zameraní A/ - D/ na Observatóriu Lomnický Štít a prostredníctvom vlastných koordinovaných pozorovacích kampaní:

V roku 2015 boli riešiteľmi projektu vykonané pozorovania 2 koordinovaných pozorovacích kampaní:

- Pre vedecké zameranie projektu C/ bola znova vykonaná pozorovacia kampaň „Topology and physical parameters of the magnetic fields in solar filaments“ prístroja GREGOR (Observatorio del Teide, Tenerife, Španielsko) a mnohokamerových spektrografov (AsÚ AV ČR, Ondřejov), ktorá prebehla 18. - 26. 5. 2015. Kampaň bola podporená aj projektom 7RP EÚ SOLARNET - High-Resolution Solar Physics Network. Hlavným cieľom pozorovaní bolo získanie observačného materiálu s najvyšším možným priestorovým rozlíšením, ktorý je vhodný na výskum fyzikálnych vlastností slnečných filamentov. Spektropolarimetrické pozorovania boli získavané prístrojom GRIS v infračervenej oblasti spektra, ktoré zahŕňali chromosférický triplet He I s vlnovou dĺžkou 1083 nm súčasne so záznamom filtergramov v oblasti čiary Ca II H a v oblasti modrého kontinua. Počas pozorovaní bola využívaná podpora systému adaptívnej optiky, ktorý výrazným spôsobom prispieval k zvýšeniu kvality získaných

dát. Celkovo bol získaný pozorovací materiál počas šiestich dní (tri dni s výbornými pozorovacími podmienkami a tri dni s priemernými podmienkami).

- pre vedecké zameranie projektu B/ boli znova vykonané pozorovania koordinovanej kampane s názvom **„Spectroscopic study of "magnetic tornadoes" (**HOP 237) pomocou prístrojov: EIS na družici Hinode a ďalekohľadov Observatória KSO v čase 5.-24. 11. 2015. Informácie o kampani sú uvedené na web stránke kampane: *http://www.isas.jaxa.jp/home/solar/hinode_op/hop.php?hop=0237*. Pozorovací program HOP 237 bol navyše počas viacerých dní podporovaný pozorovaniami družice IRIS. Bolo získaných viacero pozorovaní tzv. slnečných magnetických tornád. Analýza týchto novozískaných pozorovaní bude použitá na potvrdenie dôkazov a tvrdení o skutočnom rotačnom pohybe, ktoré sme ako prví publikovali v roku 2014 (Su a kol., 2014).

Spracovanie dát pozorovacích kampaní: redukcia dát a ich zosúladenie:

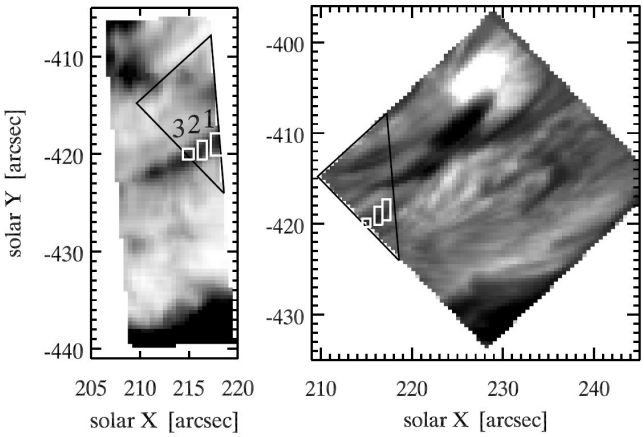
V priebehu roku 2015 prebiehalo spracovanie pozorovaní z viacerých prístrojov, ktoré boli predbežne vybrané pre analýzu. Práce na spracovaní dát, vykonanom v roku 2015, ilustrujeme nasledovnými príkladmi.

Berúc do úvahy skúseností z predchádzajúcej analýzy boli znovu spracované spektropolarimetrické pozorovania protuberancie v spektrálnej čiare He I 587,6 nm (D3) získané ďalekohľadom THEMIS 2.8. 2014 s cieľom zvýšiť odstup užitočného signálu od šumu. Novospracované dáta boli reinterpretované cestou PCA inverzie s dôrazom na stanovenie neurčitosti finálnych výsledkov. S cieľom študovať vlastnosti vybranej protuberancie v širšom kontexte bolo vykonané priestorové zosúladnie THEMIS pozorovaní protuberancie s jej simultánnymi pozorovaniami získanými prístrojom AIA družice SDO a prístrojom helioseizmologickej siete GONG.

Bola vykonaná prvotná analýza súboru redukovaných dát (G-pás, Ca II H a spektropolarimetrické dáta) získaných prístrojom SOT na družici HINODE dňa 2.6. 2007. Prvotná analýza bola zameraná najmä na možnosti štúdia vzájomných vzťahov dynamiky jasných bodov v G-páse a prejavov magnetického poľa odvodených prostredníctvom inverzie spektopolarimetrických dát pomocou kódu Merlin. Následne bola získaná štatistika počtov identifikovaných jasných bodov v G-páse na jednotlivých snímkach v G-páse.

Bola vykonaná redukcia a prvotná analýza dát získaných 24. mája 2015 počas koordinovanej pozorovacej kampane na ďalekohľade GREGOR. Analyzované boli EUV a UV pozorovania Slnka získané prístrojom AIA na družici SDO ako aj odpovedajúce filtergramy získané prístrojom HMI. Navyše bola uskutočnená redukcia spektro-polarimetrických dát, ktoré boli namerané pomocou prístroja GRIS na ďalekohľade GREGOR. V spolupráci s kolegami z AIP (Nemecko) bola vykonaná inverzia pozorovaní v dvoch fotosférických čiarach za účelom získať parametre fotosférického magnetického poľa (obr. 12).

Spektropolarimetrické pozorovania malého filamentu na okraji aktívnej oblasti NOAA 12159 v blízkosti stredu slnečného disku, tzv. minifilamentu, získané 11.9.2014 v čase 9:28 až 10:04 UT na ďalekohľade VTT (Tenerife) v Stokesových profiloch infračerveného tripletu hélia (10830 Å) pomocou polarimetra TIP 1 a Echelle spektrografu ďalekohľadu a simultánne spektroskopické 2D spektrogramy Hα čiary pomocou Fabryho-Pérotovho interferometra TESOS boli spracované a zosúladené (obr.8) pomocou metodiky využívajúcej snímky fotosféry v bielom svetle prístroja HMI kozmického slnečného observatória SDO (Schwartz a kol., 2015c).

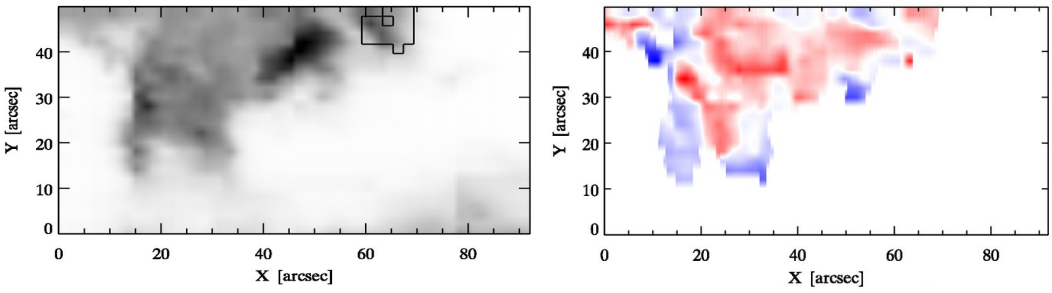


Obr. 8: Ľavý panel: Mapa centrálnych intenzít červenej komponenty infračerveného tripletu hélia pozorovaného prístrojom TIP 1. Pravý panel: Mapa centrálnych intenzít spektrálnej čiary Hα pozorovanej prístrojom TESOS. Čierny trojholník na obidvoch paneloch ohraničuje oblasť prekryvu pozorovaní obidvoch prístrojov. Analyzovaný malý filament je dobre viditeľný ako tmavá štruktúra medzi Y pozíciami -423" a -418".

Pre podrobnú analýzu javu „drifting pulsation structures" (DPS) v slnečných erupciách bolo vybraných 20 erupcií za obdobie 15 rokov, ktoré boli pozorované Ondřejovským rádiospektrografom (ČR, 1-5 GHz) a pomocou Huairou/NAOC rádiového spektropolarimetru (Čína, 1-4 GHz). DPS javy sú považované za možné prejavy zväzkov energetických elektrónov zachytených v tzv. plazmoidoch pohybujúcich se v slnečnej atmosfére. Snímky týchto erupcií, získané v UV a röntgenovej oblasti spektra z rôznych prístrojov na družiciach (EIT/SoHO, SXT/YOHKOH, TRACE, RHESSI), boli vyhľadané, spracované a zosúladené do časových radov kalibrovaných snímok. Materiál bude použitý pre komplexnú analýzu týchto javov.

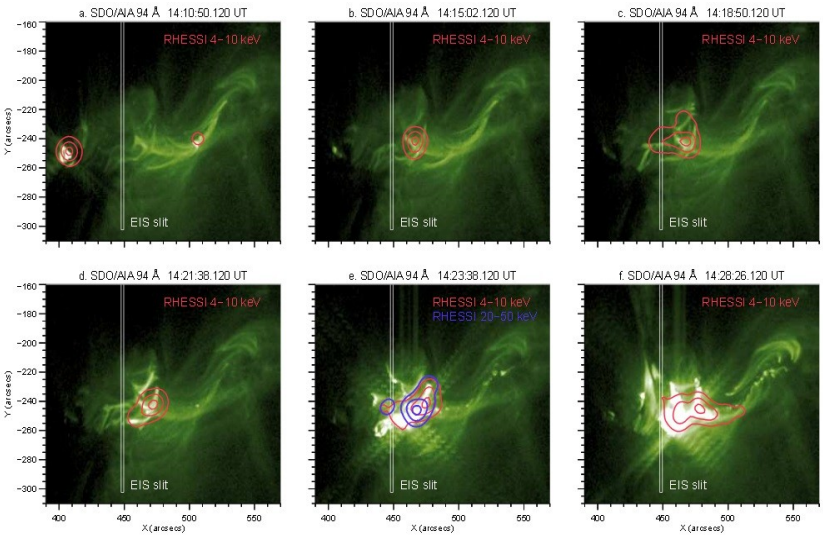
Analýza a interpretácia získaných dát pozorovaní za pomoci observačných predpovedí numerických simulácií a modelovania prenosu žiarenia a konfigurácií magnetického poľa, príprava publikácií:

Novospracované THEMIS spektropolarimetrické pozorovania protuberancie z 2.8. 2014 v čiare He I 587,6 nm (D3) boli interpretované PCA inverzným kódom s cieľom odvodiť konfiguráciu magnetického poľa protuberancie. Výsledky inverzie Stokesovych parametrov boli kriticky zhodnotené vzhľadom na spoľahlivosť inverzného procesu a neurčitosť výsledných parametrov magnetického poľa. Zhodnotenie ukázalo, že štruktúra magnetického poľa bola určená s prijateľnou neurčitosťou iba v hornej okrajovej časti protuberancie s rozmermi približne 10“ x 10“ (obr. 9, vľavo), v ktorej bola zistená indukcia magnetického poľa 14±0,4 Gauss skloneného voči lokálnej vertikále o 91±8 stupňov. Ďalšia analýza Stokes I parametra čiary D3 a dvojkomponentné gaussovské fitovanie jej zložiek ukázali že: väčšina dopplerovských rýchlostí plazmy v smere zorného lúča je v rozsahu ±5 km/s (Obr. 9 vpravo) a priemerná hodnota pomeru centrálnych intenzít modrej a červenej zložky čiary je 5,4±1,9. Priestorové zosúladenie THEMIS a AIA/SDO pozorovaní protuberancie v čiarach D3 a He II 30,4 nm ukázalo významnú rozdielnosť veľkosti a morfológie protuberancie v týchto čiarach. Centrálna oblasť protuberancie emitujúca čiaru D3 má zníženú emisivitu v čiare He II 30,4 nm a naopak, v jasnej okrajovej oblasti protuberancie so zvýšenou He II 30,4 nm emisiou absentuje D3 emisia. To naznačuje prítomnosť horúcej plazmy s nízkym tlakom v okrajovej časti študovanej protuberancie, čo dobre zodpovedá predstave prechodovej vrstvy protuberancia-koróna. Z výsledkov dvojkomponentného fitovania D3 čiary sme vytvorili korelačné závislosti šírky, dopplerovskej rýchlosti a maximálnej intenzity jej modrej zložky. Všetky spomenuté výsledky budú zosumarizované v pripravovanej publikácii, ktorá bude zaslaná na publikovanie v roku 2016.



Obr. 9. Intenzitná mapa protuberancie v maxime intenzity spektrálnej čiary He I 587,6 nm (D3) pozorovanej na východnom okraji Slnka v pozičnom uhle 117 stupňov (vľavo) spektrografom MTR ďalekohľadu THEMIS 2. 8. 2014 v čase od 15:00 UT do 17:00 UT. Okraj Slnka je v dolnej časti mimo plochy obrázku. Mnohouholník v hornej časti označuje miesto s nameranou indukciou magnetického poľa 14±0,4 Gauss skloneného voči lokálnej vertikále o 91±8 stupňov. Mapa dopplerovskej rýchlosti (-13 - +6 km/s) protuberančnej plazmy v smere zorného lúča (vpravo). V miestach so zápornou rýchlosťou vyznačených modrou sa plazma pohybuje k pozorovateľovi a v miestach s kladnou rýchlosťou označených červenou sa plazma pohybuje preč od pozorovateľa.

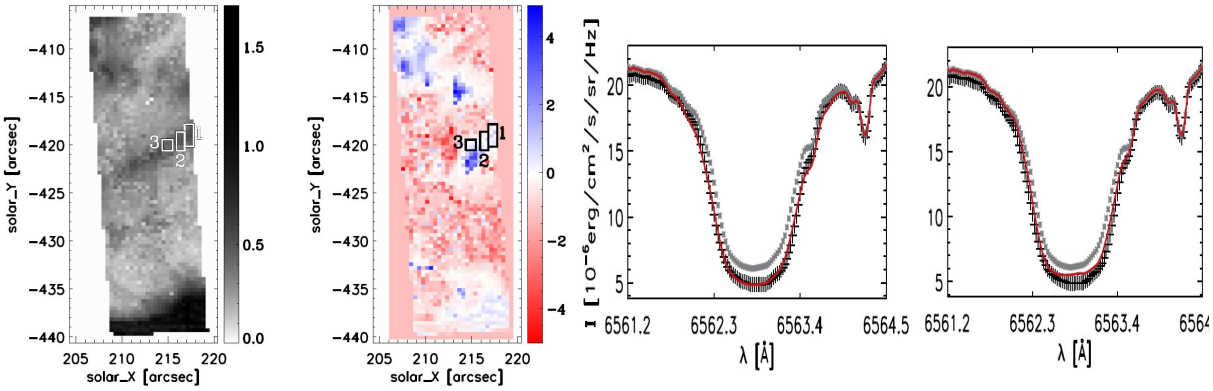
Pokračovali sme v analýze vlastností slnečnej erupcie zo dňa 16.2. 2011, ktorá bola spúšťacím mechanizmom EIT vlny. Spektroskopické pozorovania získané v EUV oblasti spektrometrom EIS na družici Hinode v kombinácii so spektrami a obrázkami získanými v röntgenovej oblasti družicou RHESSI preukázali, že odozva slnečnej atmosféry je počas erupcie oveľa komplexnejšia než predpovedajú používané 1D hydrodynamické modely. Získali sme jednoznačné dôkazy o existencii tzv. explozívneho chromosférického vyparovania aj pri energetických tokoch nižších ako stanovujú zaužívané teoretické modely (obr. 10). Naše zistenia sú v súlade s najnovšími výsledkami teoretických prác.



Obr. 10: Obrázky získané prístrojom AIA na družici SDO dokumentujúce časový vývoj erupcie. Kontúrami sú znázornené dáta získané družicou RHESSI, ktoré zodpovedajú mäkkému (červené kontúry) a tvrdému (modré kontúry) röntgenovému žiareniu. Poloha časti štrbiny spektrografu EIS je znázornená bielym obdĺžnikom. Uvedená séria obrázkov dokumentuje, že pozorovania zachytili emisie z najenergetickejších oblastí erupcie.

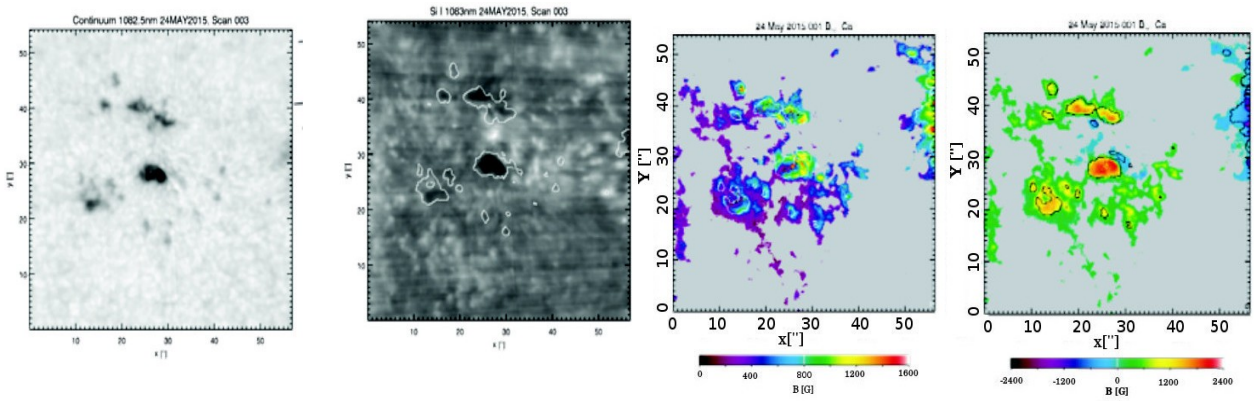
Spektropolarimetrické a spektroskopické pozorovania malého filamentu na okraji aktívnej oblasti NOAA 12159 v blízkosti stredu slnečného disku, tzv. minifilamentu, získané 11.9.2014 boli modelované pomocou NLTE modelov. Kvôli nízkemu pomeru signálu k šumu v profiloch lineárnej polarizácie (Q, U) nebolo možné spoľahlivo určiť

sklon a azimut vektora magnetického poľa. Bolo teda možné urobiť aspoň inverziu intenzitných profilov, z ktorej sme zistili, že optická hrúbka v centre červenej komponenty tripletu hélia sa v minifilamente pohybuje okolo hodnoty 0,5 a rýchlosti v smere zorného lúča sú blízke nule. Veľmi hlboké a široké profily Hα pozorované v minifilamente (obr. 11) boli modelované pomocou non-LTE prenosu žiarenia v izobarickej a izotermickej vertikálne veľmi rozsiahlej (až 60 000 km) 2D doske, cez ktorú prechádzajú tokové trubice, v ktorých prúdi plazma s teplotou 9000 K, tlakom 0,12 dyn/cm^{-2} a hustotou rádovo 10^{-13} g/cm^3 rýchlosťami až 25 km/s, čo sú pri takýchto hustotách nadzvukové rýchlosti. Z toho, že plazma prúdi v tokových trubiciach pomerne veľkými rýchlosťami, ako to vyplýva z non-LTE modelovania spektrálnej čiary Hα, pričom priemet týchto rýchlostí do zorného lúča je blízky nule, ako to bolo zistené z inverzie intenzitných profilov héliového tripletu, je možné tvrdiť, že tokové trubice sú takmer horizontálne, teda rovnobežné so slnečným povrchom (Schwartz a kol., 2015c).



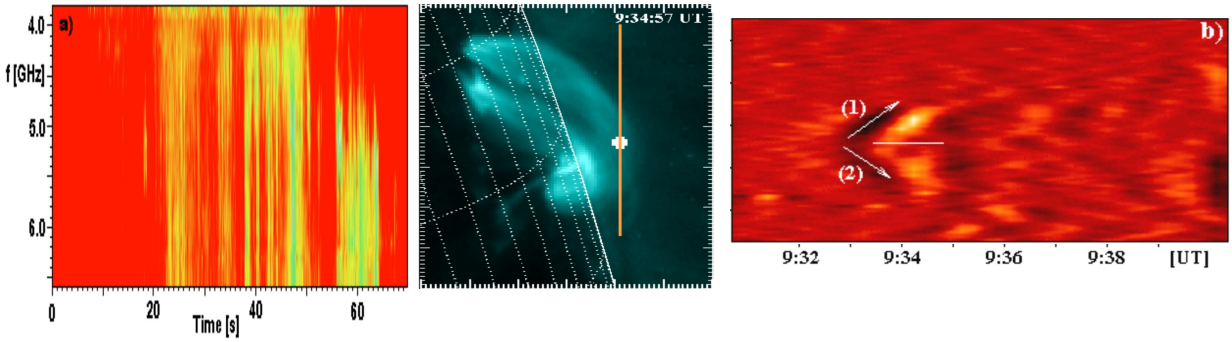
Obr. 11: Optická hrúbka v centre červenej komponenty infračerveného tripletu hélia (panel celkom vľavo) a rýchlosti v smere zorného lúča (panel druhý zľava) určené z inverzie intenzitných profilov infračerveného tripletu hélia pomocou kódu HAZEL. Ukážky porovnania syntetického (červená plná čiara) a pozorovaného (čierne znaky '+') profilu spektrálnej čiary Hα z oblasti 1 tmavej štruktúry filamentu. Syntetický profil bol vypočítaný pomocou tzv. jednoduchého cloud-modelu so zdrojovou funkciou nezávislou na vlnovej dĺžke (panel druhý sprava) a pomocou sofistikovaného 2D izobarického a izotermického modelu použitím detailného non-LTE prenosu žiarenia (panel celkom vpravo). Priemerný profil z oblasti bez aktivity je vykreslený pomocou sivých hviezdičiek.

V spolupráci s H. Balthasarom a C. Kuckeinom (Leibniz Institut für Astrophysik, Potsdam) boli analyzované spektropolarimetrické pozorovania filamentu v bipolárnej aktívnej oblasti NOAA 12353 uskutočnené 24.5. 2015 prístrojom GRIS (GRegor Infrared Spectropolarimeter) na ďalekohľade GREGOR v Stokesových profiloch dvoch fotosférických spektrálnych čiar Si I 10827 a Ca I 10839 Å a chromosférického hélioveho tripletu s vlnovými dĺžkami okolo 10830 Å. Polarimetrické dáta fotosférických spektrálnych čiar boli analyzované pomocou inverzného LTE kódu SIR a bolo zistené, že v miestach škvŕn dosahuje intenzita magnetického poľa hodnoty až do 2000 Gauss, pričom podľa očakávania je v umbre pole striktne vertikálne a prechádza ku okraju penumbry na viac sklonené (obr.12). V časti penumbry hlavnej škvrny susediacej s filamentom je červený Dopplerovský posun namiesto modrého, ktorý by odpovedal Evershedovmu efektu. Kvôli nízkemu pomeru signálu k šumu v Stokesových profiloch tripletu hélia vo filamente bolo možné uskutočniť inverziu pomocou kódu HAZEL iba z profilov spriemerovaných zo štyroch malých oblastí v najtmavšom vlákne filamentu. Z inverzie boli určené intenzity magnetického poľa od 55 Gauss na okraji vlákna až po 219 Gauss v jeho centre. Filament sa nachádza vo výške 12000 až 15000 km nad slnečným povrchom (chromosférou) a plazma sa pohybuje v smere zorného lúča rýchlosťami blízkymi nule. Na rozdiel od toho boli určené rýchlosti v chromosfére vyššie než 20 km/s v oblasti medzi škvrnami a filamentom pomocou aproximácie intenzitného profilu tripletu hélia dvomi gausovými funkciami.



Obr. 12: Pozorovania aktívnej oblasti NOAA 12353 prístrojom GRIS na ďalekohľade GREGOR v kontinuu s vlnovou dĺžkou 10825 Å (panel celkom vľavo) a centre spektrálnej čiary Si I 1082.7 Å (panel druhý zľava). Biele kontúry na pozorovaniach v Si I čiare vyznačujú okraje penumbry škvŕn viditeľných v kontinuu. Horizontálna (panel druhý zprava) a vertikálna (panel celkom vpravo) zložka fotosférického magnetického poľa určená inverziou spektrálnej čiary Ca I 1083.9 Å.

V spolupráci so spoluautormi z Ruska a ČR sme analyzovali priebeh mimoriadneho spektra mikrovlnného žiarenia slnečnej erupcie GOES C2.4 z 10.8. 2011 pozorovaného rádiovými ďalekohľadmi RATAN-600, SSRT a BBMS (RF) spolu so snímkami prístrojov AIA a HMI družice SDO a prístroja SECCHI-EUVI sondy STEREO/A (obr. 13). Vďaka softvéru pre frekvenčnú a časovo-priestorovú analýzu, pripravenom v rámci projektu APVV, sme zistili, že mikrovlnné spektrum javu pozostáva zo širokopásmových subsekundových pulzácií (doba trvania 70 s, rozsah periód 0.07–1.49 s bez dominantnej periódy) vo frekvenčnej oblasti 4-7 GHz, bez polarizácie a bez frekvenčného posunu emisie. Takéto spektrum je podľa našich predošlých zistení prejavom šírenia sa rýchlych magnetoakustických vĺn tzv. „sausage“ módu v plazme koronálnych slučiek. Mikrovlnné žiarenie bolo emitované z expandujúcich koronálnych slučiek s výrazným zatočením a slučky boli viditeľné v emisiách vznikajúcich len pri teplotách okolo 10 miliónov Kelvinov. Oblasti tejto emisie sa pohybovali pozdĺž slučiek magnetického poľa od polohy mikrovlnej emisie opačnými smermi rýchlosťou 30–117 km/s. Vysvetlením komplexného pozorovacieho materiálu tejto erupcie je periodický režim urýchľovania elektrónov počas magnetickej rekonexie so spájaním plazmoidov pozdĺž prúdovej vrstvy.



Obr. 13. Originalne komplexné mikrovlnné spektrum s pulzáciami (vľavo), koronálne slučky aktívnej oblasti NOAA 11236 (9.4 nm, ~6.3 MK) s označením polohy zdroja mikrovlnného žiarenia (biela značka) a výberu dát pre priestorovú časovo-priestorovú analýzu (hnedá úsečka) (v strede), časovo-priestorový priebeh emisie v teplotnom režime ~6.3 MK (vpravo) s označením smeru šírenia zjasnení (biele šípky).

Práce na príprave nadväzujúcich projektov a spoluprác:

Riešitelia projektu APVV počas roka 2015 pripravili žiadosť o nadväzujúci projekt "Komplexný výskum dynamických a magnetických vlastností aktívnych javov v atmosfére Slnka (2/0004/16)" a zaslali ho do grantovej agentúry VEGA. Žiadosť agentúra schválila na roky 2016-2019 pričom žiadosť bola najvyššie hodnotenou žiadosťou o projekt v Komisii VEGA č. 2 pre vedy o Zemi a vesmíre, environmentálne vedy (98,36 bodov). Vedúcim projektu je Peter Gömöry.

Riešitelia projektu APVV počas roka 2015 pracovali i na príprave ďalších 4 žiadostí o nadväzujúce projekty typu bilaterálnej spolupráce na roky 2016-2017 (agentúra APVV: SK-AT - 2 žiadosti, SK-PT – 1 žiadosť, MAD SAV-AV ČR – 1 žiadosť). Schválené boli všetky štyri žiadosti.

Tím riešiteľov projektu APVV sa podieľal i na príprave novej žiadosti o financovanie projektu WAMIS v programe NASA H-TIDeS LCAS program. Projekt WAMIS je zameraný na spektropolarimetriu emisnej koróny Slnka zo stratosférického balónového experimentu NASA (PI: J. Yuan-Kuen Ko, Naval Research Laboratory, Washington, USA; Co-I: J. Rybák, AsÚ SAV). Návrh pripravilo celkovo 7 vedecko-výskumných organizácií z Európy a USA (NRA NNH15ZDA001N-HTIDS). Jeho žiadosť nebola schválena (over-subscription factor 9:1).

AsÚ sa zaradil medzi inštitúcie spolupodieľajúce sa na príprave aplikácie na projekt Horizon 2020 s názvom „Network for training EArly stage Researchers to the use of European Solar Telescopes“ (NEAREST). Zameranie súvisí s výskumom robeným v rámci projektu APVV-0816-11. Jedná sa o aplikáciu podanú 26 vedecko-výskumnými organizáciami z Európy. Koordinátorkou aplikácie je Dr. F. Zuccarello (Universita degli studi di Catania, Catania, Taliansko) a vedúcim časti projektu na AsÚ SAV je P. Gömöry. (Call: H2020-MSCA-ITN-2016, type of action: MSCA-ITN-ETN).

2. ROZBOR VÝSLEDKOV ZA CELÉ OBDOBIE RIEŠENIA VZHĽADOM NA STANOVENÉ CIELE

Rozbor výsledkov uvádzame podľa hlavných vedeckých tém projektu (str. 7-9 vecného zámeru projektu):

A) Dynamické procesy a ohrev slnečnej koróny

Práca v tomto výskumnom zameraní projektu bola sústredená na výskum maloškálových vlnení spôsobovaných v slnečnej atmosfére erupčnými javmi. Analýza takýchto vlnení umožňuje zistiť fyzikálne parametre slnečnej plazmy a na základe toho posudzovať možné scenáre jej ohrevu. V prvej časti projektu bolo vykonané rozsiahle numerické modelovanie vzniku a šírenia sa magnetoakustických vlnení v dvoch základných štruktúrach vonkajšej

slnečnej atmosféry – v hustotnej doske (modeli magnetickej slučky v slnečnej koróne) a v prúdovej vrstve (modeli konfigurácie magnetického poľa vedúcej k erupčnému javu) (Meszarosova a kol., 2013). Štúdium priestorového a časového vývoja impulzívne generovaných rýchlych a pomalých magnetoakustických vlnení bolo urobené pomocou 2D MHD modelov a pomocou analýzy ich výsledkov metódami frekvenčnej a priestorovej analýzy založenej na vlnkovej transformácii. Detaily základného tvaru výkonových spektier vlnkovej transformácie, tzv. „tadpole (žubrienka)“ umožňujú rozlíšiť základné vlastnosti vlnení a prostredia, v ktorom sa vlnenia šíria. Výsledky práce ukázali, že použité metódy vlnkovej analýzy sú aplikovateľné i na analýzu pozorovaní, kde nemáme k dizpozícii a priori informácie o stave fyzikálnych parametrov sledovaného javu.

Pre analýzu výsledkov numerických simulácií a pozorovaní sme počas riešenia projektu rozširovali vlastný softvér na frekvenčnú alebo priestorovú separáciu skúmaných signálov založený na vlnkovej transformácii. Bez takýchto prostriedkov by nebola možná adekvátna analýza periodických a kvázi-periodických efektov erupčných javov v slnečnej plazme. Softvér bol použitý napríklad v prácach Meszarosovej a kol. (2013, 2015).

V rámci projektu sme analyzovali rôzne erupčné javy na Slnku a ako vhodné pre náš výskum vlnení sme vybrali 3 erupcie, menovite: 1/ erupciu GOES X1.6, 10.9.2014, NOAA 12358; 2/ erupciu GOES M1.2, 18.8.2012, NOAA 11554; a 3/ erupciu GOES C2.4 10.8.2011, NOAA 11236. Pre tieto erupcie bol k dispozícii dostatočný pozorovací materiál v rádiovej oblasti (dynamické spektrogramy) i vo vizuálnej a UV oblasti (snímkovanie prístrojmi AIA a HMI družice SDO, prístrojmi SECHCI-EUVI družíc STEREO A a B). Dáta boli redukované a zosúladené berúc do úvahy všetky prístrojové efekty a sú pripravené pre budúcu analýzu vlnení.

Analýza a interpretácia priebehu mimoriadneho spektra mikrovlnného žiarenia zo slnečnej erupcie 3/ bola urobená v poslednom roku riešenia projektu (Meszarosova a kol., 2015). Vysvetlením komplexného pozorovacieho materiálu tejto erupcie je periodický režim urýchľovania elektrónov počas magnetickej rekonexie so spájaním plazmoidov pozdĺž prúdovej vrstvy s depolarizáciou mikrovlnného žiarenia vďaka turbulencii plazmy.

Práce na analýze ďalšieho pozorovacieho materiálu pripraveného v rámci riešenia projektu budú pokračovať v roku 2016. Jedná sa nielen o erupcie 1/ a 2/ spomínané vyššie, ale i rozsiahly materiál tzv. „drifting pulsation structures“ v pozorovaniach 20 slnečných erupcií.

V rámci projektu sme pracovali na posúdení pohybu jasných bodov v G-páse, pozorovaných ďalekohľadom DOT 19.10. 2005, na základe štúdia rôznych indikátorov dynamiky jasných bodov v G-pásme (Bodnárová a kol. 2014, 2015). Následne sme vykonali prvotnú analýzu súboru redukovaných dát (G-pás, Ca II H a spektropolarimetrické dáta) získaných prístrojom SOT na družici HINODE dňa 2.6. 2007 z hľadiska budúcej aplikácie metód vyvinutých na posudenie pohybu jasných bodov v G-páse a doplnenie poznatkov o dynamike výsledkami z oblasti štúdia magnetický polí. Počas trvania projektu sme sa zaoberali aj štúdiom možných prejavov šírenia sa vĺn naprieč slnečnou atmosférou a hľadaním súvislostí medzi dynamikou štruktúr magnetickej povahy vo fotosfére (jasné body v G-páse) a štruktúr pozorovaných v chromosfére nad nimi (bright mottles) (Bodnárová a kol., 2015).

B) Podstata veľkoškálových vlnení a súvis s erupciami a výronmi koronálnej hmoty

Pre získanie nových meraní vhodných na štúdium EIT vĺn a eruptívnych javov v slnečnej koróne sme v období 30.3.-12.4. 2013 uskutočnili novú pozorovaciu kampaň programu HOP 180. Po predbežnej analýze nameraných dát sa ale ukázalo, že žiadny zo získaných dátových súborov nezachytáva časový vývoj EIT vlnení (pozorovania sa vždy plánujú s dvojdenným predstihom). Z tohto dôvodu a kvôli snahe o maximalizovanie šance získať dáta vhodné na analýzu v rámci riešeného projektu sme v spolupráci so zahraničnými kolegami pripravili dva nové pozorovacie programy pre družicu Hinode, menovite programy HOP 237 a HOP 256. Opätovné spustenia jednotlivých programov boli následne uskutočnené v termínoch: 9.-16.9. 2013, 6.-18.10. 2013, 18.-20.5. 2014, 12.-20.7. 2014 a 5.-24. 11. 2015. Počas týchto pozorovacích kampaní bolo získaných viacero kvalitných dátových súborov vhodných na ďalšiu analýzu. Ako prioritné boli vybrané dáta zo dňa 14.9. 2013.

Tieto pozorovania poskytli prvé spektroskopické merania vlastností tzv. slnečného tornáda v extrémne ultrafialovej oblasti elektromagnetického spektra. Na základe získaných dát bolo možné určiť dôležité fyzikálne parametre 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. 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, čo nám umožnilo vytvoriť alternatívny model formovania sa týchto štruktúr v pokojnej atmosfére Slnka.

Paralelne s prípravami pozorovacích kampaní a spracovávaní nových dát 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). Získané výsledky boli interpretované v rámci štandardného modelu dvojvláknových slnečných erupcií. Na rozdiel od pôvodných očakávaní sme ale preukázali, že odozva slnečnej atmosféry je počas erupcie oveľa komplexnejšia ako predpovedajú používané 1D hydrodynamické modely.

C) 1D-3D NLTE modelovanie a dynamika slnečných protuberancií

V rámci projektu sme previedli viacero koordinovaných pozorovacích kampaní protuberancií a filamentov pozemskými prístrojmi a prístrojmi na satelitoch pre získanie kvalitných multispektrálnych dát, vhodných na ich modelovanie a spektroskopickú analýzu. Dáta družicových pozorovaní Slnka v EUV a röntgénovej oblasti spektra, úspešne získané prístrojmi SUMER (SoHO), AIA (SDO) a XRT (Hinode) spolu s pozorovaniami pozemských prístrojov, najmä VTT a GREGOR (Tenerife, Španielsko) a mnohokamerových spektrografov MFS a HSFA2 (AsÚ AV ČR), poskytli potrebný materiál pre analýzu fyzikálnych podmienok a procesov v týchto štruktúrach vonkajšej atmosféry Slnka.

Pre analýzu a interpretáciu dát pozorovaní boli vytvorené nové výpočtové programy (resp. rozšírenie starších programov) pre numerické modelovanie protuberancií tak, aby zahrňovali aj vplyv ich jemnej štruktúry, inklináciu zorného lúča k vektoru magnetického poľa, distribúciu hmoty určenú pomocou magnetohydroynamiky, a aby brali do úvahy i variabilné okrajové podmienky ožiarenia či ožiarenie daného bodu magnetickej slučky z jej ostatných častí. Príkladom takéhoto programu je počítačový kód pre non-LTE prenos žiarenia v dvojdimenzionálnej vertikálnej doske ožiarenej slnečnou chromosférou z jej spodnej časti a z bokov aproximujúcej systém tokových trubíc v aktívnych filamentoch.

Výsledky použitia tohoto programu pre analýzu veľmi širokých a hlbokých profilov spektrálnej čiary Hα pozorovaných v tmavej štruktúre malého filamentu na okraji aktívnej oblasti sú sumarizované v práci Schwartz a kol., (2015c). Výsledky spektroskopickej analýzy a non-LTE modelovania pokojnej protuberancie ukázali, že jej okrajové vlákna majú len o málo kK vyššie centrálne teploty než vlákna v jej vnútri (8000 K) hoci niektoré časti protuberancie majú mať relatívne horúcu a riedku obálku (rádovo 100 kK) (Schwartz a kol., 2015a). Analýza a modelovanie prejavu protuberancií v mäkkom röntgenovom žiarení ukázala, že znížená emisia protuberancie nie je spôsobená absorpciou tohoto žiarenia v samotnej protuberancii a alternatívou ostáva len existencia rozsiahlej oblasti s veľkým deficitom emisie spôsobenej prítomnosťou chladnej plazmy protuberancie v inak horúcej koróne Slnka (Schwartz a kol., 2015b). V práci Schwartza a kol. (2015d) boli analyzované multispektrálne pozorovania 6 pokojných protuberancií, pričom boli určené ich hmotnosti z množstva koronálneho extrémne ultrafialového žiarenia absorbovaného ich vodíkovou a héliovou plazmou v rozmedzí od 2.9×10^{11} do 1.7×10^{12} kg. Pomocou kombinácie modelovania 3D topológie magnetického poľa a prenosu žiarenia v plazme protuberancie s jemnou štruktúrou z 22.6. 2010 bolo zistené, že vo veľkej časti prechodovej oblasti medzi protuberanciou a korónou sa nachádzajú maloškálové priehlbiny (tzv. magnetic dips) v geometrii siločiar magnetického poľa tejto protuberancie vyplnené relatívne chladnou (oproti horúcej koróne s teplotami rádovo 1 MK) plazmou (Gunár a kol., 2014) .

D) Odozvy chromosférických spikulí v koróne

Viacerí autori v ostatnom čase nezávisle prezentovali myšlienku, že významnú úlohu v ohreve slnečnej koróny môžu zohrávať chromosférické spikuly transportujúce konvektívnu a magnetickú energiu z fotosféry do koróny formou magnetohydrodynamických Alfvénovych vĺn. Túto myšlienku sme sa pokúsili ďalej sledovať s cieľom nájsť Alfvénove vlny v chromosfére s nasledujúcimi výsledkami: 1. vytvorili sme vlastné softvérové prostriedky a postupy pre detekciu Alfvénovych vĺn vo filtergramoch získaných laditeľným Lyotovým Hα filtrom Holandského otvoreného ďalekohľadu DOT, ktorých výsledkom je konverzia sekvencií DOT Hα filtergramov na spektroskopické parametre čiary Hα, a to dopplerovskú rýchlosť, centrálnu intenzita, šírku a asymetriu profilu (Koza a kol., 2014a); 2. metóda bola aplikovaná na vybraný jasný bod chromosférickej siete avšak s negatívnym výsledkom. V študovanom jasnom bode neboli zistené oscilácie šírky Hα čiary charakteristické pre šírenie Alfvénovych vĺn (Koza a kol., 2013). Metóda bola aplikovaná aj v práci Bodnárová a kol. (2015) avšak s iným zámerom; 3. navrhli sme nový teoretický model pásma priepustnosti laditeľného Lyotovho Hα filtra Holandského otvoreného ďalekohľadu DOT, ktorý lepšie zodpovedá pozorovaným skutočnostiam (Koza a kol., 2014b). Nový model pásma priepustnosti môže byť využitý pri porovnaniach výsledkov numerických simulácií chromosféry s jej pozorovaniami získanými ďalekohľadom DOT v Hα čiare; 4. v súvislosti s riešením uvedených úloh sme publikovali krátky prehľadový článok (Koza, 2014c) o doteraz známych fyzikálnych mechanizmoch generujúcich jemné štruktúry chromosféry, ktorých hlavnými predstaviteľmi sú spikuly a fibrily.

E) Vývoj nového prístroja a realizácia vylepšení prístrojového vybavenia observatória

Do pravidelnej prevádzky bolo uvedené zariadenie na fotoelektrické pointovanie pravého koronografu ZEISS 200/3000, vyvinuté v rámci riešenia projektu, pracujúce s nepresnosťou menšou ako 2" počas celého dňa. Plne sa podarilo inštalovať, otestovať a uviesť do pravidelnej prevádzky zariadenie dodané firmou HANKOM (ŠF EÚ), ktoré zabezpečuje **súososť oboch koronografov ZEISS 200/3000 s dostatočnou presnosťou** počas pozorovaní. Takto je teraz možné využitie oboch koronografov súčasne! Prvé takéto pozorovanie prebehlo 6.9. 2013, 43 rokov po inštalácii oboch koronografov v kupole LSO.

Prístroj CoMP-S na začiatku riešenia projektu ukončil svoju testovaciu prevádzku a od 1.4. 2013 bol uvedený do regulárnej prevádzky. Využitie prístroja sa zameralo na spektropolarimetrické pozorovania slnečných protuberancií, ktoré boli vykonávané až do konca roku 2014 – celkovo 106 pozorovacích dní (Schwartz a kol.,

2014). Na spracovaní a analýze vybraných pozorovaní riešitelia projektu pracujú. Na základe skúseností s prístrojom pripravili riešitelia projektu v spolupráci s HAO/NCAR (USA) návrh nového kamerového modulu prístroja, ktorý umožňuje využitie detektorov ako pre viditeľnú, tak i pre blízku infračervenú oblasť spektra. Tento modul bol nainštalovaný a testovaný na LSO v priebehu roku 2015. Kvôli technickým problémom i personálnym obmedzeniam sa tieto práce nepodarilo ukončiť do konca riešenia projektu, a tak budú pokračovať v roku 2016.

Návrh nášho APVV projektu navrhoval vývoj a využívanie prístroja s názvom „Solar Coronal Dopplermeter" na LSO v širšej kooperácii s ústavmi v Poľsku, Francúzsku a Veľkej Británii. Práce na vývoji prístroja, vykonané na začiatku riešenia projektu, však ukázali, že nie je možné pripraviť prístroj s požadovanými parametrami a súčasne vyhovieť obmedzujúcim priestorovým podmienkam pre post-fokusový prístroj na koronografe LSO. Ako náhradnú alternatívu pre využitie ľavého koronografu bola začatá kooperácia s inštitútom INAF/AOT (Toríno, Taliansko), ktorá zabezpečila pre LSO prístroj **„Coronal Magnetometer" (CorMag).** Jeho adaptácia pre ľavý koronograf LSO bola urobená riešiteľmi projektu (Capobianco a kol., 2014). Prístroj, vyvinutý na spektropolarimetrické merania zelenej koronálnej čiary, bol uvedený do testovacej prevádzky v lete 2015, tá ale bola prerušená kvôli technickým problémom. Jej obnovenie sa očakáva na jar roku 2016.

Počas prvých dvoch rokov projektu sa jeho riešitelia podieľali na návrhu a príprave prístroja **„Solar Chromospheric Detector" (SCD)** pre LSO, ktorý bol potom vyrobený ústavom HAO/NCAR (USA) a dodaný v máji 2014. Prístroj je určený na spektropolarimetrické pozorovania prejavov slnečnej aktivity na slnečnom disku. V rámci projektu sa následne úspešne vyriešila inštalácia prístroja do kupoly LSO v pôvodnom a alternatívnom usporiadaní na/pri ľavom koronografe LSO. Finálna inštalácia prístroja a jeho testovacia prevádzka však bola nateraz pozastavené kvôli nejasnostiam mechanickej stability montáže koronografov a odsunutá na rok 2016.

Počas doby riešenia projektu sa riešitelia projektu zaoberali i prácou na technickej stránke návrhu prístroja **„Waves and Magnetism in the Solar Atmosphere" (WAMIS)** pre spoktropolarimetriu emisnej koróny Slnka. Konzorcium, vedené ústavom Naval Research Laboratory (Washington, USA), navrhuje tento prístroj na financovanie programom stratosférických balónov NASA (Strachan a kol., 2015, Ko a kol., 2016). Táto práca nám na oplátku umožní v budúcnosti prístup k dátam z prístroja v prípade jeho financovania a úspešnej prevádzky.

Celkovo môžeme konštatovať, že ako vďaka prostriedkom projektu APVV (prevádzka, testy, vylepšenia prístrojov), tak i vďaka prostriedkom ŠF EÚ (nákup prístrojov), sa tak podarilo dosiahnuť podstatný pokrok v technickom vybavení LSO pre spektropolarimetrické pozorovania protuberancií a emisnej koróny nad slnečným limbom ako i filamentov a erupcií na slnečnom disku. Dosiahnutie plánovaného maximálneho využitia prístrojov LSO sa očakáva v roku 2016 po dokončení zostávajúcich prác na čiastkových technických detailoch prístrojov.

Referencie:

- Bodnárová, M., Utz, D., Rybák, J., 2014, Solar Physics 289, 1543
- Bodnárová, M., Utz, D., Rybák, J., 2015, in „Ground-based Solar Observations in the Space Instrumentation Era", proceedings of the Coimbra Solar Physics Meeting 2015, ASP Conference Series, Vol. XXX, editors: I. Dorotovič, C. Fischer, a M. Temmer, v tlači
- Capobianco, G., Finesci, S., Rybák, J., Massone, G., Ambróz, J., Kozák, M., Kučera, A. 2014, Measuring the Sun's coronal green line from Earth. In SPIE Newsroom, 24 July 2014, DOI: 10.1117/2.1201407.00553, *http://spie.org/x109046.xml?highlight=x2418&ArticleID=x109046*
- Gunar, S., Schwartz, P., Dudik, J., Schmieder, B., Heinzel, P., Jurcak, J., 2014, Astronomy & Astrophysics 567, A123
- Ko, Y.-K., Moses, J.D., Laming, J.M., Strachan, L., Beltran, S.T., Tomczyk, S., Gibson, S.E., Auchere, F., Casini, R., Fineschi, S., Knoelker, M., Korendyke, C., McIntosh, S.W., Romoli, M., Rybak, J., Socker, D.G., Vourlidas, A., Wu, Q., 2016, Front. Astron. Space Sci. doi: 10.3389/fspas.2016.00001
- Koza, J., Rybák, J., Gömöry, P., Kučera, A., 2014a, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso 44, 43
- Koza, J., Hammerschlag, R.H., Rybák, J., Gömöry, P., Kučera, A., Schwartz, P., 2014b, Astronomische Nachrichten 335, 409
- Koza, J., 2014c, Central European Astrophysical Bulletin 38, 38
- Koza, J., Sütterlin, P., Gömöry, P., Rybák, J., Kučera, A., 2013, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso 43, 5
- Meszarosova, H., Karlicky, M., Jelinek, P., Rybak, J., 2013, The Astronomical Journal 788, 44
- Meszarosova, M., Rybak, J., Kashapova, L., Gomory, P., Tokhchukova, S., 2015, Astronomy and Astrophysics, zaslané na publikovanie
- Strachan, L., Ko, Y.-K., Moses, J.D., Laming, J. M., Auchere, F., Casini, R., Fineschi, S.. Gibson, S., Knoelker, M.. Korendyke, C., Mcintosh, S., Romoli, M., Rybak, J., Socker, D., Tomczyk, S., Vourlidas, A., Wu, Q.,2015, in „Polarimetry: From the Sun to Stars and Stellar Environments", proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Vol. 305, 121
- Schwartz, P. Ambróz, J., Gömöry, P., Habaj, P., Kozák, M., Kučera, A., Rybák, J., Tomczyk, S.. Sewell, S.. Aumiller, P.. Summers, R.. Sutherland, L.. Watt, A., 2014, in „Nature of Prominences and their role in Space Weather", proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Vol. 300, 521
- Schwartz, P. Gunar, S., Curdt, W., 2015a, Astronomy & Astrophysics 577, id.A92
- Schwartz, P., Jejcic, J., Heinzel, P., Anzer, U., Jibben, P.R., 2015b, The Astrophysical Journal 807, 97

- Schwartz, P., Balthasar, H., Kuckein, C., Koza, J., Gomory, P., Rybak, J., Kucera, A., Heinzel, P., 2015c, submitted to Astronomische Nachrichten
- Schwartz, P. Heinzel, P., Kotrc, P., Farnik, F., Kupryakov, Yu. A., De Luca, E. E., Golub, L., 2015d, Astronomy & Astrophysics 574, id.A62
- Su, Y., Gömöry, P., Veronig, A., Temmer, M., Wang, T., Vanninathan, K., Gan, W., Li, Y., 2014, The Astrophysical Journal Letters 785, article no. L2

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 2015 sú uvedené v spomínanej prílohe. Kvantitatívne bolo plnenie všetkých očakávaných výstupov riešenia splnené, resp. prekročené.

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. 1. 2016	V Tatranskej Lomnici, 27. 1. 2016
.....	.....
podpis zodpovedného riešiteľa	podpis štatutárneho zástupcu príjemcu