

Variácie EUV žiarenia Slnka a koronálny index slnečnej aktivity

Lorenc M., Pastorek L., Slovenská ústredná hviezdáreň,

marian.lorenc @suh.sk, ladislav.pastorek @suh.sk

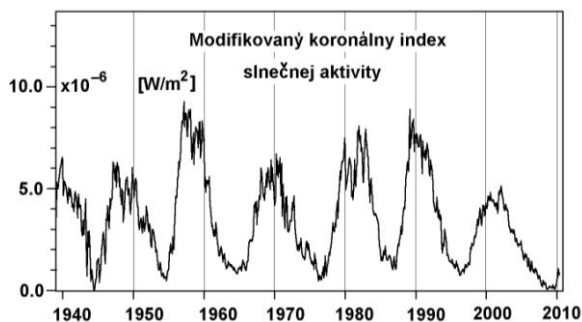
Rybanský M., Ústav experimentálnej fyziky SAV, Košice, milanr @centrum.sk

Abstrakt.

Príspevok nadväzuje na prácu z minulého celoštátneho slnečného seminára: Lukáč a Rybanský, „Modifikovaný koronálny index slnečnej aktivity (MCI)“. Zatiaľ čo MCI bol odvodený z meraní spektrometra CELIAS/SEM na družici SOHO, v tomto príspevku sme sa zamerali na použitie meraní z družíc SORCE a TIMED SEE. Zistovali sme, nakoľko by merania z týchto družíc mohli nahradiť pozemské koronálne merania pri zostavovaní koronálneho indexu slnečnej aktivity.

Úvod

V prácach Lukáča a Rybanského (2008, 2010) je ukázané, akým spôsobom je možné použiť družicové merania EUV žiarenia Slnka na vytvorenie modifikovaného koronálneho indexu (MCI), ktorý by bol vhodným pokračovaním koronálneho indexu (CI). Tento index kvantitatívnym spôsobom charakterizuje úroveň slnečnej aktivity na rozdiel od Wolfovho relatívneho čísla slnečných škvŕn, ktoré iba kvalitatívne popisuje slnečnú aktivitu.



Obr. 1: Mesačné priemerné hodnoty (MCI) slnečnej aktivity.

Zistilo sa, že modifikovaný koronálny index (MCI) môže s dostatočnou presnosťou nahradiť koronálny index (CI) slnečnej aktivity, odvodený z pozemských pozorovaní slnečnej koronálnej čiary 530,3 nm, ako je o tom podrobne pojednané v práci (Lukáč a Rybanský, 2008).

V tejto práci chceme ukázať, že na tento účel sa dajú využiť aj merania slnečného spektra, ktoré vykonávajú fotometre na družiciach TIMED od roku 2002 a SORCE od roku 2003.

Dáta a metóda porovnania a aproximácie

Družica **TIMED** (Thermosphere, Ionosphere, Mesosphere, Energetics and Dynamics) je počiatočnou misiou v rámci NASA's Solar Terrestrial Probes Program. Jej cieľom je študovať vplyv Slnka na mezoféru a spodnú termosféru/ ionosféru (MLTI) Zeme, tj. oblasť atmosféry vo výškach 60 -180 km nad zemským povrchom a je prvou z umelých družíc, ktoré majú poskytnúť globálny obraz o tejto pomerne nepreskúmanej oblasti našej atmosféry.

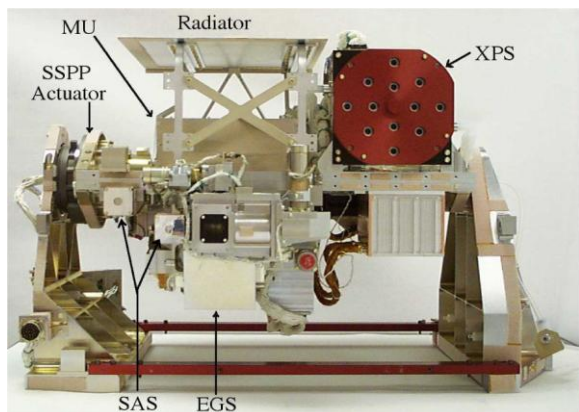
Na kruhovú obežnú dráhu so sklonom 74,1° a výškou 625 km bola vypustená v roku 2001.

Solar EUV Experiment (SEE) je jedným zo štyroch prístrojov družice TIMED. Jeho prvoradým vedeckým cieľom je s vysokou presnosťou merať slnečné VUV (vákuumové ultrafialové žiarenie). Tento VUV obor vlnových dĺžok od 0,1 do 200 nm obsahuje mäkké X-žiarenie (XUV) od 0,1 do 10 nm, extrémne ultrafialové (EUV) od 10 do 120 nm a ďaleké ultrafialové žiarenie (FUV) od 120 do 200 nm.

SSE je experiment zameraný na meranie slnečného žiarenia z celého disku od 0,1 do 200 nm pomocou mriežkového spektrografu (EGS) a kremíkových fotodiód (XPS) s naparenými tenkými filtrami priepustnými v potrebných spektrálnych rozsahoch. Tieto merania majú spektrálne rozlíšenie 0,4 nm nad vlnovou dĺžkou 25 nm a okolo 3 nm pod 25 nm.

SSE vykonáva merania počas troch minút pri každom obehu družice, ktorý trvá 97 minút. Počas dňa sa získa 14 -15 sérií pozorovaní.

Namerané údaje je možné nájsť na internetovej adrese http://lasp.colorado.edu/see/spwx_data_page.html



Obr. 2 : Pozorovacia plošina na družici TIMED

Umestnenie slnečných senzorov **EUV Grating Spectrograph (EGS)**, ktorý meria v obore od 25 do 200 nm so spektrálnym rozlíšením 0,4 nm a **XUV Photometer System (XPS)** merajúci XUV žiarenie od 0,1 nm do 40 nm s rozlíšením 2- 5 nm je na obr. 2.. Spojením meraní z týchto dvoch prístrojov sa získajú hodnoty integrované v 1nm intervaloch od 0.5 do 190nm.

Družica **SORCE** bola vypustená na obežnú dráhu okolo Zeme 25. 1. 2003. Obieha po kruhovej dráhe s výškou 640 km nad zemským povrchom a sklon dráhy je 40°.

Pomocou štyroch prístrojov (tri spektrometre a jeden fotometer) sa vykonávajú merania X –žiarenia, ultrafialového, viditeľného, blízko-infračerveného a celkového (totálneho) žiarenia Slnka. V prípade spektrometra žiarenie prechádza vstupnou štrbinou, disperzným prvkom (mriežka) výstupnou štrbinou a detektor zaznamenáva izolovanú vlnovú dĺžku slnečného spektra. Základný fotometer má vstupný otvor, filter vymedzujúci fixný rozsah vlnových dĺžok (šírka pásma pre fotometer) a detektor.

Najprv sme zisťovali, ktoré merania zo spomenutých družíc sú vyhovujúce pre naše účely a to z družice TIMED v pásmach :27 – 34 nm (má takmer rovnaký rozsah vlnových dĺžok ako CELIAS/SEM na družici SOHO); 30,4 nm (HeII); 33,5 nm (FeXVI) a 121,5 nm (HI Lyman alfa čiara) a z družice SORCE v pásmach : 27 – 34 nm; 30 – 31 nm (HeII); 26 – 28 nm (FeXIV); 28 – 29 nm (FeXV); 33 – 34 nm (FeXVI) a 121 – 122 nm (HI Lyman alfa čiara).

Z dát boli vypočítané denné priemerné hodnoty a tieto boli korelované s MCI.

Výsledky

1) Porovnanie prvého súboru TIMED (27 – 34 nm, je označený ako T1) s hodnotami MCI je znázornené na obr. 3. Celkove je uvedených 2856 dvojíc hodnôt .

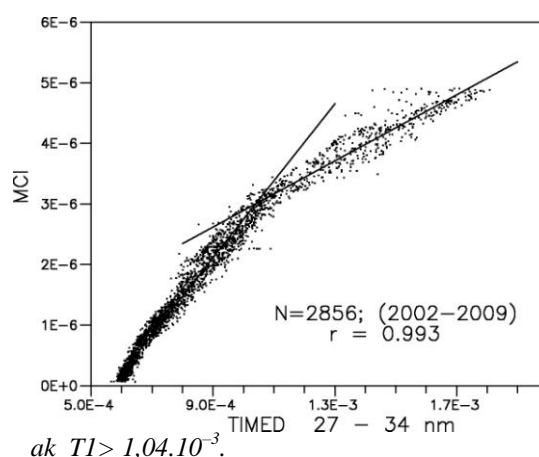
Vzťah medzi nimi je vhodné aproximovať lomenou čiarou. Aproximácia polynómom je nevyhovujúca. Porovnávané dáta pripadajú na zostupnú vetvu 23. cyklu slnečnej aktivity, ktorý bol pomerne nízky až po nasledujúce minimum. Predpokladáme, že hodnoty T1 budú postupne stúpať a pri ich prevode by sme sa dostali do oblastí extrapolácie, kde nemáme pre porovnanie hodnoty MCI. Polynóm by v tejto oblasti dával nepravdepodobné hodnoty.

Pre prevod T1 na MCI sme dostali aproximačné vzťahy :

$$(1) \quad MCIx = 6,354 \cdot 10^{-3} T1 - 3,606 \cdot 10^{-6} [Wm^{-2}],$$

$$\text{ak } T1 \leq 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ a}$$

$$MCIx = 2,730 \cdot 10^{-3} T1 + 1,617 \cdot 10^{-7} [Wm^{-2}],$$



Obr. 3: Porovnanie a aproximácia meraní družice TIMED a MCI.

Po prepočítaní T1 podľa vzťahov (1) sme určili koeficient korelácie s MCI, ktorý je vysoký a je $r = 0,993$.

2) T2 je označenie pre merania v pásme, kde je dominantná čiara HeII, 30,4 nm. Porovnanie je podobné ako pri T1. Aproximačné vzťahy sú

$$(2) \quad MCIx = 2,320 \cdot 10^{-2} T2 - 5,76 \cdot 10^{-6} [Wm^{-2}],$$

$$\text{ak } T2 \leq 3,814 \cdot 10^{-4}$$

$$MCIx = 1,027 \cdot 10^{-2} T2 - 8,29 \cdot 10^{-7} [Wm^{-2}],$$

$$\text{ak } T2 > 3,814 \cdot 10^{-4}.$$

Koeficient korelácie v tomto prípade je znovu vysoký a je $r = 0,987$.

3) T3 je označenie pre merania v okolí vlnovej dĺžky 33,5 nm, kde je dominantná čiara FeXVI. Porovnanie je však trochu odlišné ako pri T1. Aproximačný vzťah má tvar

$$(3) \quad MCIx = 4,663 \cdot 10^{-6} \log T3 + 2,20 \cdot 10^{-5}.$$

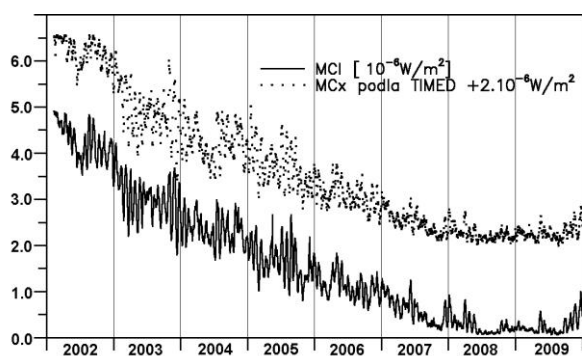
Koeficient korelácie je $r = 0,998$.

4) T4 je označenie pre merania v okolí vlnovej dĺžky 121,5 nm, kde je dominantnou čiarou čiara HI Lyman alfa. Pri porovnaní sme dostali aproximačný vzťah:

$$(4) \quad \begin{aligned} MCI_x &= 0,1905 \cdot T4 - 595 \cdot 10^{-6} \text{ [Wm}^{-2}\text{]}, \\ &\text{ak } T4 \leq 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ a} \\ MCI_x &= 0,0765 \cdot T4 - 4,413 \cdot 10^{-7} \text{ [Wm}^{-2}\text{]}, \\ &\text{ak } T4 > 4,2 \cdot 10^{-5}. \end{aligned}$$

Koeficient korelácie je $r = 0,940$.

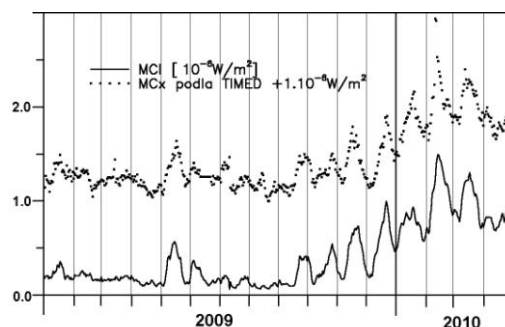
Vysoké koeficienty korelácie medzi tak rozdielnými žiareniami ako je napr. žiarenie čiary La a FeXIV, si vysvetľujeme tým, že merané žiarenia nie sú čisto čiarové, ale ich veľkú časť tvorí žiarenie kontinua, ktoré vzniká hlavne brzdným žiarením. Úroveň kontinua v oblasti EUV stúpa so vzrastom slnečnej aktivity, takže korelácia by bola vysoká aj bez prítomnosti emisnej čiary v danom pásme. Okrem toho, v porovnávanom období došlo k pomerne veľkému poklesu slnečnej aktivity a teda aj k paralelnému poklesu oboch porovnávaných veličín, ako ukazuje obr. 4.



Obr. 4: Priebehy denných hodnôt MCI a aproximovaných meraní z družice TIMED.

Aby sme mohli spoľahlivejšie určiť vhodnosť jednotlivých kanálov na aproximáciu, porovnali sme ich ešte aj v období minima slnečnej aktivity (716 dní v období 2008 –2009). Pri porovnaní MCI s jednotlivými kanálmi TIMED sme potom dostali nasledujúce hodnoty korelačných koeficientov: Pre T1 $r = 0,885$; T2 $r = 0,676$; T3 $r = 0,897$; T4 $r = 0,601$.

Z toho vyplýva, že na náš účel sa najlepšie hodí kanál T1, kde je niekoľko emisií FeXIV a T3, kde sa vyskytuje čiara FeXVI. Aproximovaný priebeh, získaný z T1 pomocou vzťahov (1) spolu s MCI za rok 2009 a prvé štyri mesiace 2010 je znázornený na obr. 5.



Obr. 5: Denné hodnoty MCI a aproximácie z družice TIMED až do apríla 2010.

Z obr.5 vidno, že v niektorých prípadoch sú rozdiely dosť veľké. Môže to súvisieť s veľkou premennosťou EUV žiarení a so skutočnosťou, že zatiaľ čo denný priemer z prístroja CELIAS na observatóriu SOHO je robený z 15s meraní (5760 meraní za deň), počet meraní na družici TIMED je najviac 15 za deň.

Koreláciu s meraniami na družici SORCE sme zatiaľ neukončili, lebo pri porovnávaní sme zistili veľké rozdiely, hlavne pri nízkej úrovni slnečnej aktivity (po 4. apríli 2008). Je možné, že ide o chybu fotometra na družici. Otázkou riešime konzultáciami s účastníkmi projektu SORCE.

Záver

Po skončení misie SOHO máme teda pripravenú ďalšiu možnosť na pokračovanie v zostavovaní časového radu koronálneho indexu. Na podobný účel sa bude dať použiť aj kozmický experiment SDO EVE, ktorý sa práve testuje a má dodávať dáta počas celého budúceho cyklu slnečnej aktivity a tiež merania stacionárnej družice GOES – R, ktorá má štartovať v roku 2014.

Podakovanie

Príspevok bol čiastočne podporený projektom agentúry VEGA 0081.

Literatúra

- Lukáč B. a Rybanský M.: 2008, *Pozorovania SOHO a koronálny index slnečnej aktivity*, 19. slnečný seminár, Lazy pod Makytou
 Lukáč B. and Rybanský M.: 2010, *Modified Coronal Index of the Solar Activity*, Solar Phys. **263**, 43 – 29.