

Pozorovania SOHO a koronálny index slnečnej aktivity

B. Lukáč a M. Rybanský, SÚH Hurbanovo

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá prieskumom, ktoré merania z družice SOHO by mohli nahradiť koronálny index slnečnej aktivity (CI) konštruovaný z pozemských meraní koronálnej čiary 530,3 nm.

Ukázalo sa, že merania EIT nemôžu tieto merania uspokojivo nahradiť, avšak merania prístroja CELIAS/SEM, ktoré sú založené na rovnakej myšlienke ako pôvodná idea koronálneho indexu, veľmi dobre korelujú s jeho hodnotami ($r = 0,94$ pre denné hodnoty). Navrhujeme výsledok tejto práce, ktorý sme nazvali *modifikovaný koronálny index (MCI)* používať všade tam, kde bol používaný CI. Pre ďalšie použitie máme tak k dispozícii index za 6 cyklov slnečnej aktivity s rozlíšením 1 deň, ktorý sa aj v budúcnosti bude dať získať z meraní kozmických observatórií, a teda nezávisle od počasia. Jeho hodnoty budú publikované na web stránke Slovenskej ústrednej hvezdárne v Hurbanove.

1. ÚVOD

Konštrukcia indexu *slnečnej aktivity* vyjadruje snahu kvantifikovať nejakým spôsobom jav, ktorého podstatu nepoznáme a vlastne ani jav nie je presne definovaný. Ide o akýsi súhrn premenných ukazov, ktoré majú nejaký synchrónny časový sled a ktorých početnosť a mohutnosť spravidla kolíše počas tzv. *cyklu slnečnej aktivity*. Ten má dĺžku, podľa doterajších pozorovaní, medzi 7 a 13 rokov.

Prvým pozorovaným premenným ukazom boli *slnečné škvrny* a aj prvým index – *Wolfove číslo* bol odvodený z ich pozorovania. Mnoho premenných ukazov vyplynulo zo *spektrálnych pozorovaní* – napr.: *protuberancie a erupcie v čiare H α* , *niektoré emisie v jadrach absorpčných čiar a emisné čiary koróny*, hlavne čiara 530,3 nm. Sporadické pozorovania tejto čiary existujú od roku 1939, pravidelné, od roku 1947. V štyridsiatych rokoch bolo objavené *rádiové žiarenie Slnka*, a od roku 1948 existujú pravidelné pozorovania celkového rádiového toku na frekvencii 2800 MHz. Od začiatku šesťdesiatych rokov existujú sporadické kozmické pozorovania v *ultrafialovej a röntgenovej oblasti spektra*. Pravidelné pozorovania v röntgenovom žiarení, s časovým rozlíšením 1 min. v dvoch vlnových rozsahoch (0,05 – 0,4 nm a 0,1 – 0,8 nm) vykonávajú stacionárne družice GOES od roku 1986.

Okrem uvedených 2800 MHz existujú dnes aj pravidelné pozorovania rádiového žiarenia Slnka na mnohých frekvenčných rozsahoch od 100 do 15400 MHz. V osemdesiatych rokoch sa podarilo pomocou meraní na družiciach NIMBUS a SMM preukázať premennosť celkového *žiarivého výkonu Slnka* počas

cyklu slnečnej aktivity na úrovni okolo 0,1% , t.j. v pomere min.: max = 1:1,001 (denné priemery).

Premennosť na uvedených röntgenových rozsahoch je ďaleko vyššia; 1: 5000 a 1:10000. Podľa Elske et al (1974) a Dupree (1973), ktorý analyzovali ultrafialové žiarenia Slnka sa jeho premennosť v cykle slnečnej aktivity zvyšuje smerom ku kratším vlnovým dĺžkam. Pri $\lambda = 10$ nm je okolo 1:20, pri $\lambda = 50$ nm okolo 1:5, pri $\lambda = 100$ nm okolo 1:1,5, pričom sa brali do úvahy iba úseky bez silných emisných čiar. Výsledky týchto analýz ukazujú, že dlhodobé merania intenzity v ľubovoľnom úseku ultrafialového úseku slnečného spektra by boli vhodným indexom slnečnej aktivity. Príspevok podáva výsledky prieskumu, ktorým sme chceli zistiť, ktoré z meraní SOHO by mohli pozemské pozorovania emisnej čiary koróny 530,3 nm doplniť, prípadne nahradiť. V 2. časti je krátko opísaná pôvodná idea využitia týchto pozorovaní a spôsob výpočtu *koronálneho indexu (CI)*.

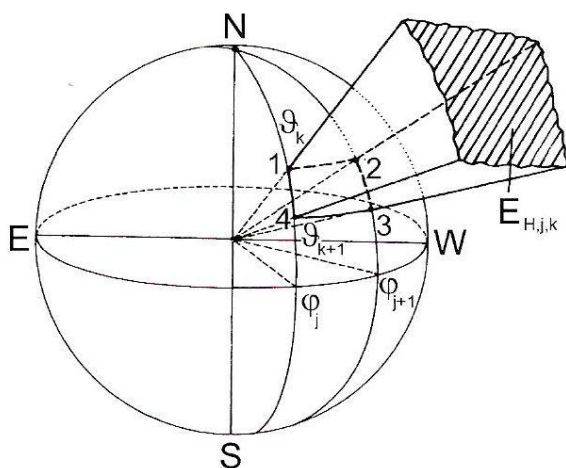
V tretej časti opisujeme porovnanie CI s meraniami prístroja CELIAS/SEM, v časti 4 s meraniami prístroja EIT a v 5.časti (záver) sú zhrnuté výsledky prieskumu.

2. Koronálny index slnečnej aktivity

Po skonštruovaní koronografu (Lyot, 1939) sa tento prístroj začal využívať hlavne na pozorovanie *variácií intenzít emisnej čiary koróny 530,3 nm* okolo slnečného disku. Hlavnou prednosťou týchto pozorovaní je, že s ich pomocou môžeme popisovať slnečnú aktivitu aj vo vysokých heliografických šírkach. Po druhej svetovej vojne bola vytvorená sieť koronálnych staníc, ktoré ma-

li v programe získavanie takýchto pozorovaní. Najúplnejší prehľad o nich poskytuje práca Rybanský a iní (2005) a tam citované práce.

S využitím týchto meraní bol, okrem iného, určený celkový žiarivý výkon koróny v čiare 530,3 nm a tento bol následne nazvaný koronálnym indexom slnečnej aktivity (CI). Spôsob výpočtu je založený na dvoch predpokladoch a ilustruje ho obr. 1 (Rybanský, 1975).



Obr. 1: Ilustrácia k určeniu CI

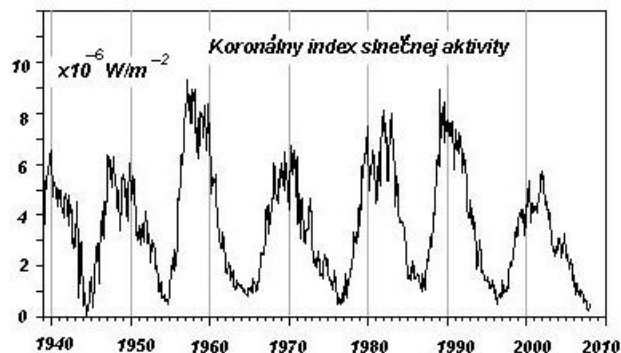
- 1) Podľa prvého predpokladu je možné extrapolovať limbové pozorovania na slnečný disk.
- 2) Podľa druhého existuje priemerný výškový gradient intenzity emisnej čiary.

Vieme, že obidva tieto predpoklady sú splnené iba v „hrubom“ priemere, ale inú možnosť pre výpočet sme nenašli. CI sa potom určí ako objemový integrál objemovej svietivosti v priestore pozorovateľnej koróny. Pretože pozorovania zelenej čiary koróny sa robia iba raz za deň, na výpočet dennej hodnoty CI potrebujeme 13 dní pozorovaní : 6 dní po danom dni zo západného limbu sa extrapoluje na západnú pologuľu Slnka, daný deň a 6 dní pred daným dňom z východného limbu sa extrapoluje na východnú pologuľu Slnka. Denné hodnoty CI sú určené od roku 1939 do roku 2005 a v elektronickej forme sa publikujú na web stránke svetového centra dát [1]. (Do roku 1943 sa dá hovoriť iba o ročných, prípadne mesačných priemerných hodnotách, lebo reálnych pozorovaní je málo). Hodnoty meraní v chýbajúcich dňoch sa pre výpočet CI určujú interpoláciou.

Na obr. 2 je znázornený chod mesačných priemerných hodnôt CI v rokoch 1939 – 2007, pričom posledné dva roky už vychádzajú z výsledkov tejto práce.

3. Koronálny index a SOHO/CELIAS/SEM

Domnievame sa, že prístroj SOHO/CELIAS/SEM (Solar Extreme Ultraviolet Monitor) je svojou ideou najbližšie k CI. Ide o mriežkový spektrometer na priehľad, ktorý pomocou hliníkových filtrov ohraničuje a následne meria celkový tok EUV žiarenia Slnka v rôz-



Obr. 2: Koronálny index slnečnej aktivity (mesačné priemery)

nych pásmach s časovým rozlíšením 15 sekund. Pre naše účely, t.j. pre porovnanie s CI sme vybrali denné priemery EUV toku v pásme 26 – 34 nm za celé obdobie spoločných pozorovaní: 1996 – 2005, čo je celkom 3653 dní.

Pred porovnávaním sme obidva časové rady, CI a rad meraní vo vybranom pásme, ktoré budeme nazývať CE upravili takto:

CE – vylúčili sme dni, kedy v danom období prístroj nepracoval (221 dní);

– vylúčili sme dni so silnými erupciami, kedy v niektorých prípadoch krátkodobý vzrast býva aj viac ako desaťnásobný (35 dní);

CI – pre porovnanie sme vybrali iba tie dni, CI ktorých je určené najmenej z 9 reálnych meraní, t.j.

z potrebných 13 meraní sú interpoláciou získané hodnoty maximálne za 4 dni.

Po týchto úpravách ostalo na porovnanie 1735 hodnôt. Obidva časové rady sme previedli na rovnaké jednotky: W/m^2 vo vzdialenosti 1 AU. Pôvodne je CI udávané v tzv. koronálnych jednotkách, čo je žiarivý výkon na Slnku (teda vo vzdialenosti 1 AU) $10^{26} W/ster.$ a CE je udávané v počte fotónov/ cm^2 za sekundu vo vzdialenosti 1 AU. ($CI [W/m^2] = 4,468 \cdot 10^{-7}$ kor. jedn.; $CE [W/m^2] = 6,622 \cdot 10^{-14} fot./cm^2.s$).

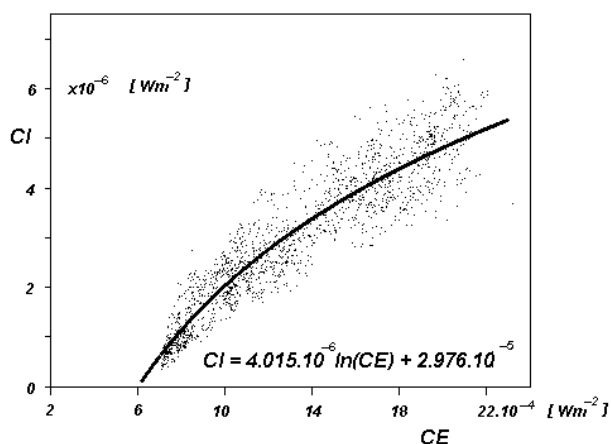
Na obr. 3 je sú vyznačené odpovedajúce denné hodnoty v jednotlivých porovnávaných dňoch a určený aproximačný vzťah :

$$CI = 4,015 \cdot 10^{-6} \ln(CE) + 2,976 \cdot 10^{-5}.$$

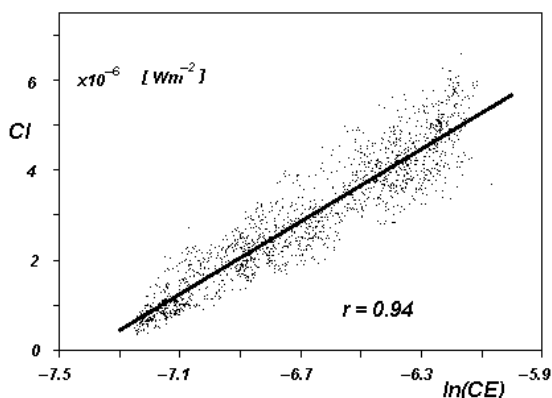
Na obr. 4 je relácia CE – CI linearizovaná a určený koeficient korelácie: $r = 0,94$, čo ukazuje na vyššiu koreláciu v denných hodnotách, ako bola zistená pri porovnaní s rádiovým žiarením na 2800 MHz s 81-dňovým kľzavým priemerom (Rybanský et al., 2005).

4. Koronálny index a SOHO/EIT

Prístroj EIT je určený na zobrazovanie koronálnych štruktúr v štyroch úzkych pásmach vlnových dĺžok 17,1 nm (FeIX), 19,5 nm (FeXI/XII), 28,4 nm (FeXV) a 30,4 nm (HeII). Podrobne prístroj opisujú Delaboudiniere et al. (1989). Obráz Slnka s okolitou korónou má rozmer $45' \times 45'$ a sníma sa na prvok CCD s 1024×1024 pixelami. Rozlíšenie je teda $2,6''$.



Obr. 3: Aproximačný vzťah medzi CE a CI.



Obr. 4: Linearizovaný aproximačný vzťah CE - CI (1735 dní, podrobnosti v texte).

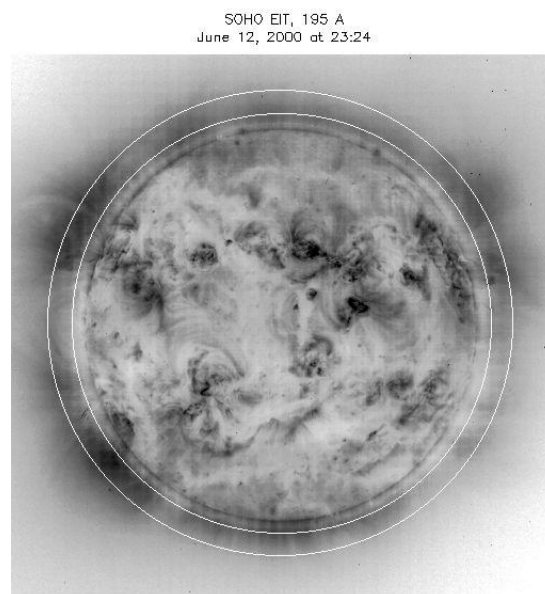
S ohľadom na to, že pozemské koronálne merania sa vykonávajú okolo 1' nad slnečným okrajom, predpokladali sme, že najmä priebeh FeXV bude dobre korelovať s intenzitami 530,3 nm. Predpoklad bol založený na staršom porovnaní CI a intenzít 28,4 nm z meraní na družici OSO7 s dobrou koreláciou (Rybanský, 1978). V takom prípade by sme z výsledkov EIT mohli nepriamo získať zdrojové dáta potrebné pre konštrukciu CI.

Pri spracovaní sme postupovali podľa vlastných výpočtových programov. Archivované matice údajov v súboroch *.fts sme previedli na matice ascii súborov, z ktorých sme ďalej určovali inenzity v porovnávaných miestach. Ukázalo sa však, že výsledky, získané z obrázkov EIT z hladiny 1' nad okrajom Slnka (obr. 5) sú s meraniami koronálnej čiary 530,3 nm neporovnateľné. Zrejme ich skresľuje nejaký okrajový prístrojový efekt. Až pri hladine 3' dostávame pre čiary FeXII a FeXV dosť dobrú koreláciu, ako ukazuje obr. 6. Avšak získané údaje by v žiadnom prípade nemohli nahradiť originálne pozemské merania, lebo:

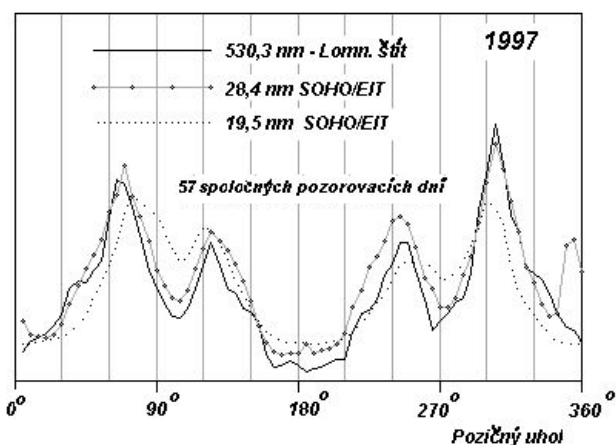
- a) S ohľadom na veľký výškový gradient intenzity zelenej koronálnej čiary môžu byť v rôznych výškach porovnávané údaje veľmi rozdielne;
- b) Najlepšia korelácia bola zistená pre čiaru 28,4 nm, ale práve na týchto snímkach vidieť prístrojový kaz

v miestach okolo severného pólu Slnka;

c) Na všetkých snímkach je zreteľné fotometrické skreslenie rastrom CCD snímača;



Obr. 5: Negatív spracovaného snímku EIT v čiare 19,5 nm s vyznačenými úrovňami, ktoré sú spomínané v texte.



Obr. 6: Porovnanie intenzít koróny zo spoločných pozorovacích dní roku 1997 z meraní v čiare 530,3 nm na Lomnickom štíte a v dvoch čiarach prístroja SOHO/EIT.

5. ZÁVER

Merania prístroja CELIAS/SEM na SOHO veľmi dobre korelujú s CI a po prepočítaní podľa zisteného korelačného vzťahu ho môžu veľmi dobre nahradiť. Predtým je však nutné vykonať určité úpravy v dňoch, keď sa v grafickom zobrazení priebehu objavujú náhle zvýšenia (záblesky) prevyšujúce hladký priebeh niekedy až 10 – 20 násobne.

Výsledný *modifikovaný index slnečnej aktivity (MCI)* bude uverejnený na web stránke Slovenskej ústrednej hviezdárne [2] pre každý deň v rokoch 1939 – 2007. Do roku 2005 včítane to je pôvodný CI iba prepočítaný na jednotky $[W/m^2]$, od roku 2006 MCI predstavuje

merania CELIOAS/SEM prepočítané podľa aproximačného vzťahu, pričom zvlášť bude uvedený zoznam zábleskov, ktoré boli z pôvodných dát odstránené.

PodĎakovanie

Práca vznikla aj v rámci projektu APVV-51-053805 s podporou Agentúry na podporu vedy a výskumu a grantovej agentúry VEGA, grantový projekt 2/7063/27.

Zvlášť by sme chceli vyjadriť vďaku kozmickým agentúram NASA a ESA za voľný prístup k archívu dát kozmickej sondy SOHO.

LITERATÚRA

- Elske V.P., Smith P. a Gottlieb, D.M.: 1974, *Space Science Reviews*, **16**, 771
- Delaboudiniere, J.-P.; Artzner, G. E.; Brunaud, J.; Gabriel, A. H.; Hochedez, J. F.; Millier, F.; Song, X. Y.; Au, B.; Dere, K. P.; Howard, R. A.; Kreplin, R.; Michels, D. J.; Moses, J. D.; Defise, J. M.; Jamar, C.; Rochus, P.; Chauvineau, J. P.; Marioge, J. P.; Catura, R. C.; Lemen, J. R.; Shing, L.; Stern, R. A.; Gurman, J. B.; Neupert, W. M.; Maucherat, A.; Clette, F.; Cugnon, P.; van Dessel, E. L.: 1995, *Solar Physics*, **162**, 291-312
- Dupree A.K.: 1973, *Astrophys. Journal*, **182**, P1, 321
- Lyot B.: 1939, *Monthly Notices of R.A.S.*, **99**, 579
- Rybanský M.: 1975, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, **28**, 367
- Rybanský M.: 1977, *Kandidátska dizertačná práca*, Astr. ústav SAV
- Rybanský M., Rušin V., Minarovjech M., Klocok L. a Cliver E.W.: 2005, *J. Geophys. Res.* **110**, A08106
- <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarcorona.html#green>
- <http://www.suh.sk>