

# Protuberancie a emisná zelená koróna: kandidáti na predpoveď maxim a miním cyklov slnečnej aktivity

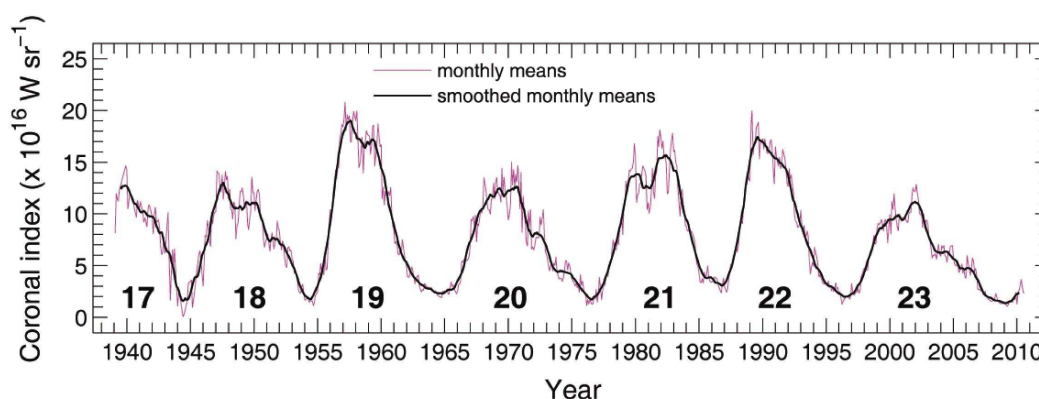
Minarovjeh, M., Rušin, V. (vrusin@ta3.sk), a Saniga, M.  
Astronomický ústav SAV  
059 60 Tatranská Lomnica, Slovenská republika

## Abstrakt.

Predpovede maxim a miním cyklov slnečnej aktivity, vrátane ich amplitúdy (mohutnosti) sú dôležité nielen z hľadiska porozumenia fyzikálnych procesov pre vznik samotných cyklov, ale aj ich vplyvu na Zem a biosféru. Predpovede slnečnej aktivity sa robia viacerými spôsobmi, napríklad závislosť páry-nepáry cyklus, podobnosť medzi AA indexom a Wolfovým číslom a pod. Naša diskusia bude zameraná na predpovede, ako vyplývajú z pozorovaní protuberancií a emisnej spektrálnej čiary 530,3 nm (zelená koróna), ktoré, ako je známe, sa pozorujú okolo celého disku Slnka a v priebehu cyklov zachovávajú štandardné mediálne pohyby smerom k pólom alebo k rovníku. Z našej analýzy vyplýva, že maximum cyklu 24 nastane koncom roka 2011 a druhé maximum koncom roka 2012. Nevýhodou tejto metódy je, že sa nedá predpovedať amplitúda maxim, ale na strane druhej, ak pohyb protuberancií a zvýšených intenzít zelenej koróny smerom k pólom si bude zachovávať takú rýchlosť ako za posledných 50 rokov, potom sa dajú maximá a minimá slnečných cyklov predpovedať až do roku 2050.

## 1. Úvod

Je všeobecne známe, že Slnko je magneticky premenná hviezda, ktorej premennosť sa vyjadruje pomocou časovo a priestorovo ohraničených javov, pozorovaných na jeho povrchu alebo v jeho elektromagnetickom žiarení, napríklad výskyt slnečných škvŕn vo fotosfére, protuberancií v koróne alebo zmena intenzity emisnej spektrálne čiary trinásťkrát ionizovaného železa (Fe XIV), známej aj ako zelená koróna (obr. 1). Základnou periódou je tzv. Haleho cyklus s trvaním 22 rokov, hoci známejší je 11-ročný cyklus slnečnej aktivity, odvodený z pozorovaní výskytu slnečných škvŕn od roku 1610. Taktiež je vo všeobecnosti známe, že v čase maxima cyklu slnečnej aktivity dochádza na Slnku k obrovským výbuchom, ktoré poznáme napríklad pod menom erupcia, eruptívna protuberancia, pri ktorých sa uvoľňuje obrovské množstvo žiarenia a hmoty, ktorých následky sa pozorujú v celej heliosfére. Na Zemi sa to pozoruje napríklad zvýšeným výskytom polárnych žiar, magnetických porúch, teplotou a hustotou ionosféry a pod. Vysoko-energetické častice z erupcií poškodzujú prístroje na umelých družiciach Zeme, kozmických sondách, a sú škodlivé nielen pre kozmonautov, ale aj posádky a pasažierov lietadiel a pod. Dokonca, aj celkové vyžarovanie Slnka, známe aj ako *Total Solar Irradiance (TSI)*, sa medzi maximom a minimom cyklu mení o 0,1-0,2 percenta. Je preto celkom žiadúce, aby slneční fyzici robili predpovede o čase výskytu maxima slnečnej činnosti, o jeho amplitúde (ak si pozorne všimneme obr. 1, je dosť veľký rozdiel medzi jednotlivými maximami), prípadne o jeho minime.



Obr. 1. Cyklus slnečnej aktivity vyjadrený pomocou koronálneho indexu slnečnej aktivity (CI), vypočítaného z homogénneho radu intenzít zelenej koróny.

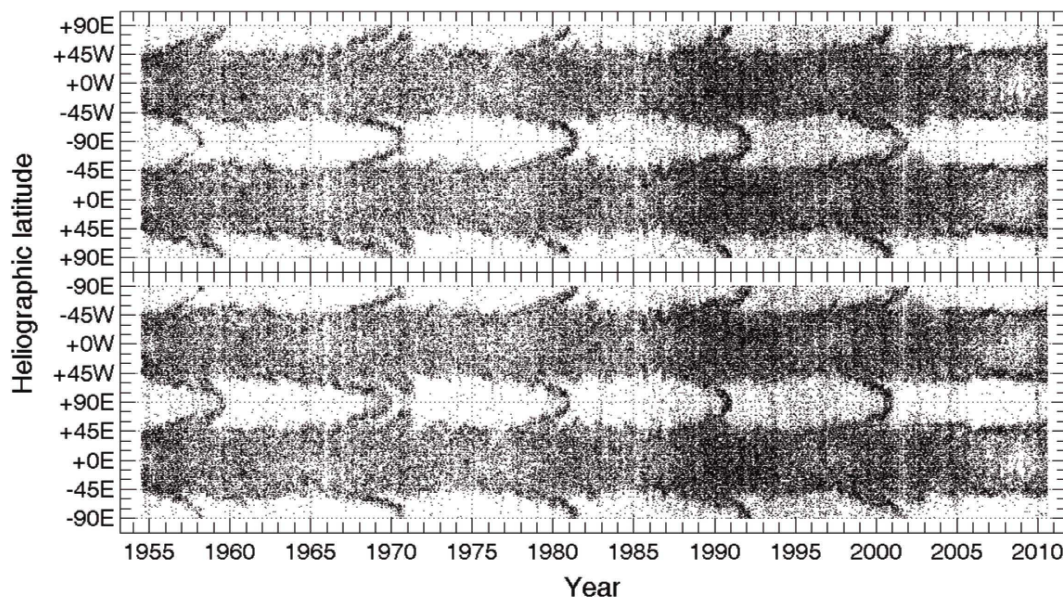
Na predpoveď maxim a miním slnečnej aktivity sa používajú viaceré metódy, odvodené z doterajšieho priebehu slnečnej aktivity. Treba vopred povedať, že medzi jednotlivými metódami pre amplitúdu sú dosť veľké rozdiely, líšiace sa až o 100 percent. Detaily môžeme nájsť napríklad v [1]. Takmer všetky metódy, ktoré

na predpovede používajú indexy slnečnej aktivity, sú založené na pozorovaniach prejavov slnečnej aktivity v stredných a nízkych heliografických šírkach, teda v zóne okolo rovníka  $\pm 40$  stupňov. Najnovšie sa na predpovede slnečnej aktivity začína používať veľkoškálová meridiálna cirkulácia, ktorej existencia do čias kozmickej sondy SOHO bola viac menej teoretická, no v súčasnosti je reálne pozorovaná.

My sa v našom príspevku budeme zaoberať možnosťou predpovedí maxim a minim slnečnej aktivity na základe pozorovaní protuberancií v spektrálnej čiare 656,3 nm (čiara vodíka) a zelenej koróny. Oba fenomény slnečnej aktivity sa pozorujú počas celého cyklu a okolo celého Slnka, pričom za základ sa budú brať pozorovania vo vysokých heliografických šírkach a v okolí pólou.

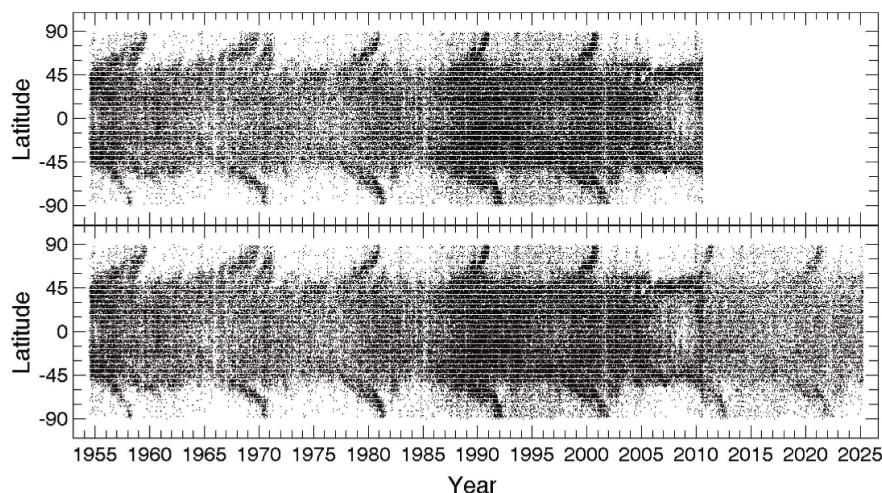
## 2. Protuberancie

Protuberancie sú jasné, chladné, husté oblaky vodíkovej plazmy v horúcej koróne. Pozorujú sa na rozhraní polarít (neutrálna čiara) magnetických polí a ak ich pozorujeme v priemete na slnečný disk, vidíme ich ako tmavé miesta a nazývame ich filamenty – fyzikálna podstata je však rovnaká. Ich výskyt kopíruje pohyb aktívnych oblastí na Slnku alebo už spomínaný pohyb neutrálnej čiary vo vysokých heliografických šírkach. Protuberancie sa pozorujú od konca 19. storočia a na základe dlhodobých pozorovaní sa zistilo, že ich výskyt a pohyb sa dá rozdeliť do troch skupín: a) protuberancie, ktoré sa vyskytujú v aktívnych oblastiach a spolu s nimi sa od začiatku cyklu slnečnej aktivity pohybujú zo stredných heliografických šírok smerom k rovníku, kde pred nasledujúcim minimom zanikajú (ako aktívne oblasti); b) istá skupina protuberancií sa pozoruje asi 10 stupňov severnejšie (južnejšie) ako aktívne oblasti a v priebehu cyklu sa tieto protuberancie pohybujú ako v prípade a) – obom skupinám protuberancií sa hovorí, že sú to rovníkové protuberancie; c) treťou skupinou sú protuberancie, ktoré sa v okolí minima slnečnej aktivity začnú zo stredných heliografických šírok  $\pm 45$  stupňov pomaly posúvať smerom k pólom a tam v okolí maxima cyklu slnečnej aktivity zaniknú. V tom čase dochádza k prepólovaniu magnetického poľa Slnka. Ako ukázal Waldmeier [2], takýto pohyb trvá okolo 3-4 rokov a nie je závislý na amplitúde cyklu slnečnej aktivity, definovaného Wolfovým číslom. Ak amplitúda Wolfovho čísla je menej ako 100, polárna vetva protuberancií k pólom prichádza asi pol roka pred maximom, ak je viac ako 100, potom polárne vetvy k pólom prichádzajú asi o 1,5 roka neskôr. Šírkovo-časové rozdelenie protuberancií, ktoré sme robili aj na základe vlastných pozorovaní, je ukázané na obrázkoch 2 a 3. Bez toho, aby sme zabíjali do detailov, zistíme, že polárne vetvy protuberancií v súčasnom cykle 24, ktorý začal neskôr ako sa pôvodne predpokladalo, by na severnom póle mali prísť koncom roka 2011 a na južnom póle o rok neskôr. Severojužná asymetria je vcelku známy fenomén v prejavoch slnečnej aktivity, ale zatiaľ nie celkom dobre interpretovaný.



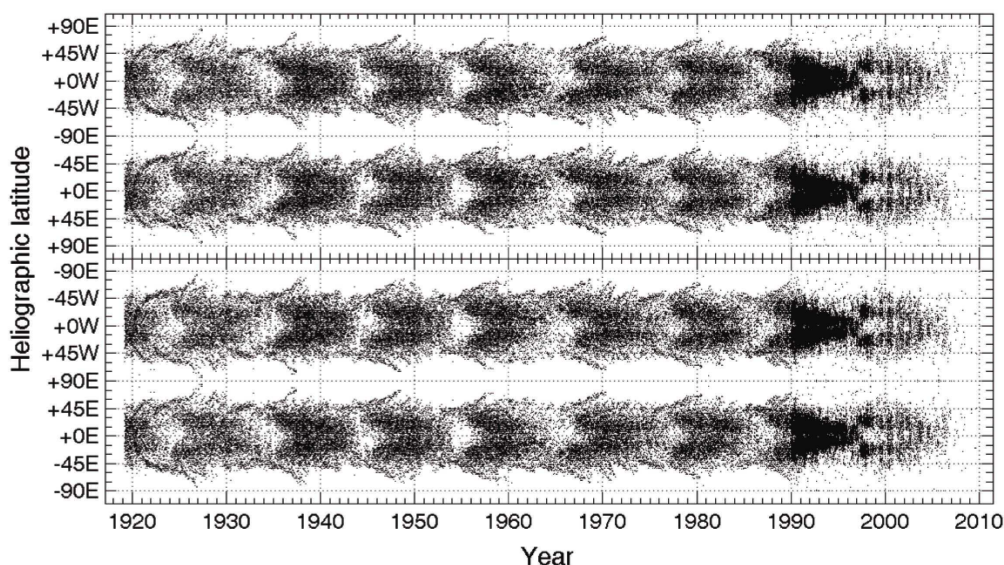
Obr. 2. Šírkovo-časové rozdelenie protuberancií v rokoch 1954-2010, zvlášť pre južnú (hore) a severnú pologuľu (dole).





Obr. 3. Šírkovo-časové rozdelenie protuberancií a predpovedaný príchod polárnych vetiev protuberancií (spodná časť obrázku) k pólom.

Podobne, ako na obrázkoch 2 a 3, na ktorých vidíme dobeh polárnych vetiev protuberancií k pólom, kde zanikajú, sme tiež zostavili šírkovo-časové rozdelenie filamentov v rokoch 1919 – 2010, ktoré je ukázané na obr. 4. Toto rozdelenie, z pozorovacích dôvodov, končí v heliografickej šírke okolo  $\pm 80$  stupňov a taktiež tu vidíme pravidelnosť príchodu filamentov do tejto šírky.



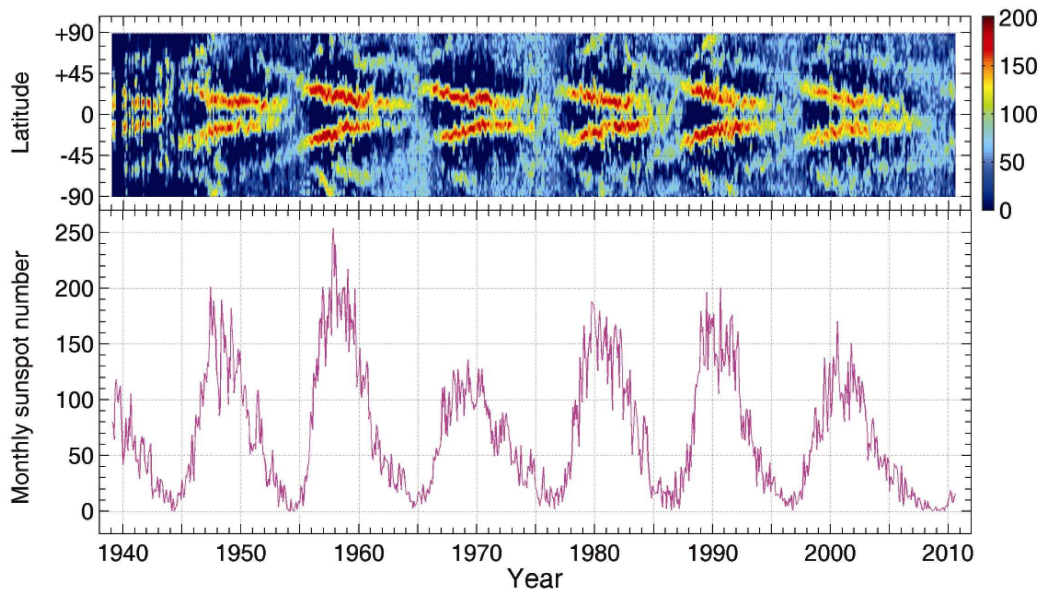
Obr. 4. Šírkovo-časové rozdelenie filamentov v rokoch 1919-2010.

Naša predpoveď pre budúce maximum je teda založená jednak na posune cyklov medzi sebou tak, aby sa polárne vetvy čo najlepšie prekrývali, a na základe strednej doby príchodov polárnych vetiev protuberancií k pólom. Tá je pre protuberancie v rozmedzí 10,4 – 1,9 rokov, kým pre filamenty táto hodnota je okolo 10,83 roka. Ak teda k poslednému príchodu polárnych vetiev protuberancií k pólom, ktoré bolo na severnej pologuli v roku 2000,7 a na južnej pologuli v roku 2002,3, pripočítame hore-uvedené hodnoty, potom v súčasnom maxime by polárne vetvy k pólom mali doraziť v rokoch 2011 (severná pologuľa) a 2012 (južná pologuľa).

### 3. Zelená koróna

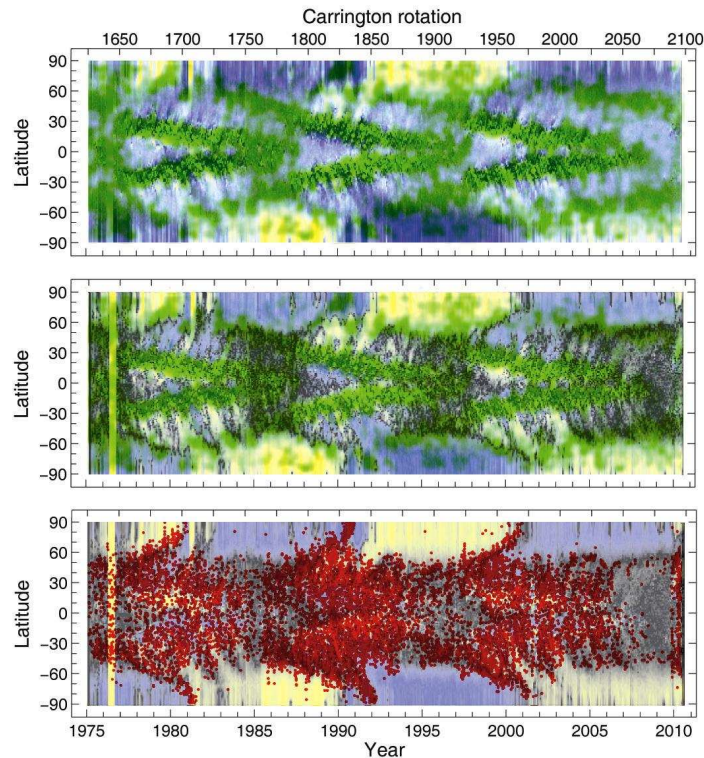
Podobný výsledok sa zistil aj pre príchod polárnych vetiev zvýšených intenzít zelenej koróny, ktoré je ukázané na obrázku 5. V jeho dolnej časti je znázornený priebeh cyklu slnečnej aktivity podľa Wolfivho čísla. Pripomínáme, že lokálne maximá intenzít zelenej koróny, ktoré sú základom pre šírkovo-časové štúdium pohybu koronálnych vetiev, sú značne rozdielne pre vysoké a ostatné heliografické šírky. Vyplýva to

z prirodzenej podstaty tejto čiary, ktorá svoje maxima má v miestach, kde je silná koncentrácia magnetického poľa, teda nad aktívnymi oblasťami a tie sa vo vysokých heliografických šírkach nepozorujú. Na obr. 5 je veľmi názorne vidieť aj „predĺžený cyklus“ slnečnej aktivity v zelenej koróne, ktorý má trvanie 17-18 rokov a začína vo vysokých heliografických šírkach  $\pm 70$  stupňov, odkiaľ sa zvýšené intenzity postupne presúvajú smerom k rovníku, kde po ďalšom maxime zanikajú. V prvom minime sa nachádzajú v stredných heliografických šírkach, a v týchto miestach dochádza k separácii polárnej vetvy, ktorá v okolí pólůvaní zaniká v maxime cyklu. Zvýšené intenzity nového, predĺženého cyklu sa začínajú vytvárať asi rok po zániku polárnych vetiev v heliografických šírkach okolo 70 stupňov. V niektorých cykloch, napríklad cykly 18 a 19, sa výrazne ukazuje, že vetvy predĺženého cyklu sa vyvíjajú z príchodu tzv. druhej polárnej vetvy, ktorá sa zo stredných heliografických šírok okolo 50 stupňov začala oddeľovať asi dva roky po prvej polárnej vetve, ale svoju cestu k pólom zakončila práve v šírkach okolo 70 stupňov a pokračovala smerom k rovníku.



Obr. 5. Šírkovo-časový priebeh lokálnych maxím intenzít zelenej koróny (hore) a slnečných škvŕn (dole).

Na obrázku 6 ukazujeme vzájomnú súvislosť medzi minimálnou hodnotou veľkoškálového magnetického poľa („neutrálna čiara“), ktoré sa pozoruje vo fotosfére, zelenou korónou (stredná časť) a protuberanciami (dolná časť). Ako je zrejmé, aj protuberancie, aj zvýšené intenzity zelenej koróny, bez ohľadu na to, kde sa nad povrchom Slnka pozorujú, veľmi úzko súvisia s výskytom fotosférického magnetického poľa. Aj preto sa často stretávame s tvrdením, že aj protuberancie aj koróna majú magnetický pôvod. Detailnejší opis pre predpovede cyklu slnečnej aktivity podľa zelenej koróny či protuberancií, ako aj o spôsobe „úpravy“ fotosférického magnetického poľa Slnka sa dajú nájsť v [3] a [4].



Obr. 6. Vzájomný súvis medzi distribúciou fotosférického magnetického poľa, zvýšených intenzít zelenej koróny a protuberancií. Pre porovnanie, horná časť obrázku je štandardná synoptická mapa magnetického poľa. Stredná časť obrázku znázorňuje to isté magnetické pole, počítačovo upravené tak, aby lepšie vynikali rozdiely medzi polaritami, pričom žltá farba je kladná polarita, modrá záporná polarita.

#### 4. Záver

Domnievame sa, že na základe príchodu polárnych vetiev protuberancií a lokálnych maxím intenzít zelenej koróny sa dá spoľahlivo predpovedať maximum cyklov slnečnej aktivity. Ich amplitúda zatiaľ nie. Na základe intenzít zelenej koróny sa dá spoľahlivo predpovedať aj minimum slnečnej aktivity. Z našej analýzy vyplýva, že maximum cyklu 24 bude v rokoch 2011 a 2012. Minimum medzi cyklami 24 a 25 by malo nastať okolo rokov 2018/19. Cyklus 24 by teda, ak sa stredná hodnota „protuberančného cyklu“ z rokov 1919-2000 má zachovať, mal byť kratší ako cyklus 23. Či naše predpovede sú správne, v blízkej dobe preverí čas.

#### Literatúra

- [1] Hathaway, D. H.: 2010, Living Review in Solar Physics 7.  
<http://solarphysics.livingreviews.org/Articles/lrsp-2010-1>
- [2] Waldmeier, M.: 1957, Z. Astrophys. 42, 34.
- [3] Rušin, V., Minarovjeh, M., Saniga, M.: 2009, Contr. Astron. Obs. Skalnaté Pleso 39, 71
- [4] Minarovjeh, M., Rušin, V., saniga, M.: 2010, Solar Phys., in press.