

# 24. SLNEČNÝ CYKLUS

L. Pastorek, Slovenská ústredná hviezdáreň, Hurbanovo, ladislav.pastorek @suh.sk

## Abstrakt :

Prvá časť príspevku sa zaoberá fyzikálnymi vlastnosťami nového 24. cyklu slnečnej aktivity. Ukazuje sa, že aj maximum tohto slnečného cyklu je rozdvojené. Po primárnom maxime v roku 2012 nasledovala tzv. Gnevyševova medzera v roku 2013 a momentálne pozorujeme aktivitu sekundárneho maxima. Škvrnotvorná aktivita vykazovala v prvej fáze cyklu výraznú severnú asymetriu, ale nástup sekundárneho maxima (október 2013 – marec 2014) sa naopak vyznačoval výraznou južnou asymetriou. V druhej časti sú uvedené niektoré zaujímavé prejavy slnečnej aktivity (sledované najmä družicami STEREO a SDO), ktoré vzbudili pozornosť slnečných fyzikov a boli preto podrobnejšie študované.

## ÚVOD

V poslednej fáze 23. cyklu sa Slnko správalo inak, než to očakávali slneční fyzici. Samotný 23. cyklus trval dlhšie ako predchádzajúce cykly, a to zhruba **12,5 roka**, nábeh nového cyklu bol extrémne pomalý a medzi dvoma cyklami bolo akési nezvyčajné **predĺžené minimum** slnečnej aktivity počas rokov 2007 -2009. Slneční fyzici zatiaľ nie sú jednotní ani v dĺžke cyklu ani v príčinách ktoré toto predĺžené minimum vyvolali.

D. Hathaway ukázal, že poludníkový tok plazmy pod povrchom Slnka (tzv. prepravný pás ,ktorého intenzita určuje veľkosť polárneho magnetického póla Slnka aj veľkosť amplitúdy cyklu podľa R) dosahuje minimálne **do  $\pm 60^\circ$**  heliografickej šírky a v období slnečných miním sa jeho rýchlosť zvyšuje – počas minima medzi 23. a24. cyklom bola jeho rýchlosť rekordne vysoká.

M. Dikpaty ai. potvrdili, že na konci 23. cyklu dosahoval meridiány tok minimálne do širok  $\pm 70^\circ$ , čo predĺžilo dĺžku cyklu na **12,5 roka** a oneskorilo nástup nového cyklu. V predchádzajúcich cykloch tento tok končil pri  $60^\circ$  heliografickej šírky. Podľa nich je 23. cyklus výnimkou a pre nový 24. cyklus predpovedajú normálne trvanie okolo 10,5 roka.

H. Antia ai. uviedli, že helioseizmické údaje z projektov GONG a MIDI dávajú podstatne kratšiu periódu iba **11,7 roka**. Vysvetľujú to tým, že rýchlosť rotácie Slnka počas miním medzi 22./23. a 23./24. sa výrazne líšila.

To, že sa Slnko v poslednej fáze 23. cyklu chovalo neobvykle potvrdzujú aj merania v pásme 0,2 – 2,4  $\mu\text{m}$  na družici SORCE : od apríla 2004 klesalo ultrafialové žiarenie Slnka zhruba **5x rýchlejšie** než obvykle po maxime cyklu.

Indukcia magnetického póla v slnečných škvrnách klesá po maxime obvykle tempom 2,4 mT/r, v závere 23. cyklu bol pokles omnoho prudší, až **7 mt/r**.

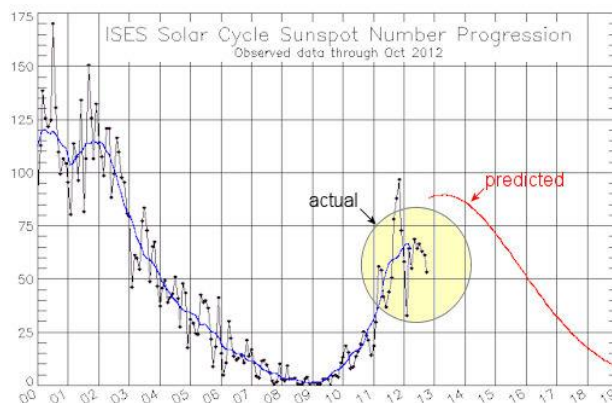
Zo zákonitostí nájdených v dlhodobom časovom chode slnečnej aktivity sme v práci (1) vyvodili na 21. storočie asi nasledovnú hrubú prognózu: **v prvej polovici storočia by mala byť nízka slnečná aktivita a v tomto období by mali byť dlhé 12 –14 ročné cykly s nevýraznými maximami**. Popri inom sme vychádzali aj z existujúcich pozorovaní slnečných škvrn, na základe ktorých v 18. a 20. storočí prevládali krátke slnečné cykly (10 ročné), zatiaľ čo v 19. storočí (v období nízkej slnečnej aktivity) prevládajú cykly dlhšie (12 – 14 rokov)

Napriek týmto neistotám bolo pre 24. cyklus uverejnených mnoho prognóz. Napr. NOAA/Space Weather Prediction Center v decembrovej predpovedi roku 2010 (obr. č. 1) udáva pre 24. cyklus nasledovné:

**minimum: december 2008,**

**maximum: máj 2013,**

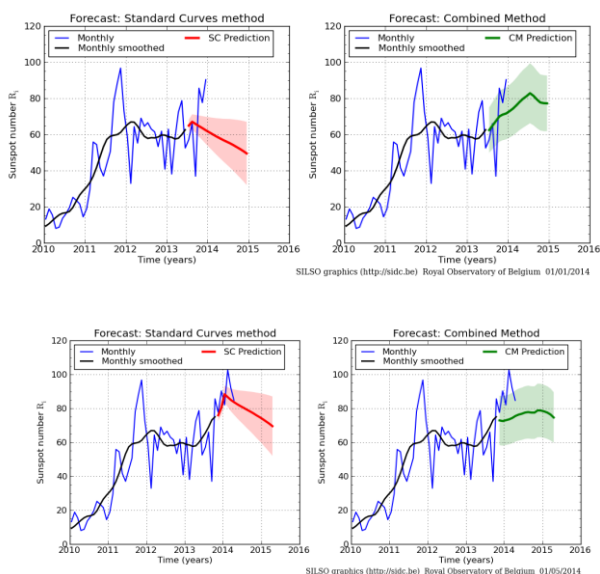
**R v maxime okolo 90**



Obr. č.1: Prognóza od NOAA/SWPC pre 24. slnečný cyklus

Brusselské SIDC popri štandardnej metóde SC (na obr. č. 2 červená krivka), založenej na vykladených

mesačných hodnotách relatívneho čísla slnečných škvŕn používa pri svojich predpovediach aj kombinovanú metódu CM, ktorá popri relatívnom čísle R zohľadňuje aj geomagnetický aa index (zelená krivka).



Obr. č.2: Prognóza od SIDC pre 24. slnečný cyklus

Ako vidieť z obrázkov kombinovaná metóda je zatiaľ spoľahlivejšia.

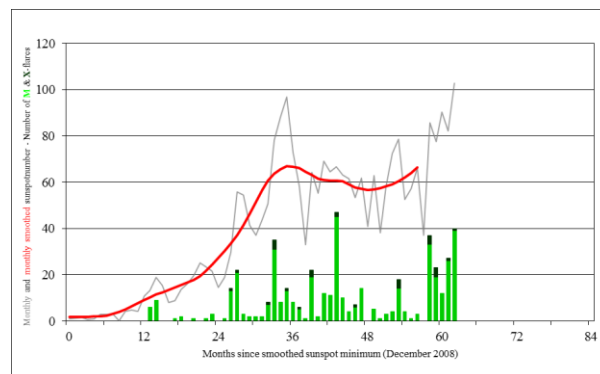
## 24. SLNEČNÝ CYKLUS

Niektorí autori udávajú za začiatok cyklu január 2008, keď sa objavila prvá skupina slnečných škvŕn – v priebehu roka sa však opäť objavila orientácia charakteristická pre predchádzajúci 23. slnečný cyklus. Až v druhej polovine roku 2009 sa na obidvoch pologuliach Slnka vyskytli také bipolárne skupiny škvŕn, že sme mohli jednoznačne prehlásiť, že došlo k výmene polarít na jednotlivých pologuliach Slnka v rámci 22 ročného magnetického cyklu.

Nábeh nového cyklu bol extrémne pomalý : plných 260dní v roku 2009 bolo Slnko úplne bez škvŕn. Podľa údajov SIDC Report bolo Slnko súvisle bez škvŕn iba v období medzi 30. 7. až 1. 9. 2009, teda iba 32 dní. Najdlhšie takéto obdobie bolo zaznamenané v minime medzi 13. a 14. cyklom, v trvaní 91 dní od 8. 4. do 8. 7. 1913.

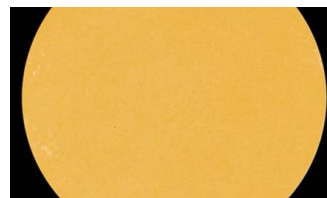
Tento pomalý nástup nového cyklu vysvetľujú D. Nandy ai. tým, že kvôli veľmi nízkej indukcie magnetického pola v okolí pólů počas minima medzi 23. a 24. cyklom bol meridionálny tok plazmy na povrchu Slnka mimoriadne slabý. K. Mursula ai. k tomu pridali aj ďalšiu príčinu – asymetriu rozloženia globálneho magnetického poľa voči oboj pologuliám Slnka : magnetické pole na severnej pologuli je slabšie než magnetické pole na južnej pologuli (prvý krát to ukázali merania sondy ULYSSES). Táto asymetria globálneho magnetického poľa Slnka kolíše v periode 200 rokov.

Priebeh 24. cyklu na základe vyhladeného Wolfvho čísla a výskytu erupcií triedy M a X (obr. č. 3 ) je asi nasledovný : **začiatok – december 2008 – prvé maximum 2011/2012 - Gnevyševova medzera v r. 2013 – druhé maximum 2013/2014 - ?**



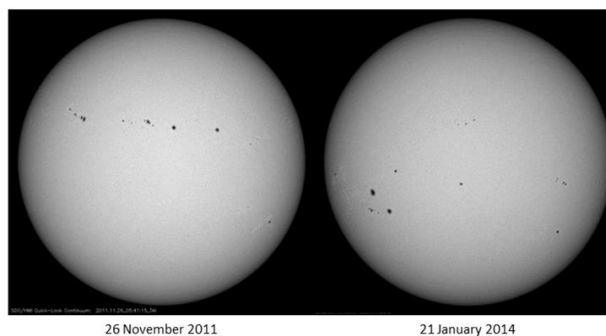
Obr.č.3: Priebeh 24. cyklu na základe vyhladeného Wolfvho čísla a výskytu erupcií triedy M a X

Po primárnom maxime 2011/2012 nasledovala tzv. **Gnevyševova medzera** v r. 2013 , keď 10. septembra nebola na Slnku (obrázok vpravo) žiadna škvŕna !



Fyzikálne vysvetlenie pre tzv. Gnevyševovu medzeru podali A. Vecchio a kol., ktorí odhalili dvojrôčnú moduláciu slnečnej činnosti , ktorá sa prejavila tak v kolísaní toku slnečných neutrín tak aj v zmenách toku slnečného a galaktického kozmického žiarenia. Podľa názoru autorov za to môže interakcia magnetického momentu neutrín so slnečnými magnetickými poľami a prekladanie sa tohto dvojrôčného cyklu s 11 ročným cyklom .

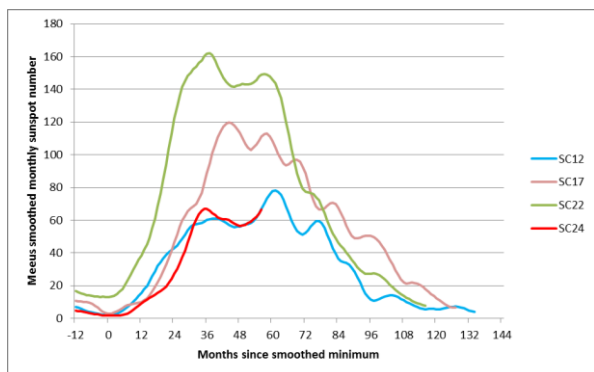
V doterajšom priebehu cyklu pozorujeme výraznú **sever – južnú asymetriu**: v čase primárneho maxima 2011/2012 sa väčšina skupín slnečných škvŕn vyskytovala na severnej hemisfére a naopak, pre sekundárne maximum 2013/2014 je príznačná južná asymetria (obr. č.4).



Obr.č.4: výrazná sever – južná asymetria 24. slnečného cyklu

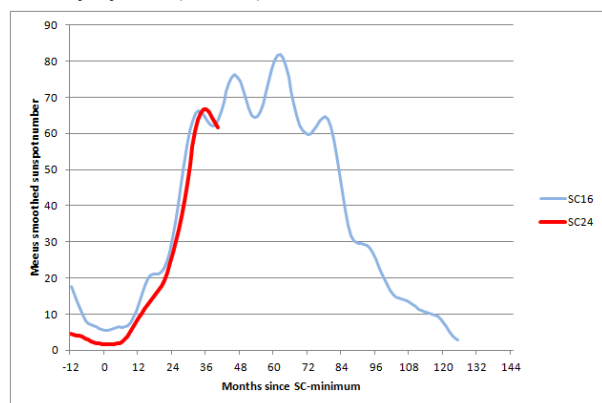
Cykly s nízkou amplitúdou majú dlhú a veľmi komplexnú maximálnu fázu, čím sa líšia od „klasických“ cyklov s jednoduchým alebo dvojitým píkom. Toto je skutočným prejavom slnečného dynamika, ktoré je síce zahrnuté v modeloch slnečného cyklu, ale ukazuje iba vyhladený asymetrický pik.

Veľmi podobný priebeh ako 24. cyklus mal napr. 12. SC (obr.č.5).

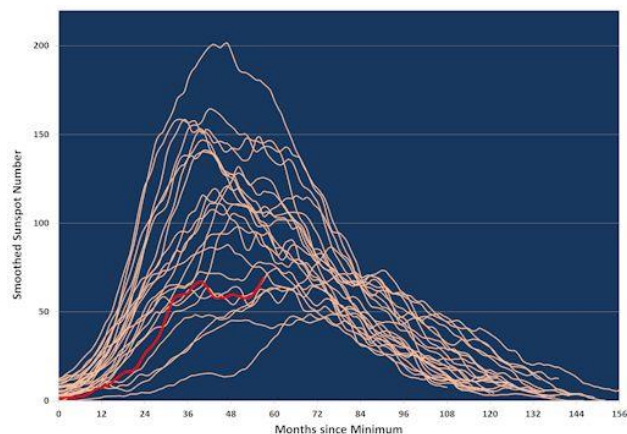


Obr.č.5: slnečné cykly s komplexnou maximálnou fázou

Najkomplexnejší prechod cez maximum mal 16. slnečný cyklus (obr.č.6).



Obr.č.6: 16. slnečný cyklus s dlhým prechodom cez maximum

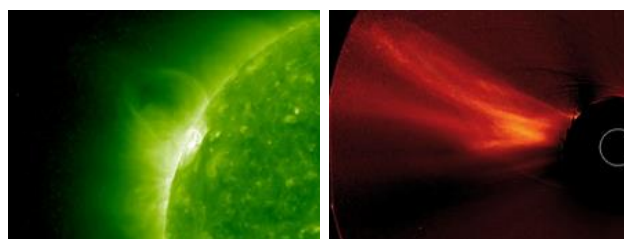


Obr.č.7: Predchádzajúcich 23 slnečných cyklov od roku 1755, 24. cyklus je označený červeným

Slneční fyzici na seminári Space Weather Workshop (Boulder, apríl 2014) skonštatovali, že už sme konečne v maxime 24. cyklu. Nezodpovedanou ostáva už len otázka či po sekundárnom maxime bude ešte nejaké maximum alebo už pôjde 24. cyklus do zostupnej fázy a aká bude jeho dĺžka.

### AKTIVITA PRINÁRNEHO MAXIMA

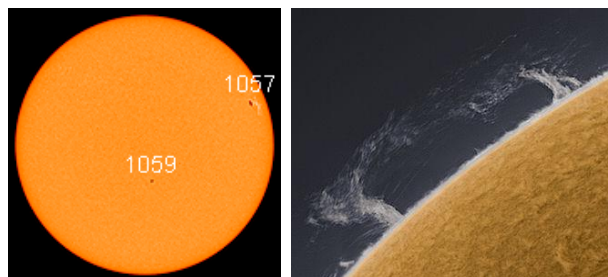
Prvou väčšou aktivitou nového 24. cyklu bolo CME z 5. mája 2009(obr.č.8), ktoré produkovalo *rádiovú búrku typ II*.



Obr.č.8: CME z 5. mája 2009 snímané družicami SDO a STEREO.

Obrázky z družice STEREO umožnili štúdium „3D Slnka“. N. Savani ai. popísali geometrický vzhlľad CME v závislosti od heliocentrickej vzdialenosti od Slnka. CME má pri vymrštení z koróny v podstate tvar valca s kruhovým prierezom, pričom os valca smeruje približne radiálne od Slnka. Pomer priemeru valca k jeho dĺžke je nezávislý od heliocentrickej vzdialenosti a činí obvykle 1:5. CME sa najviac urýchľuje vo vzdialenostiach do dvoch slnečných polomerov. Zrýchlenie prebieha plynule pre výtrysky, ktoré súvisia s protuberanciami, kým v ostatných prípadoch dôjde k urýchleniu vo dvoch oddelených vlnách. Toto svedčí o rôznych mechanizmoch urýchľovania v týchto konfiguráciách.

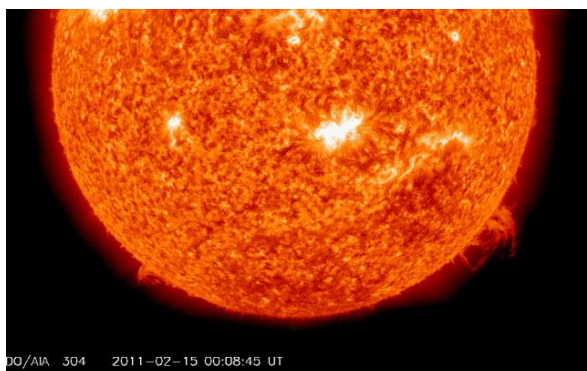
Jedinečné údaje získali Z. Liu ai. o *veľkej CME*, ktorú odštartovala *malá erupcia typu B 7.4 z 3. 4. 2010* – v mieste štartu došlo k dramatickému zoslabeniu koróny a súčasne boli pozorované krátke záblesky v pásmach *rádiového a EUV žiarenia*. CME pohybujúce sa rýchlosťou 110 km/s do prevádzala *extrémne silná rázová vlna* v slnečnom vetre. Vo vzdialenosti 0.75 AU od Slnka sa však CME zabrzdlilo na 800km/s, ktorou dorazil k Zemi a spôsobil silnú *geomagnetickú búrku*.



Obr.č.9: Nízka slnečná aktivita 3.4.2010 vyprodukovala obrovské CME s geoaktívnou odozvou.



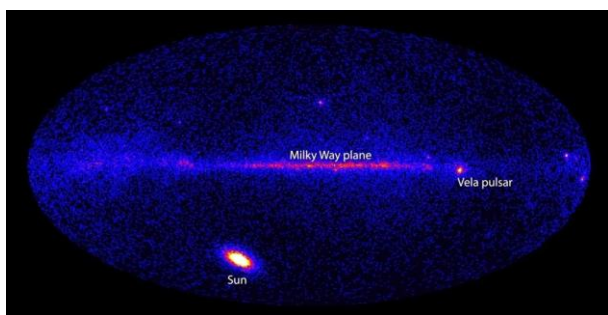
C. Schrijver urobil zatiaľ najpodrobnejší popis 3D priebehu veľkej erupcie typu **X2**, 15.2. 2011, NOAA 1158 (Prvá X erupcia tohto cyklu). Na záberoch z družíc je vidieť rozpínajúce sa slučky, v ktorých sa slnečná plazma



adiabaticky rozpína.

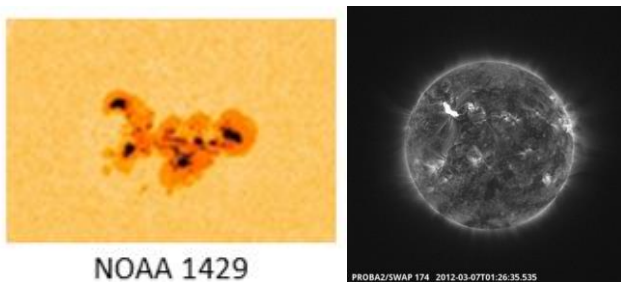
**Obr.č.10: Prvá X erupcia 24. slnečného cyklu, snímaná družicou SDO**

**Gama erupcia 7. 3. 2012** bola dosiaľ najsilnejšou erupciou zo všetkých, ktoré zachytil satelit Fermi. Slnko sa tým nakrátko stalo najjasnejším telesom aj na gama oblohe – zjasnelo tisíckrát (obr. č.11).



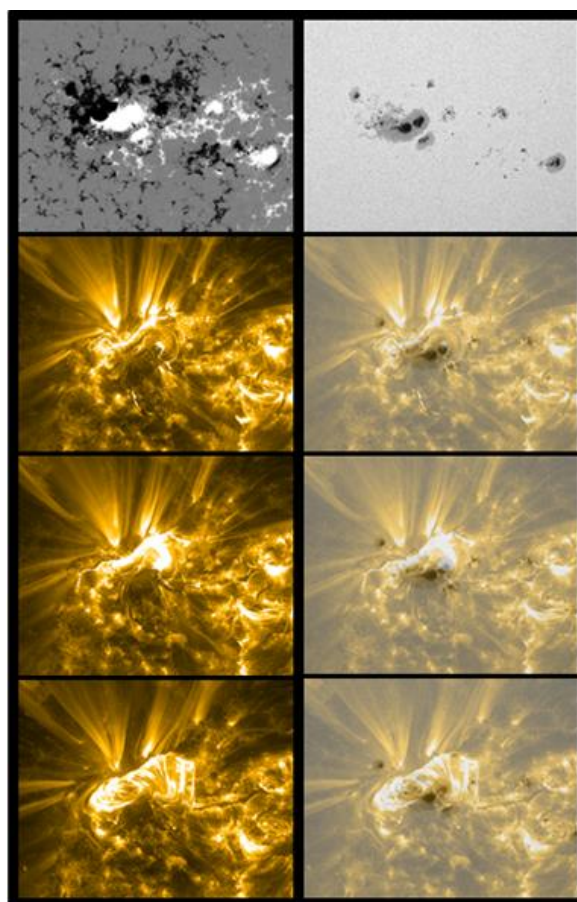
**Obr.č.11: Snímka z detektora LAT satelitu Fermi, získaná 7. marca 2012, ukazuje oblohu v žiarení gama . Najjasnejším stálym zdrojom je pulzar v súhvezdí Plachiet .**

V röntgenovom žiarení išlo o druhú najsilnejšiu erupciu v 24. slnečnom cykle, označenú ako **X5,4**, ktorá sa vyskytla v aktívnej oblasti NOAA 1429. Erupcia bola odprevádzaná **zvýšeným tokom nabitých častíc** a následnou silnou **geomagnetickou búrku**.



**Obr.č.12: Skupina slnečných škvŕn produkujúca gama erupciu X5,4 snímanú družicou PROBA2.**

Veľkú pozornosť slnečných fyzikov vzbudila za limbová erupcia resp. s ňou spojené mohutné **CME** z **23. 07. 2012**. Jej možné dosahy prirovnávajú k doteraz najväčšej geomagnetickej búrke na našej planéte z roku 1859 označenú ako **Carrington Event of 1859**. Materiál CME sa pohyboval rýchlosťou až 2930 km/s. Umelé družice namerali **najintenzívnejší protónový tok od roku 1976**. Prameňom CME bola aktívna oblasť NOAA 1250, ktorá bola vtedy už za slnečným limbom. Skupina produkovala už predtým, 12. 7. 2012 mohutnú **LDE** erupciu triedy **X1.4**, ktorej vývoj v H $\alpha$  a EUV je na obrázku č.13.



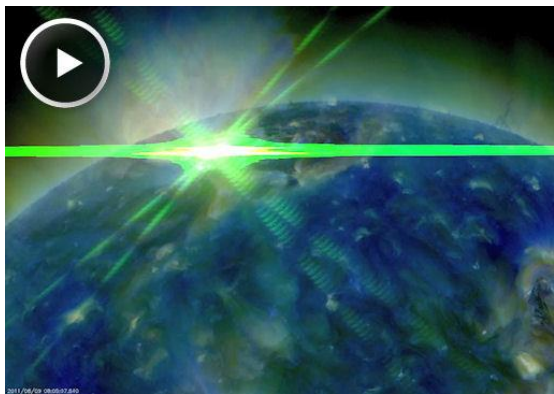
**Obr.č.13: Vývoj LDE erupcie v H $\alpha$  a EUV snímaný družicou SDO 12. 07. 2012**

Najsilnejšou erupciou 24. slnečného cyklu bola erupcia **X 6.9** z **9. augusta 2011** (obr.č.14), ktorá sa vyskytla v aktívnej oblasti v NOAA1236. S ňou spojené CME minulo Zem takže ostala bez geoaktívnych prejavov.

V tabuľke pod obrázkom je zoznam najmohutnejších erupcií, ktoré sa doteraz vyskytli v 24. slnečnom cykle.

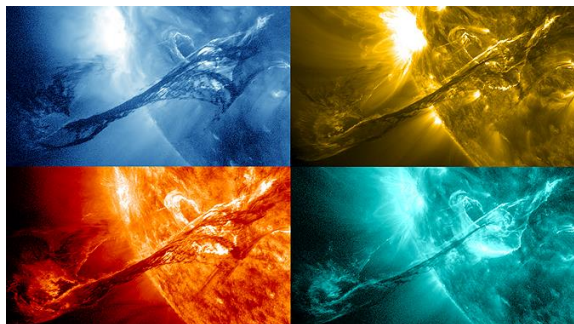
**31. 08. 2012** nasnímala družica SDO v rôznych vlnových dĺžkach - 171 Å, 304 Å a iné - výbuch nádherných dlhých filamentov (obr. č.15). Tri dni na to (3. 9. 2012) sme zaznamenali na Zemi mohutnú polárnu žiaru.





Number	Year	Month	Day	NOAA	Hem	Class	Proton	Kp
1	2011	8	9	11263	N	X 6.9	26	No
2	2012	3	7	11429	N	X 5.4	6530	7
3	2013	11	5	11890	S	X 3.3	Enhanced	TBD
4	2013	5	14	11748	N	X 3.2	41	No
5	2013	5	13	11748	N	X 2.8	Enhanced	No
6	2013	10	29	11875	N	X 2.3	Enhanced	No
7	2011	2	15	11158	S	X 2.2	Enhanced	5
8	2011	9	6	11283	N	X 2.1	Enhanced	7
9	2013	10	25	11882	S	X 2.1	Enhanced	3*
10	2011	9	24	11302	N	X 1.9	In progress	8*
11	2011	11	3	11339	N	X 1.9	Enhanced	No
12	2011	9	7	11283	N	X 1.8	No	7
13	2012	10	23	11598	S	X 1.8	No	No
14	2012	1	27	11402	N	X 1.7	796	3
15	2013	10	25	11882	S	X 1.7	Enhanced	3
16	2013	5	13	11748	N	X 1.7	No	No
17	2011	3	9	11166	N	X 1.5	In progress	No
18	2012	7	12	11520	S	X 1.4	96	7
19	2011	9	22	11302	N	X 1.4	35	No
20	2012	3	7	11430	N	X 1.3	In progress	7*
21	2013	5	15	11748	N	X 1.2	In progress	5
22	2012	7	6	11515	S	X 1.1	25	5*
23	2012	3	5	11429	N	X 1.1	Enhanced	6
24	2013	11	8	11890	S	X 1.1	Enhanced	TBD
25	2013	11	10	11890	S	X 1.1	No	TBD
26	2013	10	28	11875	N	X 1.0	Enhanced	No

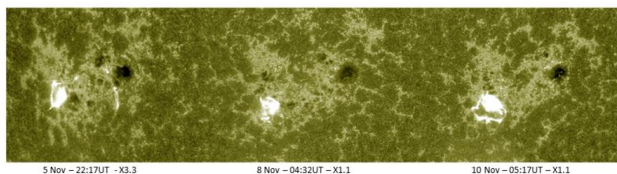
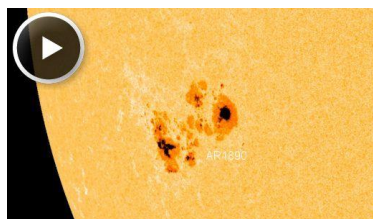
Obr.č.14: Erupcia X 6.9 z 9. augusta 2011 z družice SDO a zoznam najmohutnejších erupcií 24. slnečného cyklu.



Obr.č.15: Výbuch dlhých filamentov snímaný družicou SDO 31.08.2012.

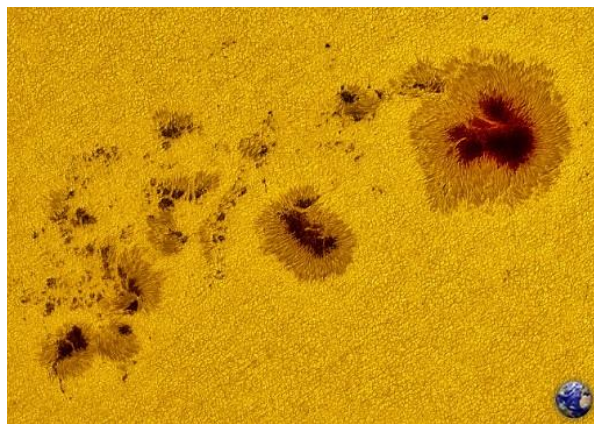
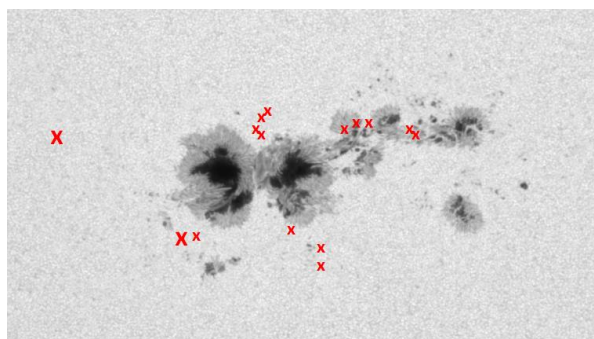
## AKTIVITA SEKUNDÁRNEHO MAXIMA

Aktivitu sekundárneho maxima odštartovala aktívna oblasť NOAA 1890, v ktorej vybuchli začiatkom novembra 2013 tri X erupcie.



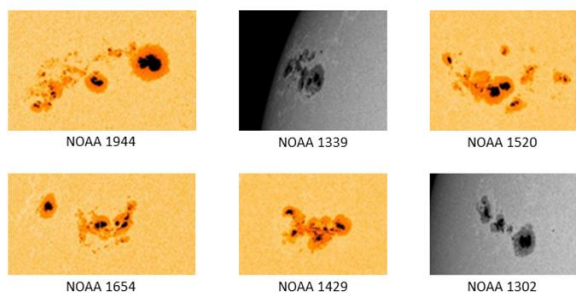
Obr.č.16: Tri erupcie triedy X v skupine NOAA 1890.

Najväčšou a najaktívnejšou (bola viditeľná aj voľným okom) skupinou slnečných škvŕn v 24. slnečnom cykle bola aktívna oblasť NOAA 1944, ktorá v období dvoch týždňov od 1. 1. do 14. 1. 2014 produkovala 1 X a 7 M erupcií. Po ďalšom návrate, už ako NOAA 1967 vyprodukovala v období medzi 30. 1. a 7. 2. 2014 ďalších 15 M erupcií, pričom najväčšia z nich bola erupcia M 6.6 z 31. 1. Medzitým v nej vybuchlo aj 34 erupcií typu C.



Obr.č.17: Aktívna oblasť NOAA 1944, ktorá sa po jednej otočke vrátila ako NOAA 1967 a produkovala obrovské množstvo erupcií.

Takáto je doterajšia aktivita sekundárneho maxima, ktoré aj teraz prebieha a dúfajme že v priebehu roka 2014 ešte zapozorujeme veľa zaujímavých aktívnych slnečných úkazov. Záverom ešte ukážeme najväčšie skupiny slnečných škvŕn, ktoré sa vyskytli v doterajšom priebehu 24. cyklu a jedna zaujímavá, veľmi rýchlo sa rozvíjajúca skupina, ktorú sme ako zúrišský typ D videli 27. 3. 2014 o 08:00 UT v Hurbanove a potom sa v priebehu niekoľkých hodín veľmi rýchlo rozpadla a napr. na Mt. Wilsone ju zachytili ako zopár bodiek typu B.

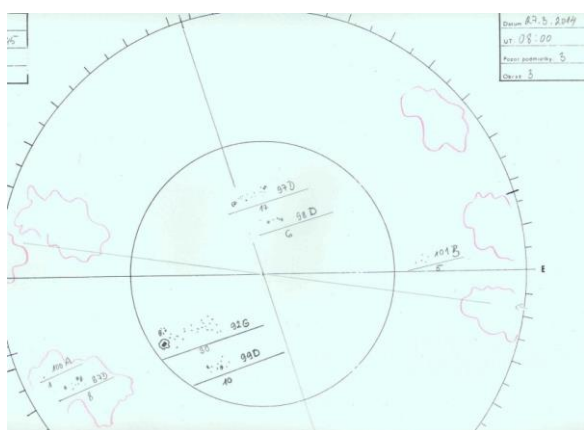


## ZÁVER

Asi takýto je doterajší priebeh 24. slnečného cyklu. Teraz sledujeme aktivitu sekundárneho maxima s relatívne nízkou amplitúdou. Ako sme už spomenuli, cykly s nízkou amplitúdou majú dlhú a veľmi komplexnú maximálnu fázu, čím sa zväčšuje aj samotná dĺžka cyklu takže tento asi bude o niečo dlhší ako klasické 11 ročné cykly. Možno naozaj dochádza k zmene dĺžky cyklu na 12 až 14 rokov, ako sme to prognózovali v práci(1) na 20.slnečnom seminári.

## LITERATÚRA

1. Pastorek L.: 2010 Zborník referátov z 20. celoštátneho Seminára, (publikované na CD)



**Obr.č.18: Najväčšie skupiny slnečných škvŕn 24. cyklu a veľmi rýchlo sa rozvíjajúca skupina, ktorú sme ako zürišský typ D videli 27. 3. 2014 o 08:00 UT v Hurbanove.**