

# Sme po maxime 24. slnečného cyklu

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

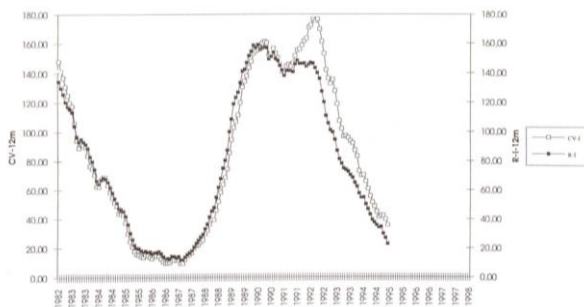
## Abstrakt:

Príspevok nadväzuje na článok z predchádzajúceho slnečného seminára v ktorom sme sa zaoberali fyzikálnymi vlastnosťami 24. slnečného cyklu, až po nástup sekundárneho maxima v októbri 2013. Jeho amplitúda bola väčšia ako amplitúda primárneho maxima a rok 2014 bol označený ako rok maxima 24. slnečného cyklu. Toto trvalo zhruba do marca 2015. Na zostupnej fáze cyklu sa erupčná aktivita akoby preniesla mimo aktívne oblasti a to vo forme vybuchujúcich filamentov resp. erupčných protuberancií. Niektoré zaujímavé prípady sú uvedené aj v našom príspevku.

## ÚVOD

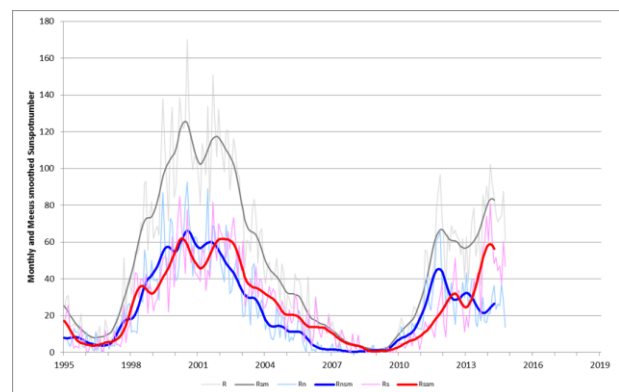
Terajší 24. slnečný cyklus začal v decembri 2008 po neobvykle dlhom niekoľkoročnom minime, ktoré predĺžilo trvanie predchádzajúceho 23. slnečného cyklu na 12,5 roka oproti predošlým 10,5 ročným cyklom. Nástup nového cyklu bol veľmi pomalý, čo niektorí pripisujú veľmi nízkej indukcie magnetického pola v okolí slnečných pólů a asymetrii rozloženia globálneho magnetického pola voči obom pologuliám Slnka: magnetické pole na severnej pologuli je slabšie než magnetické pole na južnej pologuli.

Amplitúda cyklu dosiahla svoje prvé, maximum v rokoch 2011 - 2012 s hodnotou relatívneho čísla slnečných škvŕn  $R = 66$ . Potom nasledoval mierny pokles, tzv. *Gnevjševova medzera* v r. 2013, keď napr. 10. septembra nebola na Slnku žiadna škvŕna. Druhé maximum cyklu bolo v roku 2014 s hodnotou relatívneho čísla slnečných škvŕn  $R = 83$ . Viacerí upozornili na to, že je to prvý cyklus v ktorom druhý pík je väčší ako prvý (obr. č.2). Tu však treba poznamenať, že to platí iba v prípade 13 mesačného priemerovania relatívneho čísla slnečných škvŕn. Napríklad 17 mesačné priemerovanie (Sonne) alebo *CV hodnota*, ktorá vychádza z McIntoshovej klasifikácie slnečných škvŕn vykázali vyšší druhý pík už aj v prípade 22. slnečného cyklu.



Obr. č.1: Priebeh CV hodnoty slnečných škvŕn v 22. slnečnom cykle

Celý priebeh 24. slnečného cyklu vykazuje veľmi výraznú sever – južnú asymetriu: v čase primárneho maxima sa väčšina skupín slnečných škvŕn vyskytovala na severnej hemisfére (modrá krivka) a naopak pre sekundárne maximum je príznačná silná južná asymetria



Obr. č.2: Sever – južná asymetria v priebehu posledných dvoch slnečných cyklov. V poslednom 24. cykle je druhý pík väčší ako prvý.

Rok 2014 bol vyhlásený za rok maxima 24. slnečného cyklu a je šiestim rokom v jeho priebehu. Ako vieme z minulosti, cykly s nízkou amplitúdou majú dlhú a veľmi komplexnú maximálnu fázu, čím sa zväčšuje aj samotná dĺžka cyklu takže tento bude asi o niečo dlhší (podobne ako predošlý 23. cyklus) ako klasické 11 ročné cykly. Natíska sa teda otázka či nedochádza k zmene dĺžky cyklu na 12 až 14 rokov? ako sme to prognózovali v práci (1) na 20. slnečnom seminári. Odborníci to zatiaľ nepripúšťajú hovoriac, že 23. slnečný cyklus bol výnimkou a terajší bude opäť krátky 10,5 ročný cyklus. Ich predpovede sú väčšinou robené na základe *jednocelového meridiánového prúdenia* slnečnej plazmy od rovníka k pólom a späť. Tieto predpovede však v prípade amplitúdy cyklu zlyhali, pretože dávali pre amplitúdu 24. cyklu vysokú hodnotu. Tá je ale výrazne nižšia ako amplitúda predchádzajúcich cyklov. D. Hathaway ai.sa domieľajú, že tento cyklus

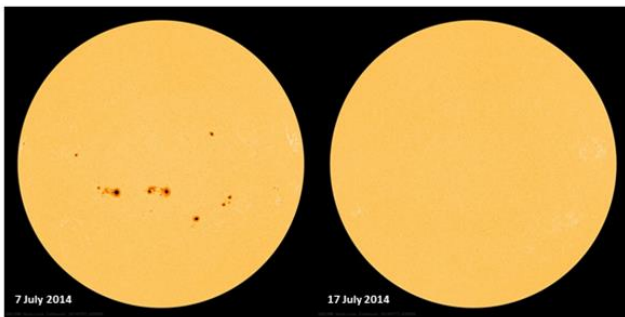
predstavuje minimum tzv. *Gleissbergovej 87 ročnej periódy*, ktorá má podľa nich 2 komponenty, jednu 90-100 ročnú a jednu 50-60 ročnú, ktorá súvisí s kolísaním rýchlosti rotácie Slnka v perióde 52,4 rokov.

S novinkou prišla V. Žarkova z Northumbria University, ktorá tvrdí, že ich predpovede, robené na základe dvojice magnetických vln (každá z nich vzniká v inej vrstve slnečného vnútra - model s dvoma dynamami) mali vyše 97% presnosť aj pre súčasný cyklus. Obe vlny majú frekvenciu asi 11 rokov a počas cyklu fluktuujú medzi severnou a južnou hemisférou Slnka. Keď sú približne v rovnakej fáze, majú silné interakcie či rezonancie čo vygeneruje silnú slnečnú aktivitu. Ak sa však úplne vyrušia nastane *slnečné minimum podobné maunderovmu*. Toto by malo nastať počas 26. slnečného cyklu, keď budú vrcholiť v rovnakom čase ale na opačných hemisférach Slnka.

### AKTIVITA SEKUNDÁRNEHO MAXIMA (POKRAČOVANIE)

Po zvýšenej aktivite koncom januára 2014 (príspevok na predošlom seminári) pokračoval cyklus v priebehu roka miernym tempom.

Zaujímavá situácia nastala v júli 2014, keď relatívne číslo slnečných škvŕn za 10 dní kleslo z hodnoty okolo 140 (7. júl) na nulu (17. júl; obr.č.3). Teda v roku maxima neboli 17. júla na Slnku žiadne škvŕny!



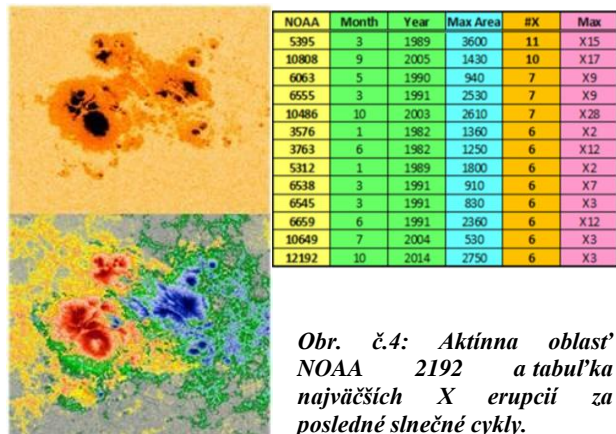
Obr. č.3: Za 10 dní sa Slnko „vynulovalo“ !

Takéto prípady nastali v minulosti počas cyklov SC 7(1830), SC 12(1883) a SC 14(1905). V poslednom prípade klesla hodnota relatívneho čísla zo 148 na nulu za pol slnečnej rotácie v čase od 15. do 28. júla 1905.

Zvýšenú aktivitu priniesla až aktívna oblasť NOAA 2192 (obr. č.4.), ktorá vyprodukovala množstvo silných erupcií. Táto obrovská skupina slnečných škvŕn bola najväčšou skupinou za posledné dva slnečné cykly!

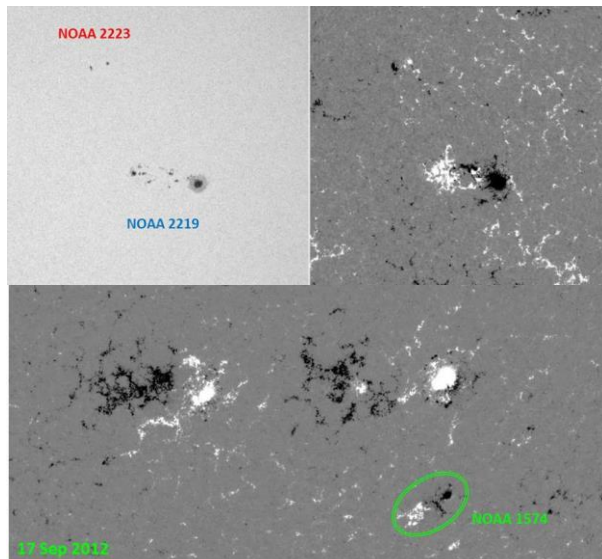
Počas jej prechodu cez slnečný disk, v čase od 18. do 30. októbra 2014, sa v nej vyskytlo až 26 erupcií triedy M a 6 erupcií triedy X. Neobvyklým tu bolo to, že iba v jednom prípade bola erupcia spojená aj s CME. Explodovaný slnečný materiál však nezasiahol Zem a ani ostatné erupcie, ktoré skupina produkovala nemali výraznejšie geoaktívne prejavy.

Sériu Zem zasiahnucích CME v dňoch 28 a 29 novembra 2014 produkovala malá skupinka NOAA 2223, ktorá sa na slnečnom disku objavila iba deň



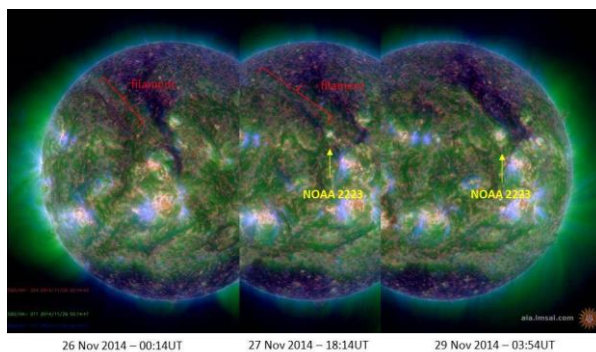
Obr. č.4: Aktívna oblasť NOAA 2192 a tabuľka najväčších X erupcií za posledné slnečné cykly.

predtým 27. 11. 2014. Skupina zaujala aj tým, že jej vedúca a záverečná škvŕna mali obrátené magnetické polarity, tak ako to bude v nastávajúcom 25. slnečnom cykle. Podobnú situáciu sme v tomto zvláštnom 24. slnečnom cykle zaznamenali už aj v roku 2012 v prípade skupiny NOAA 1574 (obr. č. 5).



Obr. č.5: Aktívne oblasti NOAA 2219 a NOAA 1574 s opačnými magnetickými polaritami vedúcej a záverečnej škvŕny!

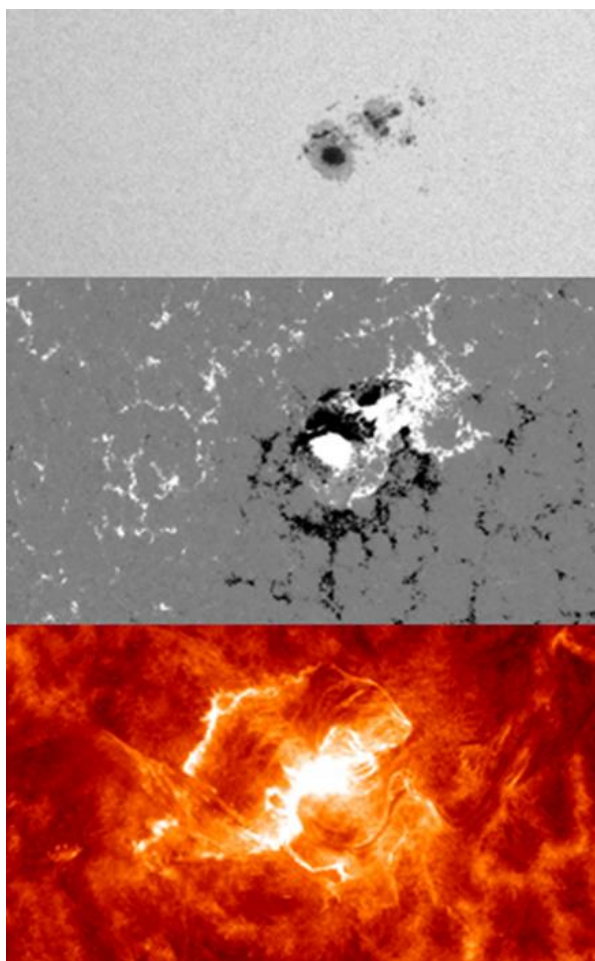
Skupina bola zrejme spúšťacím mechanizmom



Obr. č.6: Rozsiahle filamenty nad aktívnou oblasťou NOAA 2223

pozorovaných protuberancií a CME, keď destabilizovala magnetické polia mohutných filamentov nachádzajúcich sa nad ňou (obr. č. 6)

Začiatkom roku 2015 sme síce ešte pozorovali na Slnku niekoľko veľkých rozvinutých skupín slnečných škvŕn, ale ich erupčná aktivita bola veľmi nízka. Zvýšenú aktivitu priniesla až aktívna oblasť NOAA2297 (obr.č.7). Táto malá ale veľmi komplexná skupina slnečných škvŕn vyprodukovala od 5. do 15. marca až 97 C erupcií, 23 M erupcií a jednu X2.1 erupciu, čím sa stala jednou najviac erupcií produkujúcou skupinou 24. slnečného cyklu.



Obr. č.7: Aktívna oblasť NOAA 2297 s X2.1 erupciou.

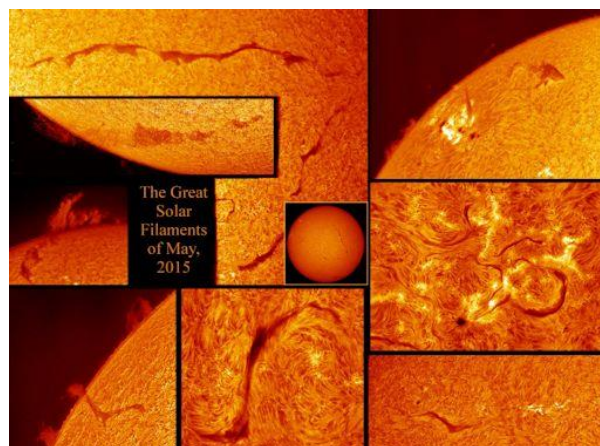
Najsilnejšia z erupcií, X2.1 erupcia bola síce spojená s výronom korónálnej hmoty (CME) ale vyvrhnutý slnečný materiál sa nedostal až k našej Zemi. Naopak, geoaktívnu odozvu mala jedna relatívne mierna ale dlhotrvajúca erupcia C 9.1 zo dňa 15.03. 2015. Táto erupcia bola spojená so zvýšeným tokom vysokoenergetických protónov a tiež s asymetrickým parciálnym halo CME pohybujúcim sa rýchlosťou 700 km/s.

Slnečný materiál 50 hodín po erupcii zasiahol Zem 17.3.2015 a vyvolal silnú geomagnetickú búrku a tiež polárnu žiaru viditeľnú aj v našich zemepisných

šírkach. Po týchto erupciách slnečná aktivita postupne klesala a cyklus sa dostal do svojej zostupnej fázy.

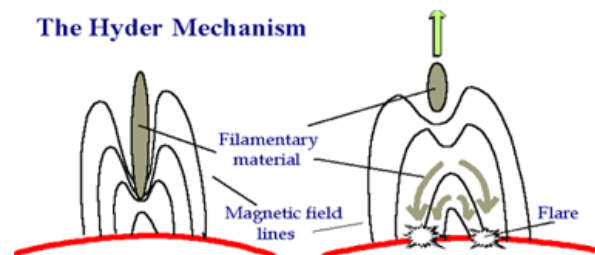
### ERUPCIE MIMO AKTÍVNYCH OBLASTÍ.

Na zostupnej fáze cyklu sa erupčná aktivita akoby preniesla mimo aktívne oblasti a to vo forme vybuchujúcich filamentov resp. erupčných protuberancií. Viacerí pozorovatelia sa zhodli v tom, že už dávno nebolo na Slnku toľko filamentov a protuberancií ako počas jarných mesiacov roku 2015 a to najmä v máji.



Obr. č.8: Májové filameny v roku 2015

Vyskytujú sa hlavne nad fotosférickými neutrálnymi líniami, ktoré sú deliacimi čiarami medzi magnetickými poľami opačných polarít (obr.č.12 dole). Prítomnosť a erupčná aktivita blízkych aktívnych oblastí môže narušiť tieto magnetické polia čo vedie k destabilizácii filamentu a k jeho výbuchu, čo pozorujeme ako erupcia filamentu. Slnečný materiál zovretý medzi siločiarami magnetického poľa je pri tom vyvrhnutý do kozmu, čo pozorujeme ako výron korónálnej hmoty, tzv. CME. Kúsky(trosky) filamentu, ktoré nedosiahnu potrebnú únikovú rýchlosť, padajú naspäť na slnečný povrch ako explodujúce impakty, čo pozorujeme ako iskriace Hyder erupcie(obr. č. 9).



Obr. č.9: Mechanizmus Hyder erupcie

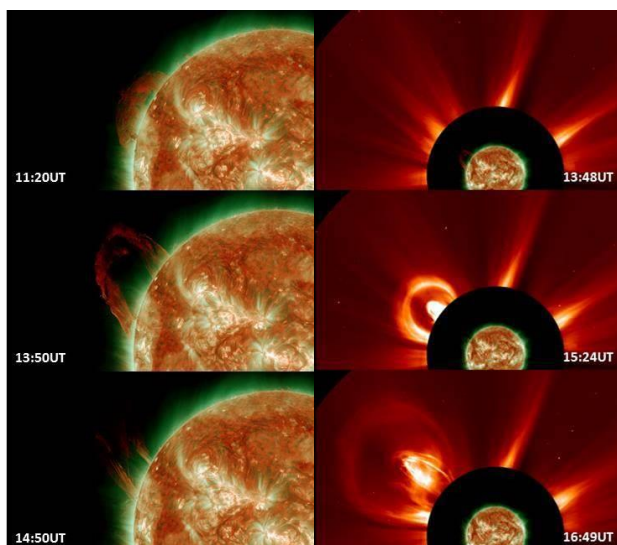
Začiatkom februára pútal na seba pozornosť veľmi dlhý super filament (obr. č. 10), ktorý 11. 2. 2015 dosiahol dĺžku cez 1 000 000 km! Na slnečnom okraji sa objavil 2. februára, o dva dni mal už dĺžku cez



**Obr. č.10: Superfilament dlhý 1 000 000 km!**

350 000 km, keď sotva prežil erupčnú aktivitu v blízkej aktívnej oblasti. Malá C3 erupcia 4. februára destabilizovala podstatnú časť filamentu, ale ten už po hodine až dvoch obnovil svoj tvar a narástol až do dlhého superfilamentu, ktorý nakoniec 11. februára vo večerných hodinách grandiózne vybuchol .

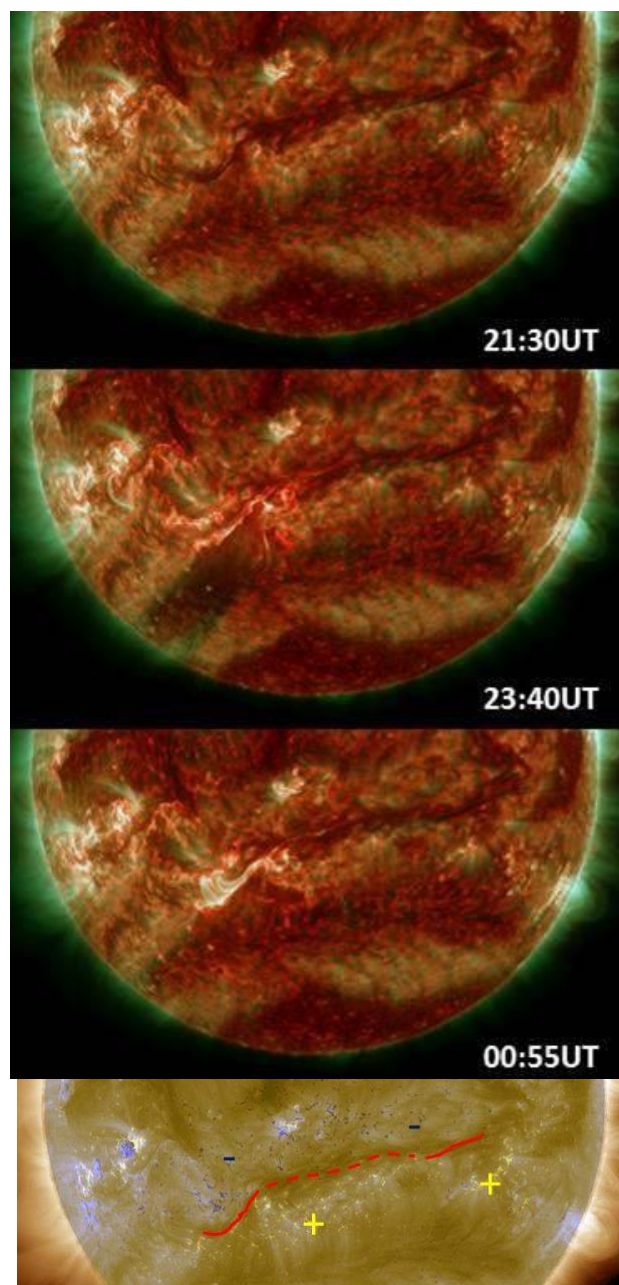
Na obrázku č.11 sú kombinované snímky z družice SDO v spektrálnych čiarach AIA 304 ( červené ; „studené“; 80 000 stupňov) a AIA 193 (zelené; „horúce“; 1.3 milióna stupňov) zachytávajúce *priebeh erupčnej protuberancie z 27. 3. 2015* a z koronografu SOHO/LASCO C2 ukazujúce následný výron *koronálnej hmoty(CME)* . Protuberancia na hornom obrázku má výšku 100 000 km a dĺžku 400 000 km



**Obr. č.11: Priebeh erupčnej protuberancie a následný výron koronálnej hmoty.**

V čase, keď nebola na slnku žiadne väčšia skupina škvrn, došlo 4. apríla 2015 k erupcii dlhého filamentu na južnej pologuli Slnka (obr.č.12 hore; 21:30 UT). Výbuch filamentu bol spojený s *dlhotrvajúcou C3.8 dvojláknovou erupciou*. Erupčné vlákna sa ťahali

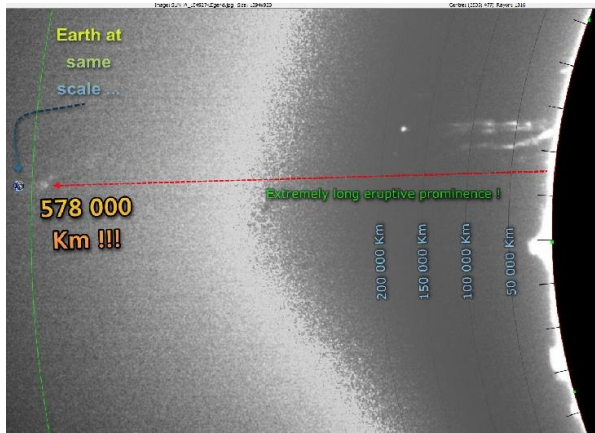
paralelne pozdĺž miesta odkiaľ bol vyvrhnutý materiál filamentu – CME ( obrázok v čase 23:40 UT). Následne sa rozžiarila celá *arkáda poerupčných koronálnych slučiek* (obrázok v čase 00:55UT) a na rozštiepenom slnečnom povrchu sa vytvoril „ohnivý kanál“ dlhý až 300 000 km (prerušovaná červená čiara na dolnom obrázku).



**Obr. č.12: Erupcia dlhého filamentu 4. apríla 2015 spojený s dlhotrvajúcou dvojláknovou erupciou..**

Žlté a modré znamienka na dolnom obrázku označujú polaritu magnetických polí medzi ktorými bol explodujúci mohutný filament “zavesený“ . Častice koronálneho výronu - CME dosiahli rýchlosť 900km/s ale väčšina z nich minula Zem.

Extrémne dlhú erupzívnu protuberanciu, siahajúcu až do výšky 580 000km nad slnečný povrch, zaznamenali družice 14. apríla 2015 (obr. č.13).



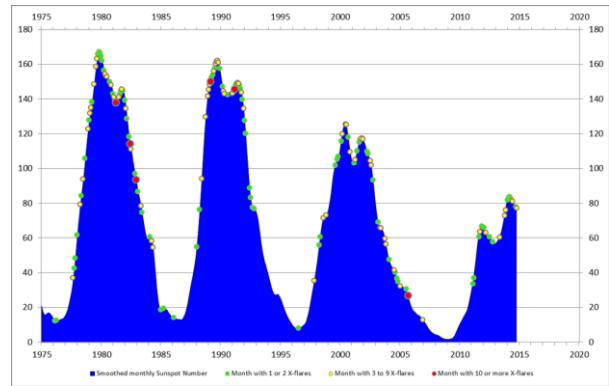
Obr. č.13: Erupzívna protuberancia 14. 4. 2015.

## ZÁVER

Na záver ešte dva prípady, ktoré tiež potvrdzujú výnimočnosť 24. slnečného cyklu.

Aktívna oblasť NOAA2339 produkovala 5. mája 2015 silnú X2.7 erupciu, ktorá bola poslednou X erupciou

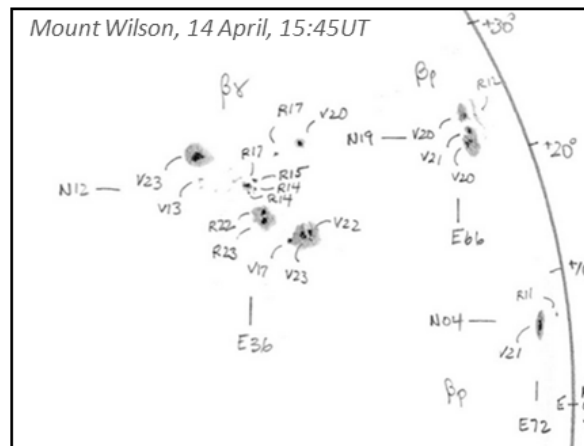
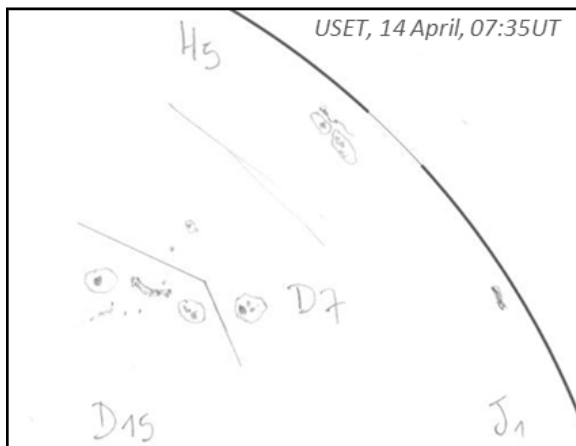
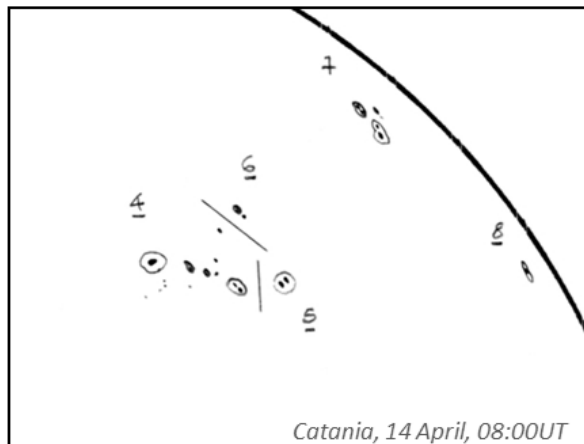
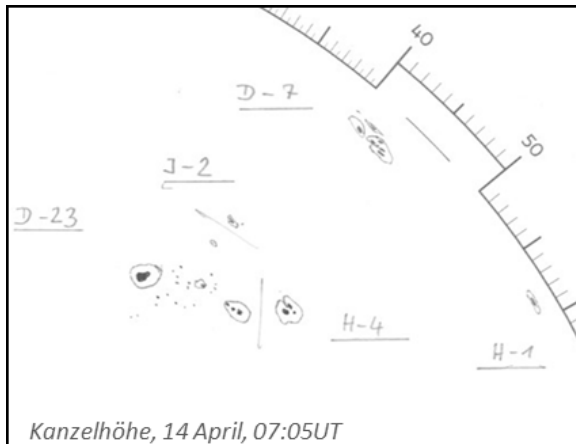
v tomto slnečnom cykle. Nemala skoro žiadnu geoaktívnu odozvu, podobne ako väčšina X erupcií súčasného cyklu. Na obrázku č.14 je znázornený výskyt X erupcií v posledných štyroch cykloch.



Obr. č.14: Výskyt X erupcií v posledných štyroch slnečných cykloch.

Kým v 21. cykle boli tri také mesiace v ktorých sa vyskytlo až 10 silných erupcií, v 22. cykle už iba dva v 23. cykle len jeden a v tomto zatiaľ ani jeden.

Problémy pozorovateľom slnečných škvŕn spôsobila aktívna oblasť NOAA2321, keď sa nevedeli rozhodnúť, či je to jedna, dve alebo tri skupiny!. Ako vidno z obr.č.15 problém riešil každý po svojom.



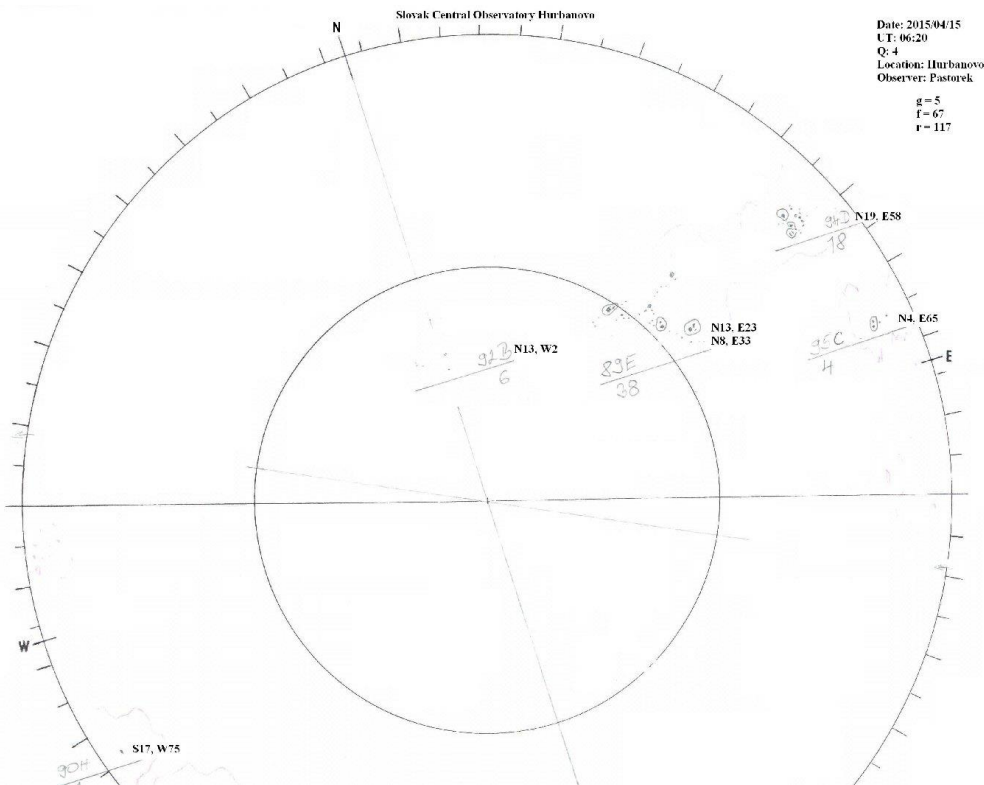
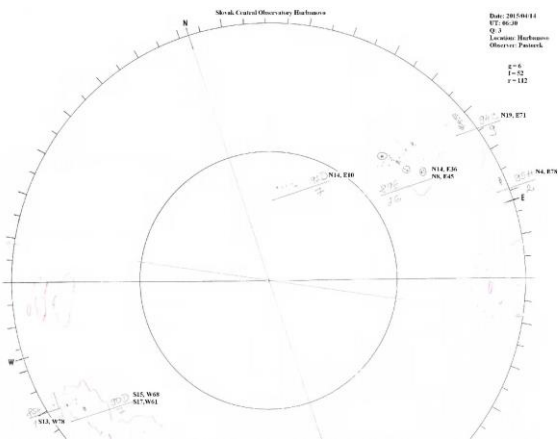
Obr. č.15: Skupina slnečných škvŕn NOAA 2321 rozdelená na dve až tri skupiny.

Hurbanove sme ju podobne ako na Mount Wilsone ponechali ako jednu rozvinutú skupinu typu F Zürišskej klasifikácie.

Počas tohto cyklu sa vyskytlo viacero skupín slnečných škvŕn, ktoré robili pozorovateľom problémy pri ich zaradovaní do jednotlivých tried Zürišskej klasifikácie. Najčastejšie to boli skupiny škvŕn rozlohou pripomínajúce typy E alebo F, ale ani jedna z množstva škvŕn nemala penumbru, takže skupina bola zaradená ako typ B, ktorý je rozlohou malý, iba do 5°. Niektorý pozorovatelia ju preto rozdelili do dvoch skupín, čo však zbytočne zvýšilo hodnotu relatívneho čísla slnečných škvŕn.

## LITERATÚRA

1. Pastorek L.: 2010 Zborník referátov z 20. celoštátneho Seminára, (publikované na CD)
2. Pastorek L.: 2012 Zborník referátov z 21. celoštátneho Seminára, (publikované na CD)



**Obr. č.16: Skupina slnečných škvŕn NOAA 2321 na kresbách z hurbanova**