Slnečná aktivita v minulosti a prognóza pre 21. storočie

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

Už tretí rok trvajúca mimoriadne nízka slnečná aktivita nabáda k otázke, či takto nezačína nejaké väčšie minimum typu Maunderovho minima. Takýmto dlhodobým extrémom slnečnej aktivity je venovaná prvá časť príspevku. V druhej časti je na základe zákonitostí v dlhodobom časovom chode slnečnej aktivity vyvodená pre 21. storočie nasledovná hrubá prognóza: druhej polovici tohto storočia by malo byť dlhodobé maximum, ktorému má predchádzať nízka slnečná aktivita s 12 – 14 ročnými slnečnými cyklami.

1. ÚVOD

V marci roku 2006 NASA oficiálne oznámila príchod minima slnečnej aktivity, teda koniec 23. slnečného cyklu. Slnečné škvrny, ktoré sa sporadicky na slnečnom disku vyskytujú, sa už pokladajú, na základe ich magnetickej polarity (22 ročný cyklus), za škvrny nového cyklu. Slneční fyzici už niekoľko krát oznámili nástup nového cyklu, ale ten sa podľa očakávania akosi nerozbehol. Ba naopak, v lete roku 2008 boli mesiace, keď na Slnku nebola ani jedna škvrna a slnečná aktivita poklesla na najnižšiu úroveň za posledné roky. Celkom oprávnene sa preto pýtame, či ide o bežný prechod cez minimum, alebo je to niečo mimoriadne a či takto nezačína nejaké väčšie minimum typu Maunderovho minima? V období tohto veľkého minima, ktoré bolo v rokoch 1645 až 1715, nezaznamenali na Slnku takmer žiadnu škvrnu. Ako prvý si to všimol Rudolf Wolf (1816-1893), riaditeľ hvezdárne v Zürichu, keď zhromaždil staré záznamy o pozorovaní Slnka až od r. 1610 (začiatok pozorovania slnečných škvŕn ďalekohľadom). Wolf zrekonštruoval chod slnečnej aktivity spätne až do roku 1700 ale číslovanie slnečných cyklov zaviedol iba od r. 1749 kedy bolo maximum ***nultého cyklu***, lebo staršie údaje, najmä spred r. 1700, sa značne odchyľovali od všetkých vysvetliteľných hodnôt. Wolf si myslel, že to robí nedostatok údajov, uspokojil sa s neskoršími údajmi ktoré uspokojivo ukazovali 11 ročný cyklus a pokladal vec za uzavretú.

2. DLHODOBÉ EXTRÉMY V CHODE SLNEČNEJ AKTIVITY.

Anglický hvezdár **E. W. Maunder** preskúmal v r. 1893 staré záznamy ohľadne skorších pozorovaní Slnka a dospel k prekvapivému výsledku, že v období asi 70 rokov pred rokom 1715 len v ojedinelých prípadoch boli na Slnku škvrny.

Toto zvláštne obdobie začalo okolo roku 1645**,** kedy už astronómovia používali na pozorovanie nebeských telies a medzi nimi aj Slnka ďalekohľady majúce aj z dnešného pohľadu dobrú optiku.. Pozorovania slnečných škvŕn, ktoré robili taký vynikajúci vedci tejto klasickej éry astronómie ako *Galilei, Thomas Hariot, David a Johan Fabrigius , Christoph Scheiner* a iní, vzbudzovali mimoriadny záujem, ktorý pretrvával aj v druhej polovine 17. storočia. Ak by sa teda v období rokov 1645 až 1715 vyskytli na Slnku škvrny určite by ich boli zaznamenali. Záznamy však svedčia o tom, že Slnko bolo v tomto období takmer bez škvŕn. ***A ak sa na ňom predsa len objavila jedna menšia osamelá škvrna, tak práve to vyvolalo senzáciu!***

Maunder zverejnil výsledok svojho výskumu v práci ***Trvalé minimum vo výskyte slnečných škvŕn*** s nasledovným uzáverom:

1. ***Počas 70 rokov (1645-1715) prakticky neboli na Slnku škvrny.***
2. ***Počas poloviny tohto obdobia nezaznamenali na severnej hemisfére ani jednu škvrnu.***
3. ***Za 60 rokov bola na Slnku iba jediná skupina škvŕn.***
4. ***Keď aj veľmi zriedka našli na Slnku škvrnu, tá bola takmer v každom prípade osamelá malá škvrna, ktorá neprežila viac ako jednu slnečnú rotáciu.***
5. ***V období rokov 1645 – 1715 dokopy videli menej slnečných škvŕn než v priemere za jeden aktívny rok***.

Existenciu minima sa Maunder vo svojej práci pokúsil dokázať pomocou vedeckej literatúry vtedajšej doby. Napr. redaktor *Philosophical Transactions of the Royal Society* píše v čase minima : ***„ v Paríži vynikajúci Signor Cassini nedávno opäť pozoroval slnečné škvrny, ktoré podľa nášho vedomia už dlhé roky nikto nevidel***.

Sám Cassini píše o úkaze nasledovné: ***„výraznejšiu slnečnú škvrnu videli hvezdári asi pred 20 rokmi, hoci predtým po objavení ďalekohľadu z času na čas takéto škvrny zapozorovali.“***

Cassini spomína aj jedného starého hvezdára (Jean Piccard, patriaceho medzi vynikajúcich astronómov tej doby) , ktorý ***„...sa veľmi tešil keď objavil jednu škvrnu, nakoľko už plných desať rokov ani jednu nevidel hocijako pozorne ich hľadal.“***

Anglický astronóm J. Flamsteed, ktorý bol v čase minima kráľovským hvezdárom píše o slnečných škvrnách nasledovné : ***„ tieto úkazy, hoci boli v čase Scheinera a Galileiho časté, sú teraz tak zriedkavé, že táto je jediná ktorú som od roku 1676 videl.“***

Maunder vo svojej práci upozornil aj na to, že ak takúto dlhú dobu neboli slnečné škvrny, tak by sa to malo prejaviť aj v neporušenom stave magnetického poľa Zeme (bez magnetických búrok) v absencii polárnych žiar, vo vývoji počasia a pod. Hoci sa neskôr potvrdilo, že Maunder mal pravdu u jeho rovesníkov nevzbudila jeho práca vážnejší záujem a časom sa na ňu takmer zabudlo.

K problematike sa vrátil až v druhej polovine 20 storočia ***John A. Eddy*** a dvaja jeho spolupracovníci D. E. Trotter a P. A: Gilmar. Okrem toho, že preštudovali staré záznamy o slnečných škvrnách na ktoré sa Maunder odvolával, preskúmali staré údaje aj ohľadom iných javov dokumentujúcich stav slnečnej aktivity v danom období : výskyt ***polárnych žiar*** (aurora borealis a aurora australis), ***tvar slnečnej koróny***, pomer ***izotopu*** ^{14}C v letokruhoch stromov a záznamy o ***klimatických zmenách***

Polárne žiare vznikajúce v dôsledku prenikania korpuskulárneho slnečného žiarenia do atmosféry Zeme po veľkých erupciách sú veľmi nápadným a uchvacujúcim prírodným javom pútajúcim ľudskú pozornosť, teda ich výskyt bol často krát zachytený v historických záznamoch a kronikách. Eddy a spol. zistili, že počas Maunderovho minima sa vyskytlo jedno ***tridsaťročné obdobie keď nikde na svete nezaznamenali polárnu žiaru.***

V čase minima zaznamenali na celom svete iba 77 polárnych žiar hoci len v severnej Európe malo byť počas tohto obdobia 300 – 1000 nocí s polárnou žiarou. Napríklad v Londíne, kde je v priemere ročne 5 – 10 takýchto nocí, nevideli v čase Maunderovho minima za 63 rokov ani jednu polárnu žiaru. Od roku 1716 sa výskyt polárnych žiar stal celosvetovo častým javom takisto ako v období pred Maunderovým minimom.

Podľa Eddyho údajov bola 15. marca 1716 taká mimoriadne silná polárna žiara, že slávny anglický hvezdár Edmund Halley napísal o nej samostatnú štúdiu, v ktorej zvlášť zdôraznil, že toto bola prvá príležitosť v jeho živote keď bol očitým svedkom takéhoto javu hoci vtedy mal už šesťdesiat rokov a štyri desaťročia sa zaoberal astronomickými a meteorologickými pozorovaniami.

Vnútorná koróna : (pozorovaná zo Zeme počas slnečných zatmení) sa stáva v čase minima asymetrickou, silne sa pretiahne pozdĺž rovníka, jej jas je omnoho slabší a môže sa stať, že je sotva viditeľná. V období od 1645 do 1715 bolo celkom 63 úplných zatmení Slnka, z čoho 8 bolo pozorovateľných aj v husto obývaných častiach Európy. Podľa dobových záznamov pozorovatelia videli iba slabý červenkastý prstenec prečnievajúci cez slnečnú korónu zakrývajúci mesačný disk. Bezpochyby nevideli skutočnú korónu ale iba tzv. falošnú korónu, čiže slabí svit zvieratníkového svetla.

Podľa pomeru ***izotopu*** ^{14}C v letokruhoch starých stromov sa dá usúdiť aká bola v danom období aktivita Slnka. Keďže polčas rozpadu izotopu ^{14}C je 5730 rokov je možné zrekonštruovať dlhodobé kolísanie slnečnej činnosti asi za posledných 7000 rokov. Časové rozlíšenie metódy síce neumožňuje presne určiť jednotlivé maximá ale 50 –100 rokov trvajúce veľké zmeny priemernej úrovne aktivity, ako Maunderovo minimum sú ukázateľné.

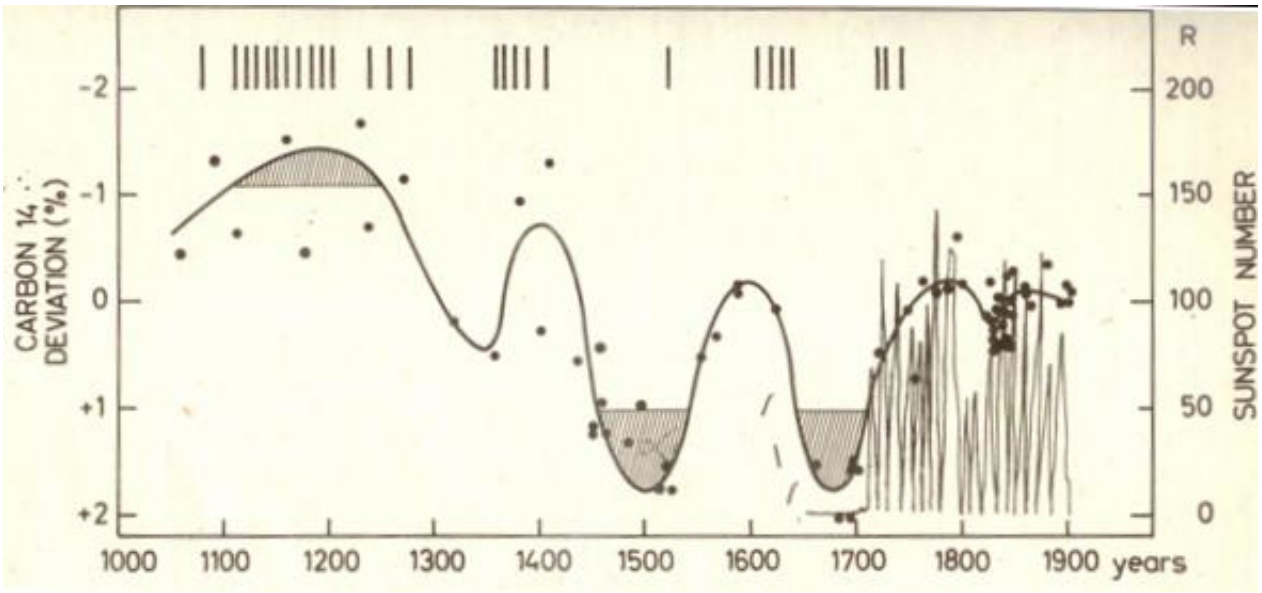
Zaujímavé sú aj záznamy o ***klimatických zmenách***. Maunderovo minimum spadá do zvláštneho studeného obdobia, tzv. „malá doba ľadová“ (1400 –1850) , keď bola priemerná teplota na Zemi nižšia ako teraz, resp. pred rokmi 1400.. Tento vzťah dokumentuje aj zistený kolísavý rozsah ľadovcov, keď v čase dávnejších, Maunderovmu podobných, desaťročia trvajúcich veľkých miním, ktorých existenciu vykázal tiež Eddy, teplota celosvetovo poklesla a polárne a vysokohorské ľadovce (alpské) sa rozšírili.

Eddy použil údaje o **klimatických zmenách a metódu izotopu** ^{14}C a podarilo sa mu zrekonštruovať chod priemernej úrovne slnečnej aktivity za posledných 7500 rokov. Len po dobu bronzovú spätne našiel dokopy jedenásť veľkých extrémov slnečnej aktivity v trvaní od päťdesiat do niekoľko sto rokov. Tieto extrémne obdobia pomenoval nasledovne :

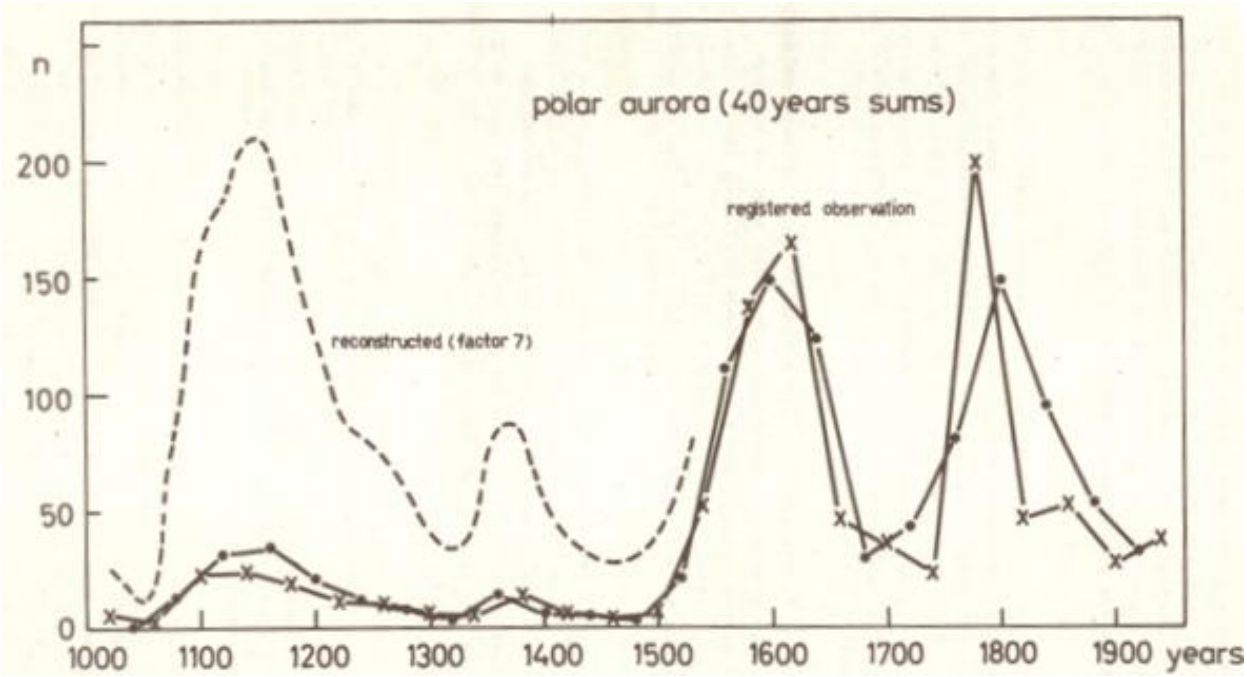
Sumerské maximum: okolo 2700 p. n. l.
Dnešnému podobné cykly : okolo 2500 p. n. l.
Grécke maximum : medzi 2100 – 2400 p. n. l.
Dnešnému podobné cykly: okolo 2000 p. n. l.
Stonehenge – maximum: okolo 1800 p. n. l.
Egyptské minimum: okolo 1400 p. n. l.
Homérosovo minimum : okolo 750 p. n. l.
Grécke minimum : okolo 400 p. n. l.
Rímske maximum : okolo začiatku n. l.
Stredoveké minimum : okolo 700 n. l.
Stredoveké maximum : okolo 1200
Sprörerovo minimum : 1460 - 1520
Maunderovo minimum : 1646 – 1715

Podobne ako medzi prvými dvoma aj medzi ostatnými obdobiami boli dnešnému podobné cykly s priemernou dĺžkou 11,1 roka len nie sú uvedené..

Časový chod slnečnej aktivity zostrojený na základe izotopu C14 (negatívna škála), pozorovania veľkých škvŕn a polárnych žiar je znázornený na obr. 1 a 2.



Obr.1 Plná krivka je preložená medzi hodnotami izotopu uhlíka ^{14}C. Vyšrafované oblasti vyznačujú intervaly, keď odchýlka medzi údajmi prekročila 1%. Séria kolmých úsečiek pri hornom okraji vyznačuje výskyt škvŕn pozorovaných voľným okom prevažne z japonských záznamov



Obr. č.2 Graf výskytu polárnych žiar zostrojených použitím rôznych katalógov. Od r. 1500 (po vynájdení kníhtlače) počet záznamov prudko stúpol. Pokus o rekonštrukciu údajov pred r. 1500 na základe sociálno-technického faktoru udáva čiarkovaná krivka.

3. POZOROVANIA SLNEČNÝCH ŠKVŔN VOĽNÝM OKOM (ÁZIA)

Kandov katalóg.

Staré záznamy o pozorovaniach slnečných škvŕn na území Japonska a Kórei zhromaždil v r. 1933 (5 rokov po Maunderovej smrti) pracovník Tokijského observatória ***Sigeru Kanda***. Jeho katalóg obsahuje pozorovania z obdobia od r. **28 p. n. l. po rok 1743 n. l.** Podľa tohto katalógu videli voľným okom na Slnku škvrny v 143 prípadoch. V období rokov 1639 – 1720 nie je záznam o pozorovaní slnečných škvŕn**.** Na základe Kandovho zoznamu Maunderovo minimum nebolo jediným a najväčším „výpadkom“ v slnečnej

aktivite. V r. 1604 končilo jedno **201 ročné** obdobie a v r. 808 jedno **229 ročné** obdobie počas ktorých nevideli ani jednu slnečnú škvrnu.

Staré čínske pozorovania

Tieto pozorovania prekrývajú obdobie dvoch tisícročí. Boli vykonané voľným okom pri západe alebo východe Slnka. Ide teda o pozorovanie veľkých slnečných škvrn priemeru aspoň 30 000 – 40 000 km, ktoré sa pozorujú väčšinou v okolí maxima slnečného cyklu. Podľa týchto starých pozorovaní mala slnečná aktivita v priebehu celého 17. storočia normálny priebeh. Údaje svedčia o tom, že priebehu 17. storočia videli voľným okom slnečné škvrny v 21 prípadoch, z čoho ***6 prípadov* spadá do obdobia Maunderovho minima.** V rámci minima ide konkrétne o nasledovné roky: ***1647, 1650, 1655, 1656, 1665 a 1684***.

Sám Eddy si myslí, že ak zoberieme za základ také 70 ročné obdobie, keď je priebeh slnečnej aktivity podobný dnešnému, tak voľným okom možno vidieť veľké škvrny v 6 -7 prípadoch. Teda v období 1647 – 1684 boli podľa čínskych pozorovaní úplne normálne, dnešnému podobné slnečné cykly.

Táto skutočnosť je doteraz neobjasnená, všeobecne sa to interpretuje tak, že v období Maunderovho minima 1645 – 1715, aj v období Spörerovho minima 1460 – 1520, nebola slnečná činnosť prerušená, iba bola na veľmi nízkej úrovni

4. ĎALŠÍ (TEORETICKÝ) VÝSKUM

Zaujímavé je, že najviac polárnych žiar v histórii bolo (ak zohľadníme vplyv tzv. civilizačného faktora, viď obrázok č.2) počas zhruba dvestoročného obdobia, ktorého stred je **okolo r. 1180** - u Eddyho je označené ako **stredoveké maximum**. Je to v polovici medzi Maunderovým minimom a jedným veľkým slnečným minimom v pozorovaniach ďalekého východu. Ak sú tieto hrubé pozorovania, ktoré podporujú ďalšie výskumy, naozaj pravdivé tak existuje zhruba **800 – 1000 ročná perióda slnečnej aktivity**, ktorá môže byť dôležitejšia ako 11 ročný cyklus. Lenže ak Maunderovo minimum nebolo spôsobené nejakou jednorazovou, neopakujúcou sa poruchou, ale je súčasťou dlhšieho slnečného cyklu, tak ak dobre počítame teraz by malo nasledovať maximum. Okamžite sa vynára otázka:

Aké mohutné bude, ak v minime 70 rokov nevideli slnečné škvrny?

Abnormálne vysokú slnečnú aktivitu v 21. storočí predpovedali aj teoretické výskumy robené na základe ***fyzikálnych štatistických parametrov*** slnečných škvrn (Kopecký). Zo zákonitostí časového priebehu Wolfovho relatívneho čísla vyplýva existencia troch základných dlhodobých variácií slnečnej činnosti:

1. ***11 – ročná*** perióda slnečných škvrn (perióda počtu vzniknutých škvrn za jednotku času na celom Slnku)
2. ***80 – ročná*** perióda slnečných škvrn (perióda priemernej životnej doby) prejavujúca sa zmenou výšky maxím 11 – ročnej periódy
3. presne neurčená perióda dlhá ***niekoľko sto rokov***. S touto periódou súvisí aj Maunderovo minimum, ktoré vzniklo ***superpozíciou niekoľkostoročnej a 80 – ročnej periódy***, zatiaľ čo abnormálne vysoká slnečná činnosť v 21. storočí by bola dôsledkom superpozície maxím týchto periód.

Tieto prognózy dávajú pre prvú polovinu tohto storočia ročné hodnoty relatívneho čísla ***vyššie ako 200*** niektoré dokonca hodnoty R > 300. Naproti tomu však na ***prelome 20. a 21. storočia*** by v súvislosti minimom 80 – ročnej periódy mala byť relatívne ***nízka slnečná aktivita*** s R<100.

Pohyby Slnka a slnečná aktivita.

Fyzikálnu podstatu kolísania slnečnej aktivity sa pokúsili vysvetliť aj na základe pohybu Slnka okolo barycentra (ťažiska) planetárnej sústavy. Slnko sa pohybuje nerovnomerným pohybom, v závislosti od rozloženia planét, okolo barycentra planetárnej sústavy

V pohybe Slnka boli nájdené (na základe odchýlok od JS-rádu; Charvátová) približne také isté periódy - ***60,90, 180, 850, 2200 rokov*** - ako boli zistené (rôznymi autormi napr. na základe už spomínaného izotopu 14C) v slnečnej aktivite (60, 80-90, 150-200, 850-900, 2000-2400).

Dlhodobé extrémy (minimá) prichádzajú zrejme v ***základnom, asi 180 –ročnom cykle***. Do minulosti to potvrdzujú aj známe minimá: egyptské, homérovo, grécke, Wolfovo (stredoveké), Spörerovo, Maunderovo a Sabinovo (1797-1823)

Dlhodobá predpoveď urobená na základe pohybov Slnka je nasledovná :

budúce minimum 180 ročného cyklu (2000 - 2030) bude miernejšie a kratšie ako minimá stredoveké. Už posledné Sabinovo minimum bolo slabšie a kratšie ako predchádzajúce minimá.

Z týchto štúdií vyplýva tiež, že v čase harmonického rozloženia slnečných pohybových prvkov sa vyskytujú tzv. vysoké cykly (R>100), ktorých dĺžka je približne ***10 rokov*** a majú ***ostré maximá***.

V obdobiach nízkej slnečnej aktivity sú cykly dlhšie, ***12 –14 ročné, s neostrými extrémami***. Teraz sme práve v takomto období.

Asi od roku 2040 nastane harmonické rozloženie pohybových prvkov, čo by malo znamenať vysokú slnečnú aktivitu s 10 ročnými cyklami.

Dĺžku cyklov za posledné tri storočia možno určiť priamo z ročných hodnôt Wolfovho čísla slnečných škvrn, ktoré sú známe od r. 1700. Táto dĺžka kolíše v rozmedzí 9 až 14 rokov. V prvej polovine 20. storočia a v 18. storočí prevládajú krátke (10 ročné) cykly, kým v 19. storočí sú cykly dlhé (12 –14 ročné). Zdá sa, že ***koncom 20. storočia nastupuje znova obdobie dlhších cyklov.***

5. ZÁVER

Z vyššie urobeného prehľadu zákonitostí nájdených v dlhodobom časovom chode slnečnej aktivity možno vyvodiť na 21. storočie asi nasledovnú hrubú prognózu:

Ak skutočne existuje 850 – 900 ročná perióda tak v druhej polovine tohto storočia by malo byť maximum cyklu. V prvej polovine storočia by mala byť nízka slnečná aktivita , minimum 180 resp. 80 ročnej periódy, jej úroveň síce nevieme predpovedať ale aktivita by nemala klesnúť na úroveň Maunderovho minima. V tomto období by mali byť dlhé 12 –14 ročné cykly s nevýraznými maximami. Možno práve 23. cyklus, ktorý začal v r. 1997 a teraz dosiahol svoje minimum je prvým z nich.

Alebo platí nasledovné **:** ***Slnko sa chová ako chaotický atraktor a nepresnosť predpovedania budúceho stavu takéhoto systému s časom exponenciálne narastá!***

LITERATÚRA

Eddy, J. A. : 1 977 The Case of the Missing Sunspots. Scientific American, 5.

Křivský L. : 1980 Zborník referátov z 5. celoštátneho seminára, p. 94

Kopecký M. : 1984 Zborník referátov zo 7 . celoštátneho seminára, p.29

Charvátová I. : 1988 Zborník referátov z 9. celoštátneho seminára, p. 131

Charvátová I., Střeštík J. : 1988 Zborník referátov z 9. celoštátneho Seminára, p. 125