

Slnčný cyklus určený na základe dlhodobých pozorovaní slnečných škvŕn voľným okom

V. Letfus (†)

Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov, Česká republika

L. Kulčár

Ekonomická fakulta UMB, Banská Bystrica, Slovenská republika

1. Úvod

Je všeobecne známe z historických záznamov, že G. Galileo nebol prvým pozorovateľom slnečných škvŕn. Sú k dispozícii záznamy o tom, že z času na čas bolo možné pozorovať veľké slnečné škvŕny, resp. skupiny slnečných škvŕn za vhodných astronomických a/alebo meteorologických podmienok (opar, hmla, dym, cirrus, pri východe alebo západe Slnka, cez jemné oblaky napr. cirrus a pod.) už dávno pred objavením ďalekohľadu. Najstaršie zachované záznamy o pozorovaní slnečných škvŕn voľným okom siahajú až do 5. storočia pred našim letopočtom.

Skutočnosť, že slnečné škvŕny môžu byť viditeľné voľným okom evokujú otázku týkajúcu sa minimálneho uhlového rozmeru slnečnej škvŕny alebo skupiny slnečných škvŕn viditeľných voľným okom. Môžeme oprávnenne predpokladať, že veľké slnečné škvŕny sa častejšie vyskytujú počas maxima 11-ročného slnečného cyklu. Veľká časová dĺžka záznamov pozorovaní slnečných škvŕn voľným okom poskytuje možnosť verifikovať fakt, či 11-ročná cykličnosť slnečnej aktivity bola prítomná za celé obdobie pozorovania a teda odhadnúť strednú dĺžku periódy slnečných cyklov.

Wittmann (1978) na základe záznamov pozorovaní slnečných škvŕn od r. 1700 a niekoľkých separovaných pozorovaní slnečných škvŕn voľným okom určil strednú periódu slnečného cyklu na hodnotu 11,135 rokov. Na základe pozorovaní slnečných škvŕn voľným okom prišiel Stix (1983, 1984) k určitým predpokladom o fázovej stabilite slnečných cyklov, ktoré využil vo svojich teoretických úvahách.

Limitný uhlový rozmer slnečnej škvŕny, ktorá môže byť pozorovaná voľným okom, sa štandardne uvádza okolo 1 uhlovej minúty. Rozlíšenie ľudského oka je v skutočnosti lepšie ako táto hodnota, avšak závisí od individuálneho pozorovateľa. Dlhodobé záznamy pozorovaní slnečných škvŕn voľným okom od r. 467 p.n.l. až do r. 1918 dávajú možnosť odhadu strednej dĺžky periódy slnečného cyklu za predpokladu, že táto periodičita bola dostatočne stabilná počas celého obdobia pozorovaní. Na testovanie nami použitej výpočtovej metódy na určenie strednej hodnoty dĺžky periódy slnečného cyklu boli použité ako testovací materiál veľké skupiny slnečných škvŕn pozorované v rokoch 1880 – 1976.

2. Rozlišovacia schopnosť ľudského oka

Bežne prijímaná hodnota rozlišovacej schopnosti ľudského oka okolo 1 oblúkovej minúty bola viackrát uvažovaná ako limitná miera uhlovej veľkosti škvŕny, ktorá už môže byť pozorovaná na Slnku neozbrojeným ľudským okom. Táto hodnota bola určená na základe jednoduchého výpočtu rozlišovacej schopnosti ľudského oka, ktorá je podmienená veľkosťou pupily ľudského oka za denného svetla. Maunder (1919) ako riaditeľ slnečnej sekcie Britskej astronomickej asociácie vyzval členov tejto sekcie na systematické denné pozorovania Slnka za účelom detekcie slnečných škvŕn voľným okom použitím iba tmavého skla ako filtra. Cieľom tohto projektu (Maunder, 1922) bolo určiť hranice rozlišovacej schopnosti ľudského oka, čo súviselo v tom čase s aktuálnou otázkou, do akej miery možno považovať za reálne pozorované detaily na povrchu planét. V tom období boli v centre záujmu astronómov pozorovania planét, a to hlavne útvarov na povrchu Marsu (tzv. kanály na Marse), prípadne hľadania nových planét Slnčnej sústavy. Maunder mal zámer publikovať výsledky získané z pozorovaní slnečných škvŕn voľným okom ako výsledok tohto projektu, avšak tieto výsledky neboli nakoniec nikdy publikované z dôvodu jeho úmrtia v r. 1928.

Spencer Jones (1955) skompiloval na základe Greenwich Photographic Results z r. 1876 – 1954 katalóg veľkých skupín slnečných škvŕn, ktorých priemerná plocha bola 500 a viac milióntin plochy slnečnej hemisféry počas ich prechodu cez slnečný disk. Autor poznamenáva, že skupiny škvŕn s limitnou plochou 500 milióntin slnečnej hemisféry nachádzajúce sa v centre slnečného disku už môžu byť obyčajne viditeľné neozbrojeným okom používajúc iba vhodný filter na stlmenie slnečného svetla. V tomto prípade teda plocha určená ako hemisférická plocha odpovedá ploche 1000 milióntin plochy slnečného disku, čo dáva lineárny rozmer slnečnej škvŕny okolo 1 oblúkovej minúty.

Mossman (1989) pozoroval slnečný disk voľným okom počas obdobia 13 mesiacov v rokoch 1981 – 1982, teda krátko po slnečnom maxime. Slnečné škvŕny boli zaregistrované voľným okom v 73 percentách prípadov z celkového počtu pozorovacích dní. V niektorých dňoch Mossman detekoval škvŕny alebo skupiny slnečných škvŕn s charakteristickým lineárnym rozmerom až do 0,4 oblúkovej minúty. Toto svedčí o vynikajúcom zraku skúseného pozorovateľa. Mossman urobil pokus s niekoľkými skupinami neskúsených pozorovateľov na

overenie ich schopnosti vidieť a rozlíšiť voľným okom škvŕny na Slnku. Veľká časť týchto pozorovateľov bola schopná rozlíšiť útvary (škvŕny) s uhlovým rozmerom okolo 0,7 oblúkovej minúty.

Slnčné škvŕny sú obyčajne zložené z tmavej centrálnej umbry a svetlejšej penumbry. Plocha umbry tvorí približne 16 % celkovej plochy škvŕny (Edwards, 1957). Je zrejmé, že pri určovaní rozlišovacej schopnosti ľudského oka touto metódou a určovaní charakteristík slnečných škvŕn pozorovaných voľným okom sa vždy uvažuje celkový uhlový rozmer slnečnej škvŕny spolu s penumbrou. Nie je jasné, akú úlohu hrá pri pozorovaní slnečných škvŕn voľným okom vzťah, resp. pomer vo veľkosti (plošný alebo lineárny) útvarov umbra-penumbra. Nie je vylúčené, že prítomnosť penumbry s nižším kontrastom vo škvŕne môže byť príčinou určitej variability v rozlišovacej schopnosti ľudského oka zistené u rôznych pozorovateľov.

Podrobnú analýzu viditeľnosti slnečných škvŕn voľným okom z hľadiska fyziologického, fyzikálneho a astronómického publikoval Schaefer (1993).

3. Použité pozorovacie údaje

3.1. Slnečné škvŕny pozorované voľným okom

Pri zostavovaní nášho katalógu slnečných škvŕn alebo skupín slnečných škvŕn pozorovaných voľným okom (kvôli jednoduchosti budeme aj skupiny slnečných škvŕn pozorované voľným okom zahrňovať pod jeden spoločný názov „slnečné škvŕny pozorované voľným okom“) sme použili ako základ katalóg Clarka a Stephnsona (Clark, and Stephenson, 1978). Tieto údaje boli doplnené o údaje z nasledovných zdrojov: Hirayama (1889), Keimatsu (1976), Yunnan Obs. Anc. Sunspot Records Res. Group (1976), Wittmann (1978), Krivský (1985), Jiang and Xu (1986), Wittmann and Xu (1978), Yan and Stephenson (1988). Niekoľko údajov bolo zistených aj Wolfom (1857 – 1867) v jeho kompilácii vtedy známych publikovaných prác o pozorovaní slnečných škvŕn. Jedno pozorovanie bolo zverejnené aj Jonesom (2001).

Aj keď presné historické záznamy o pozorovaní slnečných škvŕn obsahujú väčšinou iba dátum pozorovania a žiadne ostatné parametre pozorovaných škvŕn, môžeme sa oprávnené na základe vyššie uvedeného o rozlišovacej schopnosti ľudského oka domnievať, že rozmery slnečných škvŕn zahrnutých do nášho katalógu sú väčšie alebo rovné ako 1 oblúčová minúta. Celkový počet takto zhromaždených údajov bol 700 pozorovaní a pokrýval časový úsek od roku 467 p.n.l. až do roku 1918.

3.2. Veľké skupiny slnečných škvŕn

Medzi pozorovaním slnečných škvŕn voľným okom a pozorovaním veľkých skupín slnečných škvŕn teleskopicky existuje určitá analógia. Tieto skupiny sú ľahko identifikovateľné a rozlíšiteľné od iných skupín, pretože plochy všetkých skupín boli denne určované na základe fotografických pozorovaní. Existujú tri katalógy pozorovaní veľkých skupín slnečných škvŕn s plochou väčšou alebo rovnou ako 500 milióntin slnečnej hemisféry. Sú to nasledovné katalógy: Spencer Jones (1955) – katalóg obsahujúci pozorovania pre obdobie rokov 1878 – 1954, Kopecký a Kotrč (1974) – katalóg pre roky 1955 – 1964, Kopecký (1982) – katalóg zahrňujúci roky 1965 – 1976.

Na základe pozorovaní uvádzaných v týchto troch katalógoch boli vybrané skupiny s maximálnou plochou 1400 milióntin slnečnej hemisféry. V blízkosti centra slnečného disku boli takéto skupiny pozorované ako skupiny s plochou 2800 milióntin plochy slnečného disku, čo predstavovalo skupiny s lineárnym uhlovým rozmerom asi 2,4 oblúkovej minúty. Pre všetkých 284 takto získaných skupín slnečných škvŕn boli určené ich doby prechodom centrálnym meridiánom. Časový interval takto vytvoreného katalógu pokrýval 9 slnečných cyklov a to cykly č. 12 – 20. Tieto údaje boli vybrané ako vhodné údaje na testovanie metódy určenia strednej dĺžky slnečného cyklu.

4. Použitá metóda

Na určenie strednej dĺžky periódy slnečného cyklu sme použili vzťah udávaný Wittmannom (1978) v nasledovnom tvare:

$$E(N) = E(0) + P.N, \quad (1)$$

kde P je dĺžka nami hľadanej periódy, N je celé číslo reprezentujúce poradové číslo daného slnečného cyklu, ktorého hodnota závisí od nulovej epochy E(0). Najvhodnejší spôsob určenia nulovej epochy E(0) sa nám zdal taký spôsob, aby táto hodnota bola v blízkosti začiatku počítania nášho letopočtu podľa gregoriánskeho kalendára. Môžeme mať dva spôsoby zadefinovania nulovej epochy E(0). Podľa prvej možnosti hodnota E(0) je definovaná ako začiatok slnečného cyklu s poradovým číslom 0. Za začiatok slnečného cyklu sa požaduje minimum cyklu predchádzajúce maximumu cyklu s daným poradovým číslom. V druhej verzii je E(0) definované ako epocha nachádzajúca sa v polovici dĺžky slnečného cyklu s poradovým číslom 0, čo odpovedá približne maximumu príslušného slnečného cyklu.

Hodnota E(N) predstavuje v prvej verzii začiatkový bod (minimum) a v druhej verzii bod nachádzajúci sa v polovici dĺžky zodpovedajúceho cyklu (maximum) s poradovým číslom N. Z dôvodu, že slnečný cyklus s poradovým číslom 0 je definovaný ako ten cyklus, ktorý nastal v blízkosti začiatku počítania nášho letopočtu podľa gregoriánskeho kalendára, takto určené poradové čísla slnečných cyklov nesúhlasia s poradovými číslami slnečných cyklov, ako je to zaužívané používať v teórii slnečnej aktivity.

Riešenie rovnice (1) pre rad údajov slnečných škvŕn pozorovaných voľným okom alebo taktiež pre veľké skupiny slnečných škvŕn je možné iba vtedy, ak použijeme metódu iterácie. V prvom kroku určíme hrubý odhad dĺžky periódy P a hodnotu nulovej epochy $E(0)$ v prvej verzii (teda začiatok slnečného cyklu, ktorým sa štandardne myslí minimum cyklu). Ak dosadíme do vzťahu (1) epochy pozorovania $E(N)$, dostaneme pre odhadnuté hodnoty P a $E(0)$ pre každú pozorovanú epochu $E(N)$ poradové číslo N pre zodpovedajúci slnečný cyklus, ktoré musí byť celé číslo. Na dvojice takto získaných a vzájomne priradených údajov (t.j. pozorovaná epocha $E(N)$ a zodpovedajúce poradové číslo N slnečného cyklu) aplikujeme v druhom kroku lineárne vyrovnanie metódou najmenších štvorcov. Tým získame nové upresnené hodnoty pre P a $E(0)$. V prípade druhej verzie postupujeme analogicky, iba s tým rozdielom, že ako nulový bod $E(0)$ je použitý stred slnečného cyklu (t.j. maximum cyklu) s poradovým číslom 0, ktorý určíme tak, že k nulovej epoche $E(0)$ pripočítame polovicu dĺžky periódy P .

Táto dvojkroková procedúra sa opakuje vždy s novými hodnotami P a $E(0)$ dovtedy, kým sa dve za sebou určené hodnoty P nelíšia vzájomne o hodnotu menšiu ako nami stanovená hranica (presnosť). Potom určíme rozdiely $O - C$ medzi pozorovanými epochami (O) a epochami určenými výpočtom podľa vzťahu (1) odpovedajúcich cyklov (C). Tieto rozdiely $O - C$ slúžia na konštrukciu histogramu, ktorý poskytuje informáciu o frekvencii výskytu slnečných škvŕn počas priemerného slnečného cyklu.

5. Získané výsledky

Časový rad obsahujúci veľké skupiny slnečných škvŕn bol analyzovaný metódou opísanou v kapitole 4 za účelom určenia strednej hodnoty dĺžky slnečného cyklu z analyzovaného časového intervalu. Pre dĺžku periódy slnečnej aktivity sme dostali hodnotu $P = 10,580 \pm 0,0588$ rokov a pre nulovú epochu (v tomto prípade maximum) slnečného cyklu $E(0) = 6,833 \pm 0,6355$. Histogram výskytu početností veľkých slnečných škvŕn v celkovom počte 284 pozorovaní v spriemerovanom (akosi strednom) slnečnom cykle je znázornený na obrázku č. 1, pričom na vodorovnej osi sú znázornené rozdiely $O - C$. Z grafického znázornenia je zrejmé, že väčšina veľkých škvŕn slnečných škvŕn sa vyskytuje v blízkosti maxima slnečného cyklu, kedy rozdiely medzi dátumami pozorovaní veľkých slnečných škvŕn (O) a dátumami nastatia maxim slnečných cyklov (C) sú blízke nule. Histogram na obr. 1 poskytuje hlavné maximum v okolí hodnoty -1 roky od maxima slnečného cyklu s podružným maximom v okolí $0,6 - 1,6$ rokov od maxima. Nami získaný uzáver je v dobrom súlade s uzáverom, ku ktorému prišli Wittmann a Xu (1987). Tí zistili pre 153 veľkých skupín slnečných škvŕn pozorovaných v r. 1872 – 1985 maximá výskytu v obdobiach okolo $-1,4$ a $+0,6$ rokov od slnečného maxima a pre 360 slnečných škvŕn pozorovaných v rokoch 299 až 1985 výrazné maximum v okolí asi $+0,5$ rokov od slnečného maxima.

Rovnakým spôsobom ako v prípade časového radu obsahujúceho pozorovania veľkých slnečných škvŕn boli spracované aj pozorovania slnečných škvŕn pozorovaných voľným okom. Výsledky získané pre slnečné škvŕny pozorované voľným okom pre hodnoty dĺžky slnečného cyklu P a nulovú epochu $E(0)$ sú nasledovné: $P = 10,993 \pm 0,0028$ rokov, $E(0) = 1,100 \pm 0,0116$. Nami získaný výsledok je v dobrom súlade s výsledkom získaným Wittmannom (1978), ktorý pre periódu našiel hodnotu $P = 11,135 \pm 0,007$ rokov a pre $E(0)$ hodnotu $1,2 \pm 1,0$.

Na obrázku č. 2 je znázornený analogicky zostrojený histogram výskytu početností pre slnečné škvŕny pozorované voľným okom v celkovom počte 700 pozorovaní v strednom slnečnom cykle. Avšak uvedený histogram vykazuje v porovnaní s histogramom pre veľké slnečné škvŕny z obr. 1 podstatné rozdiely, a to hlavne v existencii viacerých takmer rovnako významných maxim v obdobiach okolo $(-5) - (-4)$; $-1,5$; $+1,5$ rokov a s nevýrazným maximom $(+4,5) - (+5)$ rokov od maxima. K podobnému rozdeleniu dospeli však aj Wittmann a Xu (1987) analýzou 235 pozorovaní škvŕn pozorovaných voľným okom od r. 165 p.n.l. do r. 1684, ktorých výsledok viedol k uzáveru, že pozorovania slnečných škvŕn voľným okom sa nesústreďujú prevažne v okolí slnečných maxim, ale sú rozložené po celej dĺžke slnečného cyklu.

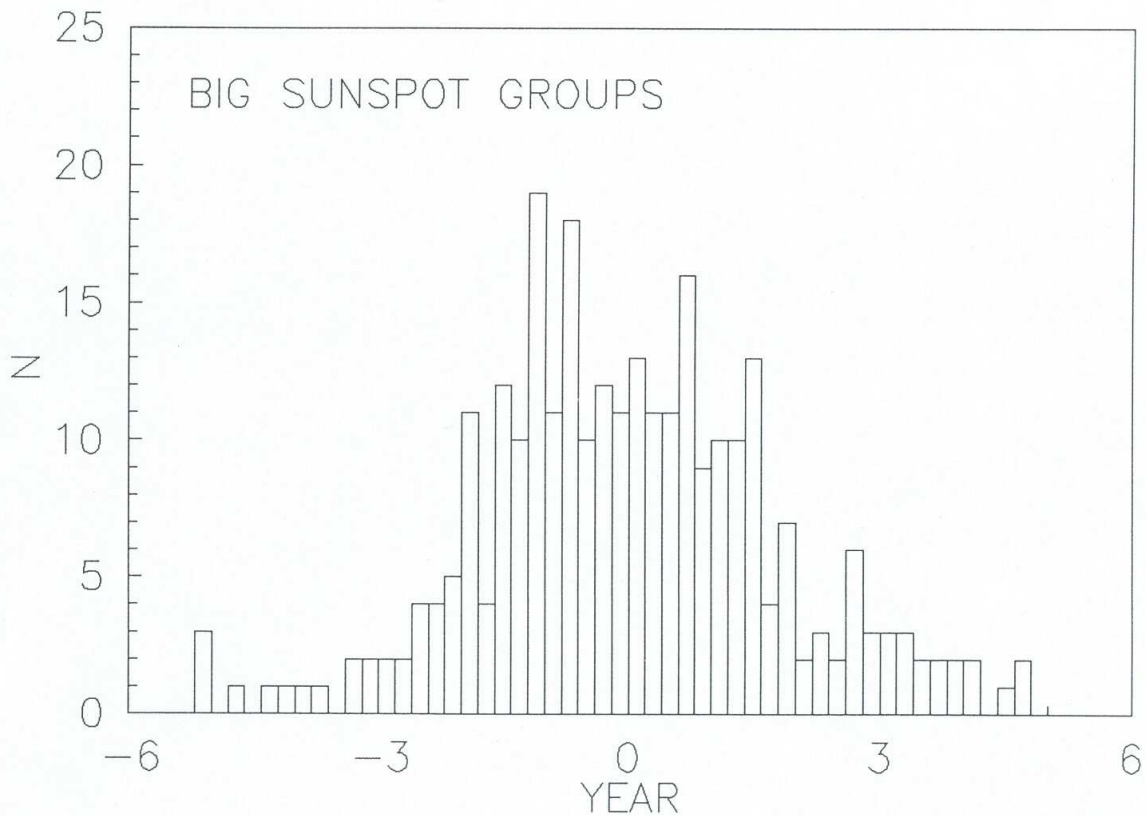
Poďakovanie

Ďakujem vedeniu Astronomického ústavu AV ČR v Ondřejove a hlavne Doc. Dr. P. Heinzelovi, DrSc. za umožnenie prístupu k materiálom, ktoré rozpracoval Dr. V. Letfus, CSc., avšak, žiaľ, už nestačil publikovať. Táto práca bola realizovaná v rámci grantu Slovenskej akadémie vied VEGA č. 1/4027/07 „Analýza dlhodobých slnečných cyklov a ich modelovanie matematicko-štatistickými metódami“.

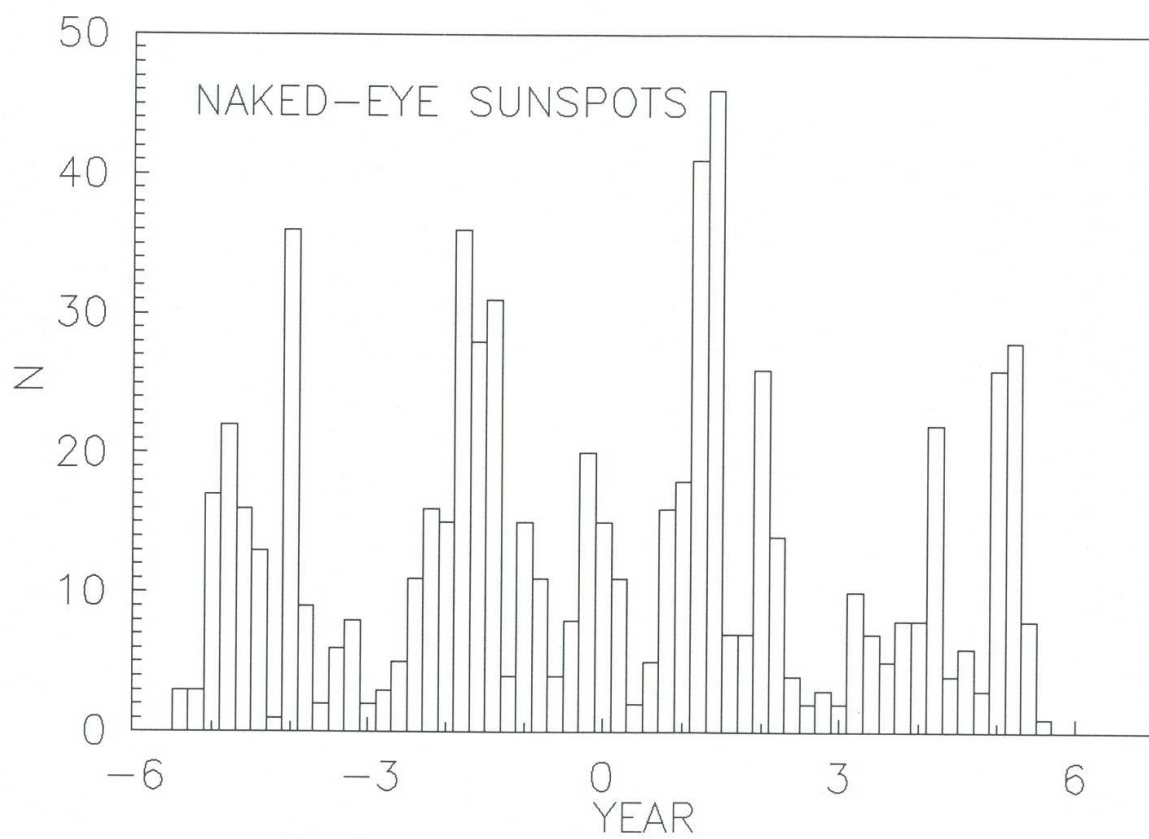
Literatúra:

1. Clark, D.H., Stephenson, F.R.: 1978, Quart. J. Roy. Astron. Soc. 19, 387 – 410.
2. Edwards, A. W. F.: 1957, The Observatory 77, 69.
3. Hirayama, S.: 1889, The Observatory 12, 217 – 219.
4. Jiang, Y., Xu, Z. T.: 1986, Astrophys. Space Sci. 118, 159 – 162.
5. Jones, N.: 2001, New Scientist 171, 12.
6. Keimatsu, M.: 1976, Ann. Sci. Kanazawa Univ. 13, 1 – 32.
7. Kopecký, M.: 1982, Bull. Astron. Inst. Czechosl. 33, 65 – 72.
8. Kopecký, M., Kotrč, P.: 1974, Bull. Astron. Inst. Czechosl. 25, 171 – 182.
9. Křivský, L.: 1985, Bull. Astron. Inst. Czechosl. 36, 60 – 61.

10. Maunder, E. W.: 1919, J. Brit. Astron. Assoc. 29, 34.
11. Maunder, E. W.: 1922, J. Brit. Astron. Assoc. 32, 221.
12. Mossman, J.E.: 1989, Quart. J. Roy. Astron. Soc. 30, 59.
13. Schaefer, B. E.: 1993, Astrophys. J. 411, 909-919.
14. Spencer Jones, H. (ed.): 1955, Greenwich Sunspot and Geomagnetic Storm Data, Royal Greenwich Observatory, London.
15. Stix, M.: 1983, Mitt. Astron. Ges. 60, 95.
16. Stix, M.: 1984, Astron. Nachr. 305, 215.
17. Wittmann, A. D.: 1978, Astron. Astrophys. 66, 93-97.
18. Wittmann, A. D., Xu, Z. T.: 1987, Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 70, 83-94.
19. Wolf, R.: 1857-1867, Astron. Mitt. Nos 3-23.
20. Yan, K.K.C., Stephenson, F.R.: 1988, Quart. J. Roy. Astron. Soc. 29, 175-197.
21. Yunnan Obs. Anc. Sunspot Records Res. Group.: 1976, Acta Astron. Sinica 17, 217-227.



Obr. 1. Histogram rozdelenia výskytu veľkých teleskopicky pozorovaných slnečných škvŕn v závislosti od fázy priemerného slnečného cyklu.



Obr. 2. Histogram rozdelenia výskytu slnečných škvŕn pozorovaných voľným okom v závislosti od fázy priemerného slnečného cyklu.