

## References

- [1] O. I. Shpotyuk, A.O. Matkovsky, J. Non-Crystal line Solids, 176, 45 (1994).
- [2] O. I. Shpotyuk, Radiation Physics and Chemistry, 46, 1279 (1995).
- [3] O. I. Shpotyuk, R.Y. Golovchak, A.P. Kovalskiy, M.M. Vakiv, V.D. Pamukchieva, D.D. Arsova, E.R. Skordeva, Phys. Chem. Glasses, 42, 95 (2001).
- [4] O. Shpotyuk, J. Filipecki, Mat. Sci. Eng., B 91-92, 537 (2002).
- [5] I. Shpak, I. Sokolyuk, Z. Hadmashy, P. Shtets, D. Semak, Ukr. J. Phys. Optics, 2, 199 (2001).
- [6] I.I. Shpak, I.P. Studenyak, M. Kranjcec, J. Optoelektron. Adv. Mater., 5, 1135 (2003).
- [7] D. Semak, J. Birčák, Acta Phys. Slovaca, 46, 1, 75 (1996)
- [8] I.A. Savage, J. Non-Grystalline Solids, 1, 101 (1982).
- [9] M.A. Popescu, Non-Crystalline Chalcogenides, Kluwer Akademie, Dordrecht (2000).
- [10] I.P. Studenyak, M. Kranjcec, Gy. Sh. Kovacs, I.D. Desnica, V.V. Pánko, V. Yu. Slivka, J. Mat. Řeš., 16, 1600(2001).
- [11] F. Oswald, Optik, 16, 527 (1959).
- [12] M. Kranjcec, D.I. Desnica, B. Celustka, A.N. Borec, Gy. Sh. Kovacs, Z. P. Hadmashy, L. M. Suslikov, I. P. Studenyak, Phys. Stát. Sol.(a), 153, 539 (1996).
- [13] S. S. Batsanov, Srtuctural refractometry, Vysshaya shkola, Moscow (1976).
- [14] B.V. Ioffe, Refractometric methods of chemistry, Khimiya, Leningrad (1983).
- [15] I. I. Shpak, I.I. Rosela, Ukr. Phys. J., 3, 361 (1989).
- [16] O. I. Shpotyuk, A. P. Kovalskii, M. M. Vakiv, O. Y. Mrooz, Phys. Stat. Sol.(a), 144, 277 (1994).

---

## KORELAČNÁ ANALÝZA BEZTELESKOPICKÝCH POZOROVANÍ SLNKA A NIEKTORÝCH PREJAVOV SLNEČNEJ AKTIVITY

*CSATÁRYOVÁ Mária – BEGENI Peter*  
*– MAJHEROVÁ Mária, SR*

**Resumé:** V súčasnej dobe sú k dispozícii dva rozsiahle súbory pozorovacích dát Slnka. Jeden je zo vzdialenej minulosti, kedy sa pozorovania uskutočňovali bez ďalekohľadu viacmenej náhodne. Druhý súbor je z obdobia posledných asi 300 rokov - teleskopické pozorovania. Nájdenie závislosti medzi známymi merateľnými prejavmi slnečnej aktivity a údajmi z bezteleskopických pozorovaní nám umožní lepšie pochopiť pozorovania, ktoré sa zachovali z predteleskopickej doby a môžu tak poskytnúť dostatok priamych údajov o slnečnej činnosti v minulosti.

**Abstract:** CORRELATION ANALYSIS OF NON-TELESCOPIC OBSERVATIONS OF SUN AND INDIRECT MEASUREMENTS OF SOLAR ACTIVITY

Presently there are available two large data sets of solar observations. One data set can be described as historical and originates from the period when observations had been carried out without telescopes, in not very systematic way and more or less randomly. The other data set spans the period of approximately last 300 years and consists of telescopic observations. We study correlation between known and measurable evidence of the solar activity and data from non-telescopic observations. In this way we shall be able to obtain more information about the solar activity over the time periods extended even into the pre-telescopic age.

## Úvod

V súčasnosti, v ére teleskopov, rádioteleskopov a kozmických sond sa môže navonok zdať, že zaoberať sa spracovávaním dát získaných pozorovaním Slnka bez ďalekohľadu je zbytočné. No nie je to úplne tak. Od čias, kedy Galileo Galilei objavil (resp. „znovuobjavil“) v Padove svojim ďalekohľadom slnečné škvrny (okolo r. 1610), začali sa získavať teleskopické záznamy pozorovaní slnečných škvŕn (kvantitatívne spoľahlivé údaje sú od roku 1749). Slnečné škvrny boli však známe už dávno pred ich „objavením“ Galileim. Prvé dve historicky zapísané pozorovania pochádzajú už z roku 464 p.n.l z Grécka. Od tých čias sa objavujú nepravidelné záznamy o pozorovaní slnečných škvŕn z rôznych kútov sveta.

V súčasnosti sú k dispozícii dva rozsiahle súbory pozorovacích dát Slnka. Jeden je zo vzdialenej minulosti a pozorovania sa uskutočňovali bez ďalekohľadu viacerou náhodou. Druhý súbor je z obdobia posledných asi 300 rokov, kedy máme teleskopické pozorovania. Medzi týmito pozorovaniami chýba vzájomne prepojenie. Na minulé pozorovania sa nevieme pozeráť „teleskopickými“ očami a opačne, na súčasné sa nevieme pozeráť očami „bezteleskopickými“. Riešením tejto situácie je zistiť závislosť medzi teleskopickými a bezteleskopickými pozorovaniami.

Výskyt slnečných škvŕn a ich periodicitu sú vizuálne najnápadnejším prejavom slnečnej aktivity. Miera ich výskytu je popisovaná relatívnym číslom R, ktoré zároveň predstavuje aj mieru slnečnej aktivity. Periodicitu slnečnej aktivity reprezentuje hlavne 11 ročný cyklus, cez ktorý sa prekladá ďalší cyklus, s periodicitou približne 80 rokov. Existujú náznaky ďalších slnečných cyklov s periodicitou stoviek a tisícok rokov. Z nepriamych pozorovaní môžeme predpokladať slnečné cykly s periódou 205 až 210, 600 až 700 a 2000 až 2400 rokov. Existenciu takýchto a ďalších slnečných cyklov z dlhodobého hľadiska by potvrdili pozorovania v dlhodobom časovom intervale.

Jednou z možností je spracovať predteleskopické pozorovania, ktoré siahajú do obdobia dvoch storočí pred našim letopočtom. Tieto záznamy môžu poslúžiť ako indikátory približných rokov maxim slnečných cyklov. Je dokázané, že pravdepodobnosť videnia slnečných škvŕn bez ďalekohľadu je omnoho vyššia v období maxima slnečného cyklu. Tieto dáta boli porovnávané s hodnotami svetového katalógu polárnych žiar a množstvom izotopu uhlíka  $^{14}\text{C}$  v letokruhoch stromov a izotopu  $^{10}\text{Be}$  v polárnych ľadovcoch, aby sa potvrdili dlhoperiodické zmeny slnečnej činnosti (Křivský, 1984, 1985a, 1992, 1995). Analýzou týchto údajov sa určili hlavné maximá a minimá dlhoperiodických cyklov slnečnej činnosti.

## Predteleskopické pozorovania

Ako sme už v úvode spomenuli, prvé dve historicky zapísané pozorovania pochádzajú z Grécka z roku 464 p.n.l. V poradí tretie pozorovanie pochádza z Číny z roku 164 p.n.l. a nasleduje rad pozorovaní opäť z tejto oblasti. V 6. storočí sa objavujú pozorovania z Európy. Historicky známe prvé pozorovanie z územia Čiech je datované 24.7.1139 (Křivský, 1985b).

V predteleskopickej dobe bolo Slnko skúmané hlavne v období novu Mesiaca, kedy bolo pre hviezdárov zaujímavé hlavne z hľadiska predpovede zatmenia Slnka. Hvezdári v tom čase využívali na pozorovanie jednoduché filtre. Podľa Eddyho (1989), mohlo ísť napríklad o vyhladený nefrit alebo tenkú vrstvu skla začiernenú nad plameňom sviečky.

Historické pozorovanie Slnka bez ďalekohľadu od r. 164 p.n.l. do roku 1684 n.l. zozbierali Wittman & Xu (1987). Tieto pozorovania aktualizovali a rozšírili (hlavne v období 1685 až 1918) Yau & Stepherson (1988). Wittman (1992) doplnil tieto dáta „modernými“ pozorovaniami (po r. 1764, ale hlavne z 20. storočia) a celý katalóg skompletizoval.

Pre spracovanie týchto historických pozorovaní Slnka je potrebné zistiť závislosť medzi viditeľnosťou slnečných škvŕn bez ďalekohľadu a inými merateľnými prejavmi slnečnej aktivity. K tomu bolo potrebné vykonať pozorovania bez ďalekohľadu súčasne s ďalšími pozorovaniami, ktorých výsledky charakterizujú mieru slnečnej aktivity. Miera slnečnej aktivity môže byť popísaná napríklad relatívnym číslom, erupčným indexom, geomagnetickým indexom a pod. Využitím korelačnej analýzy môžeme určiť stupeň závislosti medzi viditeľnosťou škvŕn bez ďalekohľadu a iným merateľným prejavom miery slnečnej aktivity a následnou aproximáciou popísať historické dáta počas dvoch tisícročí.

## Projekt pozorovania Slnka bez ďalekohľadu

Mossman (1989) sa venoval štúdiu videnia slnečných škvŕn bez ďalekohľadu. Vykonával teleskopické a aj bezteleskopické pozorovania Slnka v období maxima, kedy počas 13 mesiacov zaznamenal 278 slnečných škvŕn. Z jeho záverov vyplýva, že pozorovateľ je schopný rozlíšiť škvŕny o veľkosti  $0,3'$ . Najlepšiu možnosť pre rozlíšenie detailov poskytuje Slnko pred svojím západom. Podľa Eddyho (1989) viditeľnosť slnečných škvŕn viditeľných bez ďalekohľadu závisí od denného relatívneho čísla slnečných škvŕn. Dolná hranica relatívneho čísla, ktorá ešte indikuje možnosť zachytenia slnečných škvŕn bez ďalekohľadu, je  $R = 50$ .

V súčasnej dobe sa však venuje pozorovaniam slnečných škvŕn bez ďalekohľadu veľmi malá pozornosť. Jediné pozorovania, realizované v dnešnej dobe, sú na dobrovoľníckej báze. Hollan (1991) vypracoval návod na pozorovanie Slnka bez ďalekohľadu, čím spustil pozorovaciu kampaň v Čechách a na Slovensku. Následne Begeni (1992) začal zbierať, archivovať a koordinovať celý tento projekt. Pozorovania boli zverejnené aj v slovenskom bulletine o pozorovaní Slnka (Ivan, 1992).

Počas celého projektu, ktorého sa zúčastnilo 12 českých a slovenských astronómov-amatérov, bol získaný súbor pozorovaní vykonávaných počas ôsmich rokov od 21.2.1988 do 9.6.1995. V danom súbore chýbajú pozorovania asi z ročného ob-

dobia medzi 18.7.1988 a 4.6.1989, takže hlavný súbor dát pozostáva z obdobia od 4.6.1989 do 9.6.1995. Všetky pozorovacie dáta spadajú do 22. slnečného cyklu, ktorý začal v septembri 1986 a skončil v máji 1996 (trval 9 rokov a 8 mesiacov). Maximum 22. slnečného cyklu bolo v júni 1989, takže hlavný súbor pozorovacích dát začína maximom slnečného cyklu a končí asi rok, pred jeho koncom. Celkovo bolo spracovaných 1190 pozorovaní Slnka bez ďalekohľadu.

## Spracovanie

Množstvo a zoskupenie slnečných škvŕn, viditeľných teleskopicky, popisuje *relatívne číslo*, ktoré zároveň reprezentuje aj mieru slnečnej aktivity. Je definované ako

$$R = 10g + n,$$

kde R je relatívne číslo, g - počet skupín škvŕn a n - celkový počet škvŕn.

Pre naše účely sme hodnoty denného a priemerného mesačného relatívneho čísla získali z internetovej stránky národného geofyzikálneho systému dát (NGDC, 2005).

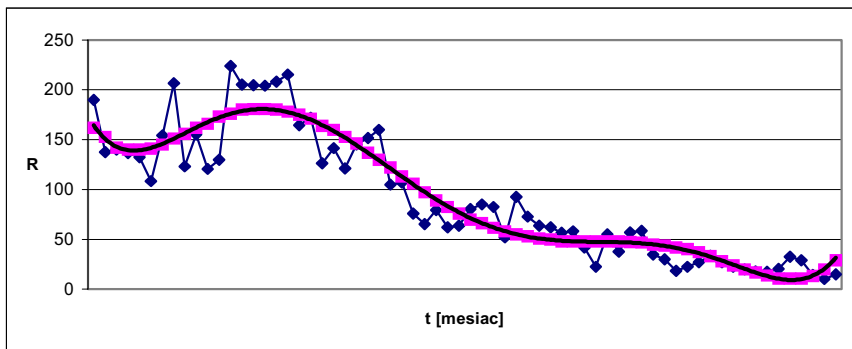
Pri zisťovaní korelácie medzi priemerným počtom škvŕn a relatívnym číslom, resp. počtom škvŕn a erupčným indexom, počtom škvŕn a geomagnetickým indexom musíme mať na zreteli aj časovú zložku a tak skúmame vlastne závislosť časových radov. Pri komparácii dní merania jednotlivých pozorovaní sme zistili, že jednotlivé merania nie vždy prebiehali v ten istý deň, preto sme, v snahe využiť všetky dáta, používali priemernú mesačnú hodnotu. Zaujímalo nás teda, či zmeny jednej „veličiny“ časového radu môžu vyvolať zmeny „druhej veličiny“.

Pri sledovaní časového radu musíme mať na zreteli jeho zloženie z troch častí: trendu, periodického kolísania a náhodnej zložky. O skutočnej závislosti medzi ukazovateľmi dvoch či viac časových radov možno uvažovať vtedy, ak ide o paralelizmus medzi náhodnými zložkami skúmaných časových radov. Ak tieto náhodné kolísania hodnôt časových radov prebiehajú paralelne, je predpoklad, že ide o koreláciu, ktorá je prejavom príčinného vzťahu medzi skúmanými ukazovateľmi (Grofík, 1987).

Pozorované dáta pre prejavy slnečnej aktivity (uvedené vyššie), ktoré v našom prípade predstavovali priemerné mesačné hodnoty od júna 1989 do júna 1995, sme aproximovali polynómom 6. stupňa pre každú veličinu zvlášť (počet škvŕn, relatívne číslo, erupčný indexom a geomagnetický index). (Pre názornosť uvádzame jednu z nich na obrázku 1.) Tým sme získali modelové funkcie, ktoré spolu s empirickými dátami potrebujeme pre určenie náhodných zložiek.

Pre overenie vhodnosti modelovej funkcie pre daný časový rad existuje viacero metód. Pre naše účely sme zvolili výpočet autokorelačného koeficientu 1. rádu s časovým posunom 1, ktorý patrí medzi najdôležitejšie. Hodnoty, uvádzané v tabuľke 1, sme porovnali s kritickou hodnotou na hladine  $p = 0,05$  (Grofík, 1987) a koeficient autokorelácie vo všetkých prípadoch vyšiel nevýznamný, čím sa potvrdila správnosť teoretickej funkcie.

Po preukázaní nevýznamnosti koeficienta autokorelácie meriame tesnosť korelačnej závislosti ukazovateľov dvoch časových radov pomocou koeficienta korelá-



Legenda: *t*-os predstavuje čas od júna 1989 do júna 1995

Obrázok 1 Aproximácia údajov relatívneho čísla

cie, pričom použijeme reziduálne odchýlky. Významná závislosť sa potvrdila medzi priemerným počtom škvŕn a relatívnym číslom a medzi priemerným počtom škvŕn a erupčným index. Veľmi slabý sa ukázal vzťah medzi priemerným počtom škvŕn a geomagnetickým indexom (tabuľka 2).

Tabuľka 1 Autokorelačné koeficienty

Škvŕny	0,17
relatívne číslo	0,16
Erupčný index	-0,07
geomagnet. Koeficient	0,13

Tabuľka 2 Korelačné koeficienty

	Škvŕny
relatívne číslo	0,67
erupčný index	0,43
geomagnet.koeficient	0,27

## Záver

Pomocou metódy korelačnej analýzy sme určili mieru závislosti medzi priemerným počtom škvŕn viditeľných bez ďalekohľadu a ďalšími merateľnými prejavmi slnečnej aktivity, ako je relatívne číslo, erupčný index a geomagnetický index. Zistila sa významná závislosť s hodnotou relatívneho čísla *R* a mierne stredná závislosť s erupčným indexom. Naopak veľmi slabá závislosť je s geomagnetickým indexom. Keďže sa potvrdila silná závislosť medzi dátami z pozorovaní slnka bez ďalekohľadu a relatívnym číslom, ďalším krokom je hľadanie konkrétnej súvislosti medzi týmito súbormi dát, aby sme boli schopní nadviazať hodnoty relatívnych čísiel z novodobých dejín s pozorovaniami slnečných škvŕn bez ďalekohľadu z dávnej minulosti.

## Literatúra

- Begeni, P.: 1992a, Astro Informátor 1-2, p.5-8, 3-4, p.7-8, 5-6, p.6-7, 7-8, p.5, 9-10, p.15 Hvezdáreň a Planetárium Prešov
- Eddy, J.A.: 1989, On pre-telescopic Sunspots Record. In Astronomic Society 30
- Grofik, R.: 1987 Štatistika, Príroda Bratislava, p.322-328
- Hollan, J.: 1991, Jak pozorovat Slunce bez dalekohledu, Hvězdárna a Planetárium Brno
- Ivan, P.: 1992, Pozorovanie Slnka bez ďalekohľadu, In Bulletin o pozorovaní Slnka na Slovensku za rok 1991, Hvezdáreň a Planetárium Prešov a Slnčná sekcia SAV, p.39-43
- Křivský, L.: 1984, Long-term fluctuations of solar activity during the last thousand years, Solar Physics 93, p.189-194
- Křivský, L.: 1985a, World catalog of polar aurora < 55 n for years 1000-1900 and long range solar activity, 5. General assembly of International association of geomagnetism and aeronomy. Praha, International association of geomagnetism and aeronomy 1985, p. 368.
- Křivský, L.: 1985b, Naked-eye observations of sunspots in Bohemia in the year 1139, Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia 36 (1)
- Křivský, L.: 1992, Velké skvrny, polární záře, radioaktivní uhlík v letokruzích, v posledních tisíci letech, Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí, 1984, Úpice. Úpice, Hvězdárna Úpice, p. 15-19.
- Křivský, L.: 1995, Fluctuations of solar activity derived from the changes of cosmic ray level in the last 30,000 years in relation to the climate in Europe. In: Workshop of PAGES-Stream I. (Ed.: Růžičková, E., Zeman, A.) Praha, Geological Institute of the Academy of Sciences. p.17-25.
- Mossman, J.E.: 1989, A comprehensive search for sunspots without the aid of a telescope, Q.J.R. astr. Soc., 30, p.59
- NGDC: 2005, National Geophysical Data Center, <http://www.ngdc.noaa.gov>
- Wittmann, A.D.: 1992, Catalog of Large Sunspots (165 B.C. - 1992), Solar Physics Department, University Observatory Göttingen
- Wittmann, A.D., Xu, Z.T.: 1987, Astron. Astrophys. Suppl. 70, p.83-94
- Yau, K.K.C., Stephenson, F.R.: 1988, Quart. J. Roy. Astron. Soc. 29, p.175