

# Index slnečnej aktivity definovaný bezteleskopickými pozorovaniami

CSATÁRYOVÁ Mária, BEGENI Peter  
Fakulta humanitných a prírodných vied  
Prešovská univerzita v Prešove, Slovensko

**Abstrakt:** Záznamy o pozorovaní slnečných škvŕn bez ďalekohľadu máme k dispozícii už viac ako 2800 rokov. Pre kvalitatívne prezentovanie týchto historických záznamov je potrebné definovať index slnečnej aktivity, popísaný bezteleskopickými pozorovaniami. V tomto príspevku predstavíme možnosti zavedenia indexu, ktorý sme definovali pomocou bezteleskopických pozorovaní Slnka zo súčasnosti.

## Úvod

Z obdobia posledných dvoch slnečných cyklov sme zozbierali takmer 5000 pozorovaní Slnka bez ďalekohľadu. Analýza týchto dát nám umožnila zaviesť index slnečnej aktivity, ktorý by bol definovaný týmito pozorovaniami. Počet bezteleskopických pozorovaní Slnka v minulosti (asi jedno pozorovanie na jeden slnečný cyklus) a počet pozorovaní zo súčasnosti (tisíce pozorovaní na jeden slnečný cyklus) je neporovnateľný. Tento fakt pri zavedení spomínaného indexu je potrebné vziať do úvahy a poukázať na to, že takýto index kvalitatívne reprezentuje priebeh slnečnej aktivity aj pri pozorovaniach, ktoré sú počas určitého obdobia zaznamenané náhodne a riedko.

## Priebeh slnečnej aktivity určovaný z historických záznamov

Prvý kompletnejší katalóg historických pozorovaní slnečných škvŕn vytvorili Clark & Stephenson (1978), ktorý obsahuje 148 bezteleskopických pozorovaní Slnka z obdobia od roku 43 p.n.l. do 1604 n.l.. V rovnakom roku Wittmann (1978) publikoval vo svojej práci zozbieraných 137 historických pozorovaní z rokov 467 p.n.l. až 1638 n.l.. Neskôr boli vytvorené viaceré katalógy týchto pozorovaní, kde vylúčili z poslednej menovanej kompilácie dve pozorovania z Grécka pred rokom 165 p.n.l. Preto následný katalóg (Wittmann & Xu, 1987), ktorý zahŕňal 235 pozorovaní, pokrýval obdobie rokov 165 p.n.l. až 1684 n.l.. Tieto pozorovania aktualizovali a rozšírili (hlavne z období 1685 až 1918) Yau & Stephenson (1988). Wittmann (1992) ďalej dopĺňoval tieto dáta z 20. storočia (400 pozorovaní – 165 p.n.l. až 1992), neskôr doplnil historické pozorovania a vylúčil pozorovania po r.1918 – Wittmann (1997) – 341 pozorovaní (165 p.n.l. až 1918 n.l.).

V prácach, ktoré sa zaoberali spracovaním týchto historických pozorovaní, je priebeh slnečnej aktivity určovaný počtom pozorovaní slnečných škvŕn za určité obdobie (10 až 40 rokov), napr. Hameed & Gong (1991). Tieto priebehy sú dopĺňované priebehmi slnečnej aktivity určované inými nezávislými (zväčša nepriamymi) metódami. Najčastejšie ide o percentuálnu odchýlku obsahu izotopu uhlíka  $^{14}\text{C}$  v letokruhoch starých stromov (napr. Clark & Stephenson, 1978). K tomu je často pridávaný priebeh výskytov polárnych žiar (Jiang & Xu, 1986; Křivský, 1984). Ďalšou nepriamou metódou, ktorou boli dopĺňované priebehy slnečnej aktivity v histórii, je množstvo izotopu  $^{10}\text{Be}$  získaného z polárnych ľadovcových vrstiev (napr. Ogurtsov et al., 2002). Vyskytujú sa aj práce, v ktorých je priebeh slnečnej aktivity je dopĺňovaný rôznymi priebehmi klimatických zmien, napríklad výskytom povodní (Křivský, 1995).

Vo všetkých spomínaných prácach je priebeh slnečnej aktivity určovaný, ako počet pozorovaní za určité obdobie. V súčasnosti však chýba analýza, či takto definovaný index dostatočne popisuje priebeh slnečnej aktivity a či je takto definovaný index vôbec prípustný.

## Súčasná pozorovania

V súčasnej dobe sa pozorovaniu a publikovaniu pozorovaní Slnka bez ďalekohľadu venuje niekoľko autorov. Mossman (1989) pozoroval Slnko v rokoch 1981-82 (v priebehu 13 mesiacov) a vykonal 233 pozorovaní (v 170 prípadoch videl škvŕnu). Neskôr sa spracovaniu bezteleskopických pozorovaní Slnka zo súčasnej doby venovalo viacero autorov – napr. Schaefer (1993), Heath (1994), Wade (1994), no vždy to boli spracovania iba radovo stoviek pozorovaní.

Vzhľadom na vyššie uvedené údaje, začali sme zbierať a archivovať bezteleskopické pozorovania od Českých a Slovenských pozorovateľov. Takto sme zozbierali pozorovania od r. 1988 do r. 1995. Všetky tieto dáta, z ktorých niektoré publikoval Ivan (1992), spadajú do 22. slnečného cyklu. Od roku 1999 sa pozorovaniu Slnka bez ďalekohľadu pravidelne venuje a archivuje Kysucká hviezdáreň v Kysuckom Novom Meste, ktorá nám dala svoje pozorovania k dispozícii. V roku 2005 ich publikoval Ivan (2005). Ich pozorovania, ktoré sme spracovali, pochádzajú z rokov 1999 až 2007 a spadajú do 23. slnečného cyklu.

Zozbierali a spracovali 4973 pozorovaní, z čoho v 2186 prípadoch bola pozorovateľná aspoň jedna škvŕna. Celkovo bolo napozorovaných 3194 škvŕn.

Oba súbory pozorovacích dát z oboch cyklov obsahujú, okrem iných údajov, aj údaje o polohe škvŕny a jej zdanlivej veľkosti (intenzite) – či už formou zákresu, alebo formou zápisu. Pre možnosti definovania slnečného indexu, okrem počtu škvŕn pri jednom pozorovaní, nás zaujímala spomínaná zdanlivá veľkosť škvŕny – intenzita. Je určovaná subjektívne pozorovateľom v stupnici od 1 po 4, pričom hodnota 1 je škvŕna na hranici viditeľnosti a hodnota 4 je zreteľne rozoznateľný špecifický útvar. Skúsení pozorovatelia sa nevyhýbali určeniu intenzity nie len celočíselnou hodnotou zo stupnice, ale aj desatinným miestom.

Vzhľadom k tomu, že množstvo pozorovaní, ktoré sme zozbierali značne prevyšuje pozorovania všetkých katalógov dokopy, vytvorili sme vlastný katalóg súčasných bezteleskopických pozorovaní (Begeni & Csataryova, 2008), ktorý je voľne prístupný na internete (<http://sun.begi.sk>). Katalóg bude pravidelne dopĺňaný ďalšími pozorovaniami.

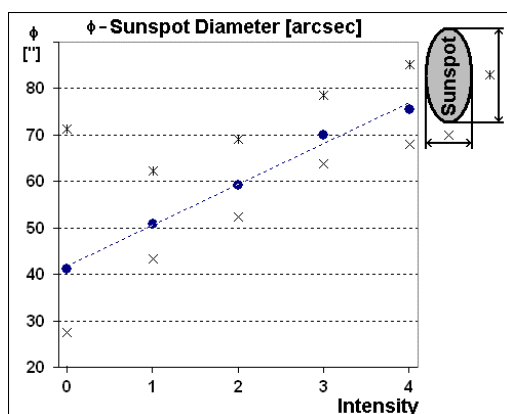
Katalóg obsahuje tieto informácie: dátum a čas pozorovania, pozorovacie podmienky, pozorovateľ, pozorovacie stanovište, použitie filtra, počet viditeľných škvŕn, poradové číslo škvŕny, intenzita a poloha každej škvŕny. Každé pozorovacie stanovište, ktorých je 69, má určené geografické súradnice, ktoré sú nutné na orientáciu pozorovania. Celkovo katalóg obsahuje pozorovania od 45 pozorovateľov.

## Spracovanie a vyplývajúci index slnečnej aktivity

Aby sme mohli kvalitatívne interpretovať historické pozorovania Slnka, musíme správne zadefinovať index slnečnej aktivity, definovaný pozorovaniami Slnka bez ďalekohľadu. Tento index sme sa pokúšali zadefinovať rôznymi metódami, či už korelačnou analýzou (Csataryová et al., 2006) alebo inými interpolačnými metódami (Begeni & Csataryová, 2006). Problém je v tom, že nepoznáme presný tvar funkcie, ktorá by tento index kvalitatívne interpretovala. K určeniu presného tvaru tejto funkcie sme potrebovali zadefinovať minimálnu hodnotu Wolfovho čísla, pod ktorou už škvŕny bez ďalekohľadu na Slnku nevidíme. Eddy et al. (1989) určili túto hodnotu na 50. Ako sme však zistili, túto hodnotu nie je možné zovšeobecniť (Csataryová & Begeni, 2008). Táto hodnota závisí od fázy slnečného cyklu, v maxime cyklu dosahovala hodnoty väčšie ako 180 a opačne v minime menšie ako 20.

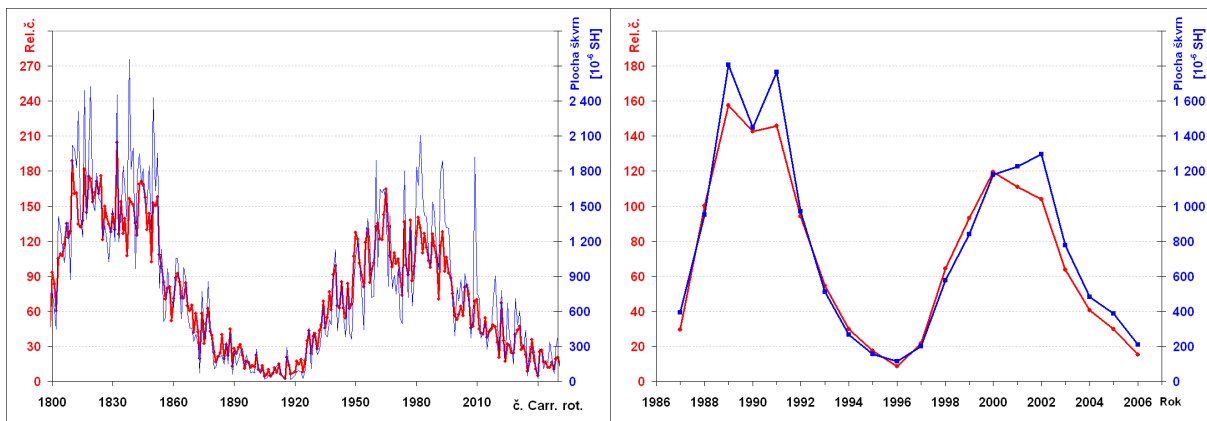
K určeniu tvaru funkcie, ktorá by definovala nami hľadaný index slnečnej aktivity, sme použili plochy škvŕn. Dáta plôch slnečných škvŕn boli použité z National Oceanic and Atmospheric Administration - National Geophysical Data Center (NOAA-NGDC, 2008). Pre všetky škvŕny v našich zozbieraných pozorovaniach sme identifikovali ich plochu. Na tento účel bola nutná orientácia pozorovaní. Napozorovaný materiál je orientovaný k zenitu. Vzhľadom na to, že sme určili všetky geografické súradnice pozorovacích stanovišť, mohli sme vypočítať sklon kresieb k severnému pólu. Následne sme vypočítali aj heliografické súradnice každej škvŕny. A zároveň sme určili uhlový priemer škvŕny (za predpokladu, že škvŕna má kruhový tvar).

Ako sme už spomínali, v pozorovaniach, ktoré máme k dispozícii, je určená intenzita škvŕny. Táto intenzita (I) je daná pozorovateľom, ktorý ju subjektívne ohodnotil v stupnici od 1 po 4. Závislosť priemernej hodnoty priemeru škvŕny na jej intenzite je znázornená na obr.1 (plné krúžky). Krížikmi a hviezdikami je znázornená závislosť priemerov škvŕny za predpokladu, že škvŕna má eliptický tvar daný projekciou škvŕny na slnečnom disku. K intenzite s hodnotou nula sú priradené pozorovania, kedy neboli na Slnku viditeľné škvŕny bez ďalekohľadu a plocha je určená plochou najväčšej škvŕny, ktorá sa v daný deň na Slnku nachádzala. Dôležitý záver z danej závislosti je ten, že priemer škvŕny je lineárne závislý na jej intenzite (I), respektíve plocha je závislá na druhej mocnine intenzity.

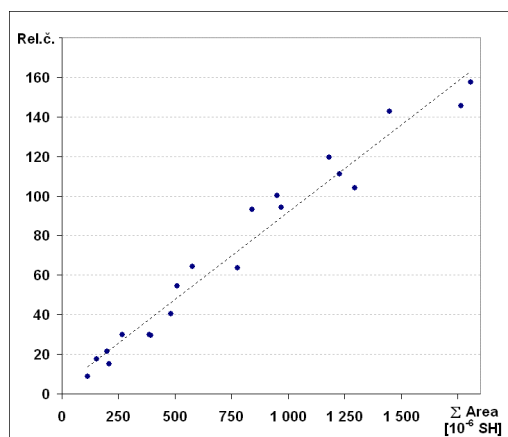


**Obr.1.** Závislosť priemernej plochy škvŕny určenej z plochy na jej intenzite. Plné krúžky predstavujú priemer škvŕny za predpokladu, že je kruhová. Krížiky a hviezdikami predstavujú priemery elipsy za predpokladu, že škvŕna má elipsovitý tvar podľa projekcie na slnečnom disku.

Na obr. 2 (vľavo) je znázornený časový priebeh súčtu plôch slnečných škvŕn s priebehom Wolfovho čísla (priemer za jednu Carringtonovu rotáciu). Súčet plôch kopíruje priebeh Wolfovho čísla. Názorne to vidíme na obr.2 (vpravo), kde je priebeh znázornený ročnými priermi týchto hodnôt. Z hodnôt plôch slnečných škvŕn vyplynula nasledujúca závislosť: súčet plôch slnečných škvŕn je lineárne závislý na priebehu Wolfovho čísla (obr. 3).



**Obr.2.** Porovnanie časových priebehov súčtu plôch škvŕn a Wolfovho čísla (Rel.č.). Vľavo – priemerné hodnoty za Carringtonovu rotáciu, vpravo – ročné priemery. Hodnoty plôch slnečných škvŕn sú udávané v milióntinách slnečnej hemisféry.



**Obr.3.** Závislosť Wolfovho čísla (Rel.č.) na súčte plôch škvŕn

Ak to zhrnieme, dostali sme dve základné zistené závislosti:

1. plocha je závislá na druhej mocnine intenzity ( $I$ ) škvŕny
2. súčet plôch škvŕn je lineárne závislý na Wolfovom čísle.

Vzhľadom k tomu, že Wolfovo číslo určuje priamo mieru slnečnej aktivity, môžeme z predchádzajúcich závislostí vytvoriť nasledujúci záver: index slnečnej aktivity ( $S$ ) definovaný bezteleskopickými pozorovaniami je závislý na súčte druhých mocnín intenzít ( $I$ ) škvŕn.

$$S \approx \sum I^2 \quad (1)$$

Pri hľadaní presného tvaru indexu slnečnej aktivity ( $S$ ) sme použili všeobecne riešenie rovnice,

$$S = a \cdot k^b + \sum I^c \quad (2)$$

kde  $I$  je intenzita škvŕny,  $k$  – počet škvŕn viditeľných bez ďalekohľadu a konštanty  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sú hodnoty, ktoré hľadáme. Za predpokladu, že hľadáme priemernú hodnotu indexu  $S$  za každý deň, z napozorovaných dát sme dostali nasledujúce hodnoty konštánt:  $a=80.9$ ,  $b=0.51$  a  $c=1.98$ . Index slnečnej aktivity definovaný na dennej báze môžeme definovať podľa rovnice

$$S = 80 \cdot \sqrt{k} + \sum I^2 \quad (3)$$

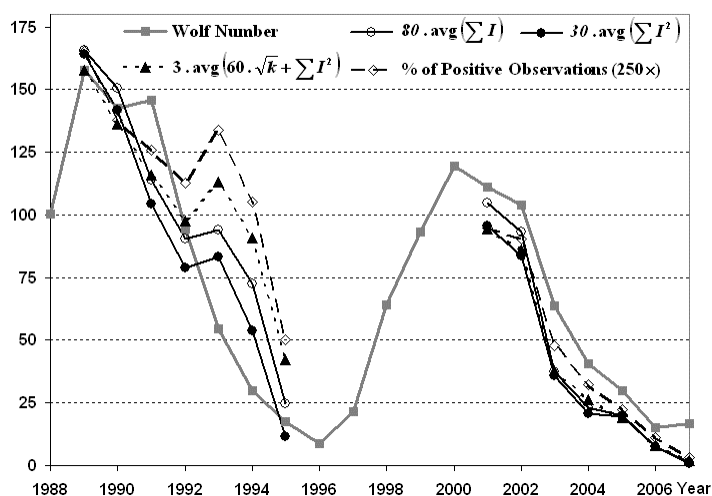
Historické záznamy sú oveľa sporadickejšie ako súčasné, preto je vhodné zadefinovať index, ktorý by pokrýval určité obdobie. Ak zadefinujeme toto obdobie ako jeden kalendárny rok, potom aproximáciou z rovnice (2) je index slnečnej aktivity daný:

$$S = 3 \cdot \text{avg} \left( 60 \cdot \sqrt{k} + \sum I^2 \right) \quad (4)$$

Ako sme však zistili, aj iné definície ročného indexu slnečnej aktivity rovnako dobre kopírujú priebeh slnečnej aktivity daný Wolfovým číslom. Na obr.4 sú znázornené priebehy takýchto rôznych definícií ročných indexov v porovnaní s priebehom ročných priemerov Wolfovho čísla. Indexy sú definované ako:

- vzťah podľa rovnice (4)
- súčet intenzít škvŕn (násobený číslom 80)
- súčet druhých mocnín intenzít (násobený číslom 30)

- percento pozitívnych pozorovaní – počet pozorovaní, kedy bola viditeľná aspoň jedna škvrna, delený počtom všetkých pozorovaní (násobený číslom 250)



**Obr.2.** Priebeh rôznych definícií indexu slnečnej aktivity v porovnaní s Wolfovým číslom – ročné priemery

Ako sme už spomenuli, historické dáta sú veľmi riedke a sporadické. V týchto dátach nie sú zaznamenané pozorovania, kedy škvryny neboli viditeľné. Tieto pozorovania obsahujú väčšinou aj popis, ako daná škvrna vyzerala, no určenie intenzity z daného popisu je problematické (aj keď sa o to v súčasnosti pokúšame). No vzhľadom na zistené výsledky, môžeme predpokladať, že index slnečnej aktivity môžeme definovať z týchto pozorovaní ako počet historických pozorovaní za určité obdobie.

## Záver

Cieľom našej práce bolo určiť index slnečnej aktivity definovaný bezteleskopickými pozorovaniami. V priebehu rokov 1988-2007 sme zozbierali takmer 5000 pozorovaní Slnka bez ďalekohľadu. Po orientácii týchto pozorovaní a identifikácii s plochami škvŕn, sme z ich analýzy zistili, že index slnečnej aktivity definovaný bezteleskopickými pozorovaniami je závislý na súčte druhých mocnín intenzít škvŕn – rovnica (1). Na dennej báze môžeme tento index definovať podľa rovnice (3). Vzhľadom na to, že historické dáta sú veľmi riedke, zadefinovali sme tento index na základe ročných priemerov podľa rovnice (4). Ako sme však zistili, z dlhodobého hľadiska tento index môže byť definovaný aj inými spôsobmi, ktoré rovnako dobre kopírujú priebeh slnečnej aktivity. Pri spracovaní historických dát môžeme povedať, že index definovaný ako počet historických pozorovaní za určité obdobie, je z dlhodobého hľadiska správny a prípustný.

## Podakovanie

Prezentované výsledky boli z časti získané v rámci grantu VEGA 2 č. 1/4027/07. Autori ďakujú RNDr. Jánovi Mäsiarovi, riaditeľovi Kysuckej hviezdárne v Kysuckom Novom Meste, za poskytnutie pozorovaní Slnka bez ďalekohľadu z obdobia 23. slnečného cyklu.

## Literatúra

- Begeni, P., Csátaryová, M.: **2006**, *Zborník XVIII.DIDMATECH 2005*, Prešovská Univerzita
- Begeni, P., Csátaryová, M.: **2008**, *Catalog of Naked-Eye Observations of Sunspot from 1988 to 2007*, Faculty of Arts and Natural Sciences, University of Prešov, Prešov 2008, <http://sun.begi.sk/>
- Clark, D.H., Stephenson, F.R.: **1978**, *Quart. J. Roy. Astron. Soc.* **19**, 387-410
- Csátaryová, M., Begeni, P.: **2008**, *Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí, Bulletin referátu z konferencie, Úpice 2007, 25-28*, Hvězdárna Úpice
- Csátaryová, M., Begeni, P., Majherová, M.: **2006**, *Učitel' prírodovedných predmetov na začiatku 21. storočia, zborník pri príležitosti svetového roku fyziky z medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie*, Prešovská univerzita, Fakulta humanitných a prírodných vied, 310-315
- Eddy, J.A., Stephenson, F.R., Yau, K.K.C.: **1989**, *Q. Jl R. astr. Soc* **30**, 65-73
- Hameed, S., Gong, G.: **1991**, *Solar Physics* **139**, 409-413
- Heath, A.W.: **1994**, *J. Br. Astron. Assoc.* **104**, 6, 304-307

- Ivan, P.: **1992**: *Bulletin o pozorovaní Slnka na Slovensku za rok 1991*, Hvezdáreň a Planetárium Prešov a Slnčná sekcia SAV, 39-43
- Ivan, P.: **2005**: *Bulletin o pozorovaní Slnka na Slovensku 2004*, Hvezdáreň a Planetárium Prešov a Slnčná sekcia SAV, 15-18
- Jiang, Y., Xu, Z.: **1986**, *Astrophysics and Space Science* **118**, 159-162
- Křivský, L.: **1984**, *Solar Physics* **93**, 189-194
- Křivský, L.: **1995**, *Workshop of PAGES-Stream I., Manifestation of Climate on the Earth a Surface at the End of Holocene*, Prague, Geological Institute of the Academy of Sciences, 17-25
- Mossman, J.E.: **1989**, *Quart. J. Roy. Astron. Soc.* **30**, 59-64
- NOAA-NGDC: **2008**, *USAF SOON sites and Mt. Wilson Sunspot Region Data*, Solar Sunspot Regions (1h), National Geophysical Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration, <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsunspotregions.html>
- Ogurtsov, M. G., Nagovitsyn, Yu. A., Kocharov, G. E., Jungner, H.: **2002**, *Solar Physics* **211**, 371-394
- Schaefer, B.E.: **1993**, *Ap. J.* **411**, 909-919
- Wade, P.: **1994**, *J. Br. Astron. Assoc.* **104**, 2, 86-87
- Wittmann, A.D.: **1978**, *Astron. Astrophys.* **66**, 93-97
- Wittmann, A.D.: **1992**, *Catalog of Large Sunspots (165 B.C. - 1992)*, Solar Physics Department, University Observatory Göttingen
- Wittmann, A.D.: **1997**, *Catalog of Naked-Eye Sunspot Observations and Large Sunspots*, Solar Physics Department, University Observatory Goettingen
- Wittmann, A.D., Xu, Z.T.: **1987**, *Astron. Astrophys. Suppl.* **70**, 83-94
- Yau, K.K.C., Stephenson, F.R.: **1988**, *Quart. J. Roy. Astron. Soc.* **29**, 175-197