

Slnčná aktivita a bezteleskopické pozorovania Slnka

P. Begeni, FHPV, Prešovská univerzita v Prešove, Prešov, begi @begi.sk

M. Csatárová, FHPV, Prešovská univerzita v Prešove, Prešov, maja @unipo.sk

Abstrakt

Vo svojom príspevku prezentujeme katalóg slnečných škvŕn viditeľných bez ďalekohľadu. Tento katalóg sme skompletizovali z pozorovaní slovenských a českých pozorovateľov a obsahuje takmer 5000 pozorovaní z rokov 1988 až 2007. Následne prezentujeme výsledky získané z týchto pozorovaní. Ide predovšetkým o výsledky určené priamo z orientácie pozorovaní, o analýzu spodnej hranice viditeľnosti škvŕn a o možnosti zavedenia indexu slnečnej aktivity definovaného bezteleskopickými pozorovaniami Slnka.

1. ÚVOD

Záznamy o pozorovaniach slnečných škvŕn bez ďalekohľadu máme k dispozícii už viac ako 2800 rokov. Historické pozorovania, ktoré siahajú až do r. 800 p.n.l., sú však veľmi sporadické a riedke (asi jedno pozorovanie na jeden slnečný cyklus). Na druhej strane máme pozorovania Slnka bez ďalekohľadu zo súčasnosti, ktorých máme k dispozícii neporovnateľne viac (asi tisíc pozorovaní na jeden cyklus). Vzhľadom k tomu, že množstvo pozorovaní pripadajúcich na jeden cyklus je v historických a súčasných dátach neporovnateľné, chýba v súčasnosti ich prepojenie. Aby sme mohli pochopiť význam historických pozorovaní, potrebujeme dôkladne analyzovať pozorovania Slnka bez ďalekohľadu zo súčasnosti, ktorých máme takmer 5000 z obdobia posledných dvoch slnečných cyklov.

2. HISTORICKÉ ZÁZNAMY

Prvé záznamy o pozorovaniach slnečných škvŕn nájdeme v jednej z najstarších čínskych kníh, už z čias okolo roku 800 p.n.l.. A práve z Číny sa zachovali najpočetnejšie záznamy pozorovaní slnečných škvŕn. Prvý kompletnejší katalóg týchto historických pozorovaní 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

doplňoval 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.). Za zmienku stojí aj prvý zakres slnečnej škvŕny, pochádzajúci zo dňa 8.12.1128 (n.l.), ktorý nájdeme v kronike anglického mnícha a kronikára Johna z Worcesteru (Van Helden, 1996).

Historické záznamy teleskopických pozorovaní Slnka sa začínajú rokom 1610, keď Galileo Galilei ako prvý použil teleskop na pozorovanie Slnka. Od tohto obdobia sa začínajú záznamy škvŕn až dodnes. Avšak kvantitatívne spoľahlivé údaje sú až od roku 1749.

3. SÚČASNÉ POZOROVANIA

V súčasnej dobe sa pozorovaniu a publikovaniu pozorovaní Slnka bez ďalekohľadu venovalo niekoľko autorov. Mossman (1989) pozoroval behom 13 mesiacov v rokoch 1981-82 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. Kvôli tomu, že v súčasnej dobe bol nedostatok pozorovaní, Hollan (1991) vypracoval podrobný návod na pozorovanie Slnka bez ďalekohľadu. Následne jeden z autorov tohto článku (Begeni) spustil pozorovaciu kampaň a začal zbierať a archivovať bezteleskopické pozorovania od Českých a Slovenských pozorovateľov. Takto boli zozbierané 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.

Takto sme celkovo spracovali 4973 pozorovaní, z čoho v 2186 prípadoch bola pozorovateľná aspoň jedna škvrna. 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 zakresu, alebo formou zápisu. Pre účely tohto článku nás, okrem počtu škvŕn pri jednom pozorovaní, zaujímal spomínaná zdanlivá veľkosť škvŕny – intenzita. Je určovaná subjektívne pozorovateľom v stupnici od 1 po 4, pričom hodnota 1 je škvrna na hranici viditeľnosti a hodnota 4 je zreteľne rozoznateľný špecifický útvar. Skúsení pozorovatelia sa nevyhýbali určovať intenzitu nie len celočíselnou hodnotou zo stupnice, ale aj desatinným miestom.

4. KATALÓG POZOROVANÍ

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

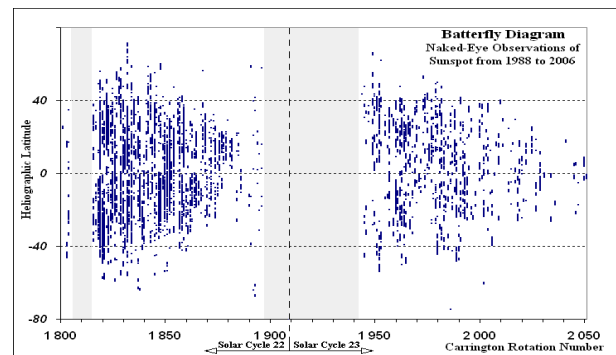
Katalóg obsahuje tieto informácie: dátum a čas pozorovania, pozorovacie podmienky, pozorovateľ, pozorovacie stanovisko, použitie filtra, počet viditeľných škvŕn, poradové číslo škvŕny, intenzita a poloha každej škvŕny. Každé pozorovacie stanovisko, ktorých je 69, má určené geografické súradnice, ktoré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

5. ORIENTÁCIA A VYPLÝVAJÚCE VÝSLEDKY

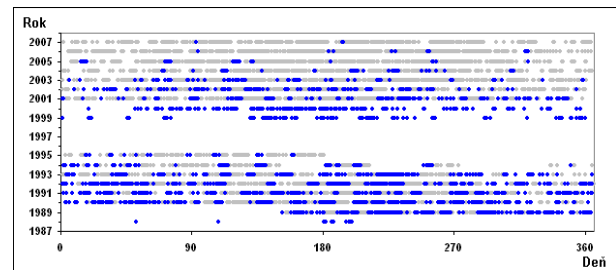
Dôležitým krokom pre spracovanie pozorovaní bola orientácia pozorovaní. Napozorovaný materiál je totiž orientovaný k zenitu. Vzhľadom k tomu, že sme určili všetky geografické súradnice pozorovacích stanovísk, mohli sme vypočítať sklon kresieb k severnému pólu, čo sme pre všetky pozorovania aj vykonali. Následne sme spočítali aj heliografické súradnice každej škvŕny.

Priamo vyplývajúcim výsledkom z vypočítaných heliografických súradníc je motýľový diagram - obr.1. Aj keď je presnosť určenia polohy škvŕny pri bezteleskopických pozorovaniach nízka, posun heliografických šírok škvŕn behom cyklu je na motýľovom diagrame jasne viditeľný. Šedé plochy na diagrame vyznačujú obdobia, z ktorých pozorovania Slnka bez ďalekohľadu nemáme k dispozícii. Tieto obdobia vidieť na obr.2, kde je znázornené rozloženie pozorovaní v čase. Modré krúžky predstavujú pozitívne pozorovania (dni, keď bola viditeľná aspoň jedna škvrna), šedé znázorňujú negatívne pozorovania (dni, keď nebola viditeľná žiadna škvrna).

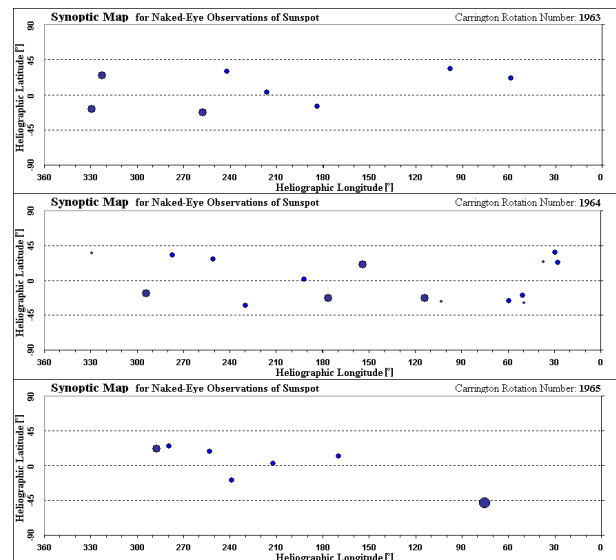
Ďalším priamo vyplývajúcim výsledkom z určených heliografických súradníc sú synoptické mapy Slnka (obr.3). Aj keď takto vytvorené mapy majú iba ukázkový charakter, dobre znázorňujú možnosti dosiahnuteľné pozorovaním Slnka bez ďalekohľadu. Veľkosti škvŕn na týchto mapách sú úmerné intenzite škvŕny určenej pozorovateľom. Takto sme vytvorili 163 synoptických máp pre všetky čísla Carringtonovej rotácie, v ktorých boli vykonané pozorovania. Na tomto mieste musíme poznamenať, že na mnohých synoptických mapách je málo škvŕn – často iba jedna, hlavne v období minima slnečnej aktivity.



Obr.1 – Motýľový diagram vytvorený bezteleskopickými pozorovaniami Slnka.



Obr.2 – Časové rozloženie pozorovaní Slnka bez ďalekohľadu. Modré krúžky znázorňujú pozitívne pozorovania, šedé negatívne.



Obr.3 – Synoptické mapy vytvorené bezteleskopickými pozorovaniami Slnka pre čísla Carringtonových rotácií 1963, 1964 a 1965.

6. IDENTIFIKÁCIA S PLOCHAMI ŠKVRN A VYPLÝVAJÚCE VÝSLEDKY

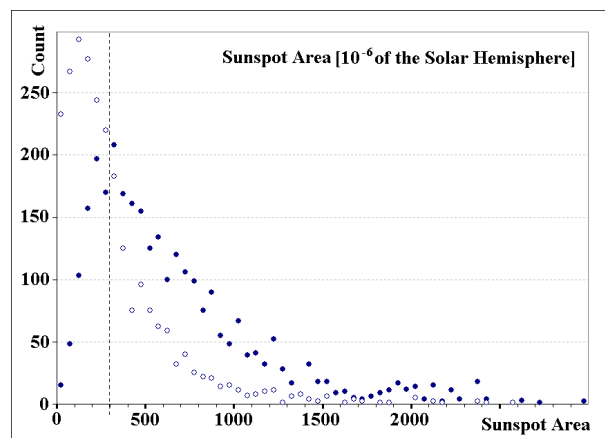
Pomocou určených heliografických súradníc škvŕn napozorovaných bez ďalekohľadu sme priradili ku každej pozorovanej škvŕne plochu, ktorá bola určená teleskopickými pozorovaniami. K tomu účelu sme použili dáta plôch slnečných škvŕn z National Oceanic and Atmospheric Administration - National Geophysical Data Center (NOAA-NGDC, 2008).

Na obr.4 je znázornená závislosť počtu pozorovaní na ploche škvŕny. Plné krúžky znázorňujú počet viditeľných škvŕn v závislosti na ich ploche. Prázdne krúžky predstavujú počet pozorovaní, kedy pozorovatelia nevideli na Slnku žiadnu škvŕnu, v závislosti na ploche najväčšej škvŕny, ktorá sa v daný deň na Slnku nachádzala. Obe závislosti sa pretínajú pri hodnote plochy 300 milióntin slnečnej hemisféry, ktorej význam je nasledovný: „Ak je plocha škvŕny menšia ako 300 milióntin slnečnej hemisféry, potom viac pozorovateľov danú škvŕnu nevidelo ako videlo. Naopak ak je plocha škvŕny väčšia ako daná hodnota, potom väčšie percento pozorovateľov danú škvŕnu videlo, ako nevidelo“. Takto určenú hodnotu sme zadefinovali ako priemernú spodnú hranicu viditeľnosti škvŕny bez ďalekohľadu, aj keď sa vyskytujú prípady, kedy boli viditeľné škvŕny aj menšie.

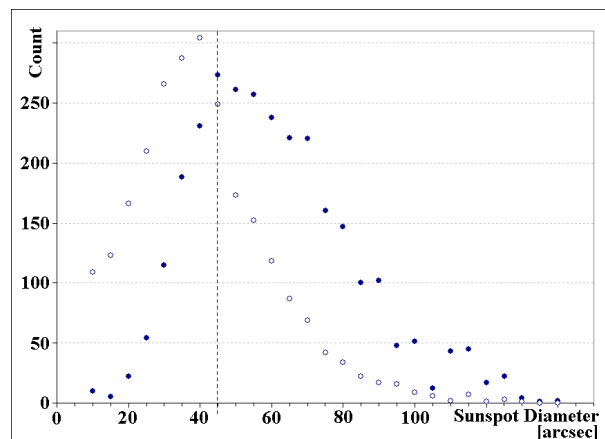
Za zjednodušeného predpokladu, že viditeľná škvŕna má vždy kruhový tvar, môžeme dané plochy previesť na uhlové priemery škvŕn. Daná závislosť počtov pozorovaní na uhlovom priemere škvŕny je znázornená na obr.5. Význam symbolov a interpretácie je rovnaký, ako v prípade plôch škvŕn (obr.4). Daná priemerná spodná hranica viditeľnosti škvŕny zodpovedá hodnote 45". No vyskytujú sa prípady, kedy boli škvŕny viditeľné aj pri uhlových priemeroch 20" a menších. Ide zväčša o škvŕny nachádzajúce sa na okraji slnečného disku a teda sú značne elipsovito pretiahnuté. Pri ďalšej analýze sme predpokladali, že škvŕna nemá kruhový tvar, ale elipsovitý, daný projekciou podľa polohy na slnečnom disku. Za daného predpokladu vyšla spomínaná priemerná spodná hranica viditeľnosti ako elipsa s priemermi 40"×50".

Spomínané analýzy na priemernú spodnú hranicu viditeľnosti škvŕn sme vykonali aj osobitne pre pozorovania v rôznych fázach slnečného cyklu: v maxime (1989-91, 2001-02), v strede (1992-93, 2003-04) a v minime (1994-95, 2005-06). Roky 1988, 1999 a 2000 sme vylúčili, lebo v daných rokoch nemáme informácie o negatívnych pozorovaniach – pozorovania, kedy nebola viditeľná žiadna škvŕna. Rok 2007 sme vylúčili kvôli tomu, že v tomto roku (obdobie minima) boli iba 3 dni, kedy bola viditeľná škvŕna na Slnku. V maxime slnečného cyklu priemerná spodná hranica viditeľnosti dosahuje hodnotu 42", v strede cyklu hodnotu 53" a v minime 59". Nárovejšie je to viditeľné na obr.6, kde je určená táto hranica jednotlivo po rokoch a porovnaná s priebehom ročných priemerov Wolfvho čísla. Ako vidno v čase maxima v roku 1989 dosahovala táto spodná hranica hodnotu až 30" a naopak v minime

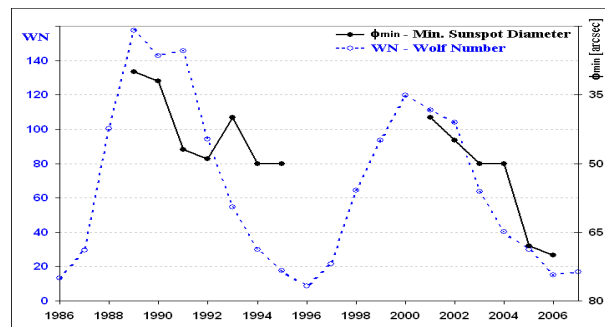
v roku 2006 je hodnota iba 70". Vyplýva z toho fakt, ktorý nás prekvapil: v maxime slnečného cyklu vidia pozorovatelia o viac ako polovicu uhlovo menšie škvŕny, ako v minime cyklu. Presné vysvetlenie tohto faktu nepoznáme, ale prikláňame sa k názoru, že ide o psychologický efekt. V maxime slnečného cyklu sú totiž pozorovatelia aktívnejší a zároveň predpokladajú prítomnosť slnečných škvŕn. Zároveň sú často informovaní, že na Slnku sú práve veľké škvŕny. Zároveň v minime cyklu predpokladajú, že na Slnku nič nie je a snaživosť vyhľadávať škvŕny je menšia. Preto v maxime dokážu spozorovať aj menšie škvŕny, ako v minime.



Obr.4 – Závislosť počtu pozorovaní na ploche škvŕny



Obr.5 – Závislosť počtu pozorovaní na priemere škvŕny

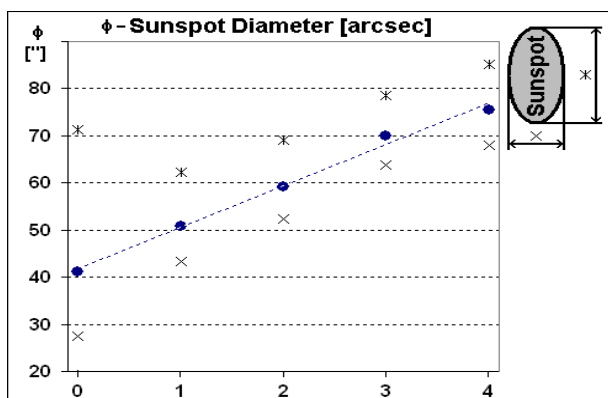


Obr.6 – Hodnoty uhlového priemeru priemernej spodnej hranice viditeľnosti škvŕn bez ďalekohľadu (plná čiara) v porovnaní s priebehom ročných priemerov Wolfvho čísla (prerušovaná čiara)

7. INDEX SLNEČNEJ AKTIVITY DEFINOVANÝ BEZTELESKOPICKÝMI POZOROVANAMI

Vzhľadom k tomu, že o možnosti zavedenia indexu slnečnej aktivity definovaného bezteleskopickými pozorovaniami sa venujeme v iných prácach (Begeni & Csatóryová, 2005; Csatóryová & Begeni, 2006, 2007), popíšeme túto možnosť v tejto kapitole iba veľmi stručne. Správna definícia tohto indexu je nutná pre kvalitatívnu interpretáciu historických pozorovaní. Problém pri určovaní indexu bol 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. Značne závisí od fázy slnečného cyklu, v maxime cyklu táto hodnota dosahovala hodnoty väčšie ako 180 a opačne v minime menšie ako 20.

Preto sme k určeniu tvaru funkcie, ktorá by definovala nami hľadaný index slnečnej aktivity, použili plochy škvŕny, z ktorých 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.7 (plné krúžky). Krížikmi a hviezdikami je znázornená závislosť priemerov škvŕny za predpokladu, že škvŕna má eliptický tvar daný projekciou škvŕny na slnenom 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.

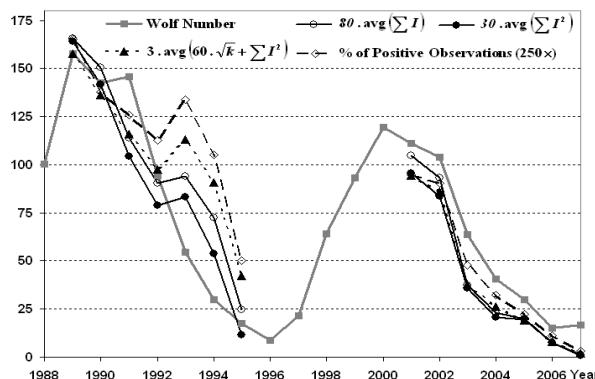


Obr.7 – Závislosť priemernej plochy škvŕny určenej z plochy na jej intenzite. Plné krúžky predstavujú priemer škvŕny za predpokladu, že je kruhová. Krížiky a hviezdčky predstavujú priemery elipsy za predpokladu, že škvŕna má elipsovité tvar daný projekciou na slnečnom disku.

Z hodnôt plôch slnečných škvŕny sme zistili aj ďalšiu závislosť: súčet plôch slnečných škvŕny je lineárne závislý na priebehu Wolfovho čísla. Vzhľadom k tomu, že Wolfovo číslo priamo určuje 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) škvŕny.

Pri hľadaní presného tvaru indexu (S) sme použili všeobecne riešenie rovnice $S = a \cdot k^b + \sum I^c$, kde I je intenzita škvŕny, k – počet škvŕny 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 vyšli nasledujúce hodnoty konštánt: $a=80.9$, $b=0.51$ a $c=1.98$, z čoho môžeme index definovať ako $S = 80 \cdot \sqrt{k} + \sum I^2$. Vzhľadom na to, že historické záznamy sú oveľa redšie ako súčasné, je vhodné zadefinovať index, ktorý by pokrýval určité obdobie. Ak zadefinujeme to obdobie ako jeden kalendárny rok, potom je vypočítaný index daný rovnicou $S = 3 \cdot \text{avg}(60 \cdot \sqrt{k} + \sum I^2)$, kde operácia avg predstavuje priemer hodnôt za jeden kalendárny rok.

Ako sme však zistili, aj iné definície ročného indexu slnečnej aktivity rovnako dobre kopírujú priebeh slnečnej aktivity daný Wolfovým číslom. Na obr.8 sú znázornené priebehy takýchto rôznych definícií ročných indexov v porovnaní s priebehom ročných priemerov Wolfovho čísla. Indexy sú definované ako súčet intenzít škvŕny, súčet druhých mocnín intenzít škvŕny a ako percento pozitívnych pozorovaní.



Obr.8 – Priebeh rôznych definícií indexu slnečnej aktivity v porovnaní s priebehom ročných priemerov Wolfovho čísla.

Ako sme už spomenuli, historické dáta sú veľmi riedke a sporadické. Nie sú v týchto dátoch zaznamenané pozorovania, kedy škvŕny neboli viditeľné. Tieto pozorovania obsahujú väčšinou aj popis, ako daná škvŕna 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.

8. ZÁVER

Z obdobia rokov 1988-2007 sme zozbierali takmer 5000 pozorovaní Slnka bez ďalekohľadu, z ktorých sme vytvorili voľne prístupný katalóg. Aj keď v porovnaní so súčasnými možnosťami sú tieto pozorovania zaťažené veľkou chybou, po ich orientácii sú možné také vyobrazenia, ako sú synoptické mapy povrchu Slnka alebo motýľový diagram.

Pomocou plôch škvŕn sme zistili, že priemerná spodná hranica priemeru škvŕny, kedy ju vidíme bez ďalekohľadu je priemer 45" (za predpokladu, že je škvŕna kruhová). Ale táto spodná hranica je značne závislá od fázy slnečného cyklu. V čase maxima v roku 1989 dosahovala hodnotu až 30" a naopak v minime v roku 2006 je hodnota iba 70". Prikláňame sa k názoru, že ide o psychologický efekt pozorovateľov.

Z analýzy sme zistili, že index slnečnej aktivity (S) definovaný bezteleskopickými pozorovaniami, je závislý na súčte druhých mocnín intenzít (I) škvŕn. Na dennej báze je tento index daný rovnicou $S = 80 \cdot \sqrt{k + \sum I^2}$, kde k je počet škvŕn viditeľných bez ďalekohľadu. Pri ročných priemeroch je daný rovnicou $S = 3 \cdot \text{avg}(60 \cdot \sqrt{k + \sum I^2})$. No z dlhodobého hľadiska môžeme tento index definovať aj inými spôsobmi, ktoré rovnako dobre kopírujú priebeh slnečnej aktivity.

V súčasnosti priradujeme k historickým dátam hodnoty intenzít viditeľných škvŕn, čím sa pokúsime previazať historické dáta o súčasnými. Predpokladáme, že tým získame lepšie informácie o dlhodobých cykloch slnečnej aktivity.

Pod'akovanie

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., Csatóryová, M.: 2005, *Analýza bezteleskopických pozorovaní Slnka*, In: *Zborník XVIII.DIDMATECH 2005*, Prešovská univerzita
- Begeni, P., Csatóryová, M.: 2008, *Catalog of Naked-Eye Observations of Sunspot from 1988 to 2006*, University of Prešov, Faculty of Arts and Natural Sciences
- Clark, D.H., Stephenson, F.R.: 1978, *Quart. J. Roy. Astron. Soc.*, **19**, 387-410
- Csatóryová, M., Begeni, P.: 2006, In: *Učiteľ prírodovedných predmetov na začiatku 21. storočia : zborník pri príležitosti svetového roku fyziky z medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie – Prešov*, Prešovská univerzita, Fakulta humanitných a prírodných vied, 310-314
- Csatóryová, M., Begeni, P.: 2007, *Človek ve svém pozemském a kosmickém prostředí, 2007, Úpice*, Hvězdárna Úpice, 25-28
- Eddy, J.A., Stephenson, F.R., Yau, K.K.C.: 1989, *Q. Jl R. astr. Soc.*, **30**, 65-73
- Heath, A.W.: 1994, *J. Br. Astron. Assoc.*, **104**, 6, 304-307
- Hollan, J.: 1991, *Jak pozorovat Slunce bez dalekohledu*, Hvězdárna a Planetárium Brno
- Ivan, P.: 1992: *Bulletin o pozorování Slnka na Slovensku za rok 1991*, Hvezdáreň a Planetárium Prešov a Slnečná sekcia SAV, 39-43
- Ivan, P.: 2005: *Bulletin o pozorování Slnka na Slovensku 2004*, Hvezdáreň a Planetárium Prešov a Slnečná sekcia SAV, 15-18
- 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 (NGDC), Oceanic and Atmospheric Administration, <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsunspotregions.html>
- Schaefer, B.E.: 1993, *Ap. J.*, **411**, 909-919
- Van Helden, A.: 1996, *Proc. Am. Phil. Soc.*, **140**, 358-396.
- 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 Göttingen
- 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