

Rekonstrukce sluneční aktivity 11 000 let zpět a možné dlouhodobé periodicity

Jaroslav Střeščík

Praha, Česká republika

Abstrakt: Pozorování sluneční aktivity (Wolfova čísla slunečních skvrn) zahrnuje jen asi 250 let, dále ze sporadických pozorování lze odhadnout sluneční aktivitu přibližně až k roku 1500. Kromě známé jedenáctileté periody je zde náznak dalších period dlouhodobých. To znamená, že hodnoty Wolfových čísel v maximu sluneční aktivity jsou v určitém období vyšší než v jiném. Na základě analýzy spadu prachu s obsahem radioaktivních prvků, zakonzervovaného v ledovcích, někteří autoři rekonstruovali sluneční aktivitu nejprve o další tisíciletí zpět, později o více tisíciletí. Nejdélší řada začíná už 9000 let před Kristem a tato data jsou publikována. Kupodivu se autoři většiny rekonstrukcí nezabývají hledáním možných periodicit, nebo jen okrajově. Zde jsou uvedeny možné periodicity získané z řady dlouhé 11000 let. Výsledky naznačují superdlouhou periodicitu v délce kolem 6500 let, naproti tomu nepotvrzují variace v délce kolem 100-200 let, které nejsou perzistentní.

Reconstruction of the solar activity to 11,000 years BP and possible long-term periodicities

Abstract: Observations of solar activity (Wolf sunspot numbers) last only about 250 years, moreover, from sporadic observations the solar activity can be estimated approximately to the year 1500. In addition to the well-known eleven-year period some long-term periods seem to take place. This means that the values at the maxima of 11-yr solar cycles in certain periods are higher than those in other ones. Based on the analysis of dust fallout containing radioactive elements, conserved in glaciers, some authors reconstructed the solar activity first one millennium back, and later more millennia back. The longest series begins 9000 years B. C. and these data are published. Strangely, most authors of these the reconstructions do not look for possible periodicities, or only marginally. Here the possible periodicities obtained from a series of 11,000 years long have been presented. The results suggest a superlong periodicity with the length about 6500 years, on the other hand, they do not confirm variations with the length between 100 and 200 years, which are not persistent.

Mnohé výzkumy naznačují, že sluneční aktivita ovlivňuje do jisté míry počasí, či spíše klima, a také nemocnost a úmrtnost. Porovnání denních hodnot však ukazuje, že tento vliv je velmi malý, podstatně větší je podobnost dlouhodobých změn, tedy např. ročních nebo třeba i desetiletých průměrů. Pro spolehlivé posouzení této podobnosti jsou ale nutné dlouhé řady pozorování. Hodnoty pozorované přímo jsou k dispozici jen za poměrně krátkou dobu. Proto je velmi důležité získat kvalifikované odhady požadovaných veličin v minulosti na základě nepřímých údajů. Co se týče klimatologických dat, především teploty vzduchu, tak rekonstruované řady daleko do minulosti z různých regionů jsou v poslední době k dispozici. Se sluneční aktivitou je to horší.

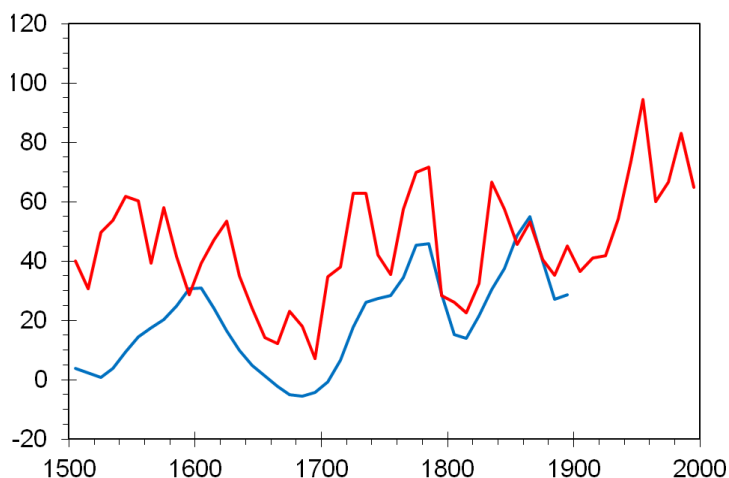
Denní hodnoty Wolfových čísel sluneční aktivity jsou spočítány teprve od roku 1849. Dále do minulosti jsou k dispozici neúplná či dokonce jen sporadická pozorování, a proto lze určit Wolfova čísla jen jako průměry, a to k roku 1749 jako měsíční, dále k roku 1610 jako roční (Waldmeier, 1961). Ještě o jedno století dále, k roku 1500, se pokusil sestavit Wolfova čísla Schove (1979), ale tyto výpočty se většinou nepovažují za uspokojivé a v mezinárodních datových souborech nebývají uváděny.

Ještě dále do minulosti je třeba vycházet z nepřímých údajů, tj. z informací, jistě i zde jen sporadických, o pozorovaných jevech, které mají nějakou souvislost se sluneční aktivitou. Je samozřejmé, že čím dále do minulosti, tím více klesá přesnost určení, a to jak v amplitudě, tak především v čase. Proto údaje ze vzdálenější minulosti jsou publikovány nejvýše jako průměry za desetiletí nebo jen graficky.

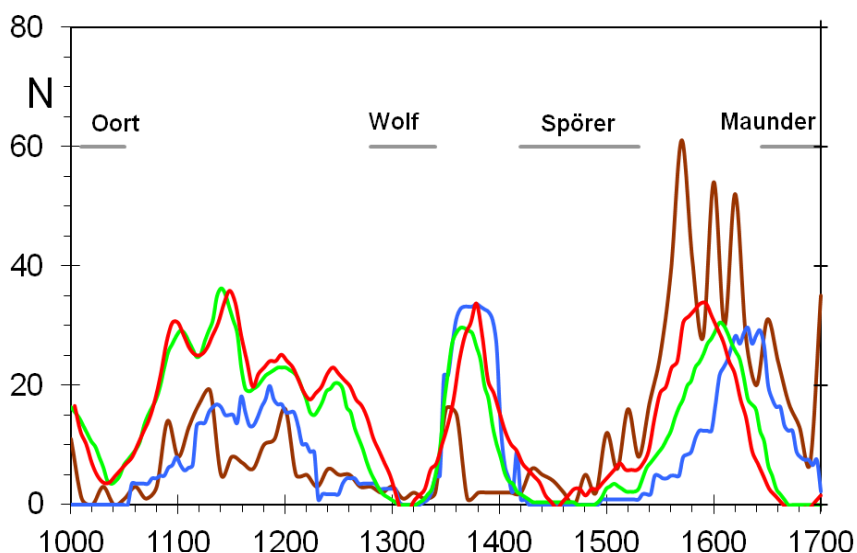
Uveďme nejprve práci Vásquez a Vaquero (2009), kteří shrnuli pozorování slunečních skvrn pouhým okem (to je možné jen v maximu sluneční činnosti) a dostali se k roku 1050. U nás je jistě dobře známá práce Křivského a Pejmla (1985), kteří sestavili do té doby neúplnější katalog polárních září pozorovaných v nižších šířkách a tak podali odhad sluneční aktivity až k roku 1000. Křivský (1996) později ještě katalog doplnil. Dalším zdrojem je měření obsahu radioaktivních prvků s dlouhým poločasem rozpadu (nejčastěji ^{14}C nebo ^7Be) v usazeninách v ledovcích v Grónsku nebo v Antarktidě. Tyto prvky vznikají ve vyšších vrstvách atmosféry následkem slunečního záření (UV a Rentgenova), dostávají se k zemi a v ledovcích setrvávají po tisíciletí. Takto určili Usoskin et al. (2003) sluneční aktivitu ještě o několik století dále do minulosti. Údaje z Grónska a z Antarktidy se od sebe liší jen málo, od výsledků získaných z polárních září nebo z pozorování skvrn pouhým okem se však liší více. Později další autoři postoupili ještě mnohem dále, Solanki et al. (2004) se dostali až k roku 9000 před Kristem. Tato jediná data jsou také publikována a jsou dostupná na internetu v podobě odhadů Wolfových čísel pro jednotlivá desetiletí. Uvedena je také střední chyba, která pochopitelně mírně roste do

minulosti. Tato rekonstruovaná řada končí rokem 1900. Dodejme ještě, že intenzita slunečního záření v určitém oboru vlnových délek (a stejně tak počet polárních září) není zcela totéž jako počet slunečních skvrn či Wolfovo číslo, i když korelace mezi všemi těmito veličinami je jistě vysoká, a proto přepočtená průměrná Wolfova čísla může být zatížen chybou.

Na obr. 1 je nakreslen průběh rekonstruované sluneční aktivity v několika posledních stoletích a porovnán s pozorováním, byť i jen sporadickým, včetně dat Schöve (1979). Pozorované hodnoty Wolfových čísel jsou zde také převedeny na průměry za desetiletí, aby obě řady byly porovnatelné, proto se zde neprojevuje jedenáctiletá perioda. Rekonstruované hodnoty, alespoň v období zachyceném na obr. 1, jsou o něco nižší než pozorované, to je ta výše zmíněná možná nepřesnost při přepočtu. Rekonstruovaná řada je mnohem více vyhlazená, avšak dlouhodobá minima (např. Maunderovo, a část Spörerova a Daltonova) jsou zde dobře patrná. Vzdálenost mezi jednotlivými dlouhodobými maximy, a stejně tak mezi dlouhodobými minimy, je velmi různá, pohybuje se mezi 150 až 300 roky. To naznačuje jistou periodicitu v délce zhruba kolem 200 roků, přes níž se ještě překládá perioda 90-100-letá. Vzhledem k tak velkému rozptylu a poměrně krátké době pozorování (sledované období zahrnuje jen několik málo maxim a minim) lze toto vše považovat jen za hrubý odhad a nelze tedy spolehlivě říci, jak dlouhé tyto dlouhodobé periody skutečně jsou, či dokonce zda lze vůbec mluvit o nějaké periodě. Očekáváme, že existence mnohem delší řady rekonstruovaných hodnot vnese do této věci více světla.

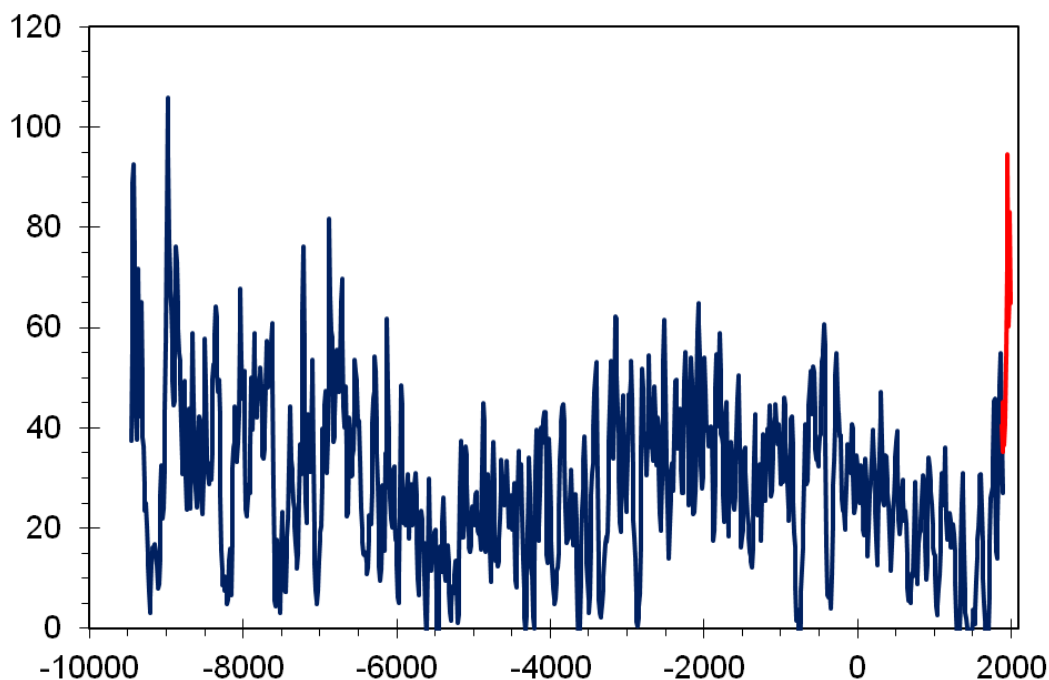


Obr. 1. Průměrné hodnoty Wolfových čísel v dekadách (červeně) a rekonstruované hodnoty Wolfových čísel v dekadách podle Solanki et al., 2004 (modře).



Obr. 2. Rekonstruované hodnoty Wolfových čísel v dekadách podle Solanki et al., 2004, (červeně), rekonstruované hodnoty podle Usoskin et al., 2003 (zeleně), sluneční skvrny pozorované pouhým okem podle Vásquez a Vaquero, 2009, (modře) a odhad podle pozorování polárních září v nižších šířkách podle Křivský, 1996, (hnědě). Vyznačena jsou dlouhodobá minima sluneční aktivity.

Na dalším obrázku vidíme porovnání odhadů sluneční aktivity dále do minulosti z různých zdrojů. Především je jasné vidět velká podobnost výsledků podle Solanki et al., 2004, a Usoskin et al., 2003, což ukazuje, že rekonstrukce jsou spolehlivé. Poměrně dobře se s nimi shodují také odhady založené na pozorování slunečních skvrn pouhým okem. Výsledky získané z pozorování polárních září v nižších šířkách se liší od ostatních výsledků více. To je dáno především dostupností údajů o polárních zářích v kronikách. Počátkem vědecko-technické revoluce (už od 17. století) a v jejím průběhu rychle roste počet záznamů a tím i počet pozorovaných polárních září v databance (pravá strana obrázku). Proto byl graf ukončen už rokem 1700. Také zde se projevuje jisté kvaziperiodické kolísání v širokém rozmezí kolem 200 let, a opět je vidět různá vzdálenost mezi sousedními dlouhodobými maximy či minimy.

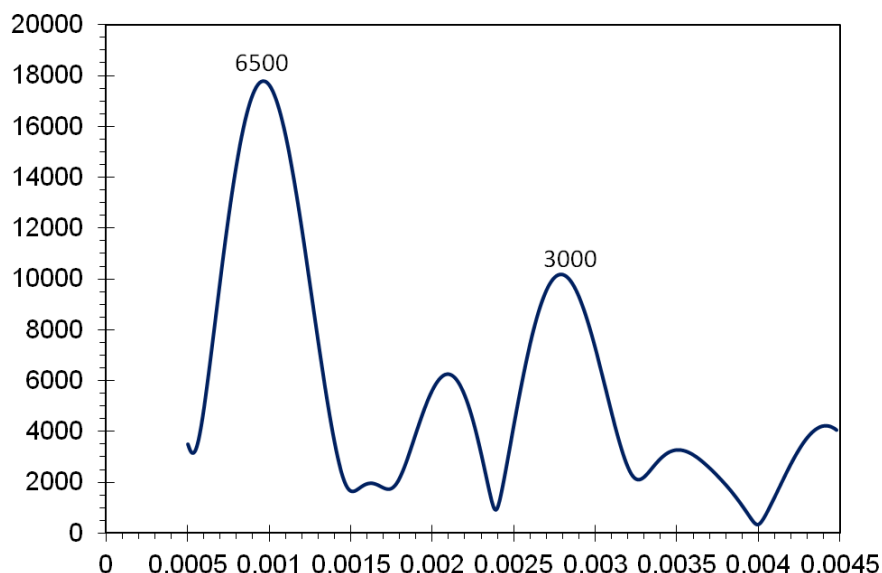


Obr. 3. Průběh rekonstruovaných hodnot Wolfových čísel v dekadách podle Solanki et al., 2004 (modře) a doplnění pozorovaných dat za poslední století (červeně).

Konečně na třetím obrázku vidíme rekonstruovanou řadu v celé její délce 11 tisíc let. Graf je jakoby velice roztřesený, nápadné je na něm silné krátkodobé kolísání, jako známe např. u grafů ročních teplot vzduchu za jedno či dvě století. Uvážíme-li však vodorovnou škálu, pak je toto kolísání krátkodobé jen relativně. Jde totiž o výše zmíněné kvaziperiodické variace s periodami v širokém rozmezí kolem 200 let. Protože rekonstruovaná řada končí rokem 1900, byla zde doplněna pozorovaná data za 20. století, ta jsou nakreslena zcela vpravo červeně. I když uvážíme rozdíl mezi rekonstruovanými a pozorovanými hodnotami (obr. 1), je sluneční aktivita v posledním století stále ještě neobvykle vysoká, což tvrdí také sami autoři všech rekonstruovaných řad. Sluneční aktivita ve 20. století dosahuje hodnot, jaké byly za celých 11 tisíc let dosaženy jen zřídka.

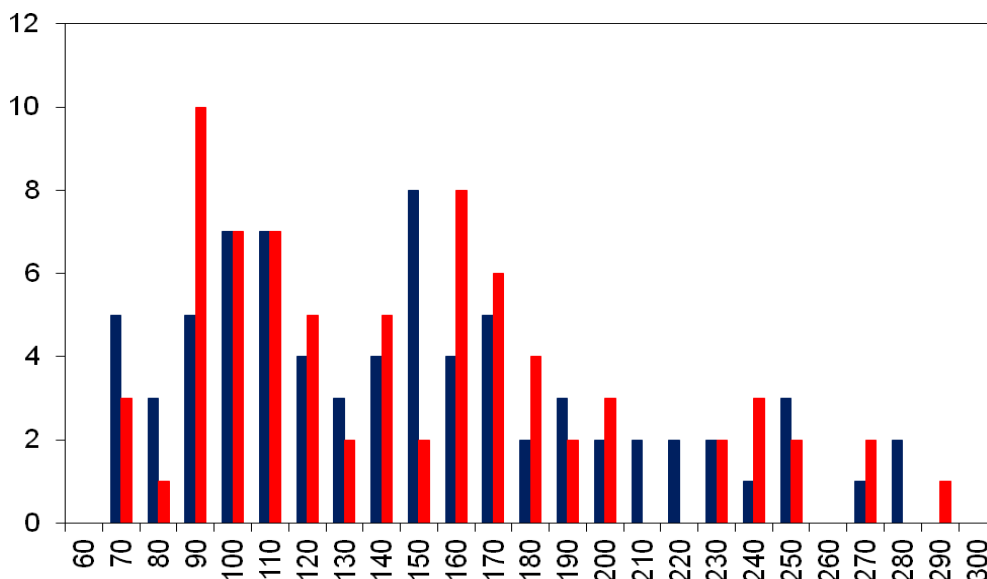
Je jistě zajímavé, že autoři rekonstruovaných řad se nezabývali hledáním možných dlouhodobých periodicit, nebo jen okrajově, ačkoliv materiál, který vytvořili, k tomu přímo vybízel. Periodami se však zabývali jiní. Xapsos a Burke (2009) popsali v uvedené řadě nejdelší periodu dlouhou přibližně 6000 let. Ostatně tato perioda je na obrázku nápadná už na první pohled. O jiných možných periodách se nezmiňují.

Na obr. 4 je ukázáno spektrum celé řady spočtené obvyklým způsobem. Základní perioda vychází v délce 6500 roků, s minimy kolem r. 5000 před Kristem a 1500 po Kristu a maximem kolem r. 2800 před Kristem. Délka periody se velmi blíží hodnotě citované výše. Všechny tyto číselné údaje je ovšem třeba brát s velkou rezervou vzhledem k tomu, že celková délka datové řady zahrnuje jen dvě tyto převládající periody. Vysoké hodnoty aktivity na začátku sledovaného období a opětový vzrůst v posledním století odpovídají polohám minim a maxima hlavní periody. Ve spektru je vidět ještě podružný vrchol v periodě kolem 3000 let. Ten mnoho neznamená, tyto harmonické obvykle odrážejí nesinusový průběh hlavní periody a posunují mírně maxima a minima hlavní periodické vlny.



Obr. 4. Spektrum řady rekonstruované sluneční aktivity za 11 tisíc let v oboru nejdelších period. Na vodorovné ose kruhová frekvence ω v rad/rok.

Již zmíněné kolísání s možnou periodou kolem 100 až 200 let, či obecně kolísání v těchto dimenzích, posoudíme jiným způsobem. V časové řadě použité pro graf na obr. 3 prostě vyhledáme jednotlivá maxima a určíme odstupy mezi nimi. Na obr. 1 a 2 jsme viděli jen několik málo takových maxim, a vzdálenost mezi nimi byla velice různá. Stejně tak velmi různá je vzdálenost mezi dlouhodobými minimy sluneční aktivity, která mají i svá jména. Za celých 11 tisíc let najdeme kolem 50 maxim a minim, což je materiál jistě dostatečný. Četnost odstupů mezi jednotlivými maximy a jednotlivými minimy je uvedena na obr. 5. Hodnoty jsou samozřejmě zaokrouhlené na desetiletí, protože samotná data jsou průměry vždy za 10 let. Možná překvapivě se nejčastěji vyskytují odstupy kolem 90 až 110 let, což odpovídá známé Gleissbergově periodě. Na druhém místě v pořadí se pak hodnoty kupí kolem přibližně dvojnásobné periody 160 až 170 let, tedy nikoliv 200 ani 180, jak by se mohlo zdát z grafů na obr. 1 a 2. Další menší maximum četnosti je kolem trojnásobku základní periody, tedy kolem 240 let. Tato nakupení jsou poněkud výraznější pro maxima, tedy červené sloupce na obr. 5. Nenulové hodnoty četností se však pozorují ve všech hodnotách odstupů, přičemž sloupce pro ty zmíněné nejčastější jen o málo převyšují sloupce sousední. To jen ukazuje, jak různé můžou být odstupy mezi jednotlivými maximy nebo minimy a že průměrné hodnoty nemají příliš velký význam. Jinými slovy, rozšíření řady pozorování na 11 tisíc let nepotvrzuje existenci stabilní dlouhodobé periody ve sluneční aktivitě v délce kolem 100 ani kolem 200 let.



Obr. 5. Četnost odstupů mezi jednotlivými dlouhodobými maximy sluneční činnosti za 11 tisíc let (červené sloupce) a mezi dlouhodobými minimy (modré sloupce). Vodorovná stupnice je v letech.

Z toho důvodu ani nemá smysl zabývat se podrobněji spektrem téže řady v oboru kratších period, řádově staletí. Vzhledem k velkému počtu různých odstupů mezi maximy nebo minimy vychází i neobyčejně velké množství vrcholů ve spektru, přičemž žádný z nich není výrazně vyšší než ostatní. Nedá se ani stanovit jakákoli převládající perioda. Hodnoty spektra v jednotlivých vrcholech jsou celkově mnohem nižší než maximální hodnota ve spektru na obr. 4, nedosahují ani výše podružného maxima v periodě 3000 let, což opět znamená, že jejich významnost je také patřičně nižší.

Závěrem je možné konstatovat, že výsledky ukazují, ve shodě s údaji v literatuře, že sluneční aktivita v posledním století je neobyčejně vysoká, jaká se vyskytla za celých 11 tisíc let jen zřídka, a naznačují možnost superdlouhé periody kolem 6500 let. Naproti tomu se nepotvrzuje stabilita period kolem 100 ani kolem 200 let. Vzdálenosti mezi jednotlivými dlouhodobými maximy a stejně mezi jednotlivými minimy sluneční aktivity kolísají ve velmi širokém rozmezí. V nejbližších staletích lze očekávat celkově vyšší sluneční aktivitu ve shodě s 6500-letou vlnou, avšak polohu dalšího dlouhodobého minima na způsob Maunderova aj. lze odhadnout jen velmi obtížně.

Literatura

- Křivský L., Pejml K. (1985): Solar activity, aurorae and climate in Central Europe in the last 1000 years. *Travaux géophysiques XXXIII*, No 606, 77-151, Academia, Praha.
- Křivský L. (1996): Supplement of the catalogue of polar aurorae < 55° N in the period 1000-1900. *Travaux géophysiques XXXVII*, 1-21, Geophys. Inst. Acad. Sci. Czech Rep., Praha.
- Schove D.J. (1979): The sunspot turning-points and aurorae since A.D. 1510. *Solar Physics* 63, 423-432.
- Solanki S.K., Usoskin I.G., Krome B., Schüssler M., Beer J. (2004): Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature* 431, Issue 7012, 1084-1087.
- Usoskin I.G., Solanki, S.K., Schüssler, M., Mursula, K., Alanko, K. (2003): Millenium-scale sunspot number reconstruction: Evidence for an unusually active Sun since the 1940s. *Physical Review Letters*, 91, No 21.
- Vásquez M., Vaquero J.M. (2009): The Sun recorded through history. *Astrophysics and space science library*, Vol. 361.
- Waldmeier M. (1961): The sunspot activity in the years 1610-1960. Schulthess u. Co. / Swiss Federal Observatory, Zürich.
- Xapsos M.A., Burke E.A. (2009): Evidence of 6000-year periodicity in reconstructed sunspot numbers. *Solar Physics* 257, No 2, 363-369.