

Střednědobé změny v délkách cyklů sluneční aktivity

Jaroslav Střeščík, Geofyzikální ústav AV ČR, Boční II 1401,
141 31 Praha 4
Jiří Čech, Ostrava

Middle-term changes in the lengths of solar cycles

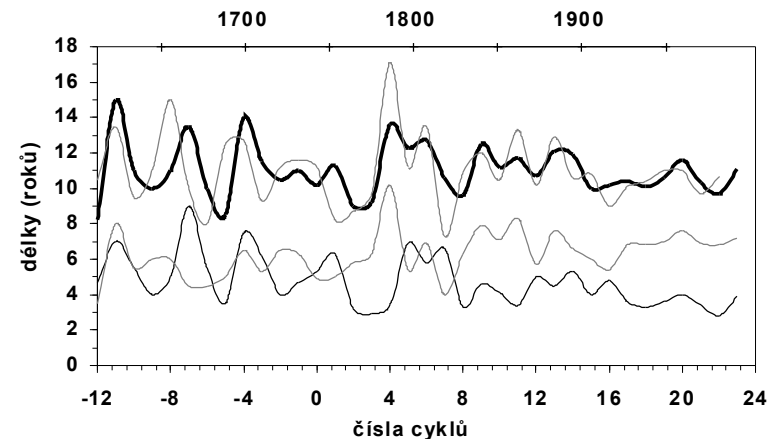
Abstract: In the published data of annual sunspot numbers since 1500 and less reliable guesses of positions of minima and maxima of solar cycles since 200 B.C. middle-term changes in the cycle lengths have been investigated. Data published by different authors differ considerably, the more the further to the past they go. The lengths of cycles fluctuate mostly irregularly, but big swings usually agree at all authors. In the lengths of rising and decreasing parts of cycles no periodicity has been found. In the spectra of cycle lengths some significant peak can be found, most coinciding in data of all authors, only their height is different. The most significant peaks cumulate in intervals between 80-95 and 180-250 years, less significant also between 100-130 and 55-65 years. The first two groups suggest a similarity with 80-90 and quasi-200-year periodicity in solar activity. Using the most significant periods a superposition of sine waves can be calculated and the lengths of some next cycles can be guessed. After recent period of short (10-years) cycles longer cycles will follow, with the period of 11 years or more.

V minulosti, pokud jsme se zabývali odhadem sluneční aktivity v dávné minulosti (např. Střeščík, 2004), mluvili jsme vždy o *velikosti* této aktivity, tj. o výškách jednotlivých slunečních cyklů, a dlouhodobě změně hodnot Wolfova čísla v maximech. Dlouhodobě se mění také délka jednotlivých slunečních cyklů, čemuž je však věnována daleko menší pozornost. Odhad délky cyklů dále do minulosti je však obtížný.

Uvedme nejprve, co je o sluneční aktivitě ve vzdálenější minulosti známo. Wolfova čísla pro každý den jsou k dispozici teprve od r. 1849. Pro roky před tím chybějí mnohé denní hodnoty, neúplná data jsou publikována už od r. 1818. Chybějící data byla doplněna lineární interpolací, měsíční průměry z nich spočtené jsou ještě poměrně spolehlivé. Tyto jsou k dispozici až k roku 1749. Dále do minulosti jsou přijatelné pouze roční průměry (Waldmeier, 1961). Z nich byly určeny časové polohy minim a maxim jednotlivých cyklů počínaje rokem 1611. Tyto hodnoty jsou uváděny s přesností na desetinu roku (ne na měsíce) a v této podobě je lze najít na internetu. Toto jsou všeobecně přijímané údaje, které můžeme nazvat oficiální. Sluneční cykly jsou číslovány. První cyklus začíná v prvním minimu po začátku spolehlivé řady měsíčních Wolfových čísel, tedy v roce 1755,2. Současný cyklus má číslo 23, začal v roce 1996,4 a konec se očekává kolem roku 2007. Předpověděný odhad 2007,5 je již zahrnut do grafů

uváděných dále. Zpětně rekonstruované cykly před rok 1755 mají čísla 0, -1, -2, ..., cyklus začínající v roce 1610,8 má číslo -12.

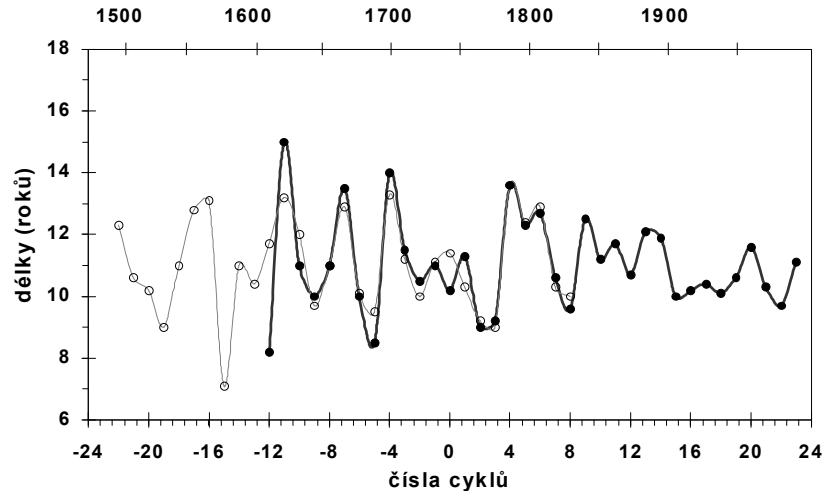
Průběh slunečního cyklu není symetrický. Na počátku cyklu obvykle sluneční aktivita rychle narůstá, brzy dosáhne maxima a pak pomaleji klesá. Sluneční cykly se liší délkou, velikostí (hodnotou v maximu) a tvarem. Střední délka slunečního cyklu za období 1610-2007 je 11,0 roků, jeho vzestupné části 4,7 roku, sestupné části 6,3 roku. Průběh délek cyklů a jejich částí je znázorněn na obr. 1. Délka cyklu se počítá vždy od minima k následujícímu minimu, na obr. 1 jsou také uvedeny délky od maxima k maximu. Ty se někdy značně liší od délek od minima k minimu, korelace mezi nimi je jen 0,66. Délky cyklů během času nepravidelně a někdy značně kolísají, průměrná délka cyklu (stanovená oběma způsoby) se však od r. 1610 dlouhodobě nemění. Je zajímavé, že se zkracuje vzestupná část a prodlužuje sestupná část. Změna délky cyklu ani jeho částí nevykazuje žádnou zjevnou dlouhodobou periodicitu. Za pozornost dále stojí větší rozptyl v délkách jednotlivých cyklů ve starším období, patrně u důvodu menší přesnosti údajů.



Obr. 1. Délky slunečních cyklů a jejich částí v posledních čtyřech stoletích. Nahoře silná čára – délky od minima k minimu, slabá čára – délky od maxima k maximu, dole tmavá čára – délky vzestupných částí, světlá čára – délky sestupných částí. Nahoře čísla cyklů přepočtená na roky.

Schove (1983) pokusně rozšířil řadu ročních hodnot Wolfových čísel až k roku 1500, čímž dospěl až k cyklu číslo -22. Toto období 110 let je však popsáno méně přesně než další období po roce 1610 a uváděné hodnoty Wolfových čísel nejsou oficiálně přijímány a nebývají uváděny v literatuře. Časové polohy maxim a minim jednotlivých cyklů určené z těchto dat pro období 1610-1800 se liší od poloh oficiálních (podle Waldmeiera), čímž se samozřejmě liší i délky slunečních cyklů a jejich částí. Na obr. 2 je uveden průběh délek cyklů podle Waldmeiera

(1961) a Schove (1983). Obdobné, někdy i větší rozdíly platí i pro jednotlivé části cyklů a pro délky počítané od maxima k maximumu.



Obr. 2. Délky slunečních cyklů (od minima k minimu) podle Waldmeiera (oficiální data, silná čára) a podle Schove 1983 (slabá světla čára).

Existuje slabá korelace mezi délkou cyklu a hodnotou Wolfova čísla v maximumu cyklu, korelační koeficient pro cykly od r. 1610 je však jen $-0,18$ (není statisticky významný). Pro kratší období do současnosti je korelace vyšší: pro posledních 30 cyklů $-0,31$ a pro posledních 20 cyklů dokonce $-0,41$. Kratší cykly by tedy měly být vyšší (Charvátová, Štěpánek, 1991). Významnější je korelace hodnoty W v maximumu s délkou vzestupné části ($-0,65$), ale nulová je s délkou sestupné části. Významná je i záporná korelace mezi oběma délkami ($-0,39$) – po rychlejším vzestupu následuje pomalejší pokles.

Jsou určité rozdíly mezi lichými a sudými cykly. Liché cykly jsou vyšší, tj. hodnota Wolfova čísla v maximumu cyklu je asi o 10 jednotek W vyšší než v maximumu následujícího cyklu sudého. Naopak sudé cykly jsou kratší a toto zkrácení jde na vrub pouze vzestupné části (o 0,3 roku). Toto pravidlo však platí zhruba od 18. století, tedy pro cykly číselované kladnými čísly. V době před tím (záporné cykly) se zdá, že naopak liché cykly byly nižší.

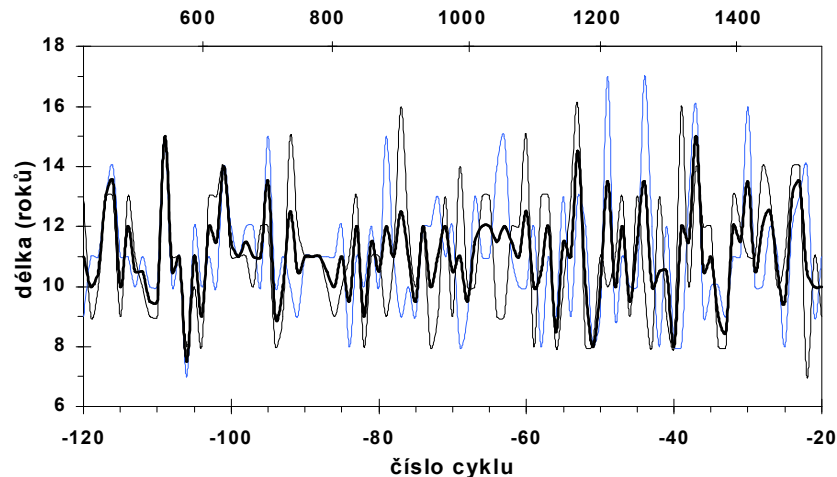
Schove (1955) již dříve odhadl na základě sporadických dat a nepřímých údajů časové polohy maxim a minim slunečních cyklů zpětně až k roku 649 před Kristem. Současně uvádí přibližnou velikost Wolfova čísla v maximumu s přesností asi 20 jednotek Wolfova čísla. Na začátku jeho tabulky mnohá data chybí, takže souvislá řada časových poloh maxim a minim slunečních cyklů začíná až rokem 200 př. Kr., po roce 1500 ji lze ovšem doplnit přesnějšími údaji. Schove v téže práci dále odhadl časové polohy maxim a minim slunečních cyklů v dalších

60 letech až do roku 2015, pozdější pozorování s ním však příliš nesouhlasí. Souhlasí pouze nejbližší maximum (1958), dále předpokládal cykly delší, takže se předpovědi liší od pozorování až o 3 roky (např. maxima předpověděl 1972, 1984, 1994, 2004 místo 1969, 1980, 1990, 2000). To také nevzbuzuje přílišnou důvěru v přesnost odhadů do minulosti před rok 1610. Polohy minim a maxim jednotlivých cyklů uváděné v citované práci se v období 1500-1750 liší jak od poloh uváděných stejným autorem později (Schove, 1983), tak od poloh „oficiálních“ podle Waldmeiera (1961). Také Vitinskij (1973) uvádí tabulku poloh minima a maxim slunečních cyklů, která je v podstatě převzata od Schove (1955). Žádná verze však neposkytuje v zásadě jiné informace o změnách délek slunečních cyklů či jejich částí, než jaké jsou uvedeny na obr. 1.

U nás se dlouhodobými změnami sluneční aktivity s dopadem na kolísání hydrologických jevů zabýval Bratránek (1965). Uvádí tabulku poloh maxim jednotlivých slunečních cyklů od roku 300. Na rozdíl od Schove neuvádí polohy minim cyklů ani výšku cyklu (hodnotu W) v maximumu. Odhad polohy maxima je daleko přesnější než odhad polohy minima, protože právě k maximumu se vztahují různé úkazy, podle kterých lze sluneční aktivitu rekonstruovat. Údaje pro období po roce 1610 se prakticky shodují s oficiálními, před ním se však někdy dost podstatně liší od údajů podle Schove (1955). Vzhledem k datům publikace (Schove 1955 a Bratránek 1965) lze předpokládat, že Bratránek mohl mít k dispozici více nepřímých zdrojů a že jeho údaje data by mohly být přesnější. Bohužel však nebyly publikovány na mezinárodním fóru.

Protože z nepřímých a sporadických dat lze mnohem lépe odhadnout polohu maxima slunečního cyklu než jeho minima a někteří autoři tedy odhadují pouze maximum, budeme i zde netradičně posuzovat délky slunečních cyklů od maxima k následujícímu maximumu. Časový údaj maxima je ovšem zatížen chybou, která činí nejméně 1 rok, někdy 2 roky. To znamená, že skutečné maximum mohlo nastat o 1-2 roky dříve nebo později. Chyby v polohách sousedních maxim se nesčítají, protože poloha maxima je vždy odhadována individuálně podle častějšího výskytu jevů, které souvisejí se sluneční aktivitou, např. polární záře pozorované v nižších šířkách apod. Chybně odhadnutá poloha maxima ovšem znamená, že délka následujícího cyklu bude odhadnuta delší a předcházejícího kratší, nebo naopak, a toto se ještě může posouvat dále, je-li i poloha sousedního maxima odhadnuta s chybou ve stejném směru. Roste tak rozptyl v délkách cyklů, což je dobře vidět v levé části obr. 2, kde výskyt délek 13-14 nebo 7-8 let nemusí být vždy reálný.

Na obr. 3 je uveden průběh délek cyklů od maxima k maximumu od roku 400 do r. 1500 podle Schove (1955) a Bratránek (1965), tedy za dobu, kdy jsou k dispozici obě řady a ještě neexistují přesnější údaje podle Waldmeiera (1961). Vzájemná korelace mezi těmito řadami je jen 0,25. Kdybychom pro data Schove použili délky od minima k minimu, byl by korelační koeficient jen 0,16. Dále jsou na obrázku průměrné délky spočtené z těchto dvou pramenů.



Obr. 3. Délky slunečních cyklů (od maxima k maximu) podle Schove, 1955 (světlá čára), Bratránek, 1965 (tmavá čára) a průměr z těchto dvou zdrojů (silná čára) v období přibližně od r. 400 do r. 1500.

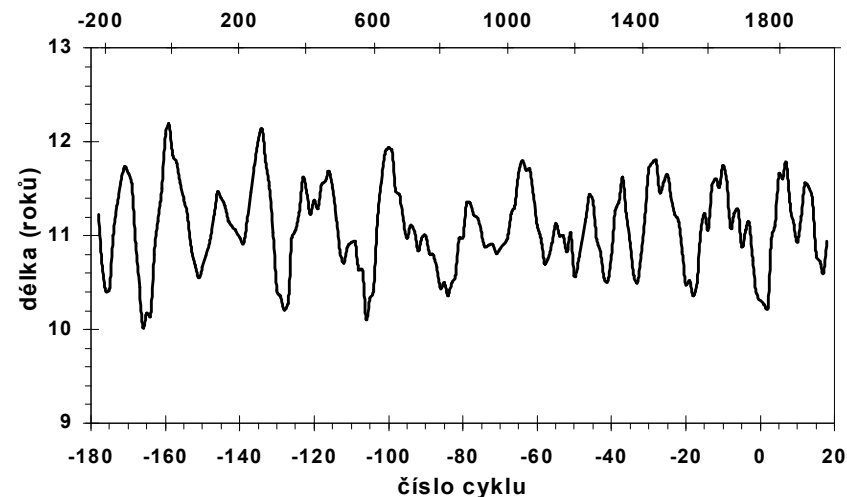
Prohlížíme-li podrobněji grafy na obr. 3, upoutá nás rychlé kolísání v délkách cyklů. Průměrná délka se v průběhu dvou tisíciletí nemění, zůstává stále kolem 11,1 roku. Kolísání délky jednotlivých cyklů je ovšem značné. Tyto krátkodobé změny jsou důsledkem chyby v určení přesné polohy maxima cyklu, jak bylo řečeno výše. Proto jsou periody v délce cyklů o velikosti 2-3 cykly nereálné. Bohužel z toho důvodu pak nelze prokázat, jsou-li opravdu liché cykly stále delší než sudé, jak naznačují data za posledních asi 20 cyklů.

Z obr. 3 je dále patrné, že existují periodické změny s delší periodou. Ještě lépe je to vidět na obr. 4, kde je řada délek cyklů vyhlazena podle Woolhouseovy formule. Hodnota W_i se nahradí hodnotou

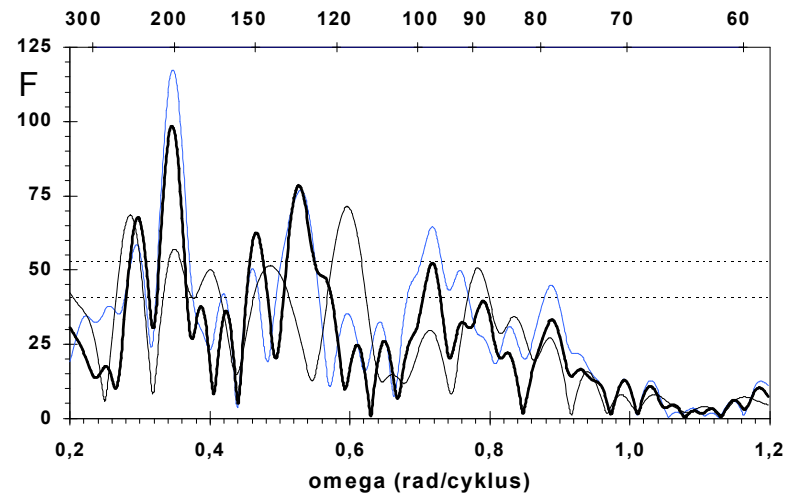
$$0,2 W_i + 0,192 (W_{i-1} + W_{i+1}) + 0,168 (W_{i-2} + W_{i+2}) + 0,056 (W_{i-3} + W_{i+3}) + 0,024 (W_{i-4} + W_{i+4}) - 0,016 (W_{i-5} + W_{i+5}) - 0,024 (W_{i-7} + W_{i+7}) .$$

Po vyhlazení zmizí krátkodobé kolísání a zůstanou změny s delší periodou. Pouhým okem lze odhadnout, že významná bude jistě perioda kolem 20 cyklů, doprovázená periodami kratšími, přibližně polovičními. Vyhlazené řady podle Schove (1955) a Bratránek (1965), na obr. 4 pro přehlednost neuvedené, se navzájem od sebe značně liší stejně jako řady nevyhlazené. I u nich však lze pouhým okem odhadnout existenci podobných period jako u řady průměrné.

Všechny tyto periody jsou dobře vidět ve spektrech na obr. 5. Ten uvádí spektrum vyhlazené řady z obr. 4 a k tomu obdobná spektra vyhlazených řad podle Schove (1955) a Bratránek (1965).



Obr. 4. Délky slunečních cyklů (průměr z dat Schove, 1955, a Bratránek, 1965) od r. 200 před Kr. do r. 2000, vyhlazeno.

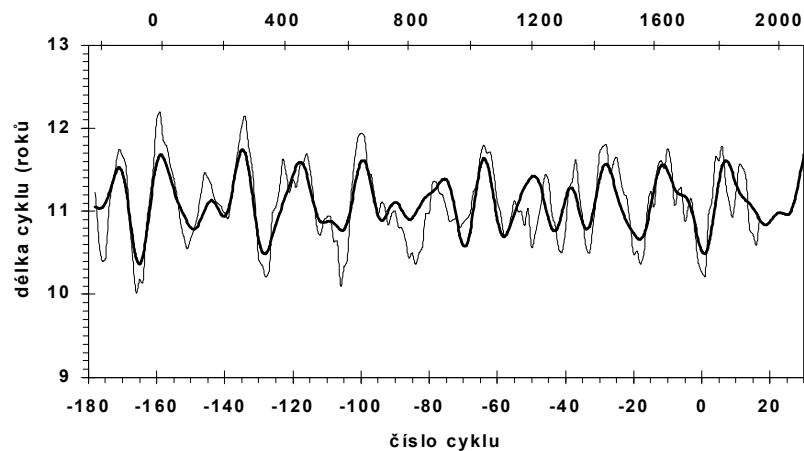


Obr. 5. Spektra vyhlazených časových řad délek slunečních cyklů podle Schove, 1955 (světlá čára), Bratránek, 1965 (tmavá čára) a průměr z těchto dvou zdrojů

(silná čára). Nahoře délky period v letech. Čárkovaně je označena úroveň 95% a 99% významnosti pro spektrum průměru.

Jednotlivá spektra na obr. 5 se navzájem značně liší, přesto však lze pozorovat, že u všech spekter se vrcholy shlukují do tří skupin. První skupina se nachází kolem periody 200 let či o něco více. Obsahuje dva vrcholy, jejichž poloha se dobře shoduje u všech tří spekter, pouze výšky jsou jiné. Tyto hodnoty odpovídají maximu ve spektru řady Wolfových čísel (tedy ve výškách jednotlivých cyklů) za stejné období (2200 let), kde vrchol leží v periodě 205 roků. Druhá skupina pokrývá oblast 110 – 150 roků, tyto hodnoty nemají žádný protějšek ve spektru řady Wolfových čísel. Obsahuje opět dva vrcholy, jejichž poloha je ovšem u každého spektra jiná. A konečně třetí skupina obsahuje několik nízkých vrcholů v pásmu 70 – 100 let. Tyto hodnoty také odpovídají maximu ve spektru řady Wolfových čísel a poukazují na periodicitu kolem 80-90 let, která je často zmiňována všude, kde se mluví o dlouhodobých změnách sluneční aktivity. Periody kratší než 50 let nejsou na obr. 5 uvedeny vzhledem k možné nepřesnosti v určení poloh maxim jednotlivých cyklů.

Spektrum nevyhlazených řad je ovšem složitější. Mnohé významnější vrcholy jsou rozstřípnuty na dva, vrcholy v kratších periodách jsou vyšší a významná je dále řada vrcholů v periodách ještě kratších, už mimo rozsah obr. 5. Seskupení do skupin, jak bylo popsáno u spekter vyhlazených řad, je však zachováno. Ve spektrech nevyhlazených řad najdeme vrcholy ve stejných periodách, pouze výšky jsou jiné. Nejvyšší jsou ve skupině třetí, což je dáno potlačením krátkých period u vyhlazených řad.



Obr. 6. Superpozice pěti významných (na 95%) sinusových vln (tlustá čára) spolu s vyhlazenými daty uvedenými na obr. 4 (tenká čára).

Celkem pět vrcholů ve spektru nakresleném na obr. 5 silnou čarou leží nad úrovní 95% významnosti. Těm odpovídá pět sinusových vln s příslušnou periodou, amplitudou a fází. Jejich superpozice je předvedena na obr. 6 společně s vyhlazeným průběhem délek slunečních cyklů. Je zřejmé, že hlavní výkyvy nahoru a dolů se u obou křivek dobře shodují. Korelační koeficient mezi vyhlazenou křivkou délek cyklů a superpozicí pěti vln je 0,80. Pokud bychom použili pouze dvě sinusové vlny s největší amplitudou, byla by shoda menší a korelační koeficient pouze 0,62, což je přesto korelace poměrně dobrá. Obdobná superpozice pro nevyhlazenou řadu ovšem musí být sestavena s daleko většího počtu sinusových vln. V oboru period 60 - 300 let jako na obr. 5 leží 9 vrcholů. Superpozice příslušných sinusových vln se však přibližuje původním datům jen málo, korelační koeficient je jen 0,38. To proto, že použité vlny nezahrnují změny s kratší periodou. Teprve při použití 22 vln, z nichž většina leží v kratších periodách, se korelační koeficient zvýší na 0,64. Superpozice pak již poměrně dobře vystihuje pozorovaný chod. V obou případech, tj. pro vyhlazená i nevyhlazená data, byly počítány hodnoty superpozice sinusových vln také pro několik cyklů následujících. Souhlasně se ukazuje, že po současném období krátkých cyklů budou opět následovat cykly delší. Současný 23. cyklus je již jedním z nich a další cykly mohou být ještě o málo delší, jak ukazuje obr. 6 zcela vpravo.

Literatura

- Bratránek A. (1965): Sluneční aktivita a její vliv na kolísání hydrologických jevů. Práce a studie, sešit 117, Výzk. ústav vodohospodářský, Praha.
- Charvátová I., Střeščík J. (1991): Long-term variations in duration of solar cycle, Bull. Astr. Inst. Czech. 42, 90–97.
- Schove J. (1955): The sunspot cycle, 649 B.C. to A.D. 2000. Journal Geophys. Research 60, 127–147.
- Schove J. (1983): Sunspot cycles. Hutchinson-Ross, London.
- Střeščík J. (2004): Střednědobé a dlouhodobé periodicity ve sluneční aktivitě. XVII. Mezinárodní sluneční seminář, zborník referátov, Stará Lesná, 2004, 76-81.
- Vitinskij Ju. I. (1973): Cikličnosť i prognozy solněčnoj aktivnosti. Izd. Nauka, Leningrad.
- Waldmeier M. (1961): The sunspot activity in the years 1610-1960. Zürich Schulthess & Comp. AG.