

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

**Projevy sluneční aktivity a její vliv na fyzikální procesy na Zemi**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Petr Jelínek, Ph.D.

Autor: Eduard Šimeček, DiS

## **Anotace**

Tato bakalářská práce je zaměřena na zkoumání vlivů slunečních aktivit na fyzikální procesy na Zemi. První část této práce je zaměřena hlavně na obecné informace o vzniku hvězd a Slunce, společně se základními informacemi o Slunci, jeho vnějších projevech a jejich podrobnějším popisem. V druhé části se zaměřujeme na hlavní cykly sluneční aktivity, jejich popisem a možným vlivem na klimatické změny na Zemi. Třetí část obsahuje vlastní průzkum fenoménu globálního oteplování a úvahy o skutečnostech, zdali je tento fenomén zapříčiněn pouze negativními aktivitami člověka nebo se jedná o do jisté míry normální přírodní proces.

## **Abstract**

This bachelor work is focused on the investigation of the Sun activities to the physical processes on the Earth.

The first part of this work is focused to the general information about the origin of the Sun and other stars as well as it contains the basic information about the Sun. Important physical processes in the Sun are also described in detail. Second part of presented bachelor work discuss the main cycles of the Sun activities its description and possible effects on the Earth's climatic changes. The last part contains the results of research of the global warming problem and the thinkings about facts whether this phenomenon of global warming is only caused by the human activities or if it is even the normal nature process.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 24. dubna 2009.

.....

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce RNDr. Petru Jelínkovi, Ph.D. za cenné rady, pomoc a připomínky při zpracování mé práce.



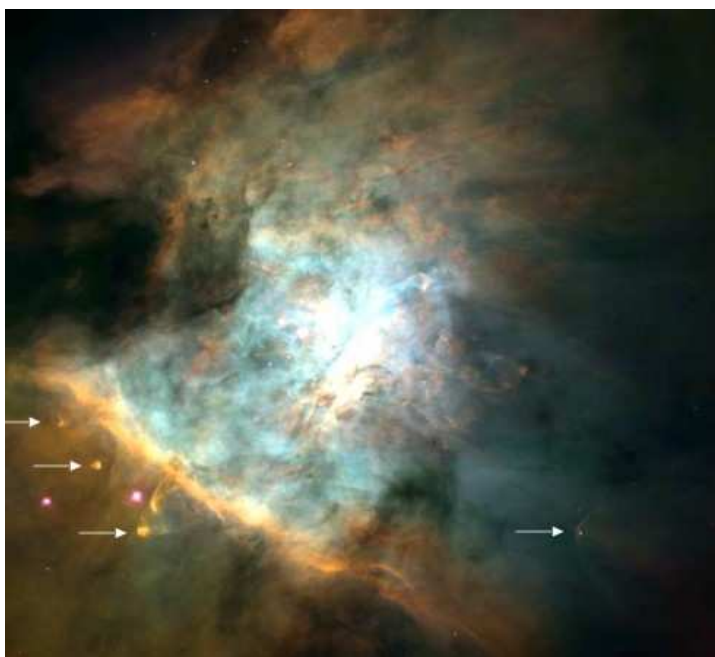
## Obsah

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Vznik a vývoj hvězd .....                                                                    | 8  |
| 2 Slunce.....                                                                                  | 15 |
| 2.1 Popis a charakteristika .....                                                              | 15 |
| 2.2 Vnitřní struktura.....                                                                     | 18 |
| 2.2.1 Jádru.....                                                                               | 18 |
| 2.2.2 Vrstva v zářivé rovnováze.....                                                           | 19 |
| 2.2.3 Konvektivní zóna.....                                                                    | 19 |
| 2.2.4 Fotosféra .....                                                                          | 20 |
| 2.2.5 Chromosféra.....                                                                         | 20 |
| 2.2.6 Koróna .....                                                                             | 21 |
| 3 Vnější projevy Slunce .....                                                                  | 23 |
| 3.1 Protuberance .....                                                                         | 23 |
| 3.2 Erupce .....                                                                               | 23 |
| 3.3 Chromosférické erupce .....                                                                | 24 |
| 3.4 Sluneční skvrny.....                                                                       | 24 |
| 3.4.1 Wolfovo číslo, Curyšské číslo.....                                                       | 25 |
| 3.4.2 Počet skupin slunečních skvrn.....                                                       | 27 |
| 3.5 Granulace a supergranulace .....                                                           | 28 |
| 3.6 Spikule .....                                                                              | 28 |
| 3.7 Sluneční vítr .....                                                                        | 29 |
| 3.8 Sluneční aktivita a její projevy .....                                                     | 30 |
| 4 Vlivy Slunce.....                                                                            | 31 |
| 4.1 Milankovičovy cykly .....                                                                  | 32 |
| 4.2 Změny sluneční konstanty v jedenáctiletém cyklu slunečních skvrn a klimatické efekty ..... | 33 |
| 4.3 Gleissbergův cyklus sluneční aktivity a klimatické změny .....                             | 35 |
| 4.4 Proměnlivost v slunečním ultrafialovém záření a klimatické modely.....                     | 39 |
| 4.5 Kosmické záření, sluneční vítr a globální pokrytí oblačností.....                          | 39 |

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 5 Globální oteplování.....                            | 41 |
| 5.1 Globální oteplování podle medií.....              | 41 |
| 5.2 Popírání globálního oteplování.....               | 41 |
| 5.3 Globální oteplování vlivem sluneční aktivity..... | 42 |
| 6 Nezvyklé sluneční minimum .....                     | 45 |
| 7 Závěr .....                                         | 48 |
| 8 Seznam použité literatury .....                     | 50 |
| 9 Seznam obrázků.....                                 | 51 |
| 10 Seznam grafů .....                                 | 52 |
| 11 Seznam tabulek .....                               | 53 |

## 1 Vznik a vývoj hvězd

Jestliže v mračnu mezihvězdné látky vznikne náhodnými pohyby zrněk i molekul plynu zhuštění, tak má tendenci růst. Mírný růst způsobuje gravitaci, která zpočátku jen nepatrně mění dráhy blízkých molekul. V této fázi se však výrazněji uplatňuje jiná síla, kterou nazýváme tlak záření.



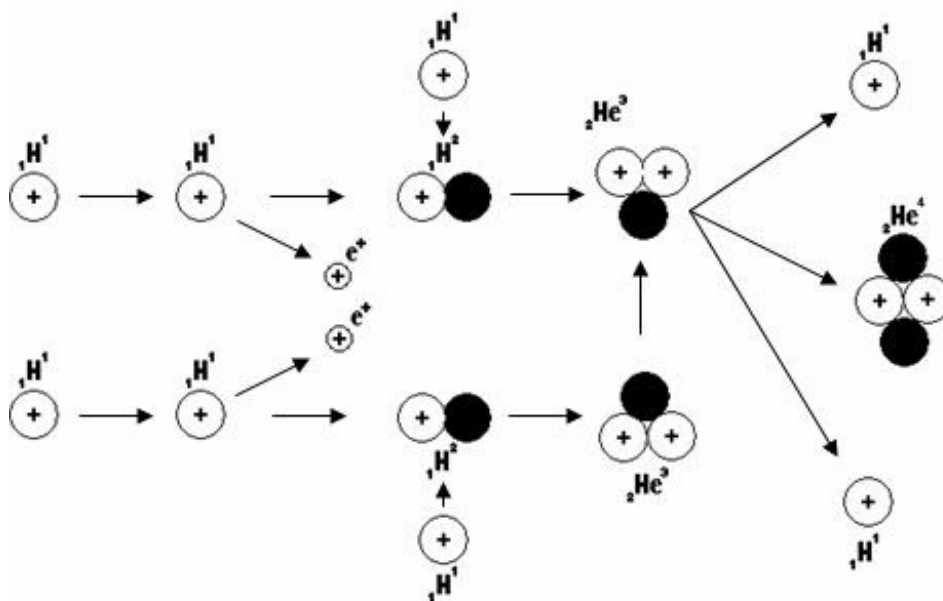
Obr. 1 – Mlhovina M42 v souhvězdí Orionu [5]

Fotony elektromagnetického záření mají energii a při dopadu na těleso vyvolají jistý tlak. Tento tlak je z lidského hlediska zanedbatelný. Pro nepatrné částice, jakými jsou molekuly, má tlak záření rozhodující význam, neboť tento tlak je úměrný čelní ploše molekuly, zatímco gravitace je dána hmotností molekuly.

Na osamělou molekulu působí tlak záření ze všech stran stejně, takže pohyb molekuly tím není nijak ovlivněn. Jestliže však má molekula za sebou hustší oblast nezářícího mezihvězdného mračna, pak z tohoto směru je tlak záření slabší. Díky tomu se už výslednice tlaku záření nerovná nule, a molekula se začne pohybovat směrem ke zhuštěné oblasti. A tak zárodek počíná houstnout. Jakmile jeho hmotnost dále vzroste, projeví se výrazněji i jeho přitažlivost.

Když se začne obrovský oblak složený z molekulárního vodíku, menšího množství helia a z jiných prvků smršťovat vlastní gravitací, děje se tak na úkor jeho gravitační energie,

silně se zahřívá a zvyšuje tlak v jádru. Postupně se rozbíjejí molekuly a atomy. Tím se podstatně sníží tlak plynu, jenž působil proti gravitaci a zabraňoval smršťování mračna a dochází ke smrštění na průměr desetiný původního rozměru mračna. Při teplotě několika milionů stupňů Celsia mají jádra vodíku už takovou rychlost, že se při srážkách k sobě mohou, i přes silné elektrické odpuzování, dostat hodně blízko a spojit se v jádro helia. Tak se ve hvězdě zažehne termonukleární reakce. Vždy čtyři vodíková jádra vytvoří jedno jádro hélia a přebytečná energie se vyzáří v podobě fotonů a neutrin. Tato reakce se nazývá proton – protonový řetězec:



Obr. 2 – Proton – protonový řetězec [10]

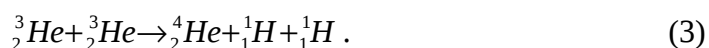
Při první reakci dochází k srážce dvou protonů  ${}^1_1\text{H}$ . Vzniká deuteron  ${}^2_1\text{H}$ , pozitron  $e^+$  a neutrino  $\nu$ :



Při druhé reakci do vzniklého deuteronu naráží proton. Vzniká jádro hélia  ${}^3_2\text{He}$  a foton gama záření  $\gamma$ :

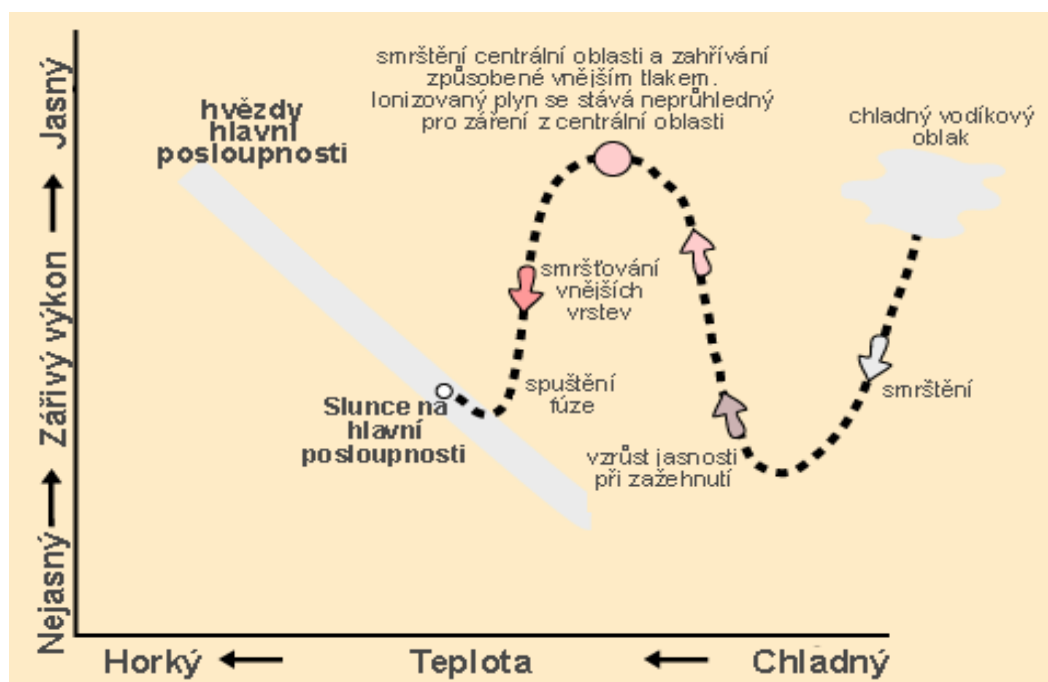


Poslední reakcí je srážka dvou jader hélia  ${}^3_2\text{He}$ , které vytvářejí  ${}^4_2\text{He}$  a dva protony  ${}^1_1\text{H}$ :



Získanou energii spočteme pomocí Einsteinova vztahu  $E = m \cdot c^2$ . Za hmotnost dosadíme rozdíl hmotností prvků a částic do reakcí vstupujících a vystupujících. Malé  $c$  je rychlost světla. Získaná energie potom činí 24,7 MeV.

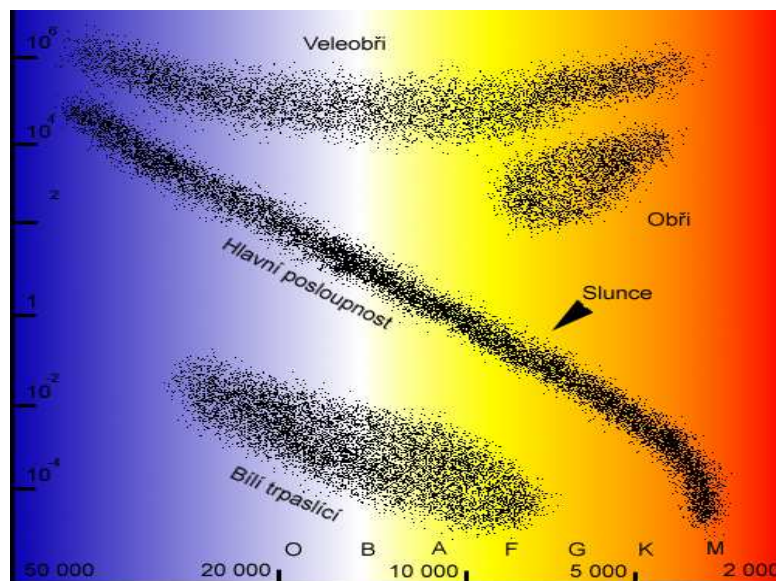
Neutrino opouští hvězdné nitro bez překážek. Fotony však musí namáhavě projít hvězdným plynem, kde jsou pohlcovány a znovu vyzařovány, až nakonec jejich potomci s nižší energií dospějí k hvězdnému povrchu a hvězda začne zářit. V této fázi je záření hvězdy proměnné a doprovází ho značné vyvrhování hmoty do okolního kosmického prostoru. Tak může hvězda během prvních desítek milionů let své existence ztratit až třetinu původní hmotnosti. Nakonec začne zářit poměrně stále. Dokud se hvězda smršťuje, poměrně silně září, a na HR diagramu je proto znázorněna nad hlavní posloupností.



Obr. 3 – Diagram vzniku hvězdy [10]

Během smršťování se její obraz na diagramu přibližuje k hlavní posloupnosti a „dorazí“ na ni právě v okamžiku, kdy se v ní zažehne vodíková termojaderná reakce.

Od doby zapálení termojaderných reakcí se hvězda mění jen velmi pomalu, to znamená, že velmi dlouho zůstává na hlavní posloupnosti. Zůstává zde po celou dobu spalování vodíku. Tato doba je nejméně stokrát delší než doba od počátku smršťování až k zážehu



Obr. 4 – HR diagram [10]

vodíkové reakce a velmi závisí na hmotnosti hvězdy. Čím je hvězda hmotnější, tím větší tlak i teplota je v jejím nitru, a tím rychleji probíhají jaderné reakce. Hmotnost určuje jakou silou tlačí vnější vrstvy hvězdy na její nitro. Hvězda může být v rovnováze jen tehdy, když je v nitru přesně takový tlak, aby tato síla byla vyrovnána. Uvnitř velmi hmotných hvězd musí být také velmi vysoký tlak.

Existují přímo a nepřímo měřitelné fyzikální veličiny, které jsou důležité pro mapování hvězd a jejich vlastností, které rozdělujeme do dvou hlavních skupin:

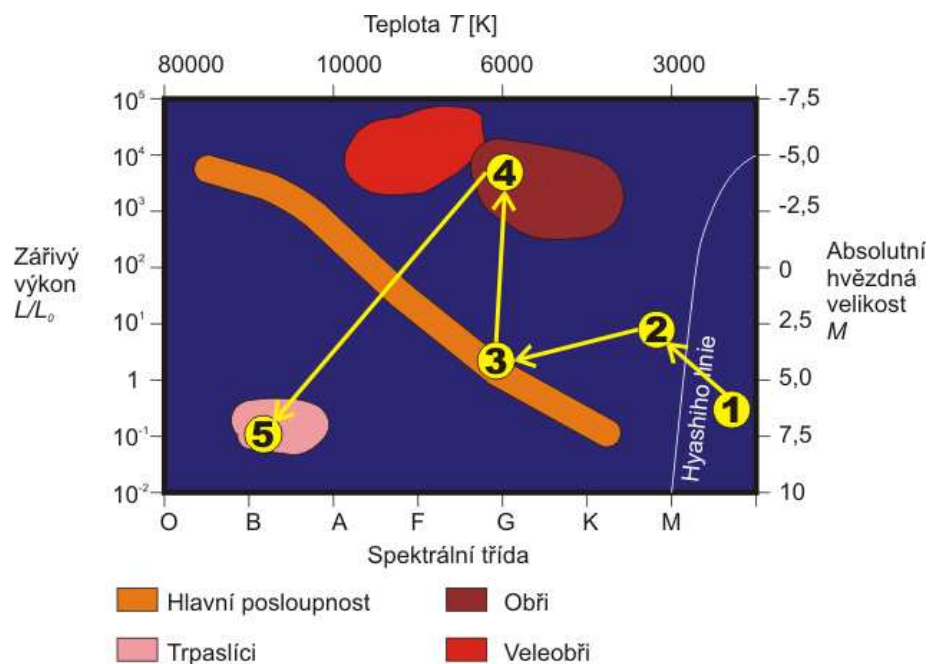
- vnější – jasnost, průměr, efektivní teplota, hustota, hmotnost
- vnitřní – centrální tlak a centrální teplota

Stabilita hvězdy je dána splněním podmínky, že všechny síly působící jakkoliv na objem hvězdného tělesa jsou v rovnováze tzv. podmínka hydrostatické rovnováhy.

Základem považujeme dvě síly, které působí v jakémkoliv bodě hvězdy:

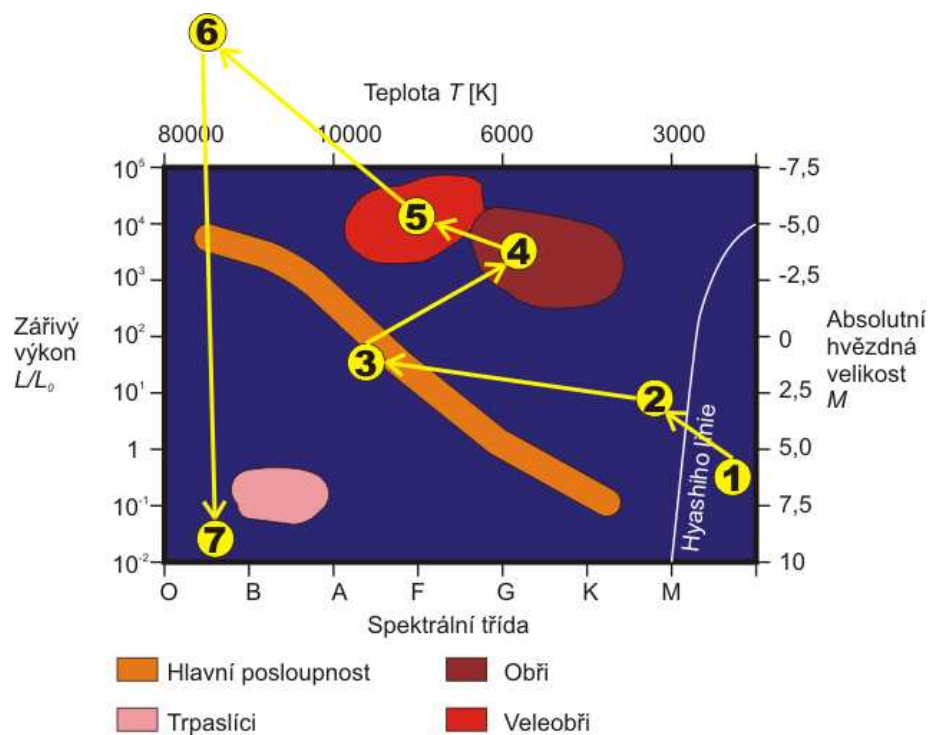
- gravitační – směřující do středu hvězdy
- tlak plynu a záření – celkový tlak působící proti gravitační síle – směřující z centra

Vývoj hvězd s malými hmotnostmi  $\sim 1,4 M_{\odot}$



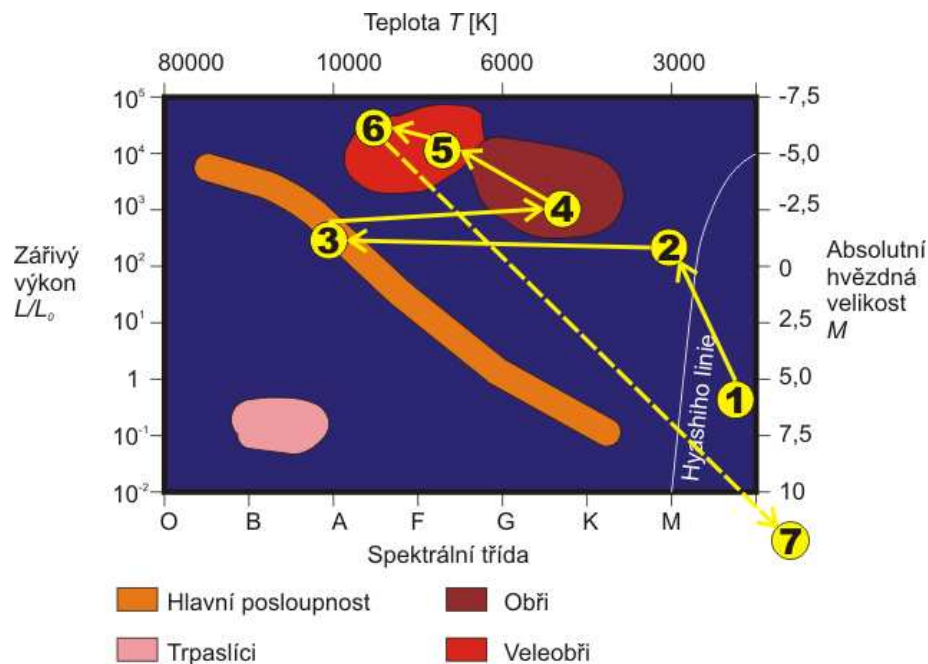
Obr. 5 – Vývoj hvězd s malými hmotnostmi [8]

Vývoj hvězd středních hmotností  $1,4 - 8 M_{\odot}$



Obr. 6 – Vývoj hvězd středních hmotností[8]

## Vývoj hvězd s velkými hmotnostmi 8 a více $M_{\odot}$



Obr. 7 – Vývoj hvězd s velkými hmotnostmi [8]

Hvězdy hlavní posloupnosti mění ve svých jádrech vodík na helium – to dělá každá hvězda po většinu své existence. A tak je zřejmé, že většina hvězd (90 %) bude na hlavní posloupnosti. Když hvězda ve svém nitru spotřebuje všechnen vodík, gravitační síla převládne a smrští ji. Tím se nitro zahřeje a zažehnou se reakce, při kterých se spaluje helium, později uhlík a další prvky až nakonec i železo. Díky tomu ustávají jaderné reakce, hvězda se ochlazuje a přestává být zářivým tělesem. Forma konečného stadia vývoje hvězdy závisí na její hmotnosti. Hvězdy pak mohou končit jako:

- bílí trpaslíci
- neutronové hvězdy
- černé díry

nebo jako nestabilní explozivní útvary:

- novy
- supernovy

### Bílí trpaslíci:

Obecně lze říci, že tímto způsobem končí hvězdy do hmotnosti  $1,44 M_{\odot}$ . Tuto tzv. Chandrasekharovu mez teoreticky spočítal S. Chandrasekhar (1910 – 1995). V této

hvězdě již neprobíhají žádné jaderné reakce a hvězda postupně vyhasíná. Poloměr bílých trpaslíků je  $10^3 - 10^4$  km, hustota  $10^9$  kg.m<sup>-3</sup>.

### **Neutronové hvězdy:**

Závěrečné stadium hvězdy s hmotností  $1,44 - 3 M_{\odot}$ . Poloměr je  $10 - 100$  km, hustota je  $10^{16} - 10^{18}$  kg.m<sup>-3</sup>, mají silné magnetické pole a rychlou rotaci.

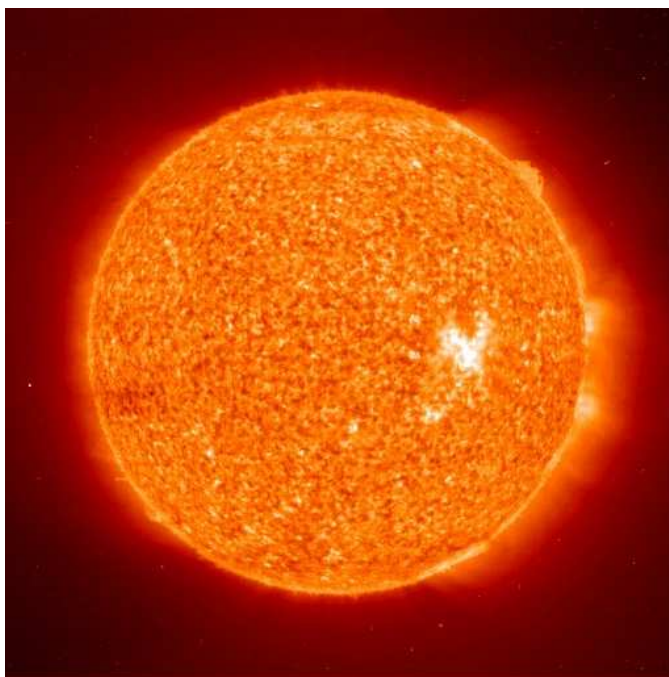
### **Černé díry:**

Zhroucené objekty, které si zachovávají hmotnost, moment hybnosti a elektromagnetický náboj. Silně deformují geometrii prostoročasu ve svém okolí. Z hlediska hmotnosti lze černé díry rozdělit do několika kategorií

- hvězdné – hmotnost  $3 - 100 M_{\odot}$
- galaktické – supermasivní černé díry v centrech galaxií  $10^5 - 10^{10} M_{\odot}$
- prvotní (primordiální) – miniaturní černé díry, které vznikaly v raných fázích vývoje vesmíru [2]

## 2 Slunce

### 2.1 Popis a charakteristika



Obr. 8 – Snímek Slunce [11]

Slunce je naší nejbližší hvězdou. Je zdrojem světelné a tepelné energie pro celou sluneční soustavu. Země je ve směru ke Slunci třetí nejbližší planetou. Právě tato výhodná vzdálenost ( $15 \cdot 10^7$  km) dala šanci vývoji života na naší planetě.

Plynné mračno se začalo smršťovat a jak se hroutilo rostla i teplota jádra. Když teplota dosáhla  $10 \cdot 10^6$  °C začala na Slunci probíhat termonukleární reakce.

Slunce vzniklo zhruba před 4,6 miliardami let z plynného mračna a bude zářit ještě přibližně 7 miliard let. Povrch Slunce se neustále mění, vznikají a zanikají sluneční skvrny, jsou pozorovatelné protuberance, erupce i jiné sluneční útvary. Tyto jevy budou podrobněji popsány v následujících kapitolách. Slunce ovlivňuje ostatní tělesa sluneční soustavy nejen gravitačně, ale i zářením v širokém spektru vlnových délek, magnetickým polem i proudem nabitých částic.

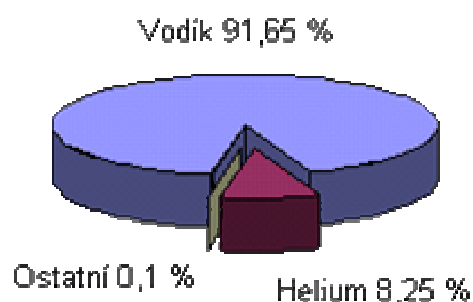
Slunce je hvězdou průměrné velikosti a ani jeho poloha v naší Galaxii není nijak výjimečná. Leží asi v 1/3 průměru disku Galaxie (cca.  $3 \cdot 10^4$  světelných let od jejího středu). Můžeme ho zařadit k typickým hvězdám naší Galaxie a trvá mu více než 225 miliónů let oběhne galaktický střed společně se členy sluneční soustavy.



Obr. 9 – Poloha Slunce v Galaxii [5]

Energie vyzařovaná Sluncem vzniká při termonukleárních reakcích v jeho jádru. Každou sekundu se přibližně  $7 \cdot 10^8$  tun vodíku přemění na  $6,95 \cdot 10^8$  tun hélia a zbylých  $5 \cdot 10^6$  tun hmotnosti se přemění na energii (96 % elektromagnetické záření, 4 % odnášejí elektronová neutrina). Hmotu Slunce tvoří převážně vodík, v menší míře helium a stopové množství dalších prvků.

### Chemické složení nitra Slunce



Graf 1 – Chemické složení Slunce [10]

Hustota sluneční hmoty je v centru vysoká až  $13 \cdot 10^4 \text{ kg.m}^{-3}$  a směrem k povrchu klesá až na  $1 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^{-3}$ . V průměru je však Slunce jen o něco hustší než voda. Celé sluneční těleso rotuje, avšak vzhledem k jeho plynnému charakteru je rotace rovníkových vrstev rychlejší než rotace pólů. Slunce má výrazné magnetické pole, do kterého je ponořena

celá sluneční soustava. Slunce je jediná hvězda, která je k nám natolik blízko, že na ní můžeme pozorovat jednotlivé detaily. Podrobnosti jsou uvedeny v tabulce 1.

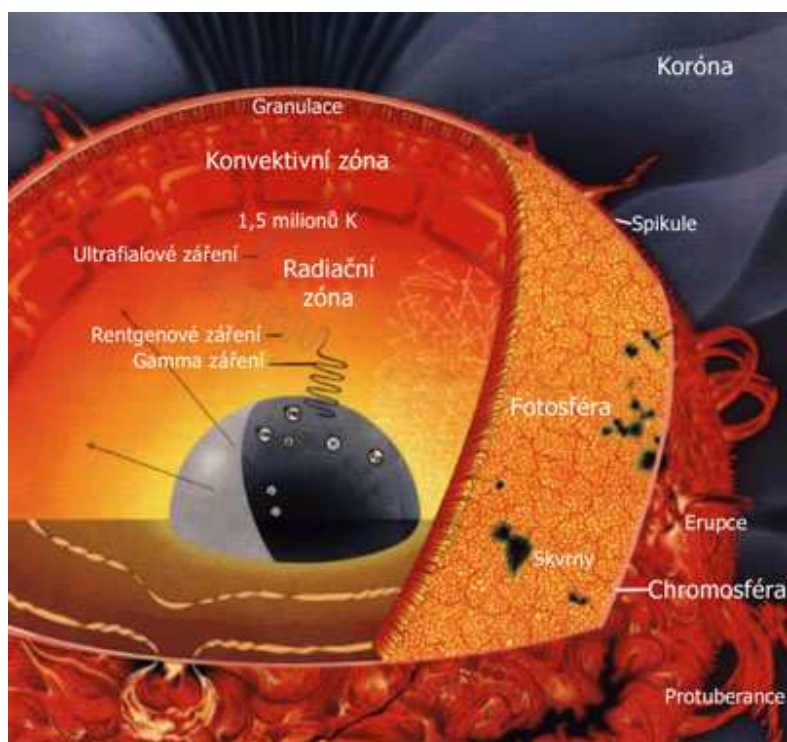
Tabulka 1 – Základní informace o Slunci [3]

|                        |  |                                                       |
|------------------------|--|-------------------------------------------------------|
| Hmotnost               |  | $1,989 \cdot 10^{30}$ kg                              |
| Průměr                 |  | $1,4 \cdot 10^5$ km                                   |
| Teplota povrchu        |  | 5700 K                                                |
| Teplota jádra          |  | $1,5 \cdot 10^6$ K                                    |
| Doba otočení kolem osy |  | 25 dní rovník<br>36 dní póly                          |
| Chemické složení       |  | H – 92,1 %<br>He – 7,8 %<br>O – 0,061 %<br>C – 0,03 % |
| Průměrná hustota       |  | $1,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$                  |
| Indukce mg. pole       |  | $(10 \text{ až } 300) \cdot 10^{-6}$ T                |
| Spektrální třída       |  | G 2                                                   |
| Hustota výkonu         |  | 0,19 mW/kg                                            |
| Celkový výkon          |  | $4 \cdot 10^{26}$ W                                   |
| Tok energie u Země     |  | $1400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$                  |
| Úniková rychlost       |  | 618000 m/s                                            |
| Tíhové zrychlení       |  | 28 g                                                  |
| Magnituda              |  | Relativní –26,8 mag<br>Absolutní +4,1 mag             |

V nitru Slunce pomalu přibývá hélia a ubývá vodíku, ale na povrchu Slunce to nepoznáme, protože látka v nitru se s povrchovými vrstvami nemíchá. Energie a fotony záření gama, které se v této oblasti uvolní, se však směrem k povrchu šířit mohou. Fotony prodělají spoustu změn. Celá cesta k povrchu trvá celých  $20 \cdot 10^6$  let. Přitom ztratí velkou část energie a promění se z fotonu záření gama na foton běžného světla.

Jádro obklopuje tzv. vrstva v zářivé rovnováze. Široká je asi 500 tisíc km. Touto oblastí putují fotony z jádra k povrchu přibližně  $10^5$  let. Ve větších hloubkách (přibližně do čtyř pětín slunečního poloměru) se šíří zářením (některé atomy, ionty nebo elektrony vyšlou foton a jiné ho zase pohltnou a získají tak energii). Zdánlivě pomalý pohyb fotonů je způsoben jejich pohlcováním hmotou a znovu vyzářením v náhodném směru.

Proudy horké sluneční hmoty (plazmatu) v konvektivní zóně, která následuje po vrstvě v zářivé rovnováze, proudí vzhůru a po vyzáření části energie klesá chladnější hmota zpět do hlubin Slunce. Šířka tohoto pásma je asi 200 tisíc km. Přibližně v polovině poloměru Slunce vládne teplota okolo  $3,5 \cdot 10^6$  K a hustota okolo 1,3 násobku hustoty vody.

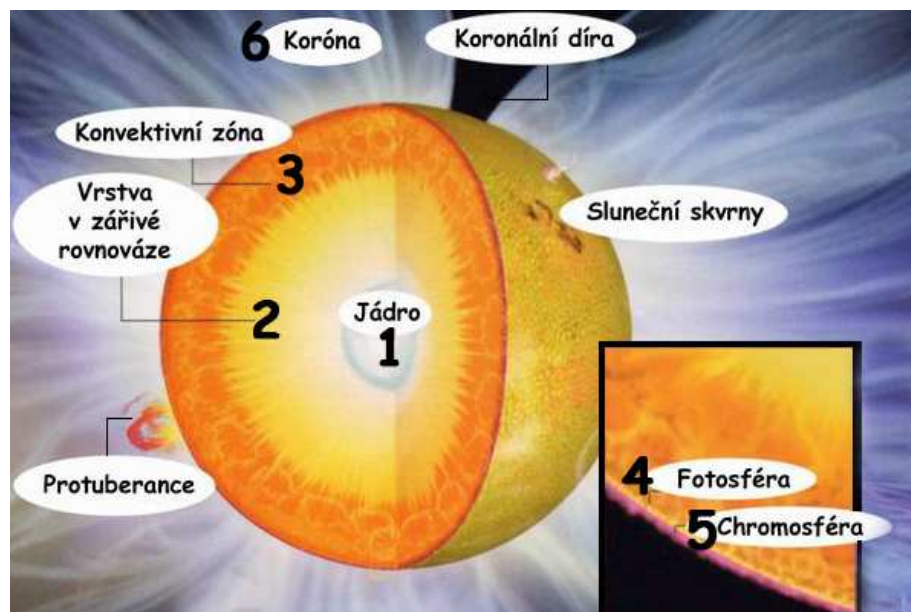


Obr. 10 – Řez Sluncem [8]

## 2.2 Vnitřní struktura Slunce

### 2.2.1 Jádro

Jádro je energetickým zdrojem nejen Slunce, ale i celé sluneční soustavy. Má hustotu stokrát větší než voda a teplotu  $1,5 \cdot 10^6$  K. V tomto dokonalém reaktoru probíhají desítky reakcí, jejichž důsledkem je přeměna vodíku na hélium za současného uvolňování energie v podobě fotonů.



Obr. 11 – Vnitřní stavba Slunce [8]

### 2.2.2 Vrstva v zářivé rovnováze

V této vrstvě se energie z termonukleárních reakcí šíří směrem ven rozptylem záření. Energie uvolněná v jádře ve formě gama záření se postupně mění na záření s většími vlnovými délkami, protože se zde mnohonásobně fotony pohltní a opět vyzáří. Jeden gama foton vyzářený ve středové oblasti se tedy po pohlcení opět vyzáří, avšak v podobě více fotonů s nižší energií, přičemž součet energií vyzářených fotonů se rovná energii pohlceného gama fotonu (platí zde zákon zachování energie). Toto se děje mnohokrát a díky tomuto není přenos energie přímočarý – fotony se často vyzářejí směrem zpět do centrální oblasti. Z tohoto důvodu trvá přenos energie od středu Slunce po fotosféru až miliony let.

### 2.2.3 Konvektivní zóna

Ve vzdálenosti přibližně 0,8 poloměru Slunce od slunečního středu se fyzikální podmínky mění natolik, že zde převládá přenos energie prouděním. Teplota nestačí na ionizaci plynu a volné elektrony se začínají spojovat s jádry atomů a vytvářejí se tak neutrální atomy. Díky tomuto se zvyšuje schopnost plynu pohlcovat energii a roste tak jeho neprůzračnost. Toto ztěžuje přenos zářivé energie z hlubších vrstev a způsobuje zvýšený pokles teploty. V důsledku tohoto velikého poklesu teploty látka nemůže zůstat

v klidu a nastává promíchávání plynu – konvekce.

Vztlaková síla vynáší horké masy plynu z vnitřních vrstev Slunce na povrch, tam se vyzářením energie ve formě světla ochlazují a opět klesají do hlubších vrstev. Konvekce vyvolává některé projevy sluneční činnosti, např. granulaci, protuberance, skvrny, sluneční vítr. S tímto souvisí i vznik zvukových, magnetohydrodynamických a gravitačních vln, které se zúčastňují na přenosu energie do vyšších vrstev sluneční atmosféry a způsobují zvýšení jejich teploty.

#### **2.2.4 Fotosféra**

Viditelný povrch Slunce, zvaný fotosféra, má teplotu asi 5800 K. Je pro něj charakteristická tzv. granulace – vrcholky vzestupných a sestupných proudů z konvektivní zóny. Typickými útvary ve fotosféře jsou sluneční skvrny. Z fotosféry jsou vyvrhovány protuberance – oblaka plazmatu ovládaná magnetickými poli.

#### **2.2.5 Chromosféra**

Chromosféra, tzv. „barevná vrstva“, je relativně tenká a řídká vrstva těsně přiléhající k fotosféře. Tvoří ji zářící červený vodík. Teplota chromosféry roste směrem od Slunce. Je to pravděpodobně způsobeno rozpadem různých typů nestabilit plazmatu, které chromosféru ohřívají. Typickými útvary jsou například chromosférické erupce – náhlá zjasnění v chromosféře.



Obr. 12 – Chromosféra [8]

### 2.2.6 Koróna

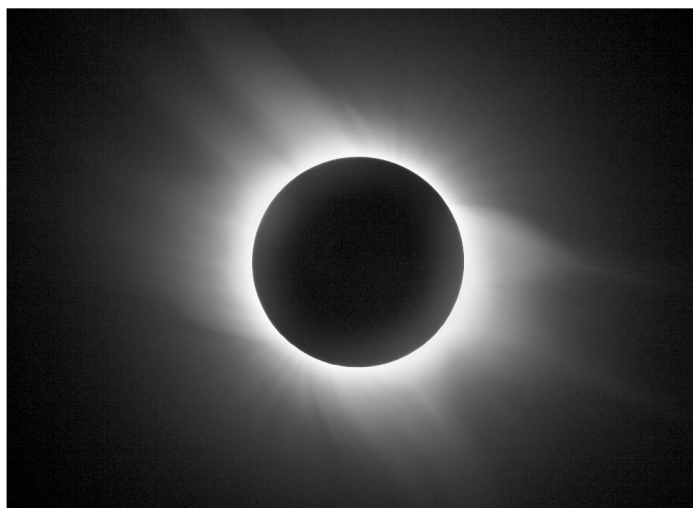
Oblast nad chromosférou se nazývá koróna (obr. 14 a 15). Je to jakási řídká horní atmosféra Slunce, která nemá ostré hranice a zasahuje hluboko do sluneční soustavy. Můžeme ji spatřit jen při zatmění, pomocí koronografu nebo v rentgenovém oboru. Teplota koróny v blízkosti Slunce (cca  $2 \cdot 10^6$  K) je paradoxně vyšší než teplota fotosféry (5800 K). [4]

V době minimální sluneční aktivity je koróna na rovníku protáhlá, kdežto u pólů vystupují jen ojedinělé paprsky. V době maximální sluneční aktivity je koróna poměrně symetricky rozložena kolem celého slunečního disku. Rozložení koróny je zřejmě ovlivňováno magnetickým polem. Látka koróny je díky své vysoké teplotě vysoce ionizována, je tedy dokonale elektricky vodivá. Struktura koróny je složitá, nacházíme zde smyčky, oblouky, koronální díry.

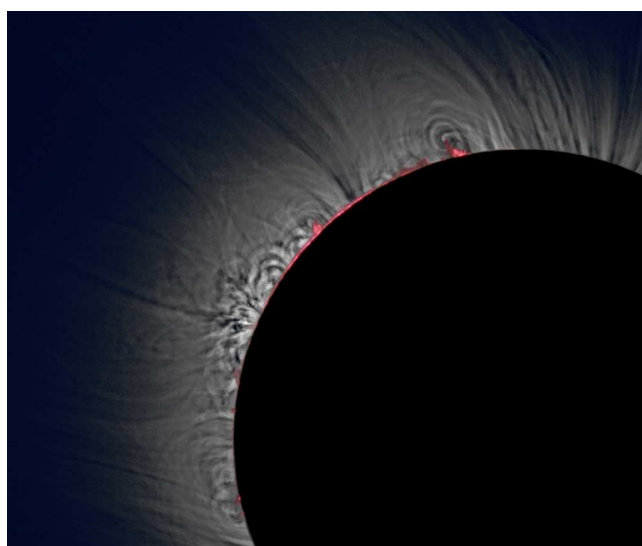


Obr. 13 – Koronální smyčka [8]

Koronální díry jsou oblasti v koróně, kde jsou magnetické siločáry otevřeny směrem do prostoru, takže ionizovaný materiál uniká do okolí touto cestou velmi vysokou rychlostí. Pokud se takový útvar nachází poblíž rovníku, může na Zemi indukovat každých 27 dní polární záři, tj. ve shodě s rotační periodou Slunce. Koronální díry totiž mohou existovat řadu měsíců.



Obr. 14 – Koróna při zatmění Slunce [8]

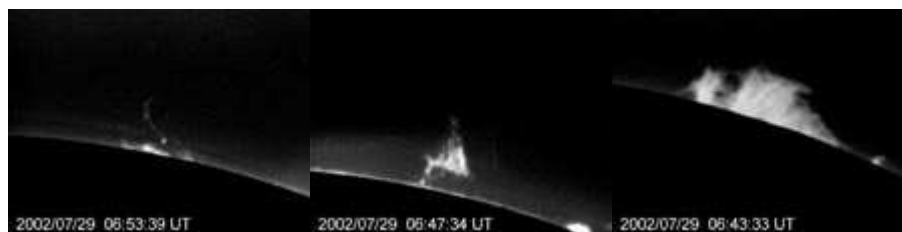


Obr. 15 – Struktura koróny [8]

### 3 Vnější projevy Slunce

#### 3.1 Protuberance

Protuberance jsou výtrysky sluneční hmoty desetitisíce kilometrů nad povrch, ovládané magnetickým polem Slunce. Jejich tvar kopíruje siločivky lokálního magnetického pole. Klidné protuberance jsou celkem stabilní a mohou existovat až několik měsíců. Naopak eruptivní jsou mnohem intenzivnější a dosahují vzdálenosti až dva miliony kilometrů od Slunce.



Obr. 16 – Protuberance ze dne 29. 7. 2002 [12]

#### 3.2 Erupce

Náhlá zjasnění ve fotosféře a chromosféře doprovázená výrazným uvolněním hmoty a energie. Erupce produkuje ultrafialové záření o velmi krátkých vlnových délkách. Může dojít až k odtržení oblaku plazmatu se zamrzlým magnetickým polem, který putuje sluneční soustavou. Zachytí-li tento oblak magnetosféra naší Země, dojde k výrazným polárním zářím a magnetickým bouřím.



Obr. 17 – Sluneční erupce [8]

### 3.3 Chromosférické erupce

Jsou to obrovské a náhlé výrony energie z poměrně malého prostoru nad sluneční fotosférou trvající i desítky minut. Ohniska erupcí se zpravidla nacházejí na rozhraní chromosféry a koróny. Erupce vznikají v době, když

- dochází ke vzniku spirálového uspořádání slunečních skvrn ve větších skupinách,
- osamocené skvrny mají spirálovitý tvar,
- tvar celé skupiny skvrn má zhruba tvar písmene V.

Vznikají v oblastech zesíleného magnetického pole na rozhraní místních magnetických oblastí. Prudké zahřátí řídkého materiálu spodní části koróny vede k jeho explozi. Zpočátku erupce vypadá jako drobné zjasnění kousku chromosféry v podobě několika tenkých, svítících vláken. Během několika minut se můžou rozvinout do složitých vláken a kanálů několik set kilometrů dlouhých. Protony jsou urychlovány do vysokých energií a jsou vyzařovány fotony na mnoha frekvencích.

Erupce je doprovázena intenzivním zářením ve všech oborech spektra a proudem rychlých částic (elektronů a protonů), které se pohybují meziplanetárním prostorem. Některé částice mohou dorazit za 4 – 5 dní i k Zemi a ovlivnit tak zemskou magnetosféru. Zemské magnetické pole se jejich působením trochu „rozkmítá“, tomuto jevu se pak říká geomagnetická bouře. Větší počet nabitých částic v atmosféře pak způsobuje polární záře.

### 3.4 Sluneční skvrny

Jsou to místa, kde je velmi silné magnetické pole, které zpomaluje konvekci, která z nitra na povrch dopravuje teplejší plazma. To se projevuje tím, že fotosféra je v těchto místech o něco chladnější, a tím i o něco temnější. Blízko pólů se skvrny nevyskytují.

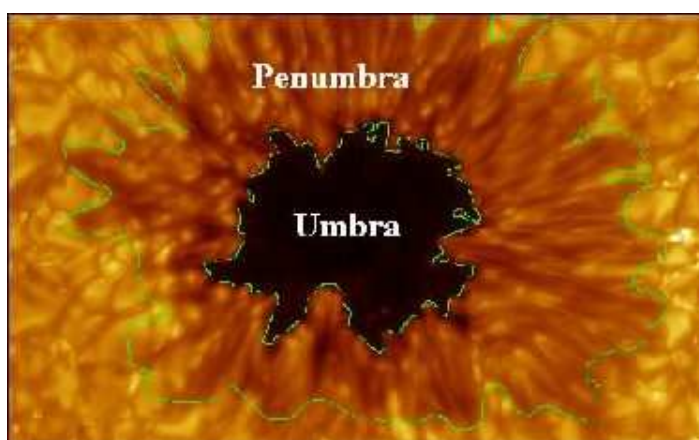
Životnost jednotlivých skvrn závisí na jejich velikosti, u malých skvrn se pohybuje jen okolo několika hodin, až po obří vzácné skvrny s průměrem řádově 105 km, které setrvávají až několik měsíců. Nejprve se vytvářejí postupně rostoucí menší či větší skvrny.

Vývoj skupiny skvrn má svoje neměnné zákonitosti. Skvrny se na začátku cyklu v minimu vyskytují vždy ve vysokých heliografických šířkách. V průběhu dalších let se

oblast výskytu aktivních jevů posunuje směrem k rovníku. Na konci cyklu, tj. přibližně po 11 letech, se opět začnou skvrny vyskytovat ve vyšších šířkách. Nejdříve se objeví malá skvrnka, postupně roste a v jejím okolí vznikají skvrny další.

Skvrny mají následující strukturu:

- tmavé jádro – tzv. stín (umbra),
- polostín (penumbra),
- jasnější okraj kolem penumbry,



Obr. 18 – Struktura slunečních skvrn [10]

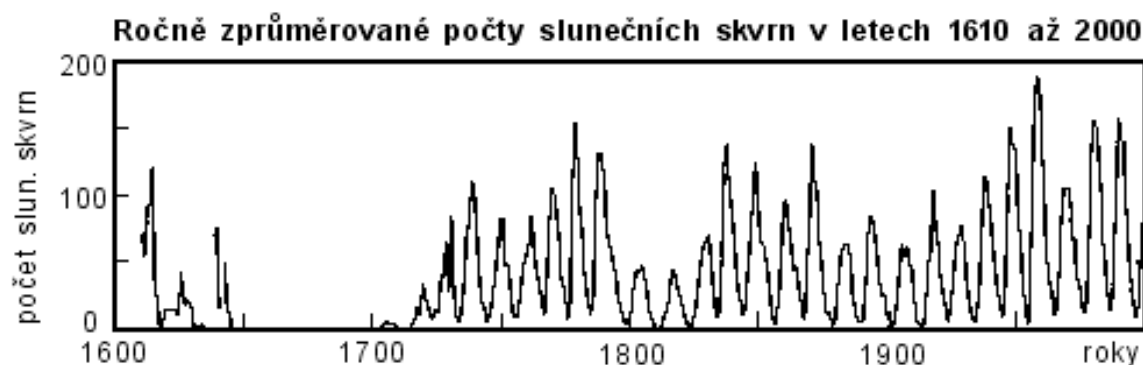
Při dlouholetém pozorování lze zjistit, že se s časem mění počet a velikost skvrn. Přibližně po 11 letech se opakuje maximum sluneční aktivity, kdy můžeme na Slunci vidět i desítky skvrn najednou. Je to především cyklus změn intenzity magnetického pole Slunce. V této době jsou také nejsilnější erupce, které mohou zasáhnout až Zemi a její magnetické pole. Je zajímavé, že sluneční aktivita vykazuje další periody, podrobněji popsané v kapitole 4.

#### 3.4.1 Wolfovo číslo, Curyšské číslo (WSN – Wolf Sunspot Number, Zurich Number)

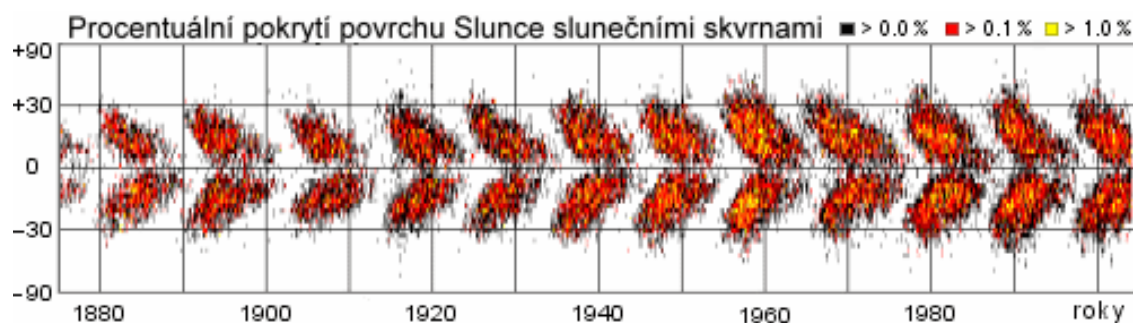
Jedná se o počet slunečních skvrn a jejich skupin pro daný den na Slunci. Číslo je dáno vztahem:

$$R_Z = k (10G + N), \quad (4)$$

kde  $G$  označuje počet skupin skvrn,  $N$  celkový počet skvrn ve všech skupinách a  $k$  je korekční faktor kompenzující různé pozorovatelské techniky a přístroje. Curyšské se mu říká proto, že Rudolf Wolf, který ho v roce 1848 zavedl, působil na observatoři v Curychu.



Graf 2 – Průměrné počty slunečních skvrn v letech 1610 až 2000 [5]



Graf 3 – Procentuální pokrytí povrchu Slunce slunečními skvrnami [5]

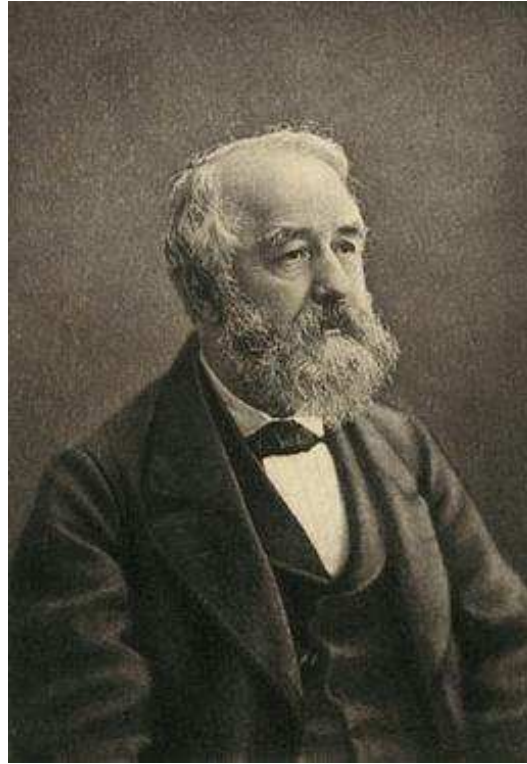
### Cykličnost hodnot Wolfových relativních čísel:

11 – letý cyklus Schwabeho

22 – letý cyklus Haleho

80 – 90 – letý cyklus Gleissbergův

180 – letý cyklus (pohyb Slunce kolem středu sluneční soustavy)



Obr. 19 – Johann Rudolf Wolf [9]

Johann Rudolf Wolf (1816 – 1893) se narodil ve Fällandenu poblíž Zurichu. Studoval na universitách v Zurichu, Vídni a Berlíně. Wolf se stal profesorem astronomie na universitě v Bernu roku 1844 a v roce 1847 ředitelem Bernské hvězdárny.

Byl ohromen objevem cyklu slunečních skvrn Heinrichem Schwabem. Nevydal pouze data ze svých pozorování, ale sbíral všechna dostupná data o slunečních skvrnách zpět až do roku 1610 a vypočítal periodu cyklu na 11,1 roku. V roce 1848 vymyslel postup ke kvantifikaci aktivity slunečních skvrn. Roku 1852 byl Wolf jedním z prvních čtyř lidí kteří objevili spojitost mezi cyklem a geomagnetickým polem Země.

### 3.4.2 Počet skupin slunečních skvrn (GSN – Group Sunspot Number)

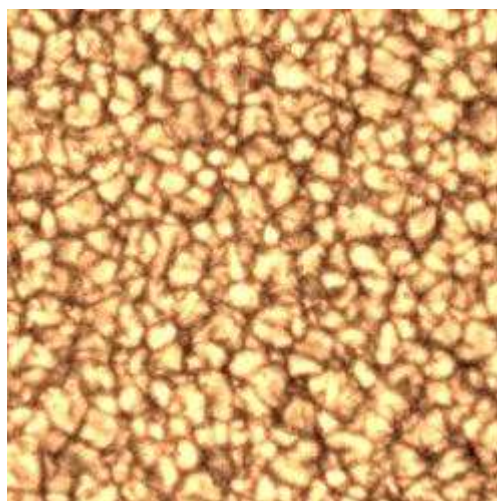
Jde o číslo zavedené roku 1998. Počítá se podle formule:

$$R_g = (12,08/n) \sum K_i G_i, \quad (5)$$

kde  $G_i$  je počet skupin slunečních skvrn zaznamenaných  $i$ -tým pozorovatelem,  $K_i$  je jeho individuální korekční faktor,  $n$  je počet pozorovatelů pro daný den a 12,08 je normalizační konstanta.

### 3.5 Granulace a supergranulace

Granulace na povrchu Slunce má buněčnou strukturu, která je tvořena jasnými granulemi a tmavým mezigranulovým prostorem. Granulace je způsobena konvekcí sluneční hmoty a průměrná životnost jednotlivých granulí se pohybuje kolem 8 minut, v ojedinělých případech může jednotlivá granule vydržet až 15 minut. Během svého vývoje mění granule svůj jas a to v závislosti na výšce v atmosféře. Střední hodnota fluktuace granulí je 0,09 – 0,13 průměrného jasu spojitého záření. Mnoho granulí vybuchuje. Vybuchující granule vytvářejí prstenec, který se rozpadne na části. Doba tohoto často pozorovatelného jevu je asi 10 minut. Supergranulace je systém velkorozměrných buněk (řádově 30000 km) se stejnou rychlostí, které můžeme pozorovat ve fotosféře dále od centra slunečního disku jako obraz horizontálních pohybů. Tento obraz zůstává podobný po celou fázi slunečního cyklu v klidných oblastech. V aktivních oblastech buňky zvětšují svůj rozměr až o 10 %. Původ těchto buněk je pravděpodobně konvektivní a shodují se s buňkami konvektivní zóny velkých rozměrů. Supergranulace není viditelná v optickém spektru a jen velmi málo v infračerveném. Pozorovatelná je díky doplerometrům.



Obr. 20 – Granulace [8]

### 3.6 Spikule

Úzké výtrysky plynů z chromosféry s dobou života několik minut. Dosahující velikosti několik tisíc kilometrů. Shromažďují se na okraji supergranulačních oblastí.



Obr. 21 – Spikule [11]

### 3.7 Sluneční vítr

Sluneční vítr je označení pro proudy nabitých částic, vyvržených ze Slunce tlakem záření. Sluneční vítr v podstatě vytváří vnější atmosféru Slunce, která prostupuje celou sluneční soustavou. Sluneční vítr interaguje s magnetosférami planet a komet. Vytváří rázové vlny a tvaruje magnetické pole planet. Při průniku částic do magnetosféry Země,



Obr. 22 – Polární záře [10]

se tyto částice srážejí s atomy kyslíku, dusíku a ostatních plynů v zemské atmosféře, dochází k jejich ionizaci a při následné rekombinaci vzniká světlo polární záře.

### 3.8 Sluneční aktivita a její projevy

Znalost počtu slunečních skvrn v historii je důležitá jak pro výzkum chování Slunce a hvězd obecně, tak výzkum klimatu a počasí na Zemi. Takzvané Wolfovo číslo se celkem spolehlivě měří od poloviny 18. století (čísla z doby před jeho zavedením se vypočítala zpětně z provedených měření), méně spolehlivé záznamy máme již od 17. století. Číslo velmi dobře odpovídá sluneční aktivitě, to znamená jeho magnetické aktivitě a zářivému výkonu.

V záznamech o sluneční aktivitě lze vysledovat i delší periody než jedenáctileté. Dlouhotrvající trend v amplitudě jedenáctiletých cyklů je známý jako Gleissbergův cyklus. Není to cyklus v pravém slova smyslu, spíše modulace základních cyklů s proměnnou dobou opakování 60 až 120 let. Dokonce lze najít ještě delší cykly. V tomto případě si už nevystačíme s přímým pozorováním počtu slunečních skvrn a musíme sáhnout po měření důsledků změny sluneční aktivity, které se zachovaly na Zemi. Jsou to cykly o délkách 205 až 210, 600 až 700 a 2000 až 2400 let. Samotný jedenáctiletý cyklus má základ ve dvaadvacetiletém Haleově cyklu, během kterého se dvakrát převrátí polarita magnetického pole celého Slunce.

## 4 Vlivy Slunce

O vlivu slunečních cyklů na oteplování Země se donedávna příliš neuvažovalo. Předpokládalo se, že solární konstanta se sice mění, ale tak nepatrně, že ve skutečnosti konstantou téměř je. Sluneční aktivita osciluje podle 11–letého cyklu ale také v delších cyklech o délce trvání například 90 let. U nejvýraznějšího jedenáctiletého cyklu se vliv na klimatické změny posuzuje obtížně, protože je do velké míry ovlivňován teplotní setrvačností oceánu.

Úvahy o solárním oteplování byly odstartovány na základě publikace týmu astronoma Ilji Usoskina v roce 2003, kde zveřejnil odhad počtu slunečních skvrn za posledních 1150 let. Práce vychází z měření obsahu kosmogenních izotopů, zvláště  $^{10}\text{Be}$  v ledových vrtech, a z jejich srovnání se záznamem počtu slunečních skvrn, který je veden od roku 1610. Výpočet je založen na předpokladu, že množství kosmického záření je téměř stabilní, ale na Zemi jej dopadá tím méně, čím větší je magnetická aktivita Slunce, která kosmické záření částečně odstíní. Větší množství kosmogenních izotopů tedy ukazuje na nižší sluneční aktivitu a tento předpoklad se dá pro posledních 400 let ověřit právě z počtu reálně pozorovaných slunečních skvrn. V závěru této práce je uveden poznatek, že zhruba od roku 1940 panuje největší sluneční aktivita zhruba od 9. století. Později vyšlo v časopisu Nature pokračování, ale tentokrát prodloužené o 11000 let. V tomto případě byl jako indikátor míry sluneční aktivity použit nestabilní izotop uhlíku  $^{14}\text{C}$ .

Autoři počítali, že současná úroveň magnetické sluneční aktivity je nejvyšší za posledních 8200 let. V záznamech můžeme také nalézt 31 období, kdy desetiletý průměr počtu slunečních skvrn překročil 50.

Průměrná délka je pouhých 30 let a nejdelší perioda dosáhla 90 let. Vyplývá z toho, že nedávné období zvýšené sluneční aktivity je nejen neobvykle intenzivní, ale také nezvykle dlouhé. Celkový solární příspěvek k současnému oteplování může být zhruba 30 %.

Zvýšená aktivita Slunce je nepochybná. Problém ale je, že se sčítá několik vlivů dohromady. Slunce, skleníkové plyny, tepelná setrvačnost oceánů a nejspíš i vlivy, o jejichž existenci zatím nevíme.

#### 4.1 Milankovičovy cykly

V krátkodobém i dlouhodobém měřítku množství sluneční energie, které dopadá na zemský povrch, kolísá. Různé zeměpisné šířky, a tedy proměnlivé části moře a pevniny získávají různá množství tepla, což se projevuje změnami atmosférického a oceánického proudění. V ročním měřítku mluvíme o střídání ročních dob, ale v dlouhodobém cyklu je obraz podstatně složitější:

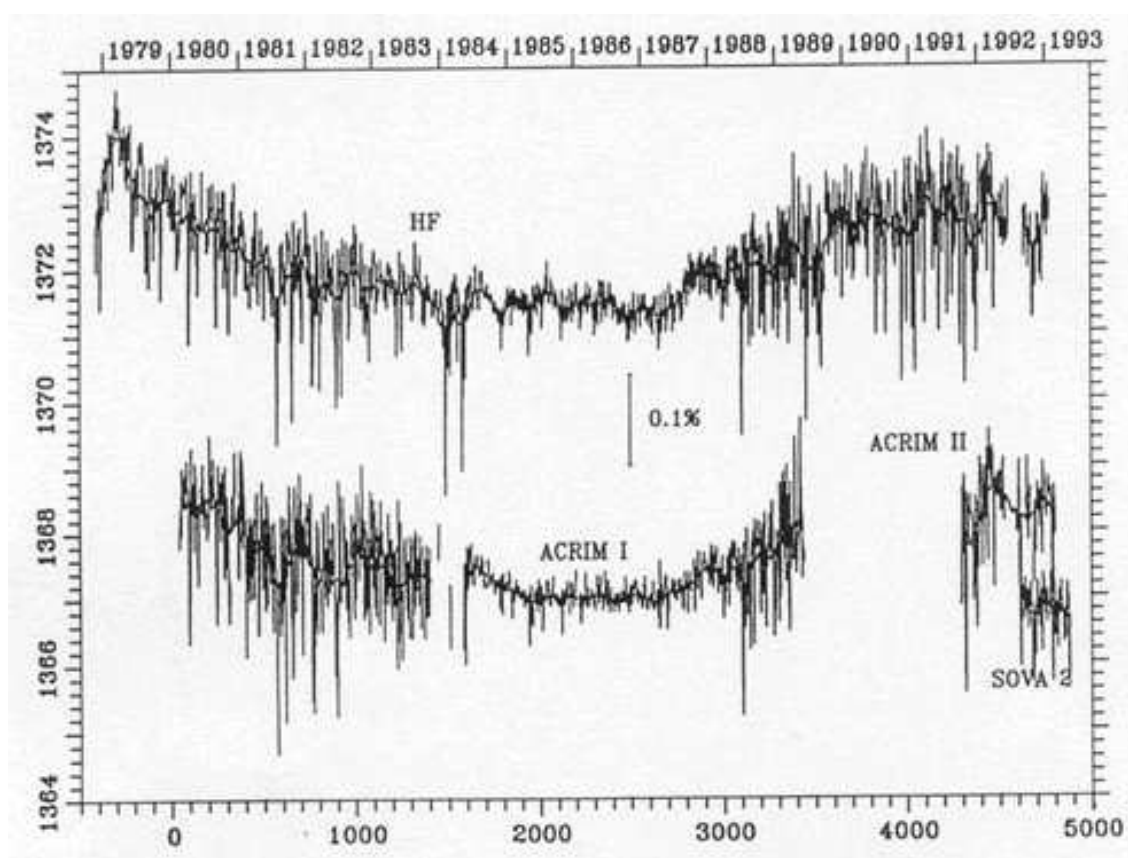
1. Sklon zemské osy se mění v periodě 40 tisíc let v rozmezí až  $21,8^\circ - 24,4^\circ$  a snižuje se o polovinu úhlové vteřiny ( $0,00013^\circ$ ) za rok. Maxima dosáhl před 10 tisíci lety. Má vliv na pozici polárních kruhů a tropických obratníků. Cyklus 40 tisíc let je charakteristický pro teplé a chladné oscilace svrchního pliocénu a starého pleistocénu před  $2,5 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^6$  let.
2. Země obíhá kolem Slunce po eliptické dráze, jejíž excentricita se mění od nuly (kruhová dráha) do 0,06 v cyklu necelých 100 tisíc let. V průběhu posledních 100 tisíc let dosahovala excentricita hodnotu 0,02 nebo méně. Současná hodnota je 0,0167 a maximum 0,019 dosazené před 10 tisíci lety bylo velmi nízké. Podstatná maxima se odehrávala před 110, 200, 300, 600, 700 a 960 tisíci lety. Menší maxima před 400, 500, 800 a 880 tisíci lety. Stotisícový klimatický cyklus ovládá klima posledního milionu let a převyšuje čtyřicetitisícový cyklus pravděpodobně proto, že ledovce narostly do takových rozměrů, že teplotní setrvačnost systému potlačila kratší cyklus. Při vysoké excentricitě je sezónní rozdíl v množství sluneční energie mezi periheliem a afeliem až 30 %, v současné době dosahuje asi 7 %. Při kruhové dráze je nulový.
3. Třetí cyklická variace se odehrává v cyklech přibližně 19 a 21 tisíc let. Důležité je, že každá světová šířka reaguje poněkud odlišně na každý ze tří základních Milankovičových parametrů. Např. hladiny jezer na Sahaře nejvíc reagují na cyklus přibližně 21 tisíc let, zatímco severský ledovec je řízen nejdelším cyklem. Pokud do klimatického systému navíc zavedeme pozorovaný cyklus 250 tisíc let a kratší cykly o délce trvání 12, 7, 3 a 1 tisíc let, získáváme soustavu, která je bez hierarchické analýzy naprosto nepřehledná. Kromě toho totiž ještě existují cykly o délce trvání 7, 20, 100, 400 let i cykly trvající až 200 milionů let. Milankovičovy orbitální parametry se dají vystopovat až do paleozoika a jejich postavení je zřejmě ústřední. [7]

## 4.2 Změny sluneční konstanty v jedenáctiletém cyklu slunečních skvrn a klimatické efekty

Cirkulace atmosféry, která ovlivňuje počasí, je poháněna sluneční energií. Klima je souhrn počasí s periodou delší než rok.

Satelitní data ukazují, že sluneční konstanta je proměnná. Sluneční záření se snížilo od maxima slunečních skvrn v roce 1979 do minima v roce 1986, zvýšilo se znovu směrem k dalšímu maximu v jedenáctiletém cyklu. To bylo překvapivé zjištění, protože se neočekávalo, že tmavé sluneční skvrny s jejich silným magnetickým polem zvyšují tok energie z nitra Slunce ven.

Vědci z IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) trvají na tom, že odpovídající proměnlivost sluneční konstanty  $\Delta S$  je menší než 0,1 % a nemá žádný dopad, který by se mohl projevit v porovnání se skleníkovým efektem.



Graf 4 – Změna konstanty  $\Delta S$  [7]

Vyhlazená křivka grafu 4 představuje 81-denní průměr vztahující se k intervalu tří rotací Slunce po 27 dnech. Vodorovná osa představuje zkoumanou periodu, nahoře v rocích, dole ve dnech od začátku roku 1980. Svislá osa představuje sluneční konstantu s

měřítkem  $S$  ve  $\text{W/m}^2$ .

Stupnice uprostřed grafu 4 značí rozsah desetiny procenta. Když toto měřítko je vzato k měření změn vyhlazené křivky od maxima slunečních skvrn v roce 1979 k minimu v roce 1986, výsledkem je  $\Delta S$  přibližně odpovídající – 0,22 %.

Vědci z IPCC nemohou popřít toto vyšší číslo na základě toho, že to není obvyklá praxe přistoupit k celkové změně tímto způsobem, protože postupovali stejně vztažením vzrůstu globální teploty k minimu na konci devatenáctého století a nikoli k dlouhodobému průměru teplot.

Podle satelitních měření, střední hodnota sluneční konstanty je  $S = 1367 \text{ W/m}^2$ . Hodnota 0,22 % z tohoto množství energie odpovídá  $3 \text{ W/m}^2$ . Maximum vyhlazené křivky je na  $1374,2 \text{ W/m}^2$  a minimum na  $1371,2 \text{ W/m}^2$ . Proměnlivost 0,22 % nemá efekt na celkové klima. Sluneční konstanta definuje množství energie, která právě dopadá na vnější vrstvy sluneční atmosféry. Zemskou atmosférou není absorbováno, ale odraženo 30 % z tohoto množství energie. Navíc, musí být započteno, že osvětlená část plochy Země tvoří pouze čtvrtinu povrchu, na který tato tepelná energie je předávána. Takže pouze  $239 \text{ W/m}^2$  je dostupných k ohřevu atmosféry. Dále pak, proměnlivost  $3 \text{ W/m}^2$  má klimatický efekt pouze  $0,53 \text{ W/m}^2$ . Jaký vliv to má na globální teplotu záleží na tom, jaký model všeobecné cirkulace je přijat pro vyjádření citlivosti klimatu. Zvolíme-li střední hodnotu  $0,85 \text{ }^\circ\text{C/W/m}^2$ , abychom se vyhnuli nadhodnocení, pak klimatický efekt  $0,53 \text{ W/m}^2$  přináší teplotní efekt  $0,45 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Změny globální teploty o  $0,45 \text{ }^\circ\text{C}$  v průběhu sedmi let nemohou být shledány zanedbatelnými. Toto vše je více než je sledovaný vzrůst teploty během posledních stalet, který dosáhl celých  $0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Z hodnoty  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , citované v literatuře,  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  musí být odečteno, protože je důsledkem zahřívání městských oblastí, které způsobuje neurčitý růst globální teploty.

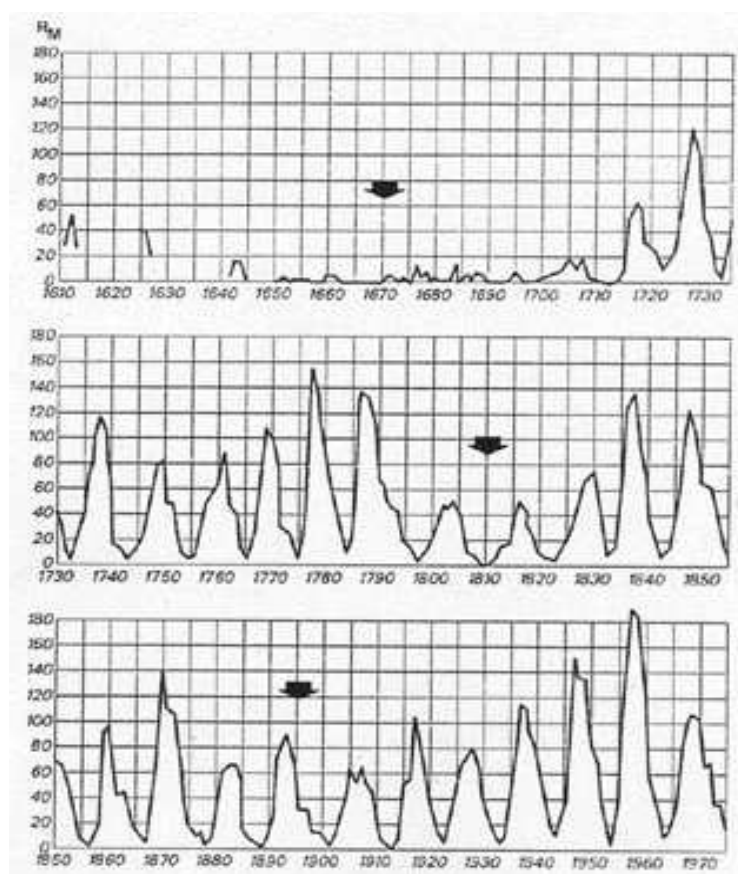
K. Labitzke and H. van Loon objevili statisticky významnou vazbu mezi tepelně závislou výškou ve stratosféře a extrémem v jedenáctiletém slunečním cyklu, která ovlivňuje troposféru a je silnější ve speciálních geografických regionech. Je projevem zpětné vazby nebo resonance výchylek, že teplotní rozdíl mezi minimem a maximem jedenáctiletého cyklu dosahuje  $1,8 \text{ }^\circ\text{C}$  a v troposféře stále  $0,9 \text{ }^\circ\text{C}$ . V subtropické troposféře tato difference dosahuje dokonce  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Severní a jižní polokoule ukazují takovou závislost teploty na cyklu slunečních skvrn zrcadlově obráceným způsobem.

Experimenty s modely prokázaly, že větry v nižší stratosféře mohou mít vliv na cirkulaci v troposféře. Silné změny teploty sledující jedenáctiletý cyklus slunečních

skvrn nebyly sledovány pouze v posledních desetiletích. Tato data ukazují na regionální změny teploty o 2,6 °C, následující rytmus slunečních skvrn.

#### 4.3 Gleissbergův cyklus sluneční aktivity a klimatické změny

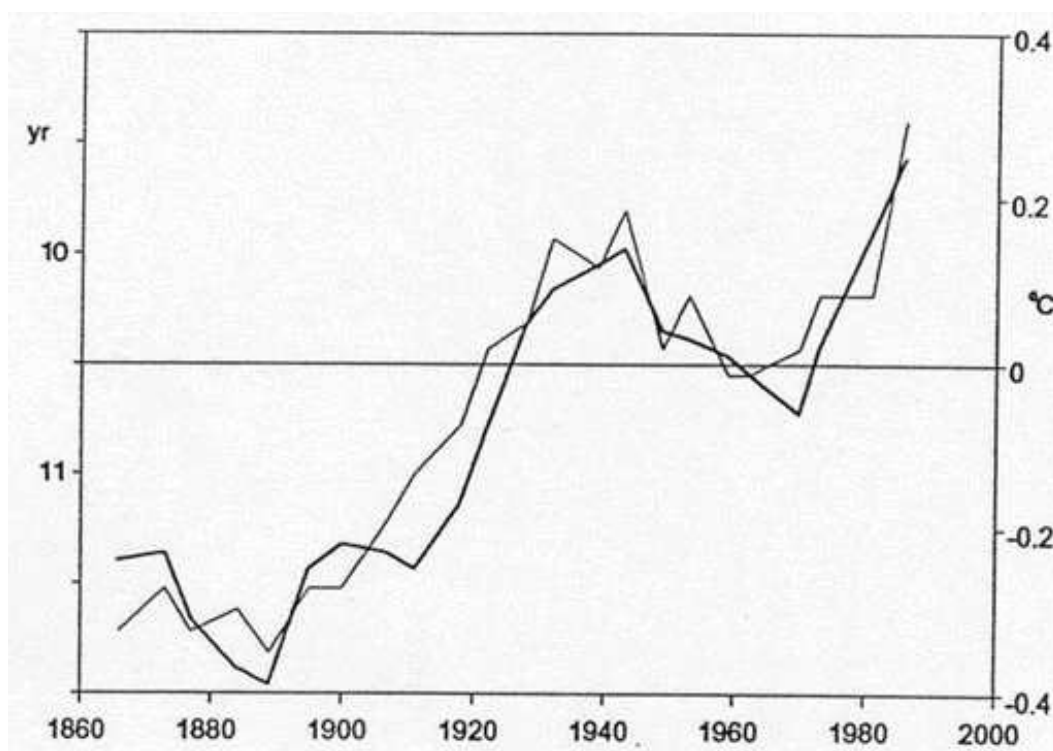
Pro klima, je sedm let dosti krátký interval. Efekty, způsobované proměnlivostí celkového záření, se stávají efektivnější, pokud jejich účinek trvá déle. Milankovičova teorie ukazuje, že změna o 0,1 % účinkující po velmi dlouhou dobu může způsobit dobu ledovou. Mohlo by se očekávat, že 90–letý Gleissbergův cyklus aktivity slunečních skvrn, který moduluje intenzitu jedenáctiletého cyklu, má významný potenciál shromáždit přebytky dopadajícího záření, nebo způsobit stále se snižující úroveň toku energie, částečně odtud Gleissbergův cyklus může dosáhnout délky až 120 let.



Graf 5 – Intenzita změn v jedenáctiletém cyklu slunečních skvrn [7]

Graf 5 ukazuje intenzitu změn v jedenáctiletém cyklu slunečních skvrn. Pokud spojíme vrcholky křivky, minima Gleissbergova cyklu se objeví okolo let 1670 (Maunderovo

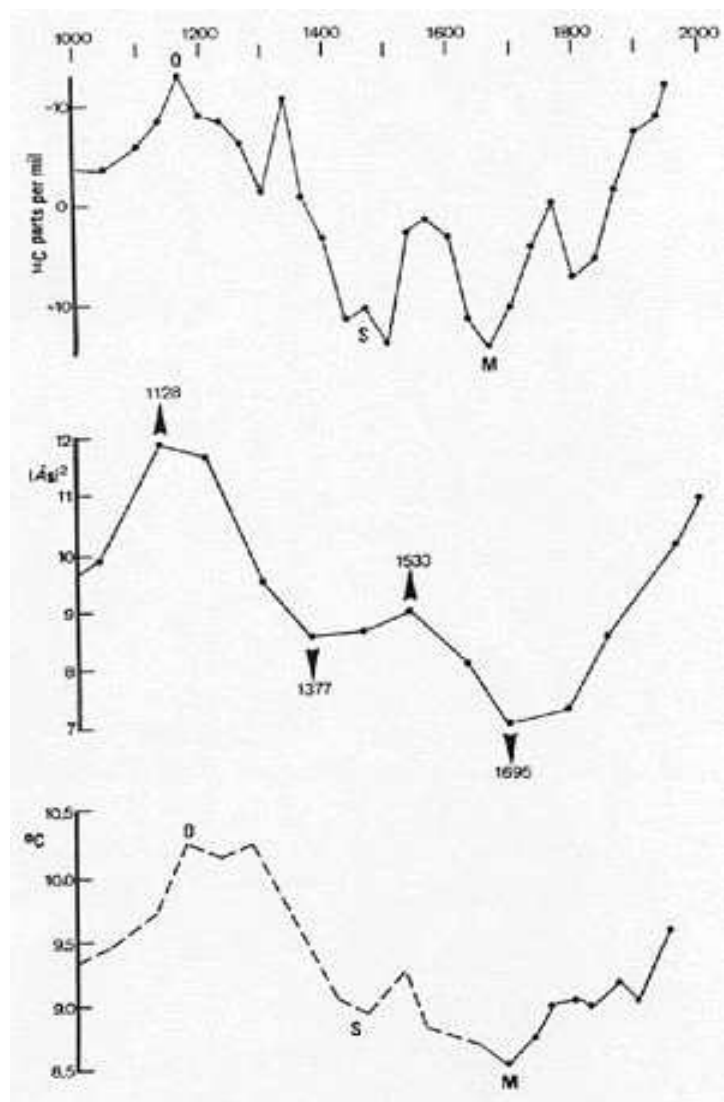
minimum), 1810 a 1895. Tato minima jsou označena šipkami. Každé z těchto minim má časovou souvislost s chladným klimatem na severní polokouli. Čím hlouběji sluneční aktivita klesá, tím hlouběji klesá i teplota.



Graf 6 – Závislost lokálních minim a jedenáctiletého cyklu [7]

Na grafu 6 je tento vztah zřejmý. Silná křivka, je křivkou teploty na severní polokouli (pravá stupnice), zatímco slabá křivka představuje délku jedenáctiletého cyklu (levá stupnice), zahrnující roky 1865 až 1985. Při té příležitosti je tento synchronismus vytvořen na základě toho, že pouze intenzita aktivity slunečních skvrn by mohla vnést potenciální klimatický efekt. Navíc délka jedenáctiletého cyklu je měřítkem jeho intenzity.

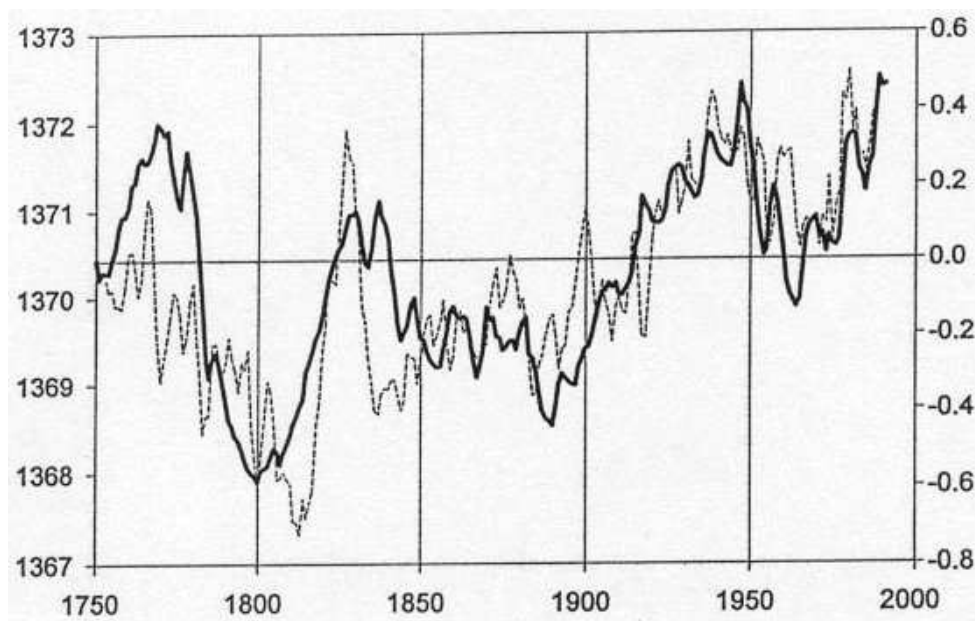
Krátké cykly generují vysoká maxima slunečních skvrn, zatímco dlouhé cykly jsou charakteristické slabou sluneční aktivitou. Trios – Christensen a Lassen ukázali, že tato korelace pokračuje zpět do 16. století. C. J. Butler potvrdil tyto výsledky, když prozkoumával anglická teplotní data od roku 1796. Spolu s výsledky získanými Labitzkem a van Loonem bylo dokázáno, že vliv Slunce na klima je výrazně silnější než vědci z IPCC předpokládají.



Graf 7 – Záznam teplot H. H. Lamba C. D. Schönwiese [7]

Graf 7 byl prezentován na mezinárodním sympoziu o klimatu „Weather and Climate Responses to Solar Variations“ v Boulderu, Colorado, již roku 1982. Graf 7 ukazuje série záznamů teploty podle H. H. Lamba C. D. Schönwiese ve spodní části, radiokarbonové dotování podle J. E. Eddyho zastupující data odrážející sluneční aktivitu pokrývající interval od roku 1000 do roku 1950 nahoře. „S“ a „M“ označuje Spoereroovo minimum a Maunderovo minimum. Časově odpovídá takzvané „Malé době ledové“, kdy se prokazatelně alespoň severní polokoule Země ochladila. Podle posledních výzkumů se Slunce v té době zřejmě zvýšilo a snížilo svou rotaci. „O“ ukazuje na středověké klimatické optimum, které časově souviselo se silnou sluneční aktivitou. Synchronismus těchto tří časových sérií, pokrývajících 950 let,

prodlužuje vztah zjištěný Trios – Christensenem a Lassenem o 550 let zpět do minulosti a otvírá možnost dlouhodobé předpovědi, protože data na druhé křivce jsou založena na výpočtu a mohou být prodloužena do budoucnosti.



Graf 8 – Model D.V. Hoyta a K. H. Schattena [7]

Model vyvinutý D.V. Hoytem a K. H. Schattenem, znázorněný na grafu 8, je založen na dočasných změnách konvektivní energie nebo konvektivních tocích uvnitř Slunce. Tyto změny zahrnují délku solárního cyklu, rovníkovou rychlost rotace Slunce a strukturu slunečních skvrn. Tento model solárního záření má pouze dva parametry. Prvním je amplituda proměnlivosti jedenáctiletého cyklu a druhým je Gleissbergův cyklus. Silná křivka na grafu 8 ukazuje výstup modelu. Odpovídající svislá osa nalevo má měřítko dopadajícího záření ve  $\text{W/m}^2$ .

Čárkovaná čára představuje vyhlazené roční průměry proměnlivosti teploty severní polokoule (měřítko napravo) pro roky 1700 – 1879 podle B. S. Grovemana a H. E. Landsberga, a pro roky 1880 až po současnost podle J. E. Hansena a S. Lebedeffa. Tyto dvě křivky ukazují těsnou korelaci, která ukazuje na silný vztah mezi sluneční aktivitou a klimatem.

Protože přímé měřítko  $\Delta S$  není dostupné před rokem 1978, je důležité, že sledování povrchu magnetismu hvězd slunečního typu přináší proměnlivost záření až 0.6 %. Proměnlivost tohoto řádu ve sluneční aktivitě může vysvětlit klimatické rysy jako je malá doba ledová, zvláště pokud je předpokládáno, že všeobecná magnetická síť, která

pokrývá povrch fotosféry i při minimu slunečních skvrn, se ztrácí během snížených aktivit typu Maunderova minima.

To ukazuje že Slunce má mnohem větší potenciál v proměnlivosti záření než bylo předpokládáno.

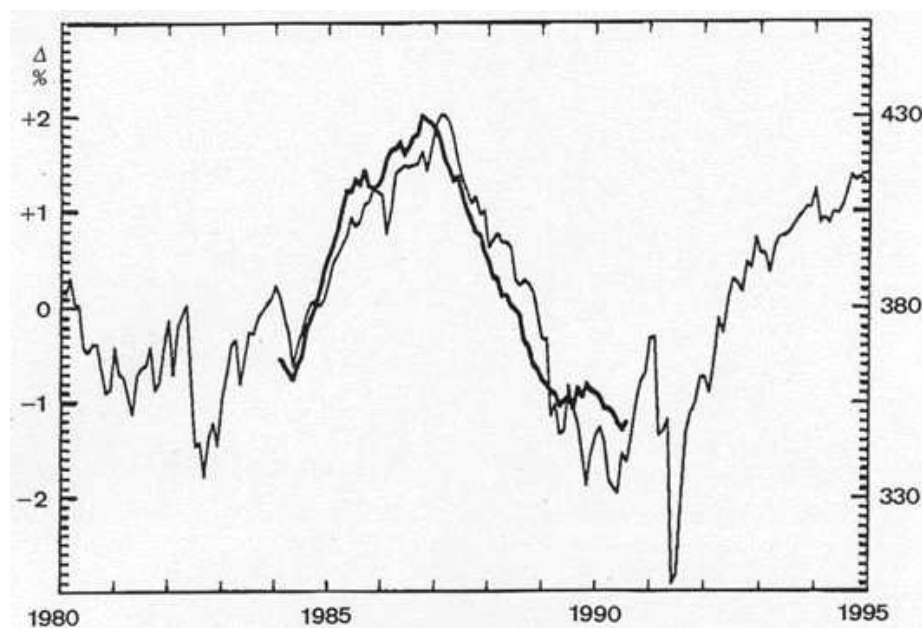
#### **4.4 Proměnlivost v slunečním ultrafialovém záření a klimatické modely**

Změny v ultrafialovém záření Slunce jsou mnohem větší, než ve viditelném rozsahu. Ultrafialový rozsah spektra leží mezi  $10^{-8}$  nm a  $38 \cdot 10^{-8}$  nm. Vlnové délky, které jsou nižší než  $15 \cdot 10^{-8}$  nm jsou nazývány extrémně ultrafialové (EUV). Proměnlivost ve vyzařování mezi extrémy jedenáctiletého cyklu slunečních skvrn dosahují 35 % v rozsahu EUV, 20 % na  $15 \cdot 10^{-8}$  nm, a 7 % okolo  $25 \cdot 10^{-8}$  nm. Na vlnových délkách nad  $25 \cdot 10^{-8}$  nm proměnlivost dosahuje stále 2 %. V čase energetických slunečních erupcí, ultrafialové (UV) záření se zvyšuje o 16 %. Při maximu slunečních skvrn EUV záření zvyšuje teplotu v ionosféře o 300 % v porovnání s minimem. Ale nejvíce významné je, že UV záření pod  $29 \cdot 10^{-8}$  nm je kompletně absorbováno ozónem ve stratosféře. Výsledný vzrůst teploty je zvyšován pozitivní zpětnou vazbou, jak UV záření také generuje nový ozón. Satelitní pozorování ukazuje, že obsah ozónu roste o 2 % od minima slunečních skvrn k maximu.

Proměnlivost záření není jediná cesta, kterou může Slunce ovlivňovat klimatu. Mezi energetickými slunečními erupcemi a galaktickým kosmickým zářením modulovaným slunečním větrem na jedné straně a elektrickými parametry atmosféry na druhé, existuje spojení, jehož síla kolísá o 10 % v rozmezí dnů, roků a dokonce desetiletí. Nejdůležitější změna je nacházena v dolů směřující aktuální hustotě ovzduší, která se plynule mění mezi ionosférou a povrchem. R. Markson a M. Muir ukázali, jak toto ovlivňuje bouřkovou aktivitu, zatímco B. A. Tinsley předpokládá, že elektricky indukované změny v mikrofyzice mraků (elektrické zmražení) podporuje tvorbu jader ledu a formování mraků. [1]

#### **4.5 Kosmické záření, sluneční vítr a globální pokrytí oblačností**

Jedním z nejdůležitějších argumentů, dokazujících silný vliv sluneční aktivity na klimatické změny, je přímá vazba mezi pokrytím oblačností a kosmickými paprsky, objeveno H. Svensmarkem a E. Trios – Christensenem v roce 1996. Tento fakt ukazuje graf 9.



Graf 9 – Vazba mezi pokrytím oblačností a kosmickými paprsky [7]

Oblaka mají mnohonásobně větší efekt na klima než kysličník uhličitý v atmosféře. Dokonce jedno z tvrzení ukazuje na jev, že i kdyby se obsah  $\text{CO}_2$  v atmosféře zdvojnásobil, jeho vliv by byl vyrušen, pokud by se pokrytí oblačností zvýšilo o 1 %. Tenká křivka na grafu 9 představuje měsíční průměrné množství neutronů měřené pozemním monitorem v Climaxu, Colorado. Silná křivka ukazuje 12-měsíční průměr globálního pokrytí oblačností vyjádřené v procentech. Tyto dvě křivky ukazují těsnou korelaci. Korelační koeficient je  $r = 0,95$ .

Graf 9 ukazuje, že silné kosmické paprsky korelují s větším pokrytím oblačností, zatímco slabé kosmické paprsky toto pokrytí omezují. Celkové pokrytí oblačnosti se zmenšilo od vrcholu na konci roku 1986 ke dnu uprostřed roku 1990 o více než 3 %. Podle pozorování mají oblaka čistý chladicí efekt  $17 \text{ W/m}^2$ . Svensmark a Trios – Christensen vyvozují ze zmenšení tohoto chladicího efektu mezi roky 1986 a 1990, že dopadající sluneční záření se zvětšilo o asi  $1,5 \text{ W/m}^2$  během těchto 3,5 let. Změna tohoto řádu je dosti závažná, jelikož celkové zvýšení radiace kysličníkem uhličitým shromážděné od roku 1750 podle IPCC nepřekročilo  $1,5 \text{ W/m}^2$ . To znamená, že kosmické paprsky dosáhly během tří a půl roku efektu, na který akumulace kysličníku uhličitého v atmosféře potřebuje staletí. To ukazuje zřetelně, že co bylo očekáváno od skleníkového efektu, bylo nadhodnoceno v porovnání s vlivem Slunce na změnu klimatu, které se projevilo jako nejdůležitější faktor.

## 5 Globální oteplování

### 5.1 Globální oteplování podle medií

Globální oteplování je termín pro nárůst průměrné teploty zemské atmosféry a oceánů, který se vyskytuje již několik desetiletí. Vědecký názor na změny klimatu byl poprvé prezentován v roce 2001 ve zprávě třetího zasedání IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Mezivládního výboru OSN pro změnu klimatu). V dokumentu se uvádí, že průměrná globální teplota od konce 19. století vzrostla o  $0,6 \pm 0,2$  °C a tuto změnu pozorovanou během posledních 50 let má z velké části na svědomí svými aktivitami člověk. Lidstvo přispívá k oteplování zvětšováním množství oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> a jiných skleníkových plynů, uvolňovaných při spalování fosilních paliv, mýcením lesů a dalšími aktivitami. Přírozený skleníkový efekt udržuje atmosféru asi o 33 °C teplejší, než by byla bez přítomnosti uvedených plynů v atmosféře. Daná studie a Globální klimatický model předpovídají, že globální teplota v roce 2100 by mohla být o 1,4 až 5,8 °C vyšší než v roce 1990. Potvrzením těchto předpovědí jsou poslední období, která byla podle IPCC dosud v historii nejteplejší. Avšak i na toto téma se stále diskutuje. Mnoho vědců popírá, že měření těchto období je korektní. Například novozélandský vědec, chemik, G. G. Duffy tvrdí, že zdvojnásobení nebo dokonce ztrojnásobení množství oxidu uhličitého v atmosféře má zanedbatelný vliv na globální teplotu.

Oteplování nás ovlivní i ze zdravotního hlediska. Onemocnění, která se vyskytovala jen v tropech postoupí více na sever. Příkladem je Porýní, kde se již objevuje hmyz přenášející malárii.

Globální oteplování planety může mít v některých zemích Evropské unie i částečně pozitivní vliv. Například Skandinávie či Británie budou vhodným místem k zemědělství. Zvyšování průměrné teploty planety má již nyní vliv i na světové přírodní bohatství. Například na Amazonský prales nebo ekosystém v mexické poušti. Korálové útesy ztrácí svou krásnou typickou barvu nebo zanikají v důsledku stoupající teploty moří. Vzrůstající teplota způsobuje, že vzácné tropické pralesy se mění v suché savany.

### 5.2 Popírání globálního oteplování

I přes předložené důkazy existuje mnoho vědců, politiků, atd., kteří popírají vliv jednání člověka na zvyšování globální průměrné teploty naší planety. Problematika globálního oteplování, změn klimatu a jejich příčin není problém politický nebo ekonomický, ale

vědecký.

Dne 18. 9. 2006 se v Brně konal seminář na téma „Ekologické pravdy a mýty“, s prezidentem Václavem Klausem a za účasti dalších politiků.



Obr. 23 – Prezident Václav Klaus s předsedou Strany zelených Martinem Bursíkem  
(foto: PRÁVO/Milan Malíček)

Zde zaznělo několik poznatků, které vyvrací teorii o lidském vlivu na globální oteplování. Několik těchto poznatků se snažil vyvrátit klimatolog Ladislav Metelka. Globální oteplování je záležitost, která je doložena s pravděpodobností, hraničící s jistotou. Reálnost tohoto procesu potvrzují mnohé publikace v odborné literatuře. Absolutně dokázat platnost hypotézy však nelze. Lze ji pouze vyvrátit, pokud se ukáže, že je postavena na chybných základech, nebo datech.

Další částí problému je otázka, kdo nebo co způsobuje toto oteplování. Jednoznačnou odpověď klimatologové neznají. V řadě studií je uváděn lidský vliv jako zanedbatelný. Některé studie z poslední doby vyčíslují lidský podíl jako vyšší než 50 %, ale skutečný podíl nelze přesně stanovit. Faktem je, že lidstvo produkuje skleníkové plyny a tyto plyny způsobují jistou „kumulaci“ energie v klimatickém systému a ta se v konečném důsledku změní na teplo a projeví se globálním zvýšením teploty. [6]

### **5.3 Globální oteplování vlivem sluneční aktivity**

Klima se vždy měnilo a vždy se měnit bude. Na kterémkoliv místě na Zemi bude teplo dopadající ze Slunce kolísat. Velikost energie, která dopadne na povrch Země je značně

závislá na aktuálních podmínkách, jestli dopadá na vodu, nebo souš, jestli se jedná o poušť, nebo o deštný prales. V neposlední řadě také závisí na množství oblačnosti v daném prostředí. Oteplování jako takové se nevyskytuje na celém světě ve stejný okamžik a ve stejné míře. Některé oblasti se mohou oteplovat a jiné dokonce ochlazovat, jak tvrdí Geoffrey G. Duffy. Pojem „globální oteplování“ je proto částečně nesprávný.

Oteplování hlavně závisí na Slunci. K ochlazení dochází kvůli nedostatku sluneční energie. Suchý vzduch se převážně skládá z dusíku 78,08 % a 20,94 % kyslíku. Zbývá 0,98 % plynu. Jedním z těchto plynů je argon s podílem 0,934 %, tj. z 0,98 % plynů to je 95 %. Oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) se vyskytuje ve stopovém množství, méně než 400 ppm (ppm znamená parts per million) neboli 0,04 % z celkové atmosféry. Současná měření hovoří o 360 ppm  $\text{CO}_2$ .

Další důležitou složku vzduchu kromě kyslíku a dusíku je voda, jako pára a zkondenzovaná kapalina. Atmosféra je složena z 1 – 3 % vodní páry. Při 20 °C a 100 % vlhkosti je ve vzduchu 0,015 kg vody na 1 kg vzduchu neboli 1,5 %. Při 50 % vlhkosti to je 0,008 kg vody / kg vzduchu neboli 0,8 %. Vodní pára kondenzuje do mraků a je to zdaleka nejvydatnější a nejvýznamnější ze skleníkových plynů. Voda představuje kolem 95 % skleníkového efektu. Bez vody, zejména páry a všeobecně bez dalších skleníkových plynů v ovzduší, by povrchové teploty vzduchu na celém světě byly pod bodem mrazu. Slunce nepochybně má mnohem větší vliv na globální teploty než kterýkoli ze skleníkových plynů, a to i vody a  $\text{CO}_2$ .

Ostatní skleníkové plyny (oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ , metan  $\text{CH}_4$ , oxidy dusíku atd.) jsou od 1/60 až do 1/30 menší jak co do množství. Takže se všemi skleníkovými plyny včetně vody, lidská činnost představuje jen nepatrné množství, jen 0,28 % z celkových skleníkových plynů.

Většina mediálně známých odhadů a předpovědi je ale bohužel silně založena na teoretických počítačových modelech. Ani nejvýkonnější superpočítače nám neposkytují přesnost, kterou potřebujeme a v mnoha případech nezohledňují veškeré vlivy na klima planety. Proto jsou tyto měření a modely stále velice nepřesné. Například i model sopečné erupce a velkých lesních požárů je velmi obtížně realizovatelný. Díky nim se ale do atmosféry dostane nepřeberné množství malých částic, které mají vysoké stínící účinky a interakce v atmosféře.

Linearizace krátkodobých, náhodných výkyvů změn počasí a změn teploty je vědecky neudržitelná. Samotný počítačový program, který vlastní IPCC, byl v poslední době

přísně testován náhodnými čísly. Počítač vytvářel stejné vzestupné trendy i s nesmyslnými vstupy. V přímém kontrastu jsou faktické údaje z dálkových senzorů v satelitech, které průběžně měřily celosvětovou teplotu a ukázaly, že oteplovací trend skončil 2001. Aktuální satelitní měření ukazují, že teplota klesla v minulém roce o hodnotu 0,60 °C, ve srovnání se záznamy průměrné teplotou z 1980. Pozorování z Hadley Centra ukazují, že za posledních deset let se globální teplota změnila o méně než 0,050 °C. Rovněž rok 1998 byl kvůli El Niño výrazně teplejší než rok 2006.

Skleníkový efekt ve své podstatě funguje jako mechanismus pro vyrovnaní výkyvů neboli nárůstu a poklesu teploty. Proto nemůže být dominantním faktorem globální změny teploty. Tím je Slunce, které dodává tepelnou energii. Pokud se sluneční energie snižuje, pak klesá teplota.

V úvahu musíme ale také vzít místo vlivu. Na povrchu Země je 70 % vody. Voda má mnohem větší kapacitu pro přenos tepla než půda, nebo dokonce i samotná atmosféra. Většina přichozího tepla ze Slunce je absorbována ve vodě. Skleníkový efekt je ale fenomén hlavně atmosféry a půdního povrchu, poněvadž nejvíce tepla ztrácí půda noční radiací z tepla, které získala během dne.

Velikost záření ze Slunce se mění po řadu slunečních cyklů, které mohou trvat přibližně od 9,5 let po zhruba 13,6 let (hlavní z nich je cyklus 11 let). Země má také nepravidelnou oběžnou dráhu kolem Slunce. Tyto vlivy upravují vliv slunečního magnetického pole. Sluneční erupce a skvrny ovlivňují množství tepla vytvářeného Sluncem. Ve skutečnosti existuje vynikající shoda mezi všeobecným oteplováním na zeměkouli se zvýšenou aktivitou slunečních skvrn. Zdá se, že aktivita Slunce má na změny klimatu mnohem větší vliv než jakékoli stopy atmosférických plynů. Satelitní systém Aqua (NASA) ukázal, že Země se od roku 1998 ochlazuje. To je ve shodě s měřeními podmořských sond (Argos), že se oceán ochlazuje.

Slunce přímo pohání pohyby proudů jevů El Niño – La Niña, které celosvětově ovlivňují změny teplot ENSO cyklus (El Niño Southern Oscillation) se mění z oteplování na ochlazování v závislosti na oteplovacím nebo ochlazovacím efektu Slunce. Mezi přibližně 1975 až 2000 zde bylo silné El Niño oteplovací období. Nyní se uplatňuje La Niña fáze, což je ochlazování neboli pokles oteplování.

## 6 Nezvyklé sluneční minimum

V posledním období se stále častěji hovoří o neočekávaně nízké sluneční aktivitě. Nový sluneční cyklus začíná vznikem skvrny s opačnou polaritou, která se objeví ve vyšších šířkách. Tato skvrna vznikla 4. ledna 2008, kdy na 30° severní heliografické šířky vědci zpozorovali skvrnu s pořadovým číslem 981 (AR10,981). Skvrna nebyla příliš velká a po třech dnech zanikla. Přišla v době, kdy aktivita naší mateřské hvězdy poklesla na minimum.

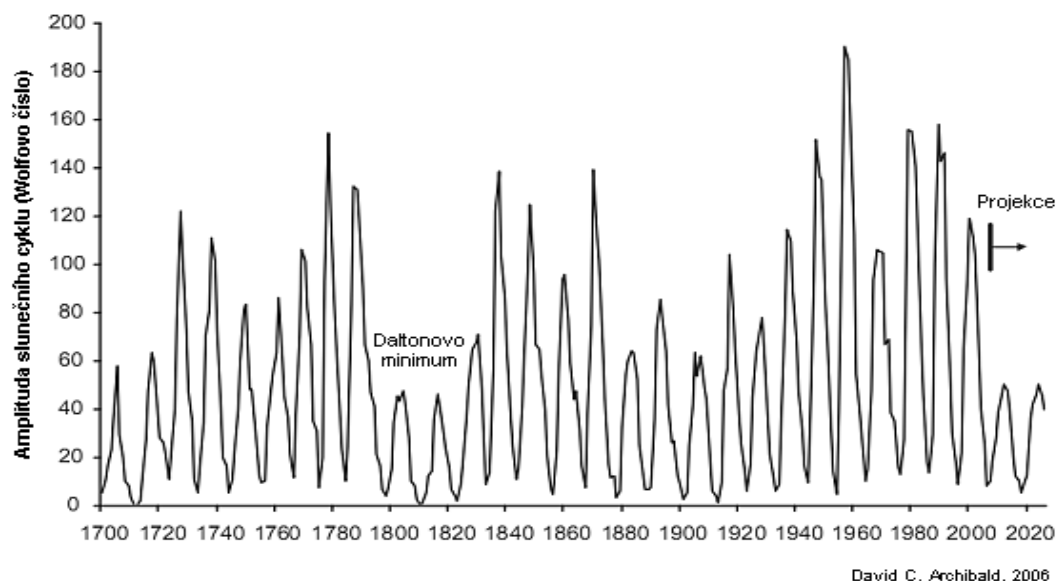
Intenzivní sluneční aktivita ale nezačíná hned. Obvykle trvá několik let, než sluneční cykly přerostou ze solárního minima v maximum. Podle očekávání by měl tento jedenáctiletý sluneční cyklus, který začal na počátku roku 2008 dosáhnout svého maxima v letech 2011 nebo 2012. Avšak podle vědeckých podkladů by měla sluneční aktivita vzrůstat již na počátku roku 2009.

Sluneční aktivita byla po celý rok 2008 nečekaně nízká. Hluboké minimum solárního cyklu, o kterém experti z NASA hovořili už koncem září, se dále prohloubilo a celkem 266 dnů nebyla na Slunci pozorována žádná skvrna. Tato hodnota je nejvyšší od roku 1954, kdy byl sluneční kotouč prázdný 241 dnů.

Druhá polovina 17. století, kdy se na Slunci více jak padesát let netvořily prakticky žádné skvrny (Maunderovo minimum), se kryje s obdobím takzvané malé doby ledové. Před prudkým ochlazením z důvodu cyklického poklesu sluneční aktivity varovali před časem již někteří ruští vědci, jako Chabibullo Abdusamatov, vedoucí laboratoří kosmických výzkumů Hlavní astronomické observatoře Ruské akademie věd v Pulkovu. Jejich názory však většina expertů odmítá.

I když se v říjnu roku 2008 oproti předcházejícím měsícům sluneční aktivita nepatrně zvýšila, faktem zůstává, že se nový sluneční cyklus rozjíždí překvapivě pomalu a navzdory očekávání expertů hluboké minimum stále trvá a nový 24. sluneční cyklus se dosud téměř neprojevuje.

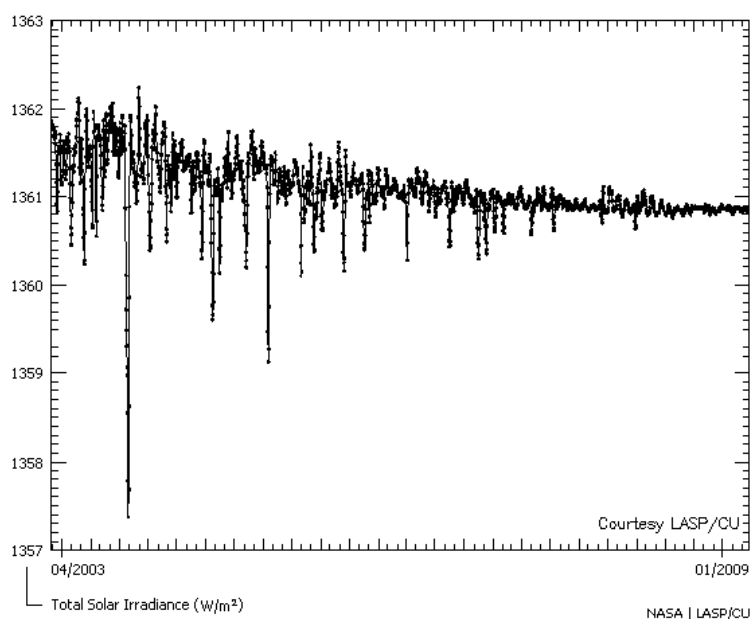
Někteří vědci se domnívají, že by déletrvající snížení sluneční činnosti, které by se rovnalo například Daltonovu minimu v letech 1790 – 1830 vedlo k poklesu průměrných teplot na Zemi asi o 0,4 °C až 0,5 °C, podle jiných je třeba počítat s ještě větším ochlazením, a to přibližně o 1,5 °C, možná i více. Odhady opírající se z zkušenosti z minulosti nejsou přesné, protože v pozadí chladných výkyvů v 16. až 19. století stály pravděpodobně i jiné faktory, jako například sopečná aktivita.



Graf 10 – Projekce vycházející z dlouhodobých cyklů sluneční aktivity [12]

Ve srovnání s minimem 23. cyklu poklesla intenzita slunečního záření o 0,02 % ve viditelné části spektra a o 6 % v extrémní ultrafialové oblasti.

Slunce je monitorováno množstvím sond. V říjnu 2009 NASA vypustí satelit Glory s velmi přesným radiometrem TIM (Total Irradiance Monitor), který bude měřit intenzitu slunečního záření. Družice bude vybavena i zařízením APS (Aerosol Polarimetry Sensor) pro sledování aerosolových částic v atmosféře. Má tak pomoci k lepšímu pochopení klimatických změn, jakými byla například malá doba ledová.



Graf 11 – Celková zářivá energie Slunce naměřená družicí SCORE [12]

O té se dnes v souvislosti s extrémně nízkou sluneční aktivitou mluví stále častěji. Někteří vedci věří, že se Slunce přece jen probudí ze svého útlumu a počet slunečních skvrn postupně poroste. Avšak také připouštějí, že nastávající sluneční cyklus nebude zdaleka tak silný.

Sluneční iradianci (zářivou energii) měří na oběžné dráze již několik satelitů, mezi nimi je i SORCE s radiometrem TIM. Podle údajů získávaných touto družicí dopadalo v březnu roku 2009 na horní vrstvu zemské atmosféry sluneční záření o intenzitě kolem  $1360,85 \text{ W/m}^2$ . Začátkem září roku 2003 to bylo kolem  $1361,9 \text{ W/m}^2$ . Ostatní radiometry včetně těch pozemních měří zářivý tok o několik jednotek vyšší, což vědecký tým z univerzity v Coloradu, který satelitní údaje ze SORCE zpracovává, vysvětluje kvalitnějším měřením. Toto vysvětlení však není obecně přijímáno. O to zajímavější bude srovnání s radiometrem, který ponese satelit Glory.

## 7 Závěr

Důsledky globálního oteplování se projevují všude kolem nás. Intenzivnější teplé vlny, nebo měnící se přírodní cykly. Globální oteplování zřejmě není jen přírodní, ale do značné míry energetický problém. Téměř 90 % světové energie je totiž získáváno z fosilních paliv, což je také problém v této oblasti.

O globálním oteplování se v médiích můžeme velmi často doslechnout. Mluví o něm velké množství odborníků, politiků a dalších. Většinou ale pouze v rámci škodlivin, které produkují různé továrny nebo průmyslové společnosti.

Přesto existuje určitá skupina lidí částečně popírající názor, že lidská činnost hraje v současném zvyšování teplot významnou roli. Nejznámější postavou v českých kruzích je zřejmě prezident Václav Klaus.

Zdá se že každodenní činnost člověka jako jedince nemá vliv na celkové klima planety, jelikož se o této formě v médiích moc nedozvíme a představa jedince vzhledem k celému klimatu je na pohled bezvýznamná. Opak je ale pravdou. Je více než jasné, že když budou nesprávné věci činit miliony lidí na celém světě, je jejich dopad na klima naší planety zřetelnější.

Na naše okolí má vliv i to, jestli máme automobil, jezdíme veřejnou dopravu, nebo chodíme pěšky, zda zavřeme vodovodní kohoutek, zda kupujeme místní potraviny, které není třeba dovážet a v neposlední řadě zda vypínáme elektrické spotřebiče. To vše ovlivňuje spotřebu energií a v důsledku i oteplování našeho okolí.

Jedním z problémů v této oblasti je informovanost médií a jejich prostřednictvím i veřejnosti. Většina novinářů nemá znalosti o klimatologii a energetické problematice, proto publikují články, které neobsahují potřebné a korektní informace, na jejichž základě si čtenář může udělat vlastní nezávislý úsudek. Politici, kteří by se měli k tomuto problému jasně vyjádřit a převzít odpovědnost za podniknuté kroky, které by vedly ke zlepšení situace se také většinou nevyjadřují. Neustále však probíhá řada debat, zabývajících se možnostmi, jak případné oteplování a jeho vlivy řešit.

Činnost člověka ale není hlavní a jedinou příčinou v otázce globálního oteplování Země, ale je to Slunce a jeho aktivity, které hlavně ovlivňují naše okolní klima. Tuto problematiku jsme se snažili nastínit v předchozích kapitolách této práce.

Lidské činnosti by ovšem neměly být zanedbány, jelikož populace se na naší planetě stále rozrůstá a je potřeba stále více energie a produktů všeho druhu. Rychlý růst měst, center, dálnic a podobně má také vliv na oteplování a to z hlediska odvodňování krajiny

kolem nás.

Vodní pára je nejdůležitější skleníkový plyn. Pro porovnání obsah  $\text{CO}_2$  v atmosféře se udává kolem 370 ppm, obsah vodní páry v letním vzduchu o teplotě 20 C a při 60 % relativní vlhkosti 14000 ppm, přičemž na rozdíl od obsahu  $\text{CO}_2$  je obsah vody v atmosféře velmi proměnlivý. Hraje totiž velmi podstatnou roli nejen při vzniku, ale především při udržování stavu vhodném pro současné formy života. K tomu je potřeba, aby sluneční energie byla na zemském povrchu rozdělována co nejrovnoměrněji. Přitom účinnost systémů, které na zemském povrchu dokážou tuto energii vázat v dále využitelné podobě je nízká. U fotosyntetizujících organismů nepřesahuje ani v ideálním případě hodnotu 5 %. Jednou z nejméně nápadných, ale patrně i nejvýznamnějších úloh mokřadů v širším smyslu slova je proto jejich vliv na rozdělování sluneční energie. Touto cestou totiž mokřady výrazně ovlivňují nejen místní klima, ale i řadu dalších s ním souvisejících faktorů.

V žádném případě se nejedná o zanedbatelný vliv. Na jeden  $\text{m}^2$  povrchu Země dopadne 1200 kWh sluneční energie za rok. Během jediného letního dne je to 5 – 6 kWh, to znamená až 25 MJ. Maximální tok slunečního záření dosahuje hodně přes  $1000\text{W}/\text{m}^2$ .

Pokud není k dispozici voda, přeměňuje se dopadající sluneční energie v teplo, které je následně vyzářeno. Proto jsou v pouštních oblastech tak extrémní rozdíly mezi teplotami ve dne a v noci, a z důvodu nízkého obsahu vodních par v atmosféře a tedy vyšší vyzáření tepla do prostoru se za jasných nocí daleko více ochladí i v místech, kde voda nechybí. Jestliže však tato energie dopadá na místa nasycená vodou, spotřebovává se na výpar a váže se ve formě skupenského tepla vody. Tím se v podobě vodní páry rovnoměrně rozděluje. Díky skupenskému teplu vody se vyrovnávají rozdíly v teplotách, protože vodní pára se na chladných místech opět sráží, energie skupenského tepla vody se uvolňuje a okolí se ohřívá. Podle mého názoru to ale není zásadní vliv na globální oteplování, ale spíše na oteplování z lokálního hlediska. V těchto postižených místech dochází k velkému úbytku vody, což je přirozený regulátor teploty a přírodní vzhled je rychle zaměněn za betonové a asfaltové plochy. Proto je v jistých místech měřena teplota o jiných hodnotách, než na jiných.

Z těchto důvodů je třeba dbát jak na úsporu energií, ochranu přírodního prostředí, tak i na možný dopad našeho činnosti na okolní svět jako celek. V první řadě jde o informovanost okolního světa. V případě, že půjde stále pouze o politický boj, nebo o způsob zvýšení zisků, nebudeme schopni se včas ubrat správným směrem k podpoře našeho okolí.

## 8 Seznam použité literatury

- [1] Kadrnožka, J.: *Globální oteplování Země*, VUTIUM, Brno, 2006
- [2] Hlad, O., Pavlousek, J.: *Přehled astronomie*, Polytechnická knižnice, Praha, 1984
- [3] Rees, M.: *Encyklopedie Vesmíru*, Knižní klub, Praha, 2006
- [4] Hvězdárna Františka Pešty – <http://www.hvezdarna-fp.cz>
- [5] Aldebaran – <http://www.aldebaran.cz/>
- [6] Anglické listy – <http://www.blisty.cz>
- [7] Vliv změn sluneční aktivity na klimatický systém Země – <http://www.davidhavel.wz.cz>
- [8] Česká astronomická společnost – <http://www.astro.cz>
- [9] Wikipedia, the free encyclopedia – <http://en.wikipedia.org>
- [10] Astronomický server ZČU Plzeň – <http://astronomia.zcu.cz/>
- [11] Matematicko fyzikální web – <http://www.mfweb.wz.cz>
- [12] Gnosis – <http://gnosis9.net>

## 9 Seznam obrázků

- Obr. 1: Hvězdná mlhovina M42 v souhvězdí Orionu
- Obr. 2: Proton – protonový řetězec
- Obr. 3: Diagram vzniku hvězdy
- Obr. 4: HR diagram
- Obr. 5: Vývoj hvězd s malými hmotnostmi
- Obr. 6: Vývoj hvězd středních hmotností
- Obr. 7: Vývoj hvězd s velkými hmotnostmi
- Obr. 8: Snímek Slunce
- Obr. 9: Poloha Slunce v Galaxii
- Obr. 10: Řez Sluncem
- Obr. 11: Vnitřní stavba Slunce
- Obr. 12: Chromosféra
- Obr. 13: Koronární smyčka
- Obr. 14: Koróna při zatmění Slunce
- Obr. 15: Struktura koróny
- Obr. 16: Protuberance ze dne 29. 7. 2002
- Obr. 17: Sluneční erupce
- Obr. 18: Struktura slunečních skvrn
- Obr. 19: Johann Rudolf Wolf
- Obr. 20: Granulace
- Obr. 21: Spikule
- Obr. 22: Polární záře
- Obr. 23: Prezident Václav Klaus s předsedou Strany zelených Martinem Bursíkem

## 10 Seznam grafů

- Graf 1: Chemické složení Slunce
- Graf 2: Průměrné počty slunečních skvrn v letech 1610 až 2000
- Graf 3: Procentuální pokrytí povrchu Slunce slunečními skvrnami
- Graf 4: Změna konstanty  $\Delta S$
- Graf 5: Intenzita změn v jedenáctiletém cyklu slunečních skvrn
- Graf 6: Závislost lokálních minim a jedenáctiletého cyklu
- Graf 7: Záznam teplot H. H. Lamba C. D. Schönwiese
- Graf 8: Model D.V. Hoyta a K. H. Schattena
- Graf 9: Vazba mezi pokrytím oblačností a kosmickými paprsky
- Graf 10: Projekce vycházející z dlouhodobých cyklů sluneční aktivity
- Graf 11: Celková zářivá energie Slunce naměřená družicí SCORE

## **11 Seznam tabulek**

Tabulka 1: Základní informace o Slunci