

# Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta – Ústav fyziky a biofyziky



## Vliv sluneční aktivity na život na Zemi

Bakalářská práce

**Veronika Křivánková**

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

České Budějovice 2012

## **Bibliografické údaje**

Křivánková V., 2012: Vliv sluneční aktivity na život na Zemi.

[The Influence of Solar Activity on Life on Earth. Bc. Thesis, in Czech.] – 43p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na zhodnocení sluneční aktivity v minulosti a její odhad v blízké budoucnosti. Dále se zaměřuje na různé projevy sluneční aktivity jako jsou například sluneční erupce nebo sluneční vítr a jejich vliv na život na Zemi. Zabývá se jak jejich vlivem na život jako takový, technologie a také na přírodu a procesy v ní.

## **Abstract**

This bachelor thesis is focused on the evaluation of solar activity in the past and its estimate in the near future. It then focuses on the various manifestations of solar activity such as solar flares and solar wind and its influence on life on Earth. It deals with their impact on life itself, as well as technology and nature and processes in it.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované 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, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 25. dubna 2012

.....

Veronika Křivánková

## **Poděkování**

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

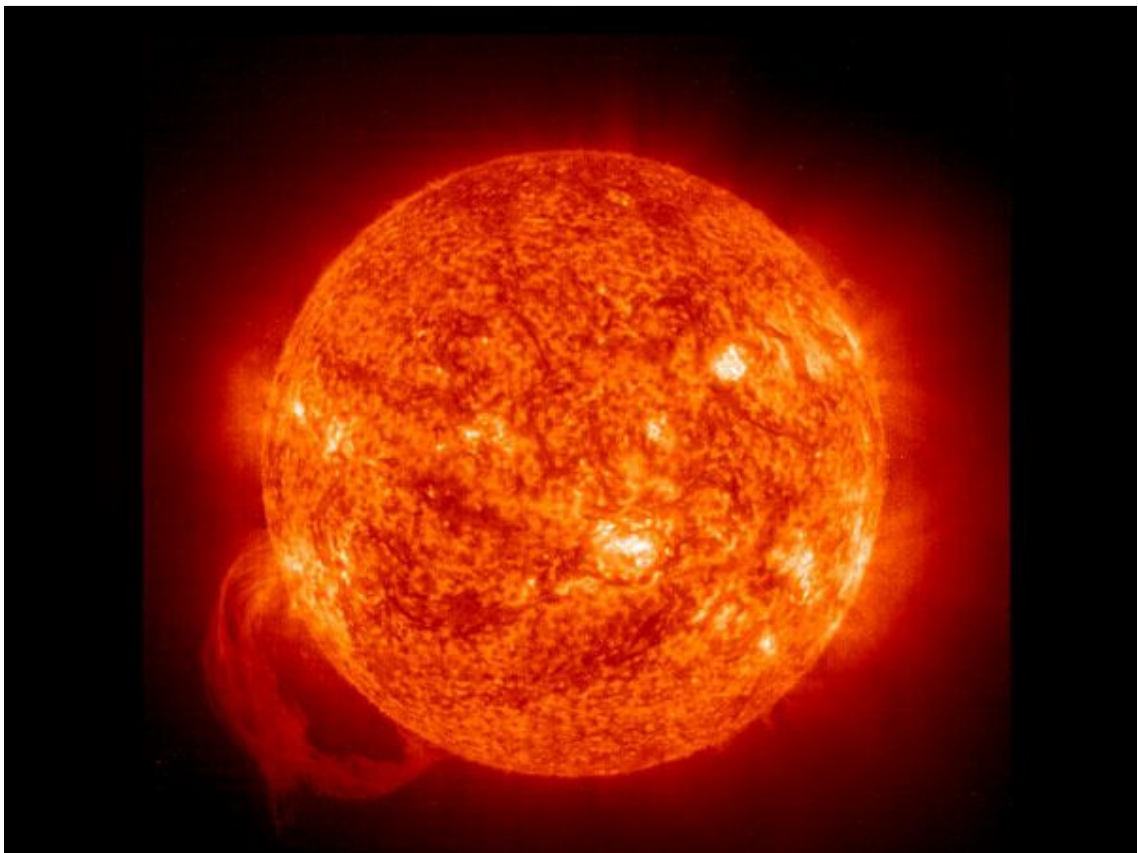


# Obsah

1. Slunce .....	8
1.1 Základní fakta .....	10
1.2 Stavba .....	12
1.3 Termojaderná fúze .....	14
2. Aktivita Slunce a její projevy .....	16
2.1 Aktivita Slunce v minulosti .....	23
2.2 Aktivita Slunce v budoucnosti .....	26
3. Vlivy sluneční aktivity .....	28
3.1 Vliv na život .....	29
3.2 Vliv na technologie .....	31
3.3 Vliv na přírodu .....	35
4. Závěr .....	39
5. Seznam použité literatury .....	41
6. Seznam obrázků .....	42
7. Seznam tabulek .....	44

# 1. Slunce

Naše Slunce je z vesmírného hlediska obyčejná hvězda průměrné velikosti. Nijak svými vlastnostmi nevyniká. Pro nás na Zemi má ale obrovský význam. Díky vhodné vzdálenosti, teplotě a dalším vlastnostem, jsou zde vhodné podmínky pro život. Samozřejmě ne navěky. Slunce je staré přibližně  $4.5 \times 10^9$  let, a jako každá jiná hvězda má svoji životnost a jednoho dne dojde svého konce a s ním i Země a život na ní. To nás ale nemusí zatím trápit, protože k tomu dojde nejdříve tak za 6 miliard let. Může nás ale ohrozit i v současnosti?

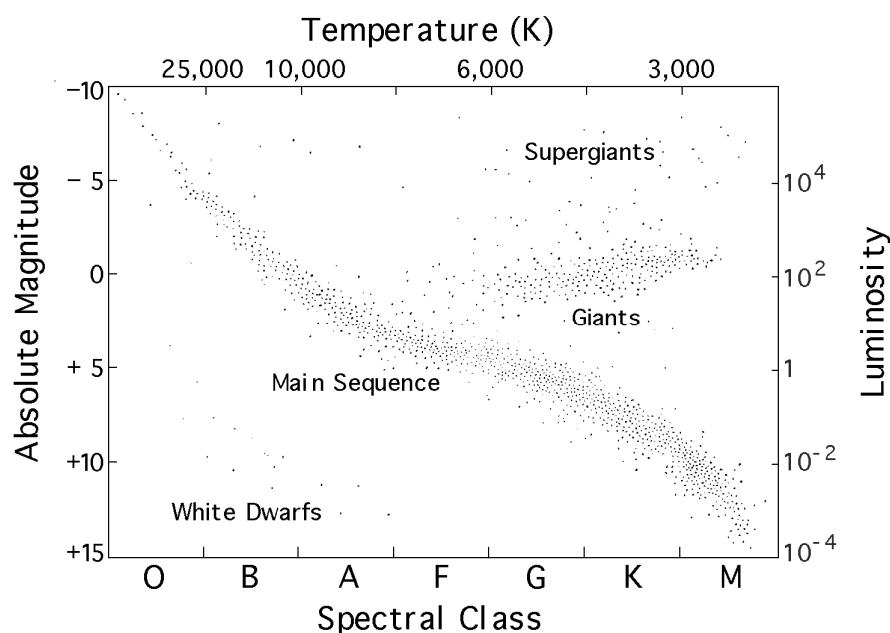


Obr. 1 – Slunce

Slunce, a celá naše sluneční soustava vznikla z mlhoviny. Hvězdný materiál se díky gravitačnímu působení postupně zhušťoval. Poté došlo ke zploštění původního kulovitého útvaru díky odstředivé síle a vznikl protoplanetární disk. Uprostřed disku vznikl zárodek Slunce – protohvězda. V jejím středu narůstala teplota a tlak, až došlo k zažehnutí termojaderné reakce a vzniklo Slunce takové, jaké ho známe dnes. Pouze s jiným složením a s menším zářivým výkonem [4].



Slunce se nachází v hlavní posloupnosti H-R diagramu (viz. obrázek Obr. 2). H-R diagram neboli Hertzsprungův – Russellův diagram, nejčastěji rozděluje hvězdy podle teploty a svítivosti. Diagram může být sestaven i podle dalších kritérií, jako je například hmotnost nebo složení hvězdy. Ať se jedná o jakoukoliv závislost, H-R diagram vždy třídí hvězdy do následujících skupin – hvězdy hlavní posloupnosti, hvězdné obry, hvězdné veleobry a bílé trpaslíky. Z tohoto diagramu je možno zhruba vyčíst plno údajů o hvězdách, například jejich stáří a životnost, předpokládaný konec, jejich rozměr nebo hmotnost.



Obr. 2 – H-R diagram

Na obrázku Obr. 2 je vyznačeno i rozdělení hvězd do takzvaných spektrálních tříd. Toto rozdělení je založeno na teplotě hvězd – tzv. Harvardská klasifikace. Většinu hvězd tak dělíme do 7 tříd – O, B, A, F, G, K, M. Zbylou část zvláštních hvězd se dělí do pěti tříd – W, Q, R, N a S. Slunce je typickým představitelem skupiny G, kterou tvoří hvězdy o teplotě 5 200 K až 5 900 K. Základní třídy se dále dělí na deset podtříd označovaných čísly 0 – 9. Podle tohoto rozdělení se Slunce označuje jako hvězda G2. Abychom rozlišili hvězdy se stejnou povrchovou teplotou, přidává se k označení hvězdy zkratka, která udává svítivost. Třídy svítivosti jsou upraveny tzv. Yerkeskou klasifikací. Ta rozděluje hvězdy podle svítivosti do následujících skupin – Ia, Ib pro veleobry, II a III pro obry, IV pro podobry, V pro hvězdy hlavní posloupnosti a VI pro podtrpasličí hvězdy. Naše Slunce je díky svítivosti součástí skupiny V [15].

Životnost hvězd jako, je naše Slunce, se pohybuje okolo 10 miliard let. Vzniklo přibližně před 4,5 miliardami let, takže je zhruba v polovině svého života. Až Slunce vyčerpá své zásoby vodíku, tak dočasně ustane jaderná reakce v jeho jádře, čímž se naruší rovnováha Slunce jako reaktoru a jeho jádro se smrští. Dojde ke zvýšení tlaku a teploty a Slunce místo přeměny vodíku

na helium, začne přeměňovat helium na složitější prvky, jako je například uhlík nebo kyslík. Tímto způsobem se Slunce na nějaký čas, možná miliardy let, vyhne svému nezvratnému konci. Tato změna v jádře se ale projeví i navenek. Vyšší vrstvy Slunce budou chladnout, řádnout a rozeprnou se do prostoru. Tak přejde do formy rudého obra. Poté co Slunce vyčerpá i zásoby helia, nebude již možné, aby tento stav Slunce překonalo, vše se zhroutí a vznikne bílý trpaslík. Tento trpaslík pak bude postupně chladnout, až vychladne úplně.

## 1.1 Základní fakta

Vlastnosti každého objektu můžeme rozdělit na vnější, které můžeme pozorovat a změřit, a vnitřní, které už nejsme schopni přímo pozorovat a většinu musíme teoreticky spočítat, podle známých fyzikálních zákonů, které jsou platné téměř všude.

U Slunce jsme schopni pozorovat či změřit vlastnosti jako je jeho vzdálenost, velikost, spektrum nebo povrchová teplota. Stáří, hustotu, vnitřní teplotu a další veličiny týkající se nitra Slunce jsme vypočítali z předpokladu, že Slunce je plynná koule, ve které platí známé fyzikální zákony a termodynamické rovnováhy. Stáří je možné vypočítat z rychlosti průběhu termojaderné přeměny vodíku na helium při znalosti zastoupení prvků ve Slunci. Vycházíme z toho, že na počátku bylo tvořené téměř výhradně vodíkem. V následující tabulce (Tab. I.) jsou shrnuty základní údaje o Slunci.

Tab. 1. Základní údaje o Slunci [1].

Hmotnost	$1,989 \times 10^{30}$ kg
Poloměr	695 990 km
průměrná hustota	$1\,409$ kg/m <sup>3</sup>
průměrná vzdálenost od Země	$150 \times 10^6$ km
zářivý výkon	$3,86 \times 10^{26}$ W
povrchová teplota (efektivní)	5780 K
teplota jádra	$15,6 \times 10^6$ K
úniková rychlost	617,7 km/s
hustota v centru	$148 \times 10^3$ kg/m <sup>3</sup>

Složení Slunce je možné zjistit studiem jeho spektra. Majoritní část je tvořena vodíkem, z menší části heliem a minimálně (v porovnání s množstvím vodíku) ostatními prvky. Složení se

časem mění, protože při průběhu termojaderné fúze se zpracovává vodík a ostatních prvků, především helia přibývá. V následující tabulce Tab. II. je uvedeno procentuální zastoupení některých prvků.

Tab. 2. Procentuální zastoupení prvků ve Slunci [2].

prvek	[%]
H	71
He	27,1
O	0,97
C	0,4
N	0,096
Si	0,099
Mg	0,076
Ne	0,058
Fe	0,014
S	0,004

Pozorujeme-li Slunce z povrchu Země, je naše pozorování zkresleno působením atmosféry. To je nejvíce patrné, zaměříme-li se na barvu a tvar Slunce. Pokud se nachází nízko nad obzorem, může se nám jevit velmi veliké, oválné a červené. Je to proto, že v tomto případě musí sluneční světlo urazit dlouhou vzdálenost a proniká hustší atmosférou. Při průchodem světla atmosférou se pohlcuje zejména modrá složka, takže vidíme Slunce převážně červené. Opačný případ nastává, pokud se Slunce nachází vysoko nad obzorem, tzn. v poledne. V tom případě sluneční světlo putuje kratší vzdálenost a ještě řidší atmosférou. Větší vlnové délky jsou atmosférou pohlcovány, proto je obloha modrá a Slunce nejvíce odpovídá svému skutečnému vzhledu.

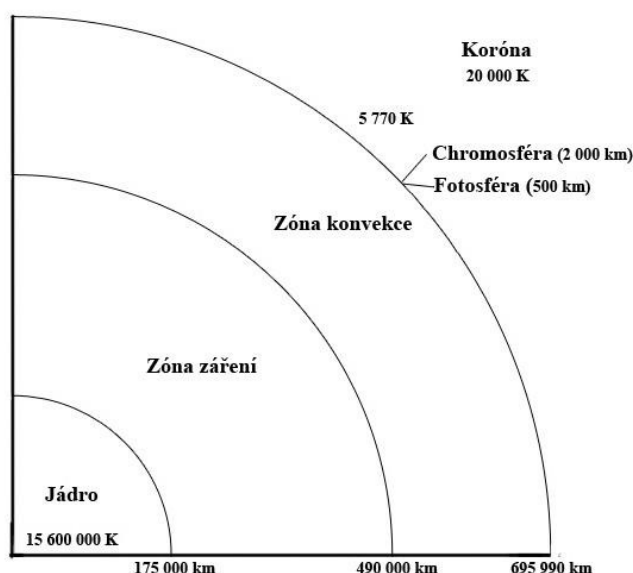
První kdo vyslovil hypotézu, že se Slunce otáčí, byl Johannes Kepler. Nejedná se však o obyčejnou rotaci jako třeba u Země. Jelikož je Slunce tvořeno žhavým plazmatem, rotuje u rovníku rychleji než na pólech. Díky rozdílným rychlostem rotace dochází k deformaci magnetického pole Slunce a ta zapříčiňuje vznik erupcí, skvrn a dalších jevů.

V dřívějších dobách bylo Slunce zkoumáno přinejlepším dalekohledy. Obrovský pokrok nastal v 60. letech. Mezi první průzkumníky patřily sondy PIONEER, které byly prvními sondami navrženými pro výzkum Slunce. Obíhaly ho přibližně ve stejné vzdálenosti, jako ho obíhá Země a byly zaměřeny na měření slunečního větru a magnetického pole Slunce. V 70. letech je následovala sonda HELIOS 1, která se pohybovala uvnitř dráhy planety Merkur a byla určena pro pozorování a měření slunečního větru a koróny. V 80. letech byla vyslána sonda SSM (Solar Maximum Mission), která byla určena k měření záření uvolňovaného při slunečních erupcích. Mezi další sondy, které si zaslouží zmínku, patří ULYSSES (1990), sluneční a heliosférická observatoř

SOHO (1996), TRACE (1998) zaměřená na studium sluneční koróny, fotosféry a koronálních smyček, GENESIS (2001), RHESSI (2002), dvojice sond STEREO (2006) a SDO (2010), která poskytuje dynamický záznam dění na Slunci [5].

## 1.2 Stavba

Slunce a jeho atmosféra – heliosféra se rozděluje na několik částí – jádro, vrstva v zářivé rovnováze, konvektivní vrstva, fotosféra, chromosféra a koróna. V každé části panují jiné podmínky. Hustota se směrem od jádra snižuje. Teplota je maximální v jádře, poté se snižuje až po fotosféru a v chromosféře je opět vyšší. Na následujícím obrázku Obr. 3., vidíme rozdělení Slunce na jednotlivé části.



Obr. 3 – Stavba Slunce

V jádře o velikosti přibližně stejné jako je velikost naší Země probíhá samotná přeměna vodíku na helium procesem, který upřesněn v pozdější kapitole. Látka má zde obrovskou hustotu, skoro desetkrát větší než je hustota olova. Při obrovských teplotách, které zde panují, je hmota v této oblasti ve stavu rozžhaveného plynu – plazmatu. Fotony gama záření, které zde vzniknou při termojaderné reakci, jsou odsud vyzařovány do vyšších vrstev.

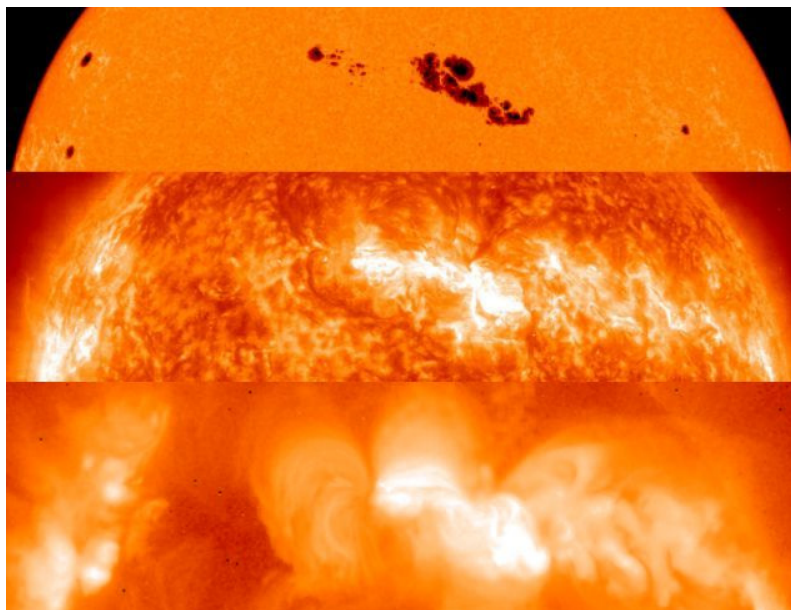
Následující vrstva je vrstva v zářivé rovnováze. Její název odpovídá tomu, k čemu zde dochází. V této vrstvě je energie přenášena pomocí záření. Není to moc dobrý způsob přenosu energie, protože díky neustálým srážkám fotonů s dalšími částicemi přenášenou energii snižuje. Takto se z původního fotonu gama záření stane obyčejný světelný foton.

Mezi vrstvou v zářivé rovnováze a konvektivní vrstvou se nachází mezivrstva nazývaná tachoklina. Nachází se blízko počátku konvektivní vrstvy. Dochází zde ke změnám rotační rychlosti a také ke změnám rychlosti proudů plazmatu [3]. V konvektivní vrstvě je energie přenášena prouděním – konvekcí. Horké masy stoupají konvektivní vrstvou až na samotný povrch, kde je můžeme pozorovat jako granulaci. Zde se ochladí a poté opět klesají dolů.

Fotosféra je vlastní povrch Slunce. Oproti ostatním vrstvám má celkem nízkou teplotu. Ve fotosféře můžeme pozorovat mnoho jevů spojených s aktivitou Slunce. Fotosféra je nejspodnější částí sluneční atmosféry, která je dále tvořena chromosférou a korónou.

Chromosféra září mnohem méně než fotosféra a přitom je až desetkrát teplejší. Můžeme ji pozorovat vlastním okem v jediném případě a to při zatmění Slunce. Tehdy se nám zdá jako by hořela – neustále z ní tryskají proudy plazmatu, které nazýváme spikule.

Poslední a nejrozsáhlejší součástí Slunce je jeho koróna. Opět je vidět pouze při zatmění, kdy se nám jeví jako bílý prstenec. Je to sice nejrozsáhlejší část Slunce, ale je velmi řídká. Je mnohem řidší než vzduch tady na Zemi. Na následujícím obrázku Obr. 4 můžeme vidět poslední tři vrstvy Slunce – fotosféru, chromosféru a korónu.



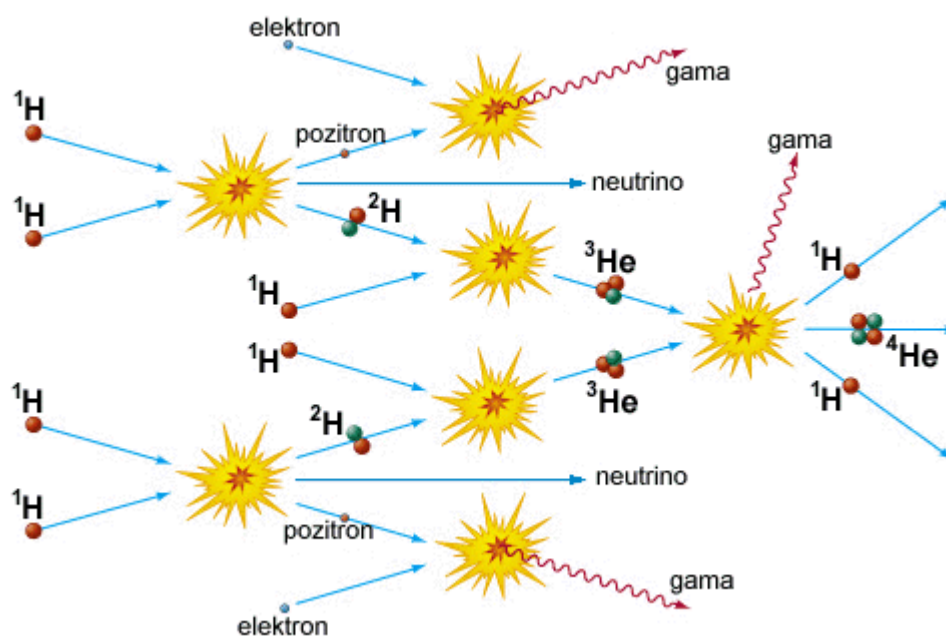
Obr. 4 – shora: fotosféra, chromosféra, koróna

### 1.3 Termojaderná fúze

Naprostο zásadním procesem, který ve Slunci probíhá, je přeměna vodíku na helium. Z žádně jiné jaderně nebo chemické reakce nedostaneme více energie než z této přeměny. Jedná se o termojadernou fúzi, která probíhá za obrovských teplot. Slunce je ale nejbezpečnějším jaderným reaktorem, který existuje. Pokud dojde v jádře k nárůstu teploty, zvýší se i tlak.

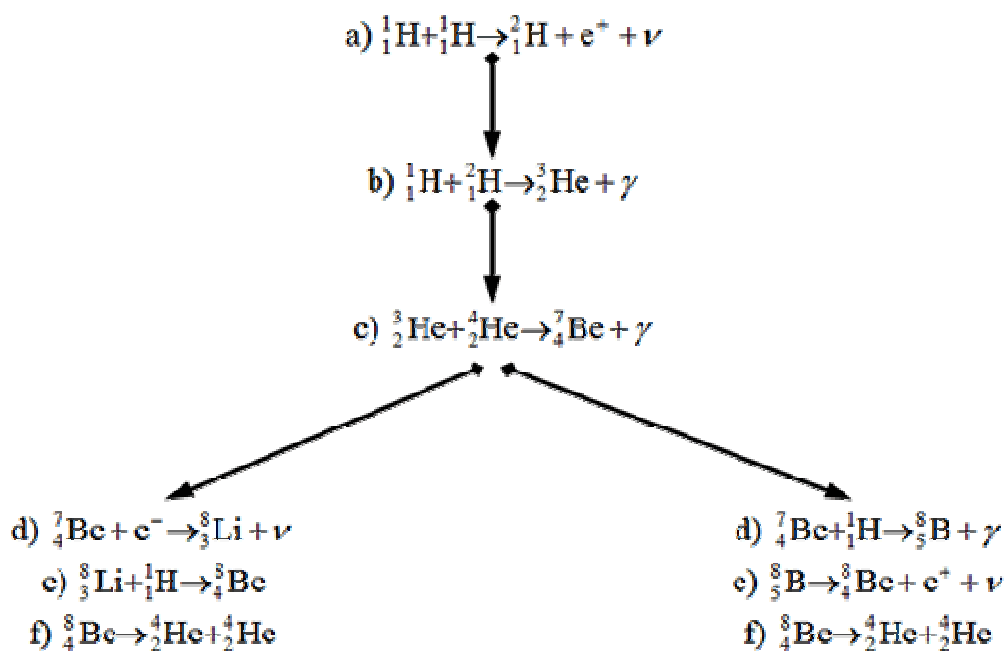
Pro jiný reaktor by to znamenalo, že vybuchne. Slunce má ale vlastní systém regulace a při takovémto nárůstu tlaku dojde k rozepnutí v přehřátém místě a tím se sníží teplota.

Dvě jádra atomů vodíku se při srážce přemění na jádro deuteria. Vedlejším produktem srážky je pozitron a neutrino. Po srážce deuteria s dalším jádrem vodíku vznikne jádro helia. Při této srážce se uvolní energie, která je potom vyzařována Sluncem. Na následujícím obrázku Obr. 5 je schematicky zakreslena probíhající reakce. Tato reakce se nazývá p-p I cyklus. Energetický zisk této reakce je 24,7 MeV.

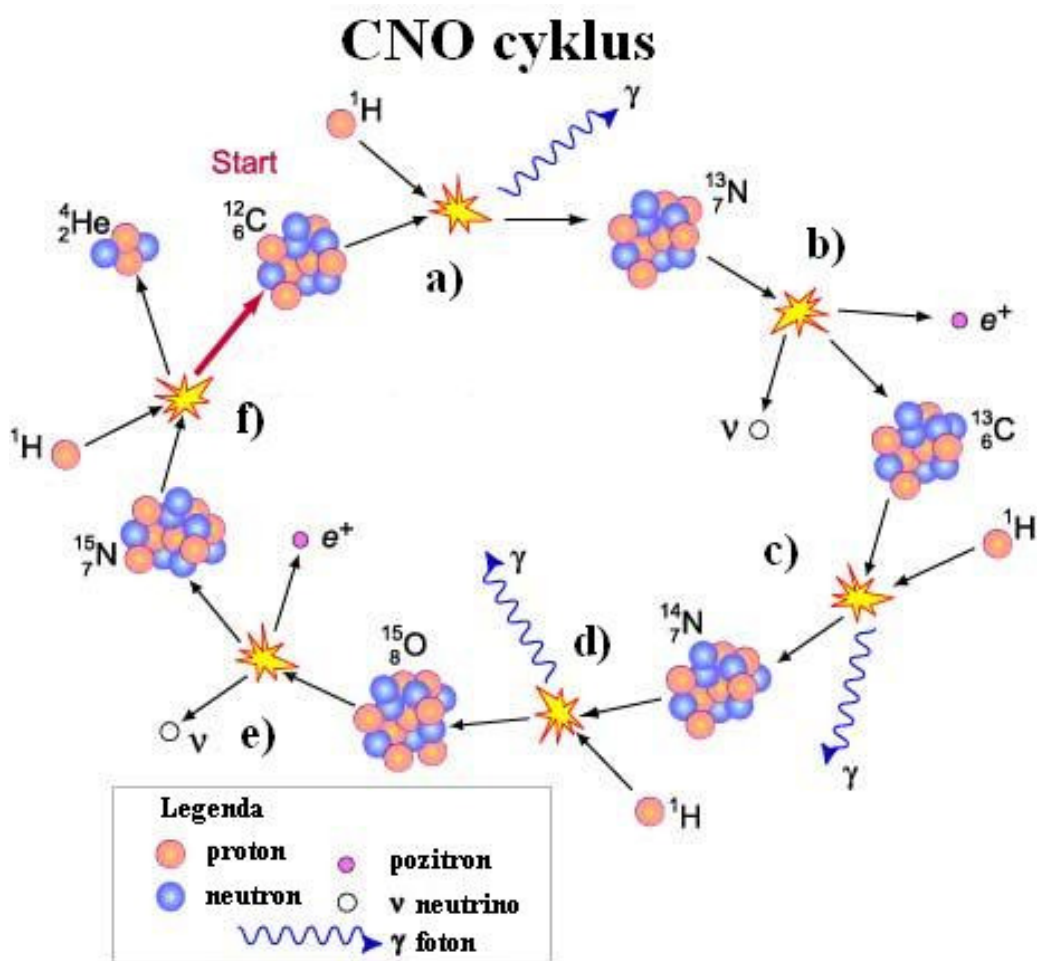


Obr. 5 – přeměna vodíku na helium

Dalším cyklem probíhajícím v jádře je reakce podobná p-p I cyklu, která se od něj liší v závěrečné části přeměny a označuje se jako p-p II cyklus (Obr. 6). Probíhá zde i tzv. CNO cyklus (Betheův – Weizsäckerův), což je řetězec šesti termonukleárních reakcí, při nichž se sloučí čtyři protony na jádro helia. Uhlík, dusík a kyslík zde mají funkci katalyzátorů (Obr. 7).



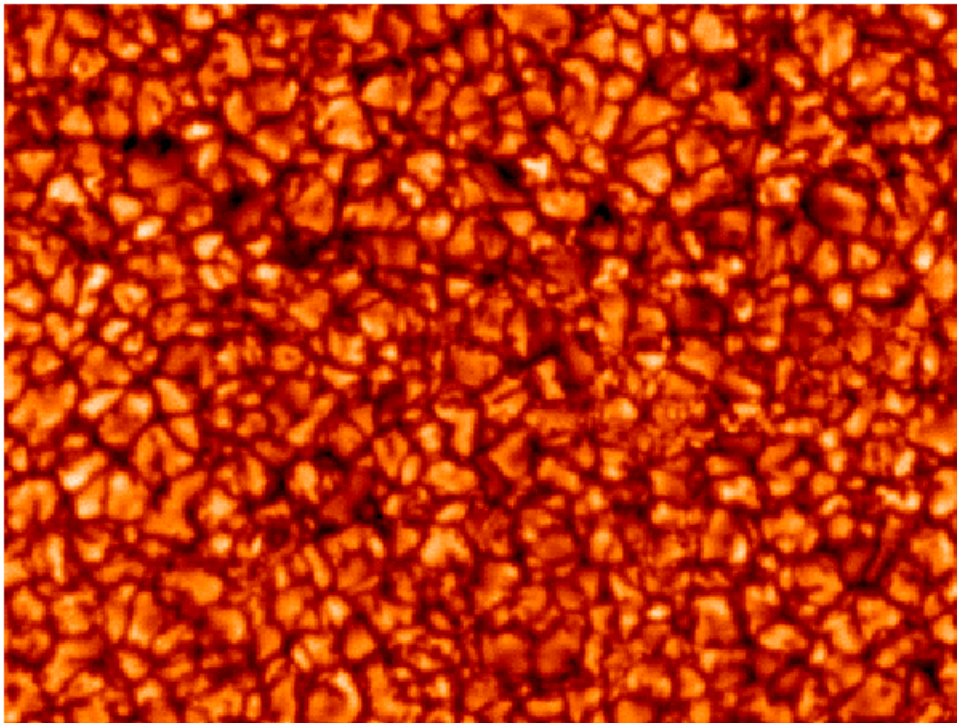
Obr. 6 – p-p II cyklus probíhající v jádře Slunce



Obr. 7 – schéma CNO cyklu

## 2. Aktivita Slunce a její projevy

To, že je Slunce aktivní a ne jenom plynná koule bez pohybu je viditelné na první pohled. Když se podíváme na povrch, jako první nás zaujme granulace. Princip vzniku je popsán v kapitole věnované stavbě Slunce. Už jenom samotná granulace je známkou, že se uvnitř Slunce něco děje. Na následujícím obrázku Obr. 8 je fotografie granulace, světlá místa jsou tam, kde vyvěrají horké bubliny plazmatu na povrch a tmavší jsou chladnější, které se vracejí zpět do nitra. Příčinou tohoto jevu je změna hustoty plazmatu na základě změny teploty. Na povrchu Slunce je patrný jev podobný granulaci a tím je supergranulace. Na rozdíl od granulace je supergranulace způsobena pohybem mnohem větších buněk, řádově desetitisíce kilometrů čtverečních. V klidných oblastech je jejich obraz téměř neměnný, kdežto v aktivních se velikost těchto buněk mění až o deset procent. Tento jev není patrný ve viditelném spektru, ale pouze s pomocí dopplerometrů.



Obr. 8 – granulace na povrchu Slunce

Když budeme dále zkoumat povrch Slunce, nalezneme sluneční skvrny a jejich jakési oponenty – fakule. Fakule jsou nepravidelná jasná místa, nejvíce patrná ve větší vzdálenosti od centra slunečního kotouče. Pokud je fakule doprovázena skupinou slunečních skvrn, dosahuje mnohem větších rozměrů. Jejich vznik je způsoben magnetickou indukci s typickou velikostí 0,15 T. Fakule a sluneční skvrny mají velký vliv na velikost zářivého výkonu Slunce. Sluneční skvrny výrazně snižují zářivý výkon Slunce, protože oproti okolí je jejich kontrast veliký. Fakule toto snížení vyrovnávají svojí plochou, která je minimálně desetkrát větší, než plocha skvrn, a tím téměř vyrovnávají ztráty na intenzitě způsobené skvrnami [15].

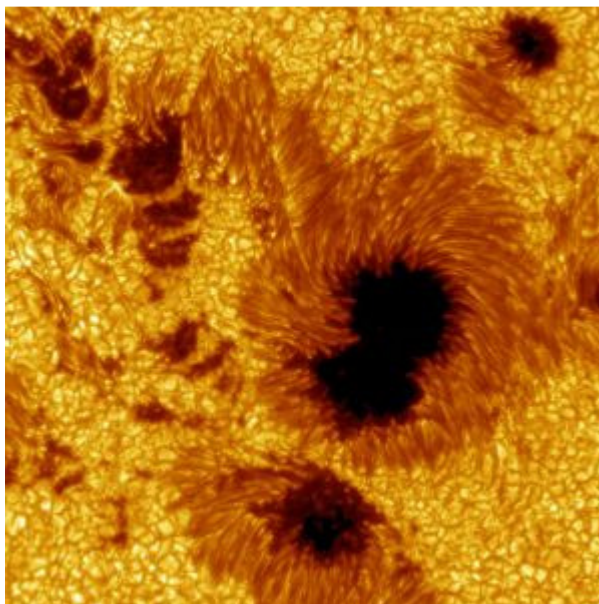


Sluneční skvrny jsou jedním z nejvýraznějších projevů aktivity. Dá se říct, že to jsou velmi silné magnety, jejichž siločáry jsou značně pokroucené a tím zabraňují stoupat horkým oblakům z konvektivní vrstvy na povrch. Teplota sluneční skvrny je proto menší než okolí, je až o 2 000 K nižší. Skvrnu tvoří tmavá část – umbra a světlejší část – penumbra, viz obrázek Obr. 9. Skvrny se vyskytují v aktivních oblastech a mají různou dobu životnosti.

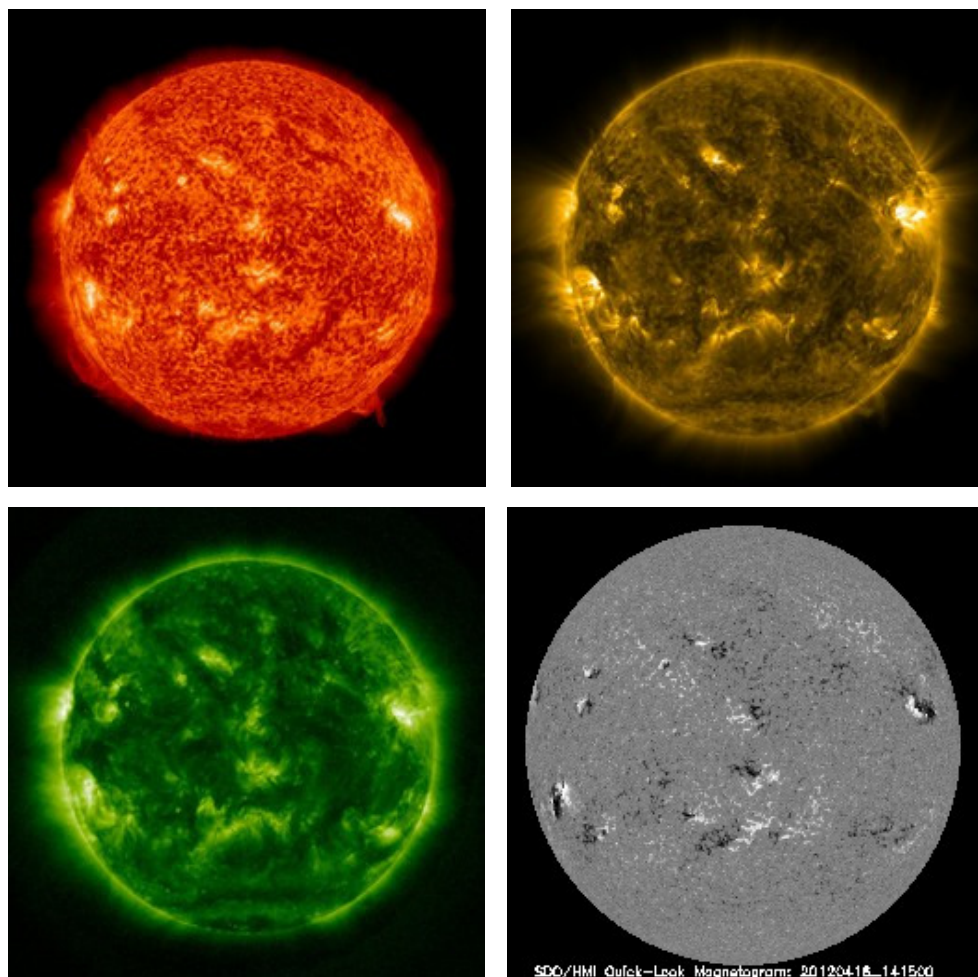
Pokud budeme zkoumat povrch Slunce v různých vlnových délkách, zjistíme, že některé skvrny jsou pouhým okem neviditelné. Srovnáme proto fotografie Slunce při různých vlnových délkách a magnetogram – viz obr. 10. Barevné snímky jsou pořízené při vlnových délkách 304 Å, 171 Å a 94 Å a poslední černobílý snímek 6173 Å. Na posledním snímku – magnetogramu,

jsou jasně viditelné oblasti silného magnetického pole, přičemž bílá místa mají severní polaritu a černá jižní polaritu [6].

Sluneční skvrny se nejčastěji vyskytují v párech – jedna skvrna je vedoucí a druhá následující. Skvrny se pohybují od východu na západ. Vedoucí skvrny mají stejnou polaritu a následující opačnou. Na severní polokouli mají toto uspořádání všechny páry stejné, kdežto na jižní polokouli je polarita obrácená. Sluneční skvrny tak představují malé severní a jižní póly [1].

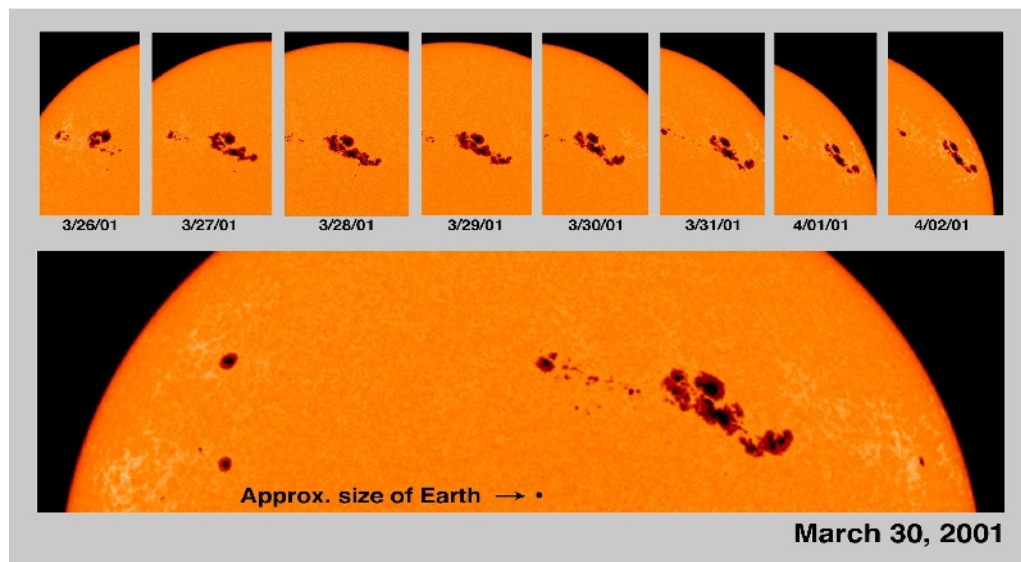


Obr.9 – Sluneční skvrny



Obr. 10 – Fotografie Slunce pořízené sondou SDO

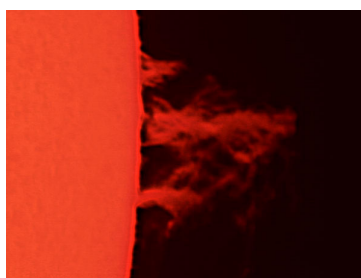
Sluneční skvrny svědčí o magnetickém cyklu Slunce. Tento cyklus trvá 22 let. Během této doby Slunce samo dvakrát změni svoji polaritu. Zpočátku se objeví na obou polokoulích skupinky skvrn. Vyskytují se v šířkách okolo  $30^\circ$ . V průběhu let se skvrny začnou vyskytovat častěji a místa, kde se objevují, se posouvají k rovníku. Asi po deseti letech se skvrny začnou vyskytovat už jenom zřídka a nastane minimum. Ve stejné době se začnou v obvyklých šířkách objevovat skvrny nové, ale s opačnou polaritou než měly předchozí skvrny. Skvrny se opět časem začnou posouvat k rovníku a následně se objevují nové a takto se to opakuje dokola. Na následujícím obrázku Obr. 11. vidíme, jak sluneční skvrny putují po povrchu slunečního kotouče.



Obr. 11 – Pohyb slunečních skvrn po povrchu Slunce

Každý den vznikají a zanikají skvrny, které je možno vidět pouze na magnetogramu nebo jen na snímcích v určitém světle. Mají pouze krátkou životnost. Často jeden den vzniknou a následující zanikají. Zajímavostí je, že se nevyskytují pouze v obvyklých heliosférických šířkách, ale objevují se i ve vyšších šířkách. Co se týče polaritu, chovají se stejně jako běžné skvrny. Systém skvrn ve vyšších šířkách je spojen s budoucím cyklem běžných skvrn a má dokonce i jeho polaritu. Systém skvrn v nižších šířkách patří k aktuálnímu cyklu skvrn. Z toho je patrné, že magnetický cyklus trvá 22 let a ne dvakrát 11 let. Na Slunci se vyskytují současně dva cykly skvrn. Jeden má skvrny blíž rovníku, to je starší cyklus. Mladší má skvrny ve vyšších šířkách a má opačnou polaritu než starší [1].

Dalším projevem aktivity Slunce jsou protuberance. Jedná se o oblaka plynů, které vystupují vysoko nad povrch. Mohou vystoupat až do výšky 50 000 km. Jejich teplota je mnohem menší než teplota koróny, dokonce nižší než teplota povrchu. Mají velkou životnost, někdy přetrvávají i několik otočení Slunce. Souvisejí s magnetickým polem Slunce, neboť se vyskytují v oblastech, kde spolu hraničí rozdílné magnetické polarity. Protuberance často jen tak vymizí, ale někdy mohou explodovat a jejich materiál tak opustí Slunce [1]. Příklad protuberance je na obrázku Obr. 12.



Obr. 12 – Protuberance

Viditelným projevem aktivity jsou také spikule (Obr. 13), což je vystřelený plyn velkou rychlostí do výšky až desítek tisíc kilometrů. Jsou to vrcholky flokulí. Flokule jsou světlejší a tmavější místa v chromosféře. Slunce je spikulemi doslova poseté. I když se zdají nepodstatné, pravděpodobně způsobují zahřívání koróny, jejíž teplotní rozdíl oproti fotosféře je značný.



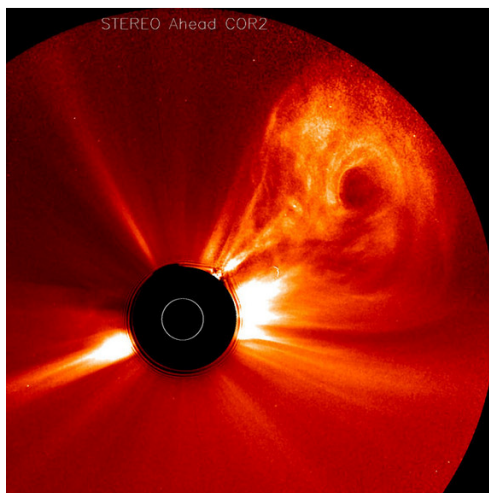
Obr. 13 – Spikule na povrchu Slunce

Za nejvýraznější projev sluneční aktivity můžeme považovat erupce. Erupce je nenadále uvolnění energie projevující se jako zvýšení elektromagnetického záření ve velkém rozsahu ve formě hmoty, částic a pohyblivých rázových vln. Většina erupcí se objevuje v aktivních oblastech sousedících se slunečními skvrnami. Jsou častější, je-li aktivní oblast v období prudkého vývoje. Jelikož jsou erupce spojeny s aktivními oblastmi, objevují se v podobném cyklu jako skvrny. Samozřejmě jsou tu i odchylky [3].

Síla slunečních erupcí je rozdělena do několika tříd podle energie v rentgenové oblasti (0,1 – 0,8 nm), která dorazí na Zemi. Tok energie menší než  $10^{-6}$  W.m<sup>-2</sup> je typický pro erupce zařazované do třídy B. Další třídy jsou značeny C, M a pokud tok přesáhne hodnoty  $10^{-4}$  W.m<sup>-2</sup> jsou erupce označovány jako X. U každé této třídy je ještě devět podtříd. Každá třída má maximální tok desetkrát větší, než třída předcházející. Tok energie ze Slunce se měří pomocí přístrojů na družicích GOES. Pokud bychom Slunce hodnotili z hlediska četnosti erupcí, museli bychom ho označit jako velmi klidnou hvězdu. Existují typy hvězd, kde probíhají neskutečně silné erupce, které jsou s těmi slunečními nesrovnatelné [8]. Na obrázku (Obr. 14) je zachycena sluneční erupce. Jelikož je při erupci vyvržen sluneční materiál mimo Slunce s dostatečnou rychlostí, může dorazit během několika dní (4-5 dní) až k Zemi. Zde interaguje s magnetickým polem a může způsobit elektromagnetickou bouři, která se projevuje například jako polární záře (Obr. 15).

Sluneční erupce jsou často doprovázeny výrony koronální hmoty tzv. CME (Coronal Mass Ejection). Tyto výtrysky jsou tvořeny miliardami tun plazmatu vyvrženého z koróny. Bubliny plazmatu jsou vyvrženy směrem od Slunce rychlostí až 8 000 km/s. V meziplanetárním prostoru se

tato bublina rozepne a vzniklý oblak je široký až desítky milionů kilometrů. Postupující oblak koronální hmoty s sebou strhává sluneční vítr. Tím se může zvýšit energie částic v oblaku. Cme často vznikají následkem sluneční erupce, ale mohou se objevit i nezávisle na nich. Existence výronů hmoty byla zjištěna teprve v nedávné minulosti. Dříve bylo možno sluneční korónu pozorovat pouze při zatmění Slunce a to na velmi krátkou dobu. Asi první cílené pozorování proběhlo pomocí koronografu na sondě OSO 7, v sedmdesátých letech. Nyní jsou koronální výrony hmoty neustále pozorovány pomocí sondy SOHO a to od roku 1996. V současné době nejsme schopni CME předpovědět, ale dokážeme s velkou pravděpodobností určit, zda zasáhne Zemi [15].



Obr. 14 – Sluneční erupce



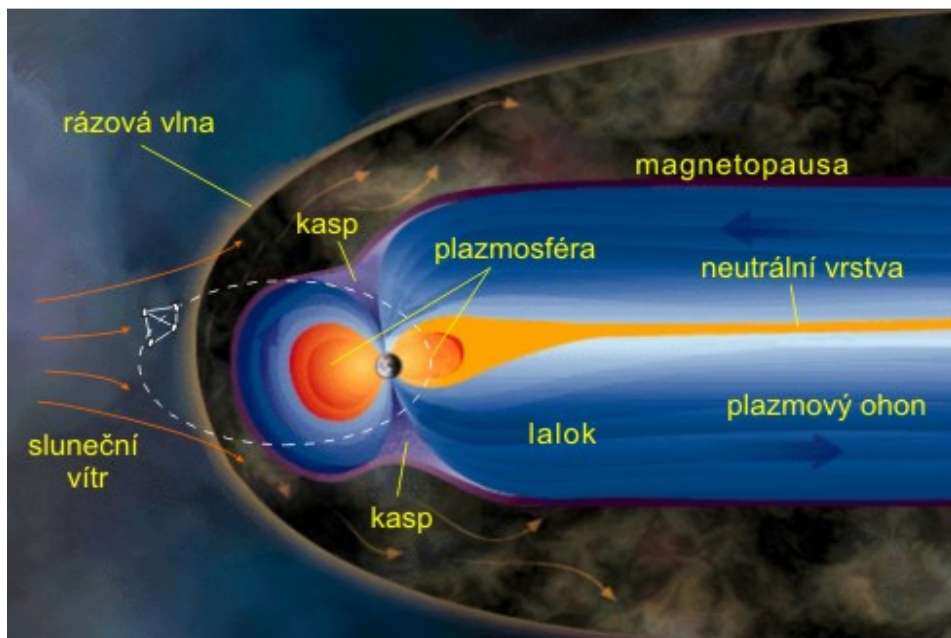
Obr.15 – Polární záře zachycená z ISS

Při velmi silných erupcích, je někdy možno pozorovat polární záři až v našich zeměpisných šířkách, viz Obr. 16.



Obr. 16 – Snímek polární záře vyfotografovaný 20. 11. 2003 na Kletí

Posledním projevem je sluneční vítr. Tvoří ho především protony, částice alfa a elektrony vyvržených ze Slunce tlakem záření. Obvykle má rychlost okolo 450 km/s. Zdrojem slunečního větru je koróna Slunce. Můžeme ho považovat za jakousi vnější sluneční atmosféru, protože prostupuje celou sluneční soustavou. Sluneční vítr interaguje s magnetosférami planet a mění jejich tvar (Obr. 17). Projdou-li částice až do atmosféry Země, ionizují ji a můžeme pozorovat polární záři.



Obr. 17 – Ovlivnění zemské magnetosféry slunečním větrem

Interakcí magnetického pole a solárního větru došlo ke vzniku Van Allenových radiačních pásů. Jsou tvořeny nabitými částicemi, které byly zachyceny magnetickým polem Země. V polárních oblastech jsou tyto částice odráženy díky efektu, zvanému magnetické zrcadlo. Pásky jsou dva. Vnitřní je tvořený hmotnějšími částicemi a vnější je tvořen hlavně elektrony. Částice, ze kterých jsou pásky tvořeny září a dosahují vysokých energií od 1keV až do 100MeV [7]. U částic s obrovskými energiemi není zcela jasné, jak vznikají. Částice solárního větru jsou v pásech neustále zachycovány a pohybují se v nich mezi magnetickými póly. Tyto pásky také zachycují kosmické záření, které by jinak dopadalo na Zemi.

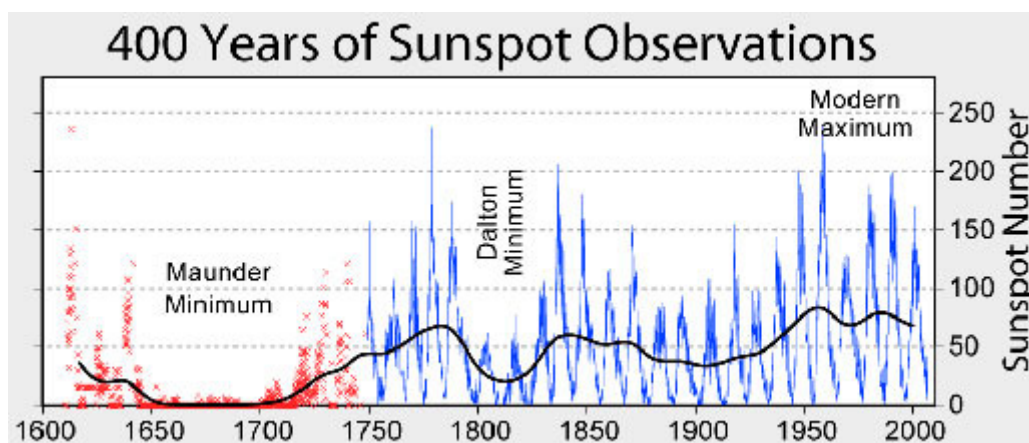
## 2.1 Aktivita Slunce v minulosti

Aktivitu Slunce v minulosti můžeme určit například ze zaznamenaných údajů o počtu skvrn. Už před 2000 lety pozorovali a zaznamenávali Číňané veškeré dění na obloze. Byli pravděpodobně první, kdo pozorovali sluneční skvrny. V roce 1843 Heinrich Schwabe, který si zaznamenával svá pozorování slunečních skvrn, objevil jedenáctiletý sluneční cyklus. Tento cyklus se projevuje nejen na slunečních skvrnách, ale ve všech projevech sluneční aktivity. Astronomové pro pořádek začali cykly číslovat. Maximum prvního cyklu proběhlo v roce 1760 a poslední, 23. cyklus, v roce 2001. Délka tohoto cyklu se mění, průměrná délka je 11,1 let. Byly však zaznamenány i větší odchylky. Například 4. cyklus trval 15 let. Tyto odchylky však mohly být způsobeny i nedostatkem dat. Ve skutečnosti je tento jedenáctiletý cyklus falešný. Skutečná perioda (astrofyzikálně podložená), trvá 22 let. Tento cyklus byl objeven až v roce 1890 Georgem Halem. Měřením polarity slunečních

skvrn se zjistilo, že polarita Slunce jako celku, se obrací každých jedenáct let. Z toho je patrné, že jedenáctiletý cyklus není ten pravý [8].

Pokud nás zajímá mnohem starší doba, můžeme aktivitu určit pomocí uhlíku  $^{14}\text{C}$ . Dovoluje nám získat údaje od současnosti až 7 000 let nazpátky. Částice kosmického záření mají vysoké energie, takže při srážkách s atomy v atmosféře vyvolávají četné jaderné reakce. Takže se například jádra dusíku mění na radioaktivní jádra uhlíku  $^{14}\text{C}$ . Jeho zastoupení se dá dobře měřit. Jelikož má tento uhlík stejné chemické vlastnosti jako běžný uhlík, vstupuje například do oxidu uhličitého a jeho prostřednictvím se ukládá do živých soustav, jako jsou například stromy. Ve stromech se ukládá do letokruhů v koncentraci, která odpovídá momentální koncentraci tohoto radioaktivního uhlíku v atmosféře. Pomocí metod jaderné fyziky, lze z letokruhů určit zastoupení radioaktivního uhlíku vzhledem k běžnému uhlíku [1].

Na obrázku Obr. 19, jsou vyobrazena maxima a minima sluneční aktivity až 5 000 let zpátky do minulosti. Z velmi dávné doby máme samozřejmě velmi málo dat. Od 17. století už ale existují celkem přesné záznamy. Například co se týče Maunderova minima, které proběhlo přibližně v letech 1640 – 1715, je známo více. V tomto období nebyly na Slunci pozorovány téměř žádné skvrny a na Zemi vyvrcholilo období označované jako malá doba ledová. Panovaly nízké teploty, kruté zimy, v severních oblastech došlo k úbytku obyvatel, lidé trpěli nedostatkem potravy kvůli zamrzlým řekám a neúrodě. A to zřejmě kvůli minimu sluneční aktivity. Dalším obdobím slunečního minima bylo Daltonovo minimum, pojmenované po anglickém meteorologovi Johnu Daltonovi. Proběhlo přibližně v letech 1790 – 1830. I během tohoto minima došlo k citelnému snížení teploty. Na obrázku Obr. 18, jsou podrobněji zaznamenány údaje o počtu skvrn od Maunderova minima dodnes.



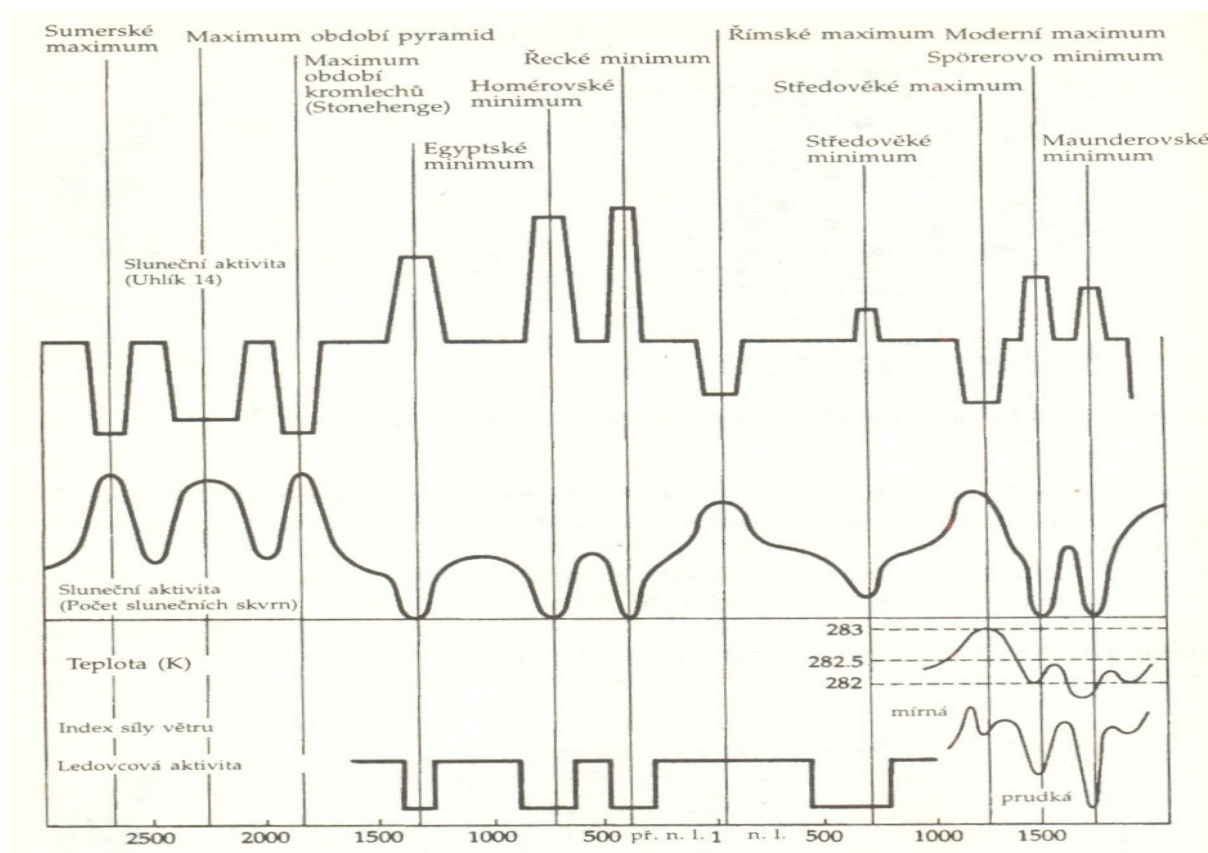
Obr. 18 – Počty skvrn během posledních 400 let

S příchodem moderních technologií a s pokroky v poznání, jak příroda funguje, se nám otevřeli nové možnosti jak se o sluneční aktivitě dovědět více. Mnoho dat nám poskytly například



vrty do ledovců. Ledovce samozřejmě reagují na změny teplot, které doprovází změny sluneční aktivity. Další data jsme schopni získat například z vrstev usazených hornin, které byly různě naplavovány mořskou vodou, jejíž pohyby se měnily v závislosti na klimatických změnách způsobených změnami ve sluneční aktivitě.

Zkoumáním sluneční aktivity v minulosti se snažíme porozumět Slunci samotnému a vlivům jaké má sluneční aktivita na život na Zemi. Jak je z výše uvedeného obrázku patrné, má sluneční aktivita vliv na mnoho věcí, např. na ledovce, na teplotu, sílu větru, na pohyby vody atd. Podrobněji v dalších kapitolách.



Obr. 19 – Vývoj sluneční aktivity za posledních 5000 let

## 2.2 Aktivita Slunce v budoucnosti

Dříve byla aktivita Slunce předpovídána pouze na základě zaznamenaných dat o počtu skvrn z minulosti. Jednalo se pouze o statistické vyhodnocení dat na základě historie. Předpovídal se budoucí počet skvrn podle počtu skvrn v minulosti. To je ale nesprávné. Slunce je komplex složitých procesů a jevů, z nichž některým dodnes zcela nerozumíme, ale všechny tyto součásti musíme vzít v potaz, pokud chceme, aby naše předpovědi a pochopení sluneční aktivity se více přiblížili tomu, co se skutečně děje.

Ve druhé polovině 20. století byla aktivita Slunce velická a toto období je označováno jako Moderní maximum. Podle meteorologických záznamů nejteplejší období po velmi dlouhé době. Po příchodu 21. století se to ale změnilo. Slunce bylo ve fázi útlumu a jeho aktivita se opět snížila. Dnes s napětím očekáváme příchod nového slunečního maxima, jehož nástup se rok od roku posouvá dále. Na následujícím obrázku Obr. 20, je zaznamenán počet skvrn v nedávné minulosti a předpověď jejich počtu v blízké budoucnosti.

Předvídaní chování nového cyklu je poměrně spolehlivé, jakmile je cyklus v plném proudu. To je asi tři roky po minimálním výskytu skvrn. Do té doby jsou prognózy méně spolehlivé, ale přesto důležité. Například pro plánování satelitních drah a vesmírných misí je potřeba znát průběh sluneční aktivity na léta dopředu. K odpovídání průběhu cyklu je využívána řada technik. Ve všech samozřejmě figuruje počet skvrn. Byly objeveny vztahy mezi velikostí následujícího maxima cyklu a délky předchozího cyklu, úrovně aktivity při minimu cyklu a velikostí předchozího cyklu. Mezi nejspolehlivější patří ty, které využívají měření změn v zemském magnetickém poli před a při minimu slunečních skvrn. Je známo, že tyto změny v zemském magnetickém poli jsou způsobeny slunečními bouřemi, ale přesné spojení mezi nimi a budoucí sluneční aktivitou není stále jisté [9].

Z metod využívajících geomagnetických prekurzorů 3 vyčnívají. Jedna z nich (Ohl a Ohl) vychází z objevu, že minimum geomagnetického indexu je spojeno s počtem skvrn během následujícího maxima. Hlavní nevýhodou této metody je, že minimum geomagnetického indexu se často vyskytuje krátce po minimu slunečních skvrn, takže předpověď není k dispozici, dokud cyklus nezačne [9].

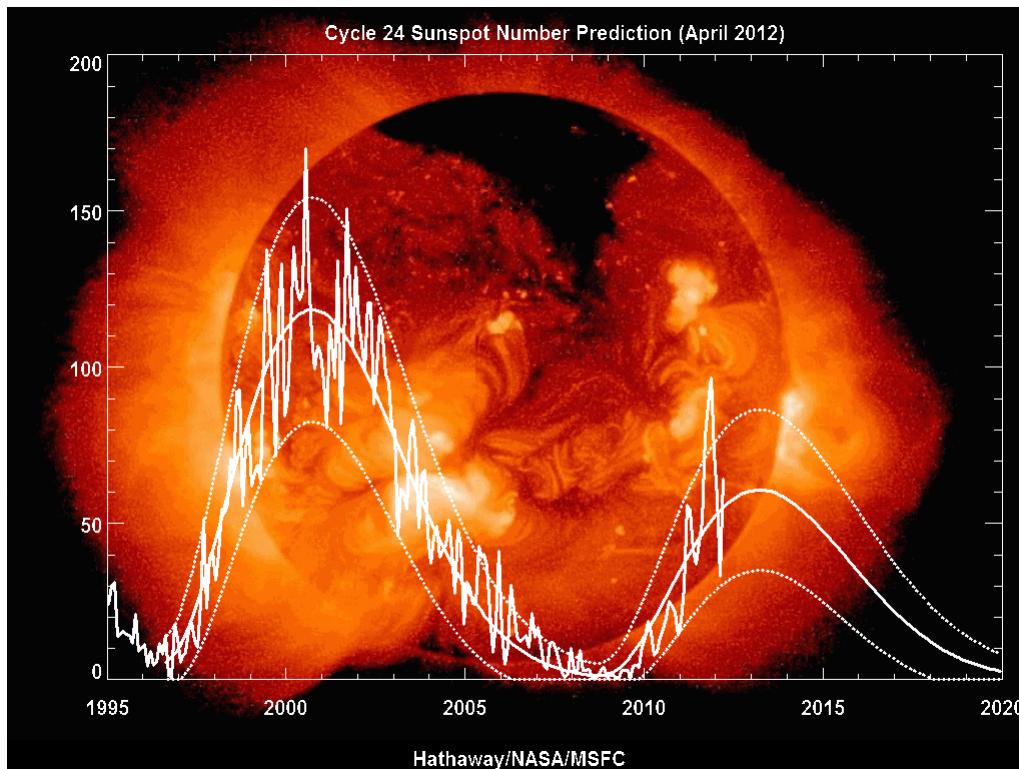
Další metoda (Joan Feynman) rozděluje geomagnetický index na dvě části. Jedna koresponduje s počtem skvrn a druhá se označuje jako zbývající signál. Tento signál v minulosti dával dobré odhady budoucího počtu skvrn na několik let dopředu. Maximum signálu se vyskytuje v blízkosti minima slunečních skvrn a je přímo úměrný počtu skvrn během

následujícího maxima. Tato metoda umožňuje předpověď dalšího maxima skvrn v době minima slunečních skvrn [9].

Třetí metoda (Richard Thompson) je založena na souvislosti mezi počtem dnů v průběhu cyklu, ve kterých bylo geomagnetické pole narušeno a amplitudou dalšího maxima sluneční aktivity. Výhodou této metody je, že předpověď pro následující maximum dává před minimem slunečních skvrn [9].

Kombinací různých metod a zprůměrováním dostáváme pro 24. cyklus odhad, že maximum nastane na jaře 2013. Předpokládaný počet skvrn při maximu je odhadován okolo 61. Tato předpovídaná velikost dělá z tohoto cyklu nejmenší za posledních 100 let [9].

Než budeme schopni naprosto přesně předpovídat sluneční aktivitu, budeme muset více porozumět Slunci samotnému. U mnoha jevů jsme schopni popsat jejich chování, ale příčiny nejsou ještě zcela objasněny. Všechny současné metody předpovídání jsou založeny na pozorování a měření průvodních jevů sluneční aktivity a na statistickém vyhodnocování naměřených dat. Hledáním spojitostí mezi různými jevy a vyhodnocováním sluneční aktivity v minulosti docházíme k ne zcela přesným, natož včasným předpovědím.



Obr. 20 – Předpokládaný vývoj počtu skvrn

### 3. Vlivy sluneční aktivity

V celém známém vesmíru platí zákon akce a reakce. Všechno se navzájem ovlivňuje. Když vezmeme například náš Měsíc, velikostně celkem nepatrné těleso, má i on na nás obrovský vliv. Příliv a odliv se možná jeví jako banální, ale představíme-li si ten obrovský objem vody, zdá se tato síla skoro nepředstavitelná. A co teprve když se zabýváme tělesem, tak velikým, jako je Slunce. Opomeňme silové působení a zaměříme se pouze na efekty jaké má na naši Zemi aktivita Slunce a její projevy.

První věc, kterou jako pozorovatelé zaznamenáme při pohledu na Slunce je, že září. Sluneční záření můžeme rozdělit na tři části – UV záření, viditelné záření a infračervené záření. UV záření tvoří velmi malou část záření přicházejícího od Slunce a téměř všechno je pohlceno v atmosféře. Základní rozdělení UV záření je UVA, UVB, UVC. Poslední dva typy jsou pro život škodlivé. UV záření však mělo pravděpodobně i velký význam při vzniku života. Podrobněji v kapitole 3.1. Záření ve viditelném spektru nám dovoluje vidět a je nezbytné pro průběh fotosyntézy v zelených částech rostlin. Toto záření tvoří téměř polovinu záření přicházejícího od Slunce. Poslední částí je infračervené záření, které je někdy označováno jako tepelné záření, i když je známo, že tepelné účinky má i světlo viditelného spektra. Zemský povrch je ohříván viditelným světlem a v infračerveném spektru vyzařuje energii zpět do vesmíru. Toto záření je však zachytáváno v atmosféře, která vysílá teplo zase zpět k Zemi a tím dochází ke skleníkovému efektu. Jak je tedy vidět záření má na Zemi veliký vliv.

Dalším projevem sluneční aktivity, který ovlivňuje život na Zemi je sluneční vítr. Sluneční vítr, jak bylo poznamenáno už v kapitole 2., je nepřetržitý proud nabitých částic, který má velký vliv zejména na magnetosféru Země. Jelikož se jedná o nabitě částice, je patrné že nejen ionizují atmosféru (polární záře), ale mohou poškodit i lidské výdobytky.

Nejvýraznější projev sluneční aktivity – sluneční erupce – může mít obrovské následky, pokud materiál jí vyvržený dosáhne Země. Obdobně jako sluneční vítr je tento materiál tvořen nabitými částicemi, avšak o daleko větší koncentraci. Představíme-li si nabitou částici, víme, že okolo ní se vytváří elektrické pole. Pokud budeme touto nabitou částicí pohybovat, indukuje se v jejím okolí i pole magnetické. Pohybem materiálu z erupce se tedy indukuje v jeho okolí elektromagnetické pole, a potom mluvíme o elektromagnetické bouři. Rozhlédneme-li se okolo sebe, zjistíme, že náš okolní svět je plný techniky, a tudíž elektronických systémů a součástek. Tyto věci jsou samozřejmě na takovéto jevy citlivé.

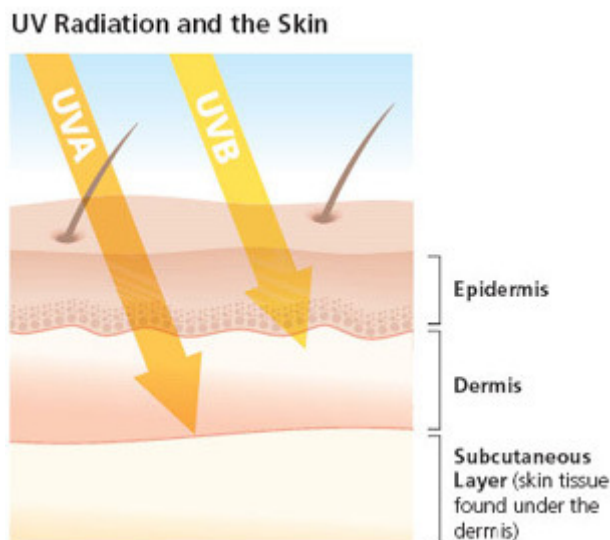
Země a život na ní, včetně techniky, je neustále vystaven vlivu sluneční aktivity. Následující kapitoly jsou zaměřeny na tento vliv a to jak kladný tak i negativní.

### 3.1 Vliv na život

Život na Zemi vznikl za velkého přispění Slunce. Díky němu probíhá fotosyntéza, která byla způsobem příjmu energie prvních primitivních organismů, které tak nevědomky započaly zvyšovat koncentraci kyslíku na Zemi. Tím zlepšily podmínky pro vznik vyšších organismů a rostlin a jejich evoluci.

Na život má přímo vliv pouze sluneční záření. Na lidský život má větší dopad poškození techniky, na které je dnešní lidstvo závislé. Jelikož se intenzita slunečního záření mění jak během roku, tak i s přibývajícím časem od vzniku Slunce (od jeho vzniku se výkon Slunce zvýšil o okolo 20 %), tak se tyto změny projeví i na živých soustavách. Mění se nejen intenzita viditelného záření ale i UV záření, jehož škodlivé účinky jsou prokázány. UVB záření má i smrtelné účinky na živé organismy. Energie tohoto záření je schopna narušit nebo zcela poškodit například bílkoviny nebo jiné pro život nezbytné organické sloučeniny. Takové poškození může mít fatální následky pro metabolismus a může způsobit i rakovinu. U člověka má toto záření největší dopad na kůži a na oči. Největší vliv má samozřejmě na jednodušší organismy, jako jsou jednobuněční. Tyto drobné organismy může toto záření naprosto zahubit. Poškozuje i vodní organismy, protože je schopno proniknout i několik metrů pod vodní hladinu. Co se týče rostlin, je zde také nezanedbatelný vliv. Má vliv na průběh fotosyntézy a na vzrůst rostlin, což může mít citelný dopad na úrodu zemědělců. Pokud by se intenzita UVB záření dlouhodobě zvýšila, mohlo by to mít nedozírné následky na živé organismy. Každý organismus je tomuto záření různě odolný, mohlo by dojít k vymírání druhů a tím k narušení biodiverzity. Dopad UVB záření je tedy očividně velmi škodlivý a to proniká jen několika vrstvami buněk. Záření UVA prostupuje daleko hlouběji do tkání organismů a rostlinných pletiv, takže poškození jsou ještě většího rozsahu, než poškození UVB. Toto záření má i ionizující účinky.

UVC a UVB záření může způsobit zánět rohovky a zarudnutí pokožky, UVA záření zákal čočky. Světlo o vlnové délce UVA záření a větší způsobuje popálení pokožky. Při vystavení oka vlnové délce větší než 400 nm dochází k degeneraci barevného vidění a popálení sítnice. Při vlnové délce větší jak 800 nm může záření způsobit zákal rohovky či dokonce její popálení [11]. Na následujícím obrázku (Obr. 21) je vidět jak hluboko proniká UVA záření do pokožky. V těch nejspodnějších vrstvách pokožky je schopné vyvolat degenerativní procesy, které mohou skončit karcinomem kůže.



Obr. 21 – Pronikání UV záření pokožkou

Ač se to zdá po předchozím odstavci téměř nepředstavitelné, mělo UV záření pravděpodobně v evoluci i kladný přínos. Podle současných evolučních modelů je vznik a vývoj nejstarších proteinů a enzymů schopných rozmnožování připisován právě UV záření. První prokaryotní organismy na hladině pravěkého oceánu, byly neustále vystavovány vlivu UV záření. Jelikož tyto organismy tehdy ještě nechránila ozonoféra, byli hubeni UV zářením. Záření způsobovalo degenerativní změny při kopírování genetické informace a tím smrt těchto organismů. Pár jedinců ovšem přežilo a to díky syntéze enzymů, které je ochránili před ničivým vlivem záření na přenos genetické informace. Mnoho současných enzymů a proteinů je díky své podobě považováno za potomky těchto prehistorických enzymů [10].

Vlivy záření slunečního původu jsou prokazatelné. Pravděpodobně má Slunce na nás větší vliv, ale tyto důsledky nejsou ještě dostatečně prozkoumány, vysvětleny či dokázány. Můžeme si je alespoň trochu odvodit od vlivů známých. Vystavíme-li například člověka vlivu elektromagnetického pole nebo elektromagnetickému záření o frekvenci nižší než 10 MHz může dojít k porušení srdečního rytmu nebo ovlivnění funkce mozku [11]. To by mohlo vysvětlit domněnky, že při zvýšené sluneční aktivitě nebo při slunečních erupcích je zvýšené riziko infarktů myokardu. Také bylo vyzpozorováno, že elektromagnetické bouře mohou způsobit prodloužení reakční doby člověka.

## 3.2 Vliv na technologie

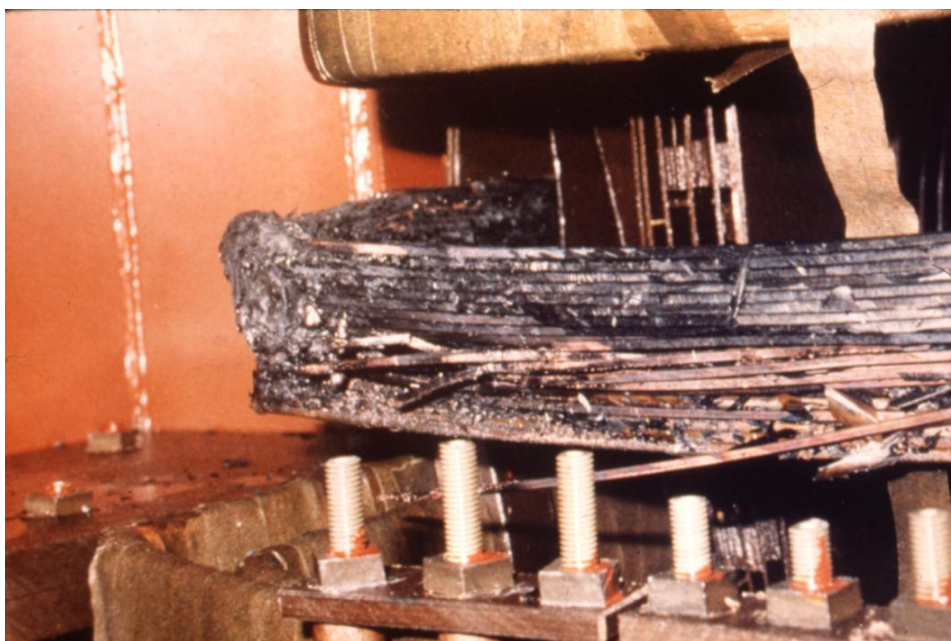
Největší vliv na lidskou techniku během zvýšené sluneční aktivity mají eruptivní procesy. Erupce jsou velmi často doprovázeny výrony hmoty. Touto hmotou se rozumí zmagnetizovaný oblak plazmatu, který je vymrštěn obrovskou rychlostí do meziplanetárního prostoru. Při srážce tohoto oblaku se Zemí, dochází ke vzniku geomagnetické bouře. Magnetosféra Země může být znatelně narušena, v okolí Země se vyskytuje velké množství nabitých částic, které mohou v polárních oblastech pronikat až do troposféry. Struktura ionosféry se pozmění a tečou jí obrovské plošné elektrické proudy, které vytváří další náhodná magnetická pole. Protonové erupce mohou proniknout až do výšek, kde se pohybují letadla. Na posádky letadel či cestující to nemá nijak výrazný vliv. Jsou ale vystaveni větší radiační zátěži než obvykle. Oproti tomu, kosmonauti, kteří by se nacházeli mimo ochrannou vrstvu magnetosféry Země, by byli vystaveni takovým dávkám záření, že by u nich došlo k velmi vážné nemoci z ozáření a velmi nepříjemné smrti [13].

Asi prvním člověkem, který byl svědkem, jaký může mít vliv sluneční aktivita na Zemi, byl astronom Richard Carrington. V roce 1859 byl svědkem sluneční erupce a následků geomagnetické bouře. Zaznamenal, že elektrické přenosové kabely způsobovaly požáry v telegrafních kancelářích a polární záře byly tak jasné, že se při jejich světle daly číst noviny a byly viditelné až na Kubě. Pokud by k takové bouři došlo dnes, mohlo by to způsobit škody za 1 až 2 biliony dolarů na dnešní technologicky závislé civilizaci. Pro srovnání hurikán Katrina způsobil škody „jen“ za 80 – 125 miliard dolarů [12].

Tato událost byla výjimečná. K takto silným geomagnetickým bouřím dochází v průměru jednou za 500 let (odvozeno ze zkoumání vzorků ledu). Nezvykle velký efekt, který způsobila na Zemi, byl způsoben souhrou různých aspektů. Jednalo se o velmi silnou sluneční erupci a následný zmagnetizovaný oblak plazmatu – plazmoid – měl cestu k Zemi usnadněnou, protože této události předcházela jiná, která vyčistila trajektorii plazmoidu. Díky tomu dorazil k Zemi za pouhých 18 hodin (normálně 3-4 dny). Efekt byl znásoben faktem, že plazmoid měl jižní polaritu, opačnou než geomagnetosféra, takže stínění bylo minimální. Intenzita magnetického pole plazmoidu se pohybovala okolo – 1800 nT, což je velmi vysoká hodnota. Běžně tato intenzita dosahuje  $\pm 100$  nT. Aby na Zemi došlo k výpadkům v infrastruktuře, musí intenzita dosahovat hodnot okolo – 300 nT [13].

Další významnou událostí byla geomagnetická bouře 14. 5. 1921, při které bylo narušeno telegrafické spojení v USA, Evropě a na Novém Zélandu. Bouře nepřímo způsobila i četné požáry. Odhadovaná intenzita magnetického pole plazmoidu, který tuto událost způsobil, byla – 900 nT.

K poslední zaznamenané události došlo 13. března 1989. Intenzita magnetického pole plazmoidu se tehdy pohybovala okolo – 589 nT a způsobila energetický rozpad sítě v kanadském Quebecu. Výpadek proudu trval 9 hodin a značné části území byli bez proudu i po dvou dnech. K poruchám došlo i v USA v New Jersey. Tam v jaderné elektrárně Salem vyhořelo vinutí 500 kV transformátoru. Takhle rozměrné transformátory jsou vyráběné na zakázku a není tedy v případě poškození dostupná okamžitá náhrada. Transformátor tohoto typu se vyrábí přibližně 12 měsíců. Stávající transformátory však lze vybavit ochranou snižující možnost poškození indukci parazitních proudů [13]. Na následujícím obrázku (Obr. 22) je vidět, jaké poškození způsobila geomagnetická bouře na jednom z transformátorů.



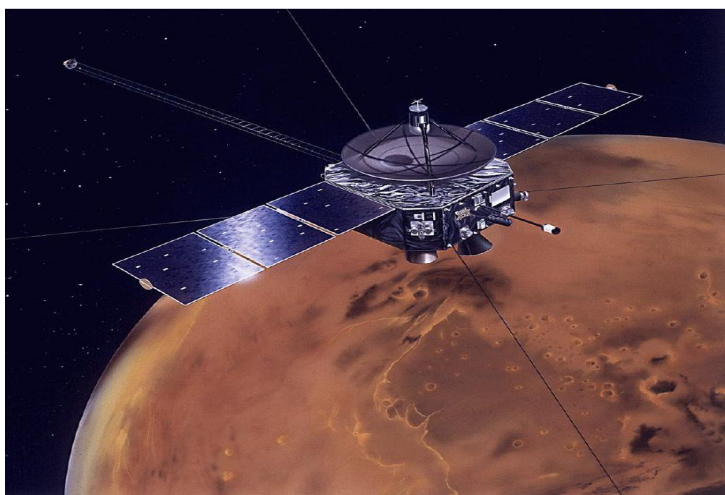
Obr. 22 – poškozený transformátor v elektrárně Salem, New Jersey

První lidskou technologií, která bývá poškozena při střetu se zmagnetizovaným oblakem, jsou satelity na oběžné dráze Země. Na satelitech je závislá část komunikačního systému, GPS navigace nebo také televizní přenosy. Jejich poškození tedy lidé okamžitě pocítí.

Satelity se pohybují ve výšce 36 000 km nad zemským povrchem. Při geomagnetické bouři je ochranná magnetosféra směrem ke Slunci ztenčena. Někdy až na polovinu klidové hodnoty, která činí přibližně 70 000 km. Družice jsou v takovém případě vystaveny plnému proudu nabitých částic ze Slunce. Tyto nabitě částice způsobují velké problémy. Miniaturní součástky, ze kterých jsou zkonstruovány přístroje uvnitř satelitů, jsou velmi citlivé na prolétávající částice. K těmto částicím patří i jádra helia, která mohou mechanicky poškodit počítačové čipy. Všechny částice také působí jako nechtěný šum na tištěných spojích. Takto zasažená družice může špatně zareagovat na řídicí signál (může vzniknout i signál zcela falešný), což vede ke ztrátě kontroly nad družicí.



Když oblak narazí na družici, dochází k průchodu částic. Rozložení částic není homogenní a různými částmi satelitu prochází různé množství částic a tak dochází k diferenciálnímu nabíjení. Rovnovážný stav se někdy může obnovit samovolně díky obloukovým výbojům, které ale také poškozují elektronické součástky. Pokud by k takovému vybití obloukem došlo v citlivé části řídicí elektroniky, může to mít pro družici fatální následky. Těžké částice, jako jsou jádra helia, také poškozují solární baterie a snižují jejich životnost. Bylo zaznamenáno několik případů, kdy byly satelity zničeny kompletně. Jedním takovým případem byla americká družice AT&T Telstar 401, která byla zničena 10. 1. 1997. Když Japonsko vyslalo na Mars sondu NOZOMI (Obr. 23), byla 21. 4. 2002 zasažena proudem nabitých částic a došlo k poruše řídicích systémů. Po několika neúspěšných pokusech o nápravu byla sonda v prosinci 2003 vyřazena z provozu. Poslední ztrátou byla telekomunikační družice Galaxy 15, kterou jsme ztratili 5. 4. 2010. Sluneční aktivitě je připisována i ztráta satelitu SKYLAB v roce 1979 [13].



Obr. 23 – Japonská sonda NOZOMI

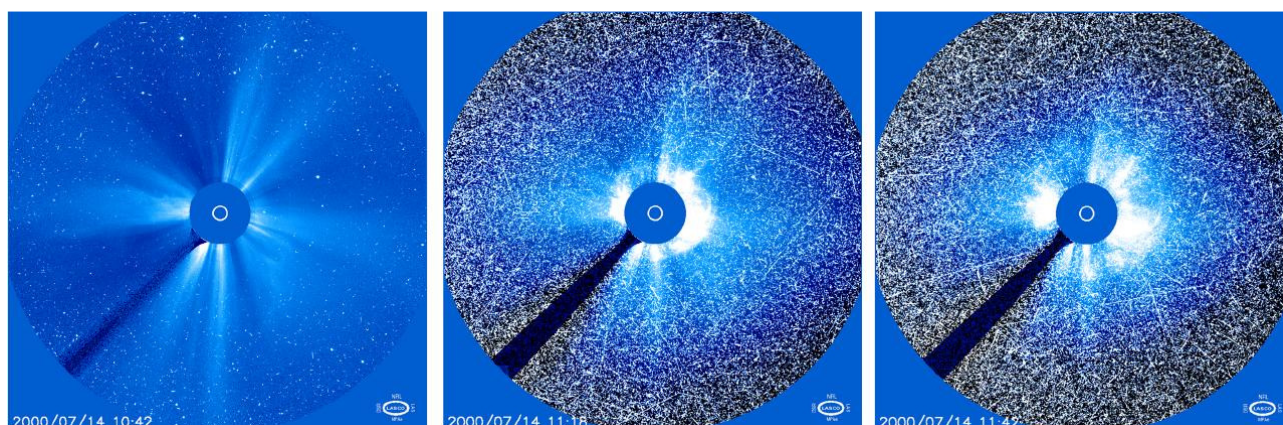
Telekomunikační spojení je dnes částečně zajišťováno družicemi, zbylá část je přenášena pomocí vzduchu. Jak už jsme zjistili, družice jsou v ohrožení, ale i přenos dat vzduchem může být narušen, kvůli změnám v ionosféře. Můžou tak být rušeny rádiové přenosy, především na dlouhých vlnových délkách. Velmi ovlivněna je komunikace pilotů s řízením letového provozu, a proto jsou lety v období geomagnetických bouří odkláněny od polárních oblastí. V průměru jsou z těchto důvodů odkloněny dva až tři lety měsíčně. Ke zkreslení informací dochází i u armádní techniky, například u radarových přijímačů nebo detekčních systémů ponorek. U pozemní rádiové navigace, které pracují na dlouhých vlnových délkách, může docházet i ke kilometrovým odchylkám. Navigace GPS je postižena odchylkami v řádech metrů.

K problémům dochází i na drátovém spojení. Na dlouhých vodičích snadněji dochází k indukci elektrického proudu, která může rušit přenášený signál, přetížít přenosovou síť a poškodit další zařízení na síť připojených.

Na elektrickém vedení může také docházet k indukci velkých proudů. Následkem toho může dojít k přetížení rozvodných sítí, k poškození připojených zařízení (jako jsou například transformátory) a nakonec může dojít k rozpadu energetické sítě. Poškození transformátorů mají kumulativní efekt, a tudíž dochází k výpadkům i při slabých bouřích. Při geomagnetických bouřích může docházet k indukci proudů i na kovových trubicích. Indukují se tak proudy i na ropovodech a plynovodech, na nichž zesiluje korozi kovových částí. Odhaduje se, že takovéto události snižují životnost ropovodů a plynovodů až na polovinu [13].

Rušení způsobené geomagnetickými bouřemi vyvolává na některých zařízeních falešné signály. V Rusku například došlo několikrát k tomu, že zabezpečovací zařízení na železnicích zaznamenalo falešnou vlakovou soupravu. Naštěstí nikdy nedošlo k opačnému jevu, že by se ztratila z dohledu skutečná souprava [13].

Erupce se nedají předpovídat na dlouhou dobu dopředu. Úspěšnost krátkodobých předpovědí na několik málo dní dopředu se dnes pohybuje v rozmezí 80 – 85 %. Kosmické počasí je tak neustále sledováno operátory rozvodných společností, řízením letového provozu i armádou, z důvodu včasné reakce na potenciální ohrožení. Při výskytu erupce je plazmoid po celou dobu sledován. Minimální doba jeho letu je 20 hodin, což nám dává dostatečně velkou rezervní dobu na protiopatření. Časticové detektory na družicích SOHO, ACE a WIND měří hustotu, rychlost a intenzitu magnetického pole, tedy nezbytné údaje pro odhad možného ohrožení. Na následujících obrázcích (Obr. 24) vidíme, jak putující částice zaznamenává detektor na družici SOHO.



Obr. 24 – Záznam prolétávajících částic družicí SOHO

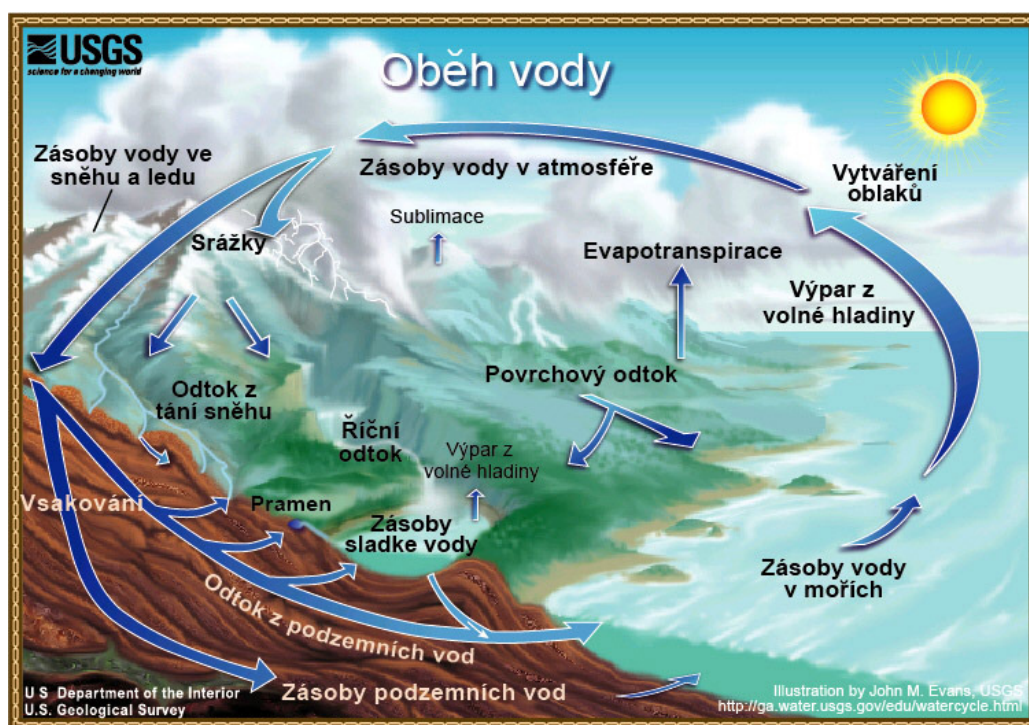
Kdyby došlo k události podobné té z roku 1859, mělo by to obrovský dopad na dnešní infrastrukturu. Na nějakou dobu by vypadly části komunikačních systémů, počítačových sítí, elektrických rozvodů a to minimálně v severských zemích. Pro společnosti, které nemají v zásobě záložní řešení, by taková bouře měla fatální následky a náprava by mohla trvat i několik let.

Erupce podobné velikosti je málo pravděpodobná, ale nebylo by moudré toto riziko ignorovat. Systém varování je na takové úrovni, že žádná společnost by neměla být překvapena, až k něčemu takovému dojde. Firmy, které nemají vypracovány záložní plány pro tyto krizové situace, by měly vyvinout nějaké úsilí na jejich tvorbu. Bezpečnostní opatření, které by zamezila, případně zmírnila, dopad geomagnetických bouří na technologie, jsou známá a relativně levná. Firmy, které jsou na tyto situace připraveny, budou schopny po výpadku znovu plně obnovit provoz [13].

Zdá se, že Slunce lidstvu škodí nemalým způsobem. Škody stejné, mnohdy i větší, způsobují mnohem častěji další přírodní děje, jako jsou bouřky, sucha, tornáda, povodně, hurikány, mrazy a podobně.

### 3.3 Vliv na přírodu

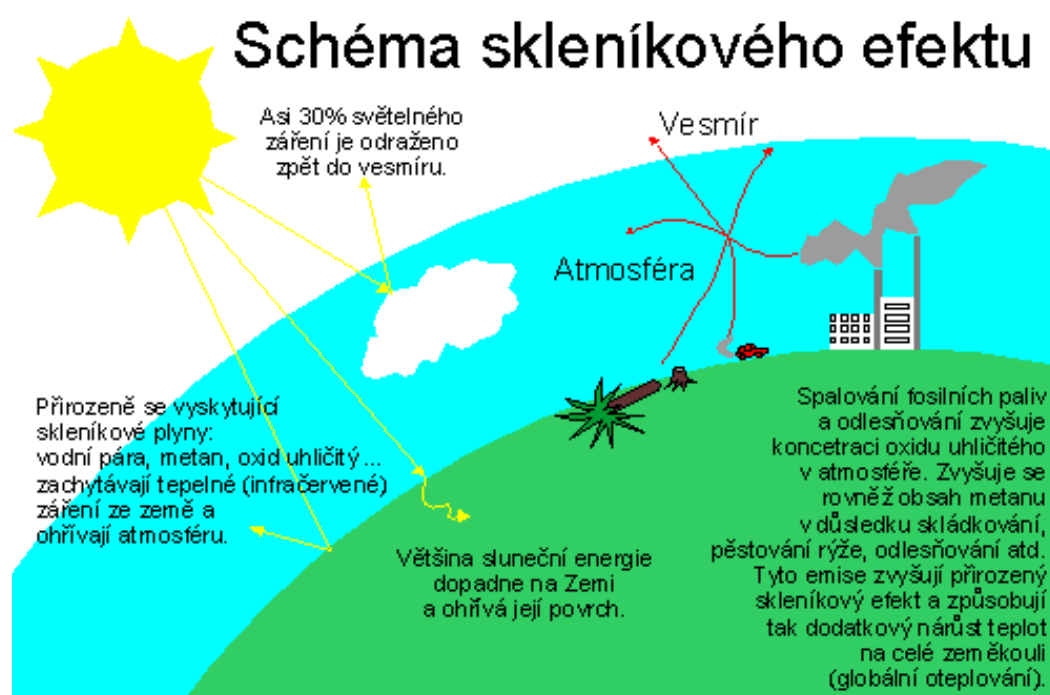
Sluneční aktivita má na přírodu a procesy v ní obrovský vliv. Plno přírodních pochodů je poháněno sluneční energií.



Obr. 25 – Koloběh vody v přírodě

Koloběh vody je jeden z nejvýraznějších. Voda se vypařuje z velkých vodních ploch, jako jsou jezera, moře a oceány, ze zemského povrchu a z rostlin díky slunečnímu záření vypařuje. Dostane se do ovzduší, které se pohybuje díky nestejnému zahřívání vzduchu a následně kondenzuje a dopadá zpět na zemský povrch. Na obrázku (Obr. 25) je graficky znázorněn koloběh vody v přírodě. I na dalších pohybech vody, jako je příliv a odliv se Slunce podílí.

Další přírodní děj, na který má vliv sluneční aktivita je skleníkový efekt (Obr. 26). Při tomto efektu dochází k ohřívání planety. Zemská atmosféra propouští světelné záření na povrch Země a to ho ohřívá. Povrch zpátky vyzařuje tepelné záření, které má větší vlnovou délku a je atmosférou pohlcované. Skleníkový efekt je na Zemi přítomný skoro od doby jejího vzniku. Nebýt tohoto efektu a přítomnosti skleníkových plynů, pohybovala by se teplota na Zemi pod bodem mrazu, tudíž je nezbytný pro život. Skleníkový efekt velmi přispívá ke globálnímu oteplování, k němuž přispívá i lidská činnost, jako je spalování fosilních paliv, avšak míra tohoto příspěvku je neustálým důvodem sporů.



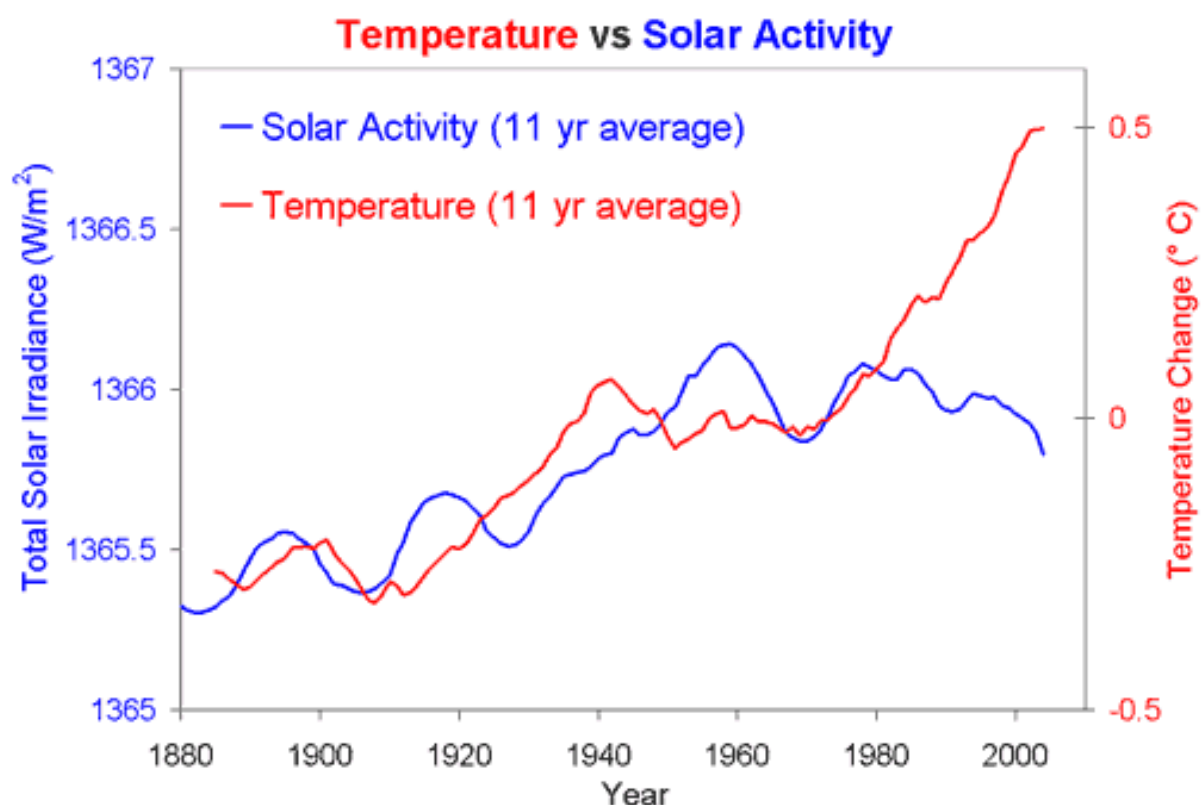
Obr. 26 – Schéma skleníkového efektu

Co se týče diskuze nad příčinami a důsledky oteplování zemské atmosféry, je svět rozdělen na dva tábory. Oba disponují vědecky podloženými argumenty, ale tento problém zatím nemá jasný závěr. Argumentem strany popírající zásadní vliv člověka, je převaha vlivu Slunce. Výkyvy sluneční aktivity mají na klima na Zemi prokázáný měřitelný vliv. Při dlouhodobě snížené aktivitě Slunce jsou i průměrné teploty na Zemi nižší. Původcem změn teploty jsou patrně nabitě částice s vysokou energií, které mohou fungovat jako kondenzační jádra a tím způsobují větší výskyt oblačnosti v tropech a subtropích. Takové zvýšení oblačnosti se projevuje snížením teploty na Zemi. Za příklad tohoto působení můžeme uvést zvýšení sluneční aktivity v 10. století, kdy se z Grónska stala zemědělská kolonie, a jako další příklad období Maunderova minima, které je

označováno jako malá doba ledová, kdy v Evropě klesla teplota natolik, že zamrzalo i Baltské moře nebo řeka Temže [14].

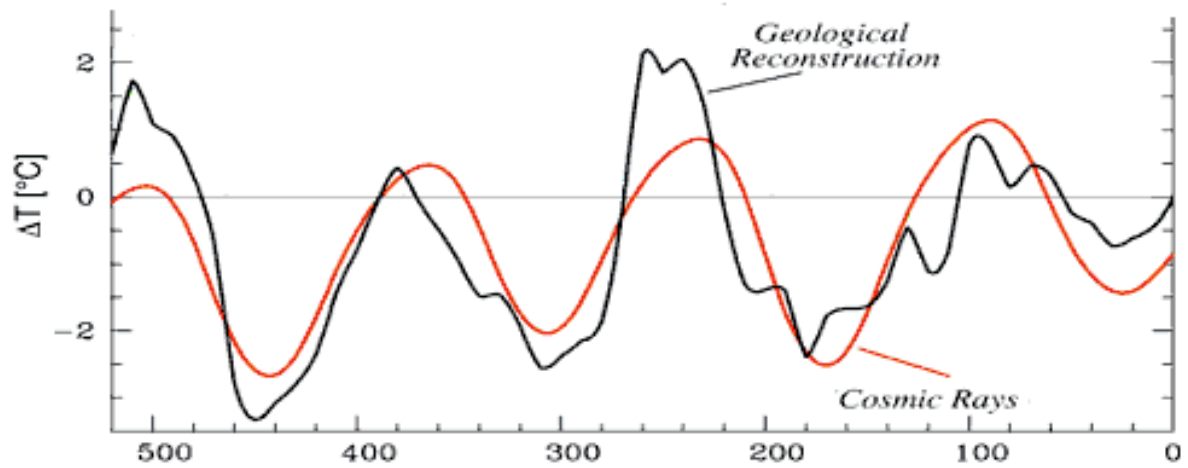
Změna globálního klimatu by mohla mít obrovský dopad na lidstvo. V dlouhodobém měřítku řídí klima na Zemi jednoznačně Slunce. Není to však způsobeno změnami aktivity Slunce, ale vývojem Slunce, které se mění. Jako každá hvězda i Slunce postupně mění své chemické složení, čímž se mění i podmínky pro udržení rovnováhy. Na tyto změny reaguje Slunce změnami vnitřní struktury, teploty i poloměru. S postupujícím stářím tyto změny probíhají rychleji. Pokud spojíme předpokládaný sluneční vývoj s termodynamikou zemské atmosféry, zjistíme, že kdyby došlo k 10 % nárůstu slunečního zářivého výkonu, způsobilo by to tak mohutný skleníkový efekt na Zemi, že by se vypařila povrchová voda. Je celkem jisté, že v daleké budoucnosti k takové změně dojde a vliv člověka bude oproti tomuto efektu nepatrný.

Z následujícího obrázku (Obr. 27) je patrné, že kolísání sluneční aktivity nemá zásadní vliv na kolísání teploty na Zemi. V některých částech grafu je patrné, že křivky nemají mezi sebou viditelnou závislost.



Obr. 27 – Vývoj sluneční aktivity a průměrné teploty na Zemi

Na následujícím grafu (Obr. 28) je vynesena závislost míry zářivého toku kosmického záření zahrnujícího sluneční zářivý tok, na průměrné teplotě 500 milionů let do minulosti. Tato historická data byla získána z výzkumu ledovců.



Obr. 28 – Závislost teploty na kosmickém záření

## 4. Závěr

Cílem této práce byla rešerše poznatků o sluneční aktivitě, jejím průběhu v minulosti, předpokládaném vývoji v blízké budoucnosti a vlivů, které sluneční aktivita má na život na Zemi. Sluneční aktivita je souhrn složitých jevů, které jsou na sobě závislé a různě se ovlivňují. Některé projevy jsou výraznější, jiné méně, ale jejich význam je nezanedbatelný. Sluneční aktivita je velmi proměnlivá a mnohé výkyvy a nesrovnalosti dosud nejsme schopni vysvětlit. Nazývat námi nepochopené události v historii sluneční aktivity výkyvy či extrémny, se mi zdá scestné, protože za svoji neznalost si můžeme sami.

V pochopení některých jevů sluneční aktivity, či v pochopení Slunce samotného, nám určitě brání i neznalost zásadních přírodních jevů, které nechápeme. Mám tím na mysli například magnetické vlastnosti látek a magnetické pole, jehož chování jsme schopni popsat, jsme schopni ho využívat, ale neznáme příčinu jeho vzniku. Z práce je patrné, že magnetické pole hraje nezastupitelnou roli ve veškerém dění na Slunci i v efektech, které způsobuje jeho aktivita.

Zkoumání sluneční aktivity v minulosti nám pomohlo vysvětlit plno historických událostí především přírodního charakteru, některých i s dopadem na lidstvo. Hledáním nějakého smyslu v událostech na Slunci, se nám podařilo objevit magnetický sluneční cyklus a to jak ten falešný tak i ten pravý. I v těchto cyklech dochází podle nás k výchyilkám, které ale mohou být naopak znamením, že naše domněnky nejsou zcela správné.

Co se týče předpovídání sluneční aktivity v budoucnosti, vše podstatné bylo řečeno v kapitole tomu určené. Dovolím si jen znovu podotknout, že naše metody předpovědí jsou založeny pouze na projevech sluneční aktivity a jejich souvislostech a ne na jejich příčinách, které bohužel často ani neznáme.

Vliv Slunce a jeho aktivity na celou sluneční soustavu je nepopíratelný. Z velké části naše soustava vypadá tak jak vypadá díky přítomnosti Slunce. Je to ohromné těleso ovlivňující nás nejen gravitační silou, ale i svojí aktivitou. Možná jsou tu i další dosud neobjevené efekty přítomnosti Slunce a jeho aktivního života.

Na život jako takový má sluneční aktivita velký vliv a to jak kladný, tak i záporný. Troufám si tvrdit, že ten kladný převyšuje negativní dopad. I drobné organismy byly schopné se Slunci přizpůsobit a přežít. Člověk si ve většině případů, může za poškození svého těla sluneční aktivitou, zcela sám. I když jsou prokázány negativní vlivy slunečního UV záření, vypadá to, že si z toho nikdo nevzal ponaučení.

Vliv na lidskou techniku má pouze negativní charakter. Jako negativní to vnímáme především my lidé, protože jsme na technice v některých případech až moc závislí. V určitém směru si myslím, že jsou ale tato poškození dobrá. Nutí nás vyvíjet prostředky jak před vlivem sluneční aktivity svoje technologické výtvarky ubránit a tím nás vlastně popohání v rozvoji. Jak se říká, všechno špatné je k něčemu dobré.

Myslím si, že příroda nerozlišuje dobrý a špatný vliv, jaký na něj sluneční aktivita má. V přírodě se vše navzájem ovlivňuje a tak to je správné, funguje to tak miliardy let. Jako negativní to označují opět pouze lidé a to většinou v případech když jde o škody na majetku nebo o ztrátu peněz. Příroda je soběstačný systém, který se na rozdíl od lidstva, je schopen sám regulovat. I takové děje jako povodně, rozsáhlé požáry, skleníkový efekt nebo globální oteplování jsou podle mého soudu přirozené přírodní procesy a za katastrofy je označujeme jenom proto, že škodí nám.

Úplným závěrem bych chtěla říct, že ač se zdají naše poznatky o okolním světě být bohaté, není tomu tak. Ať už začneme řešit jakoukoli otázku, vždy dojdeme k něčemu, co nám ještě není známo. Nezbyvá proto nic jiného než si dál klást otázky a nechat se tak přivést k bádání nad nepoznaným. Někomu to může připadat pesimistické, že vlastně víme pouze minimum toho, co je možné znát, ale pro někoho druhého je to smysl života, objevovat odpovědi na otázky, které nám vesmír předkládá.



## 5. Seznam použité literatury

- [1] Kippenhahn, R. : *Odhalená tajemství Slunce*, Mladá Fronta, Praha, 1999
- [2] [imagine.gsfc.nasa.gov](http://imagine.gsfc.nasa.gov)
- [3] Antia, H.M, a kol., : *Lectures on Solar Physics*, Springer, 2003
- [4] Kleczek, J., : *Velká encyklopedie vesmíru*, Academia, Praha, 2002
- [5] [nasa.gov/missions](http://nasa.gov/missions)
- [6] [sdo.gsfc.nasa.gov](http://sdo.gsfc.nasa.gov)
- [7] [aldebaran.cz](http://aldebaran.cz)
- [8] [svanda.astronomie.cz](http://svanda.astronomie.cz)
- [9] [solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml](http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml)
- [10] Margulis, L., Sagan, D., : *Origins of Sex: Three Billion Years of Genetic Recombination*, Yale University Press, 1990
- [11] [zubrno.cz/studie/kap06.htm](http://zubrno.cz/studie/kap06.htm)
- [12] [phys.org/news163083874.html](http://phys.org/news163083874.html)
- [13] [svanda.astronomie.cz/publikace/pub54.pdf](http://svanda.astronomie.cz/publikace/pub54.pdf)
- [14] [svanda.astronomie.cz/publikace/pub37.pdf](http://svanda.astronomie.cz/publikace/pub37.pdf)
- [15] [astronomia.zcu.cz/hvezdy](http://astronomia.zcu.cz/hvezdy)

## 6. Seznam obrázků

Obr. 1	Slunce .....	8
Obr. 2	H-R diagram .....	9
Obr. 3	Stavba Slunce .....	12
Obr. 4	Fotosféra, chromosféra a koróna .....	13
Obr. 5	Přeměna vodíku na helium .....	14
Obr. 6	p-p II cyklus .....	15
Obr. 7	CNO cyklus.....	15
Obr. 8	Granulace.....	16
Obr. 9	Sluneční skvrny .....	17
Obr. 10	Fotografie Slunce pořízené sondou SOHO.....	18
Obr. 11	Pohyb slunečních skvrn po povrchu Slunce .....	19
Obr. 12	Protuberance .....	19
Obr. 13	Spikule.....	20
Obr. 14	Sluneční erupce .....	21
Obr. 15	Polární záře z ISS .....	21
Obr. 16	Polární záře na Kleti .....	22
Obr. 17	Ovlivnění zemské magnetosféry slunečním větrem .....	23
Obr. 18	Počty skvrn za posledních 400 let .....	24
Obr. 19	Vývoj sluneční aktivity za posledních 5000 let .....	25
Obr. 20	Předpokládaný vývoj počtu skvrn .....	27
Obr. 21	Pronikání UV záření pokožkou .....	30
Obr. 22	Poškozený transformátor v elektrárně Salem .....	32
Obr. 23	Japonská sonda NOZOMI .....	33

Obr. 24	Záznam prolétajících částic družicí SOHO.....	34
Obr. 25	Koloběh vody v přírodě .....	35
Obr. 26	Schéma skleníkového efektu .....	36
Obr. 27	Vývoj sluneční aktivity a průměrné teploty na Zemi .....	37
Obr. 28	Závislost teploty na kosmickém záření .....	38

## 7. Seznam tabulek

Tab. 1	Základní údaje o Slunci .....	10
Tab. 2	Procentuální zastoupení prvků ve Slunci .....	11