

1.1 Sluneční skvrny

Jsou to chladnější místa fotosféry. Zatímco okolní fotosféra má teplotu kolem $6\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$, teplota ve slunečních skvrnách je asi o $1\,500 - 2\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ nižší. Jenom díky teplotnímu kontrastu se nám zdají sluneční skvrny temné, ve skutečnosti z nich k nám přichází množství velmi intenzivního světla. Kdyby bylo Slunce zcela pokryté skvrnami, dopadalo by na povrch Země stále ještě 40 % dnešního jasu, což odpovídá situaci, kdy je Slunce zahalené oblačností.

Sluneční skvrny jsou ve skutečnosti oblasti s velmi silným magnetickým polem. Magnetické pole zpomaluje vyvěrající plazmu a ta pak chladne rychleji, než okolní fotosféra, čímž vlastně dává za vznik sluneční skvrně. Problematika jejich vzniku a vývoje je ve skutečnosti sice mnohem složitější, ale o to také zajímavější.

Skvrny se obvykle vyskytují ve skupinách, výjimečně osamocené. Jejich vzhled a velikosti jsou rozmanité. Větší a vyvinutější skvrny se skládají z velmi tmavého jádra (*umbry*) a světlejšího polostínu (*penumbry*). Životnost skvrn je také různá; jsou známy skvrny, které zmizely po několika hodinách, stejně jako víme o rekordmanech, kteří přežili pět otoček Slunce, tedy téměř půl roku. Zajímavé je, že skvrny nalézáme především v tzv. *královských pásech*, tedy pásech přibližně od 40° jižní heliografické šířky po 40° severní heliografické šířky. Obsazení pásů se mění s fází aktivity; s nástupem nového cyklu se skvrny objevují ve větších vzdálenostech od rovníku, končící cyklus je charakterizován mimo jiné koncentrací skupin skvrn velmi blízko slunečního rovníku.

1.2 Póry

Lze je pozorovat při velmi dobrých pozorovacích podmínkách. Jde o velmi malé tmavé body s krátkou dobou života (desítky minut), které vznikají rozšířením prostoru mezi granulemi a vyskytují se převážně v centrální oblasti disku. Z póru se může vyvinout skvrna, přesněji každá skvrna začíná jako pór, zatímco ne z každého póru musí vzniknout skvrna.

1.3 Fakulová pole

Fakulová pole jsou oblasti fotosféry, které jsou narozdíl od skvrn o něco (asi o $200\text{ }^{\circ}\text{C}$) teplejší než okolní fotosféra a zdají se nám tudíž světlejší. Obvykle jsou pozorovatelná poblíž okraje slunečního disku a typicky se vyskytují také v aktivních oblastech, kde doprovázejí sluneční skvrny. Fakulová pole žijí déle než samotné skvrny, takže v oblasti beze skvrn jsou zvěstí buď minulé, nebo budoucí skvrnové aktivity. Fakulová pole na disku zabírají vždy přibližně

8 K čemu to vlastně je?

Kresby fotosféry mají nezanedbatelný význam didaktický. Ze série kreseb lze rozpoznat, jak se skvrny mění tvarově, jak putují po povrchu Slunce, jak rychle se Slunce otáčí a podobně.

Pravidelné a kontinuální pozorování fotosféry s nástupem kosmických sond částečně ztratilo vědecký smysl. Především observatoř SOHO obíhající kolem Lagrangeova bodu L1 od roku 1995 je dnes kombajnem zásobujícím sluneční fyziky gigabajty dat denně.

Význam těchto pozorování je spíše statistický. Několik staletí trvající řada pozemských pozorování dává jedinečný materiál ke studiu dlouhodobých změn aktivity Slunce a čím dále se nám podaří tuto řadu natáhnout, tím více budeme moci o těchto změnách říci.

O skvrnách pozorovaných pouhým okem máme zprávy již ze starověké Číny z dob před naším letopočtem, proto má i pozorování tímto jednoduchým prostředkem nezanedbatelný význam v hledání návazností a změn sluneční aktivity. Statistiky ukazují, že přibližně jen 6% ze všech skvrn je pozorovatelných pouhým okem. Toto číslo mírně vzrůstá v době maxima aktivity, tudíž zvýšený výskyt skvrn viditelných pouhým okem je ukazatelem maxima cyklu.

V roce 1978 vznikl z popudu Dr. Ladislava Krivského z Astronomického ústavu v Ondřejově projekt *Fotosferex*, který měl za cíl shromažďovat denní kresby Slunce a vydávat týdenní předpovědi aktivity. Projekt nabral takových rozměrů, že se s pomocí mnoha pozorovatelů podařilo pokrýt kresbami prakticky každý den v roce.

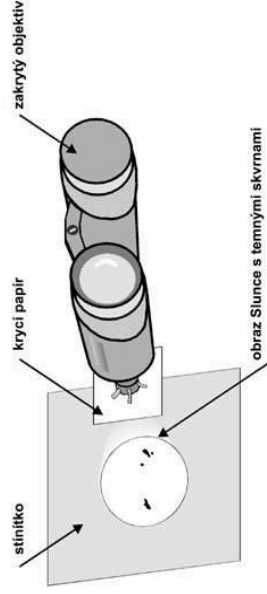
Dnes tento projekt již v podstatě neexistuje. Nicméně relativní čísla jako jeden z faktorů charakterizujících sluneční aktivitu jsou dodnes určována z vizuálních pozorování - tedy z nakreslených sluníček. Definitivní relativní číslo je určováno statisticky - z tisíců zasláných pozorování. Dnes se pro vyhodnocování již neposílá zakres fotosféry, ale pouze tabulka obsahující souřadnice jednotlivých skvrn. Tabulky jsou zpracovávány elektronicky a výsledkem celé procedury je jedno jediné číslo.

9 Kam svá pozorování posílat?

Pozorování pouhým okem sbírají na Hvězdárně ve Valašském Meziříčí nebo na Hvězdárně hlavního města Prahy na Petříně.

O způsobu, jakým se zasílají zpracované tabulky ze zákresů je třeba se aktuálně informovat, neboť se tu a tam mění. Informaci poskytnou např. pracovníci patroly slunečního oddělení Astronomického ústavu AV ČR v On-

nebo přístroje, fantazii se při výrobě příslušného nástavce nebo celé montáže meze rozhodně nekladou. Že není problém při projekci použít i obyčejný triér ukazuje následující obrázek (autor Jiří Dušek).



4 Zákresy fotosféry projekcí

V zásadě je dobré dodržovat obecná pravidla, zvláště v případě, pokud chceme svá pozorování posílat na vědecké ústavy. Pro vlastní potřebu si můžeme zvolit vlastní konvenci, kterou je pak ale dobré dodržovat, aby materiál byl víceméně homogenní.

Slunce zakreslujeme do protokolů o průměru 25 cm, pokud to není z nějakého důvodu možné, zakreslujeme do polovičního, tedy 12,5 cm, kruhu. Dalekohled, na kterém zakreslujeme, by měl mít paralaktickou montáž s pohonem - v opačném případě jen velmi těžko kresbu zorientujeme a budeme se vědomě dopouštět velkých chyb v přesnosti zákresu. Dalekohled by měl mít průměr objektivu alespoň 5 cm a ohniskovou vzdálenost objektivu alespoň 80 cm. Při zakreslování se snažíme maximálně eliminovat přímé i boční světlo - například použitím clony nebo závěsu. Protože se průměr disku Slunce během roku mírně mění, měla by montáž mít možnost změny vzdálenosti projekčního stínítka od okuláru, aby disk Slunce vždy plně zabíral vymezený kruh v protokolu.

Abychom se obešli bez sáhodlouhého experimentování se vzdáleností stínítka od dalekohledu a s ostřením, lze s výhodou využít následující vzorečky a vhodné zvolit parametry a a b .

Pro průměr obrazu 25 cm platí:

$$a = f(1 + 0.000373 F), \quad b = f(1 + \frac{2683}{F}), \quad (1)$$

pro průměr obrazu 12,5 cm pak:

$$a = f(1 + 0.000745 F), \quad b = f(1 + \frac{1342}{F}), \quad (2)$$

V době moderní techniky již není úplně nutné počítat všechny tyto údaje ručně na kalkulačce nebo s tabulkou. Je naprosto přirozené napsat si na výpočet program, nebo se spolehnout na již napsaný software. Jedním z takových je program *Sum* od Petra Kubánka (pkubanek@bajt.cz), který pracuje pod systémem MS Windows 3.0 nebo vyšším. Zpracování zákresu v tomto programu je pak mnohem jednodušší.

S tabulkou heliosférických souřadnic jednotlivých skvrn již můžeme začít různě.

7 Kreslíme synoptickou mapu

Jednou z možností, jak samostatně zpracovat výsledky svých pozorování je sestavení synoptické mapy sluneční fotosféry. Tímto způsobem lze získat velmi dobrý přehled o četnosti a rozložení jevů pozorovaných na slunečním disku.

Synoptická mapa není ničím jiným, než grafickým vyjádřením polohy slunečních skvrn (a fakulových polí). Podmínkou k jejímu úspěšnému vytvoření je tabulka s vypočítanými heliografickými souřadnicemi skvrn nejlépe z ucelené série zákresů. Již za necelé tři týdny kreslení lze kresbami postihnout celou jednu otočku Slunce. Úspěšné zvládnutí celé práce se odvíjí od správného začátku a pečlivého rozvržení veškerých dílčích činností.

Polohy slunečních skvrn vynášíme do zvolené souřadnicové sítě (s výhodou lze využít milimetrového papíru, nejlépe formátu A3).

Při kreslení mapy je dobré vzít v úvahu, že výskyt slunečních skvrn je v šířce omezen *královskými pásy*, zatímco v délce omezen nijak není (nanejvýše otočkou nebo sérií zákresů). Z toho vyplývá volba měřítka synoptické mapy. Nemá smysl použít v mapě souřadnice až k severnímu a jižnímu pólu, protože do těchto oblastí stejně žádné skvrny nezakreslíme (protože se tam nevyskytují).

Kromě volby měřítka je důležitý také směr os. Pro zjednodušení práce je výhodné zakreslovat skvrny v takovém pořadí, v jakém je máme na zákresech. Lapidárně řečeno je pro nás schůdnější zakreslit skvrnu „vpravo“ opět „doprava“, než ji zrcadlově transformovat na druhou stranu. Typicky se budeme setkávat s problémem, že heliografická délka l skvrn postupně vycházejících za východním okrajem bude s časem ubývat. Z toho důvodu je třeba si rozmyslet, jestli budeme hodnoty heliografické délky vynášet stupně nebo vztupně (s tím souvisí volba orientace, tedy zda bude x-ová osa začínat nulou a přibývat až do 360°, nebo jestli bude naopak začínat hodnotou 360° a postupně se snižovat k nule (troufám si tvrdit, že toto řešení bude mnohem častější)).

Problémy při výpočtech L_0 mohou vznikat v okamžiku, kdy v čase kolem pozorování zrovna dochází k začátku nové rotace, pak musíme hodnotu heliografické délky opravit o vhodný násobek 360° .

Vezměme si například situaci o pár dní později. Řekneme, že zakres pochází z 10.7.2001 10:00 UT. V Hvězdářské ročence najdeme pro heliografické délky středu slunečního disku tyto hodnoty:

Datum	L_0
10. července 2000	7.0
11. července 2000	353.8

Abychom se vyhnuli skoku z 0° na 360° , připočítáme k první hodnotě opravu 360° . Získáme posměněnou tabulku:

Datum	L_0
10. července 2000	367.0
11. července 2000	353.8

S těmito hodnotami již operujeme tak, jak jsme zvyklí:

$$L_0 = 367.0 + \frac{10 : 00}{24 : 00} (353.8 - 367.0) = 367.0 + \frac{10.0}{24} (353.8 - 367.0) = 361.5$$

Tuto hodnotu opravíme do intervalu $< 0^\circ, 360^\circ$ odečtením 360° . Výsledná hodnota L_0 je tedy 1.5.

- **číslo** pozorování, na které si můžeme zavést libovolné vlastní číslování, obvyklé je *pořadí v roce/rok*
- **datum, čas, pozorovací podmínky** a **obraz** již máme vyplněné

Nyní zakreslíme do protokolu rotační osu Slunce a sluneční rovník. K kreslu rotační osy využijeme úhlovou stupnici po obvodu zakreslovacího protokolu a hodnotu P , kterou jsme si již spočítali. Pokud je P kladné, vynásíme jej ve směru hodinových ručiček, pokud záporné, pak proti směru hodinových ručiček. Sluneční rovník bude na tuto osu kolmý a bude procházet středem zakreslovacího kruhu.

Dále provedeme seskupení skvrn do skupin (skvrny, které spolu vývojově souvisí; skupiny jsou typicky bipolární, tedy mají nejvývinutější skvrnu zvanou *vedoucí* na nejzápadnějším okraji a pak druhou nejvývinutější *chvostovou* na východním okraji). Skupiny dáme „do chlívčků“ a očísujeme; obvyklé je číslování od západu k východu od jedničky pro každou kresbu, nebo pořadovými čísly všech skupin od začátku roku (příp. od začátku všech pozorování apod.). Teprve potom se pustíme do dalšího vyplňování kolonek protokolu:

- **g** je počet skupin skvrn, póry nepočítáme mezi skvrny
 - **f** je počet všech skvrn
 - **R** je Wolfovo *relativní číslo*, které vypočítáme jako $R = 10g + f$
 - **g_c**, **f_c** a **R_c** je totéž jako předcházející, pouze pro centrální část disku (vnitřní kruh). Pokud skupina do centrální části patří jednou jedinou skvrnou, již ji počítáme úplně celou!
- Někdy se počty skupin, skvrn a relativní čísla určují ještě zvlášť pro severní (index N) a jižní (index S) hemisféru disku, na ty však nejsou vyhrazeny kolonky a vepíšeme je ručně někam do formuláře. Pokud skupina překračuje rovník, přiřadíme ji na tu polokouli, na které leží větší svou polovinou.

- hodnota **F** je počet všech fakulových polí na kresbě

Dále pro každou skupinu určíme její typ (podle McIntoshovy klasifikace) a počet skvrn a údaje zapíšeme ke skupině ve tvaru zlomku (*typ/počet skvrn*).

McIntoshova klasifikace:

A Malá ojedinelá skvrna nebo unipolární skupina, žádná skvrna nemá penumbry; převážně krátká doba existence.

B Bipolární skupina s menším počtem skvrn bez penumbry. Osa skupiny je většinou orientována ve směru E - W.

C Bipolární skupina s nevelkým počtem skvrn s penumbrou na jednom konci (většinou vedoucí skvrna).

D Bipolární protáhlá skupina s penumbry na obou koncích, skupina nepřesahuje 10° heliografické délky. Je zřetelně patrná vedoucí a chvostová skvrna s jednoduchou strukturou. Patří sem také skupiny podobné C a H, ale penumbra hlavní skvrny musí přesahovat 5° v délce.

E Bipolární skupina s větším počtem skvrn, složitě penumbry na obou koncích, možnost společné penumbry pro více umber; mezi hlavními skvrnami se vyskytuje mnoho skvrn, některé i s penumbrou; délka od 10° do 15° heliografické délky.

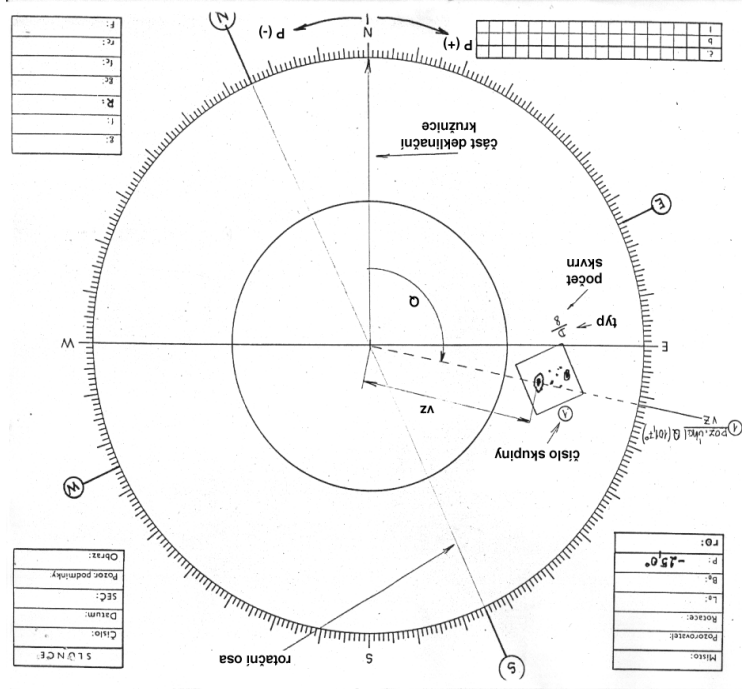
F Složitá bipolární skupina s mohutnými penumbry na obou koncích, doplněná komplexem nepravidelných skvrn s penumbry i bez nich; v délce přesahuje 15° heliografické délky.

3. vypočteme heliografickou šířku b a heliografickou délku l skvrny podle vzorců:

$$b = \arcsin(\sin B_0 \cos \rho + \cos B_0 \sin \rho \cos(P - Q)) \quad (4)$$

$$l = \left(\arcsin \frac{\sin \rho \sin(P - Q)}{\cos b} \right) + L_0 \quad (5)$$

4. získanou hodnotu vyneseme do tabulky v protokolu (není povinné).



Ukázka zákresu: všimněme si zejména vzhledu formuláře a příslušných kolonek, orientace vynášení P a polárních souřadnic skvrny (polárního úhlu Q a vzdálenosti od středu disku v_2). Autor F. Zloch

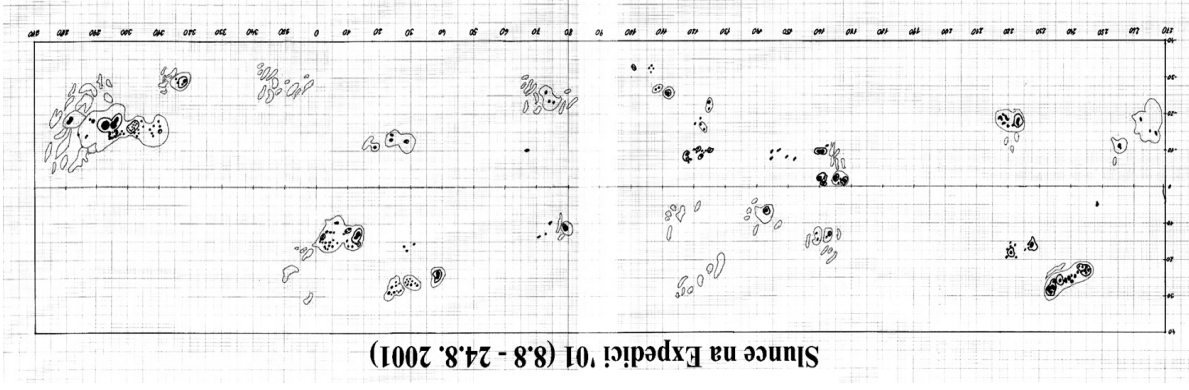
kde pro oba případy je a vzdálenost okuláru od ohniskového obrazu Slunce vytvořeného objektivem, b vzdálenost projekčního stínítka od okuláru, f ohnisková vzdálenost okuláru a F ohnisková vzdálenost objektivu. Všechny údaje jsou v centimetrech.

Při zakreslování je potřeba maximálně využít denní dobu a jestliže nejsme v činnosti ničím omezeni (např. ranním odchodem do práce), vybírat si nejvýhodnější podmínky. Nejlepší pozorovací podmínky bývají ráno po východu Slunce a večer před západem, ovšem v dostatečné výšce nad obzorem, což si ověříme např. tím, že tvar slunečního disku bude opravdu kruhový, nikoli eliptický nebo mnohoúhelníkový, jak by to mohla způsobit refrakce těsně nad obzorem. Nej kvalitnější obraz bývá v době, kdy pozorujeme na obloze slabý zákal, který znamená nepřítomnost konvekce, zatímco za zcela „blankytně modré“ oblohy lze očekávat silné chvění vzduchu.

Postup zakreslování je přibližně následující:

1. Dalekohled namíříme na Slunce (buď pomocí přímého pohledu s filtrem, nebo zcela bezpečně orientací podle stínu). Na stínítko dáme zakreslovací formulář (v dalším popisu se bude předpokládat, že používáme standardní předtištěný formulář).
2. Vypneme hodinový stroj a necháme Slunce utíkat k západu (na formuláři naznačeno W - to je *důležité*, pokud bude utíkat např. k písmenu E, budou následující kroky postupu také proveditelné a přitom dostaneme špatný zákres - otočený o 180°!) - tím se kresba nahrubo zorientuje.
3. Na formuláři si můžeme všimnout čáry spojující východní a západní bod Slunce, je označena jako E-W. Na tuto čáru pomocí jemných pohybů dalekohledu nastavíme nějakou skvrnu, obvykle se volí nějaká dobře patrná s ostrými okraji (bez penumbry) poblíž centra disku. Opět vypneme pohon dalekohledu a necháme skvrnu projít po čáře E-W. Pokud po této čáře nejde, natačením formuláře toho docílíme. ²
4. Znovu zapneme hodinový stroj montáže a vrátíme obraz Slunce přesně do kruhu předtištěného formuláře. Snažíme se, aby po celou dobu za-

²Drobná finita pro zrychlení práce - vybereme-li velmi vhodnou skvrnu (malou a ostrě ohraničenou) a nastavíme-li ji před vypnutím pohonu přesně do středu formuláře (bod vyznačený na čáře E-W křížkem), pak když vypneme pohon dalekohledu, stačí již jen formulářem otáčet tak, aby se skvrna stále držela na rovníku formuláře. Resp. stačí ji nechat dojít do okraje a formulář tímto směrem otočit. Je však nutné, aby osa rotace stínítka byla totožná s optickou osou dalekohledu.



Synoptická mapa výtvořená z pozorování na Expedici 2001 na hvězdárně v Úpici. Autor
Jana Adamcová

dva a půl krát větší plochu, než skvrny – i proto k nám proudí od Slunce prakticky konstatní intenzita světla.

1.4 Okrajové ztemnění

Všimavému pozorovateli neujde, že okraj disku nemá stejnou jasovou intenzitu, jako centrální část. Tomuto jevu se říká okrajové ztemnění a na jeho existenci se podepisují především dva jevy. Jednak fakt, že záření z fotosféry má převážně radiální směr šíření, což znamená, že v oblastech vzdálenějších od středu disku již jde velká část viditelného světla jiným směrem než k pozorovateli. Druhým faktorem je tloušťka fotosféry, která je kolem 700 km, a tak zatímco na centru disku se díváme přímo na ni, u okraje již vrháme částečně pohled i do chladnějších vrstev sluneční atmosféry.

1.5 Granulace

Granulace je za velmi dobrých podmínek pozorovatelná na celém slunečním disku. Jsou to vrcholy konvektivních proudů, které vystupují z konvektivní zóny Slunce k povrchu a vynášejí z jeho nitra teplo vzniklé při termonukleárních reakcích. Životní doba granulace je maximálně 10 minut. Granulace je výborným indikátorem pozorovacích podmínek.

2 Pozorování pouhým okem

Oko je zřejmě jediný astronomický pozorovací přístroj, který má průměrný člověk vždy s sebou. Bohužel je Slunce natolik zářivý objekt a je natolik blízko, že pouhé neozbrojené oko obvykle nelze použít (vyjma zvláštních případů, kdy je disk víceméně homogenně výrazně zeslaben, což se může stát například při západu nebo východu, pokud se díváme přes mlhu nebo přes souvislou nepříliš silnou oblačnost). Je tedy vhodné jej vybavit vhodným filtrem. Vhodné se ukazují brýle ze zatmění, vnitřky z 5,25" disket, černé konce černobílého negativního filmu nebo hliníková fólie (alobal nebo „celofán“ na květiny), případně svářečské filtry č. 13 nebo 14.

Výhodou pozorování pouhým okem je to, že jej můžeme provozovat prakticky kdykoli se Slunce alespoň na chvíli ukáže, nevýhodou je relativně malá vypovídací hodnota. Při pozorování pouhým okem vyhotovíme protokol, který by měl obsahovat následující údaje:

- **orientovaný náčrtek Slunce** (průměr cca 3 - 5 cm), na kterém zhruba vyznačíme polohy skvrn, které jsme viděli