

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor: 02 Fyzika**

## **Erupční trendy a fotosférická morfologie aktivních oblastí na Slunci**

**Bára Gregorová**

**Loukov, 2010**

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor: 02 Fyzika**

## **Erupční trendy a fotosférická morfologie aktivních oblastí na Slunci**

### **Flare trends and photospheric morphology of solar active regions on the Sun**

Autor: Bára Gregorová

Škola: Gymnázium Ladislava Jaroše Holešov

Palackého 524

769 01 Holešov

Konzultanti: Ing. Libor Lenža

Jiří Srba

**Loukov, 2010**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem vycházela pouze z literatury a internetových zdrojů uvedených v kapitole Literatura a zdroje a názory, které uvádím jako vlastní, nejsou převzaty z jiných publikací.

Loukov, 7. března 2010

Bára Gregorová

podpis: .....

## **Poděkování**

Děkuji pracovníkům Hvězdárny Valašské Meziříčí Ing. Liborovi Lenžovi a Jiřímu Srbovi za poskytnutí potřebného materiálu a konzultaci při vytváření této práce.

## **Anotace**

Cílem této práce je zjistit možný vztah mezi fotosférickou morfologií a výskytem, popř. mohutností slunečních erupcí. Práci lze rozdělit na několik částí. V úvodní části práce se čtenář seznámí se základní terminologií a principy podmiňujícími vznik slunečních skvrn a erupcí. Další část volně přechází k popisu postupu práce a v závěrečné části jsou prezentovány výsledky práce a objev možné souvislosti mezi zvýšenou erupční aktivitou a přederupční morfologií aktivních oblastí. Práce je doplněna přílohou dokumentující postup práce.

**Klíčová Slova:** aktivní oblast, erupční trendy, fotosférická morfologie, sluneční erupce, sluneční skvrna

## **Anotation**

The aim of this work is to find out the possible relationship between photospheric morphology and the occurrence or power of solar flares. This work can be divided into several parts. In the introductory part of this work the reader gets to know the basic terminology and principles conditioning the creation of sunspots and flares. The next part freely passes to describe the methodology and results of this work and the discovery of a possible connection between increased flare activity and morphology of active regions are presented in the final part. The work is supplemented by an attachment documenting the procedure of the work.

**Key words:** activ region, flare trends, photospheric morphology, sunspot, solar flare

# OBSAH

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace.....	5
Anotation.....	5
1. Úvod.....	7
1.1 Sluneční atmosféra (fotosféra, chromosféra, koróna).....	7
2.1 Sluneční skvrny (sunspots).....	9
2.2 Erupce (flare).....	12
2.3 Metody pozorování projevů sluneční aktivity.....	12
2.4 Morfologie skupin slunečních skvrn.....	13
3. Metodika - zpracování.....	14
4. Analýza časových řad vývoje skupin slunečních skvrn.....	16
5. Diskuse.....	21
6. Závěr.....	21
Literatura a zdroje:.....	22
Přílohy.....	24

# 1. Úvod

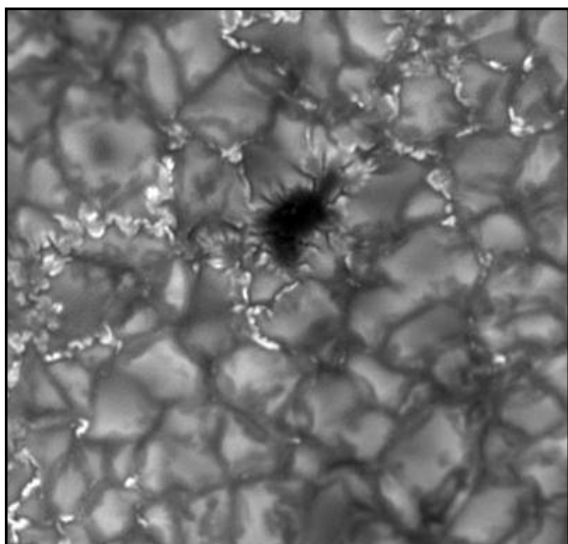
Od roku 2007 spolupracuji s hvězdárnou ve Valašském Meziříčí. Tato hvězdárna se kromě popularizace astronomie a vzdělávání věnuje odborné pozorovatelské činnosti. Dlouhodobě se zabývá pozorováním Slunce a pravidelně pořizuje snímky aktivních oblastí - slunečních skvrn, které pak slouží k dalším studiím. Archiv snímků povrchu Slunce obsahuje celou řadu dosud nezpracovaných dat. Vzhledem k jejich dostupnosti a mému vlastnímu zájmu o Slunce jsem si zvolila téma erupční trendy a fotosférická morfologie aktivních oblastí. Cílem této práce je zjistit, zda tvar, konfigurace a velikost slunečních skvrn v aktivních oblastech má nějakou souvislost s výskytem slunečních erupcí, a zda ovlivňuje četnost jejich výskytu, případně jejich mohutnost.

## 1.1 Sluneční atmosféra (fotosféra, chromosféra, koróna)

Slunce je naše nejbližší hvězda. Můžeme ji pozorovat, vysílat k ní sondy, detailně sledovat její aktivitu. Je fyzikální laboratoří, ve které můžeme pozorovat projevy hmoty za extrémních podmínek. Navíc na základě poznatků získaných pozorováním a studiem Slunce můžeme vytvářet modely hvězd natolik vzdálených, že i největší dalekohledy je zobrazují jako pouhé body. Ať chceme nebo ne, ovlivňuje naši planetu včetně nás, popř. družice a vše, co do kosmického prostoru vypouštíme. Mám na mysli hlavně interakci slunečního větru s magnetickým polem Země, popřípadě zemskou atmosférou apod.

Slunce má několik vrstev. Při popisu se většinou začíná od jádra a postupuje se výše až k sluneční atmosféře. Já však udělám menší výjimku a budu postupovat směrem od naší Země. Vzhledem k mým potřebám mi tento způsob připadá srozumitelnější. Nejsvrchnější vrstva se nazývá koróna – vnější atmosféra Slunce. Nemá žádné zřetelné ohraničení a plynule přechází do meziplanetárního prostoru. Její teplota se pohybuje řádově v milionech kelvinech, avšak je velmi řídká. Její součástí je sluneční vítr – proud elektricky nabitých částic, který vytváří pozvolný přechod koróny do meziplanetárního prostoru a interakcí s magnetickým polem Země a atmosférou vytváří polární záře. Poměrně významná je tzv. spodní (vnitřní) koróna.

Přiblížíme-li se k vlastnímu tělesu, dostaneme se k chromosféře – vnitřní atmosféře Slunce. Tato vrstva o tloušťce 10 až 15 tisíc km je ze Země pozorovatelná těsně před a po zatmění Slunce jako barevná aura kolem Měsíce – odtud její název (z řečtiny chroma = barva). Přechod mezi korónou a chromosférou tvoří přechodová vrstva. Dále se už nachází fotosféra neboli viditelný povrch Slunce. Můžeme říct, že fotosféra je část konvektivní vrstvy, kterou lze pozorovat a kde se nachází většina úkazů z viditelného oboru spektra.



Obrázek č. 1 – Detailní snímek sluneční granulace s malým pórem.

Pro fotosféru je typická granulace (Obrázek č. 1). Jsou to vlastně vrcholky vzestupných a sestupných proudů z konvektivní vrstvy, které se nám jeví jako „granule“ a vytvářejí tak zrnitou strukturu fotosféry. Životnost jednotlivých granulí se pohybuje v řádech několika minut. Když se „mezigranulární“ prostor rozšíří, vznikne tzv. pór, z nějž může (ale také nemusí) vzniknout sluneční skvrna. Sluneční skvrna se nám jeví jako tmavá skvrna na povrchu Slunce, což je způsobeno tepelným kontrastem. Teplota

slunečních skvrn bývá kolem 4 000 K, zatímco okolní povrch má teplotu přibližně 5 700 K. Sama o sobě by skvrna svítila oranžovým světlem. Abychom pochopili, jak sluneční skvrna vzniká, musíme se podívat hlouběji, až do samotného nitra Slunce.

V jádře probíhá termojaderná reakce – zdroj veškeré energie Slunce. Při teplotě 15 miliónů K zde dochází k syntéze vodíkových jader za vzniku hélia a uvolnění energie v podobě fotonů záření gama. Energie se z jádra šíří dál tzv. vrstvou v zářivé rovnováze. Čím dál od jádra, tím je teplota nižší. Fyzikální podmínky se mění, teplota nestačí na ionizaci plynu a vznikají neutrální atomy. V konečném důsledku poklesu teploty látka nemůže zůstat v klidu a začíná se promíchávat. Vrstvě, kde dochází k promíchávání látky, se říká konvektivní vrstva. Horký plyn v této vrstvě stoupá vzhůru, na povrchu se ochladí a klesá zpět. Tento koloběh se neustále opakuje. Když něco zpomalí konvekci, vyvěrání teplejší hmoty, plyn se ochladí a vzniká sluneční skvrna – oblast se sníženou teplotou, zářením a tlakem plynu.



## 2. Sluneční aktivita

Pod pojmem sluneční aktivita (činnost) rozumíme řadu nestacionárních jevů, jež pozorujeme ve sluneční atmosféře, a jež jsou důsledkem změn magnetického pole Slunce. Nejvýraznějším projevem sluneční činnosti a její periodicity je výskyt slunečních skvrn.

### 2.1 Sluneční skvrny (sunspots)

Sluneční skvrny byly pozorovány už v dobách před naším letopočtem. První zpráva pochází z roku 350 před naším letopočtem. Číňané 28 let před začátkem letopočtu prováděli první systematická pozorování slunečních skvrn (pouhým okem!). V průběhu věků lidé pozorovali sluneční skvrny při příležitostech jako jsou lesní požáry, kdy dým odstínil velkou část světla přicházejícího ze Slunce, při východu a západu, kdy Slunce vysílá své fotony skrz nejtlustší vrstvu atmosféry atd. Z roku 1611 pocházejí první pozorování dalekohledem, kdy Johannes Fabricius, Galileo Galilei, Christopher Scheiner a Johann Goldschmid pozorovali sluneční skvrny nezávisle na sobě. Roku 1769 skotský astronom Alexander Wilson zavedl pojem Wilsonův efekt – jde o změnu vzhledu pravidelných slunečních skvrn, kdy na okraji slunečního disku skvrna připomíná jámu s tmavým dnem a šikmými stěnami. V dalších letech astronomové pozorují pravidelný cyklus výskytu slunečních skvrn. Roku 1843 Samuel Heinrich Schwabe určil délku cyklu na 10 let a o něco později Rudolf Wolf upřesnil trvání cyklu na 11,1 let. Délka cyklu však není stálá, jde pouze o průměr. Ve skutečnosti může tento cyklus trvat 7 – 17 let. Roku 1848 Rudolf Wolf uvádí relativní číslo slunečních skvrn, které určuje míru aktivity Slunce. Mezi další objevy patří diferenciální rotace Slunce v různých heliografických šířkách nebo objev královských pásů – oblastí, kde se obvykle sluneční skvrny vyskytují (přibližně od 40° jižní heliografické šířky po 40° severní heliografické šířky). Pohyb slunečních skvrn v průběhu cyklu vysvětluje Spörerův zákon, který říká, že na začátku slunečního cyklu se sluneční skvrny nacházejí ve vysokých heliografických šířkách a v období minima se nacházejí poblíž rovníku. Graficky Spörerův zákon znázornil Edward Walter Maunder v tzv. motýlkovém diagramu – na svislou osu se nanáší heliografická šířka

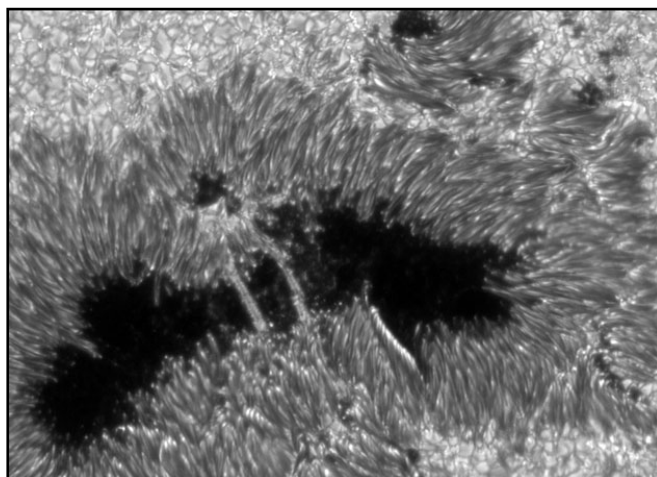
sluneční skvrny a na vodorovnou osu čas. Každá sluneční skvrna v diagramu je zakreslena malou tečkou. V roce 1908 George Ellery Hale objevil magnetické pole slunečních skvrn.

Magnetické pole slunečních skvrn je mnohem silnější než magnetické pole klidných částí Slunce, což souvisí se vznikem skvrn. Představme si magnetické pole Slunce: magnetické indukční čáry se nacházejí pod povrchem a jsou s ním rovnoběžné. Kdyby Slunce bylo statické nebo tuhé těleso, nic by se nedělo. Ve skutečnosti však Slunce rotuje, dokonce je jeho rotace diferenciální, což znamená, že různé heliografické šířky rotují různou rychlostí. Na rovníku se Slunce otočí jednou za 25,38 dne, na pólech za 36 dní. Vnitřek Slunce se otáčí jako tuhé těleso jednotnou rychlostí jednou za 27 dní. Diferenciální rotaci způsobuje skupenství hmoty (plazma), z níž je Slunce.

Musíme si uvědomit, že plazma je ionizovaný plyn, čili velmi dobrý vodič elektřiny. Pohyb plazmy indukuje magnetické pole a opačně. Uplatňuje se zde princip elektromagnetické indukce. Magnetické pole je natolik propojeno s plazmatem, že dochází k zamrznutí magnetických siločar. Tyto dvě složky nelze oddělit.

Při rotaci plazma unáší v sobě zamrznuté magnetické siločáry. Protože na rovníku je rychlost větší než na pólech, dochází ke stáčení a „natahování“ magnetických siločar. Po několika otáčkách se může vytvořit smyčka a svazek magnetických siločar vystoupí nad povrch Slunce. My pak v místě, odkud magnetické indukční čáry vycházejí, pozorujeme skvrnu a v místě, kde se noří zpět pod povrch, pozorujeme skvrnu opačné polarity. Polarita slunečních skvrn je na severní a jižní polokouli opačná. Plazma se pohybuje podél uzavřených magnetických smyček a pohybuje se od středu skvrny k okrajům. Na okraji skvrny se opět vrací pod povrch Slunce. Mechanismus vzniku slunečních skvrn dosud není uspokojivě objasněn.

Sluneční skvrna (Obrázek č. 2) má dvě výrazné části - umbru a penumbru. Umbra (=stín) je tmavé jádro sluneční skvrny. Představuje průměrně 17 % celkové plochy skvrny.



Obrázek č. 2 – Sluneční skvrna se zřetelnou strukturou penumbrálních vláken

Teplota se pohybuje v rozmezí 3 700 – 4 000 K. Uvnitř umbry byly zjištěny různé jevy. Vnější část sluneční skvrny se nazývá penumbra (=polostín). Teplota je přibližně 5 700 – 6 300 K ve vnějších částech penumbry. Penumbra má vláknitou strukturu a jednotlivá protáhlá vlákna mají za normálních okolností radiální charakter. Vlákna jsou pozorovatelná při vyšším rozlišení.

Samostatné skvrny se vyskytují sporadicky, většinou se vyskytují ve dvojicích – pak hovoříme o tzv. bipolárních slunečních skvrnách. Takové sluneční skvrny mají podobný charakter jako tyčový magnet. Každá ze dvou skvrn má opačnou polaritu a magnetické siločáry probíhají mezi nimi. Často sluneční skvrny vytváří celé skupiny – místa koncentrovaného magnetického toku a nižší teploty než okolní atmosféra, které mohou mít unipolární nebo bipolární povahu. Vyskytují se také komplexní skupiny, u nichž je rozdělení polarit tak komplikované, že skupina nemůže být klasifikována do některého z předchozích typů. Nás budou zajímat především bipolární a komplexní skupiny. U bipolárních skupin rozlišujeme vedoucí a chvostovou skvrnu. Vedoucí skvrna vzniká první a v následujících dnech se objevují další skvrny včetně chvostové, která má opačnou polaritu než vedoucí. Ostatní skvrny skupiny se nacházejí mezi vedoucí a chvostovou skvrnou. Skupina se v dalším vývoji protahuje v rovnoběžkovém směru. V maximu svého vývoje skupina obsahuje nejvíce skvrn a ty dosahují největších rozměrů. Skvrny chvostové části se začínají rozpadat první, až nakonec zanikne celá skupina. Skupina slunečních skvrn společně s aktivními jevy, které provázejí vývoj skupiny a velmi úzce spolu souvisí, se označuje jako aktivní oblast.

Jedenáctiletý cyklus	č. 1		č.2	
Skvrna	Vedoucí	Chvostová	Vedoucí	Chvostová
Magnetická polarita:				
<b>Severní polokoule</b>	-	+	+	-
<b>Jižní polokoule</b>	+	-	-	+

Jak jsme poznali z předchozích informací, jsou veškeré děje na Slunci podmíněny magnetickým polem. Na Slunci se totiž vyskytují lokální magnetická pole, u nichž se

periodicky střídá polarita. Rozlišujeme dva sluneční cykly. Jeden 11-letý (všeobecně užívaný název je zavádějící, ve skutečnosti může být v rozmezí 7-17 let), při němž dojde k vývoji dle Spörerova zákona. Mění se poloha aktivních oblastí, jejich životní doba, mohutnost a pravděpodobnost vzniku. V následujícím cyklu se pak změní polarita lokálních magnetických polí slunečních skvrn. Tzn. má-li v bipolární skupině vedoucí skvrna severní polaritu a chvostová jižní, v dalším cyklu slunečních skvrn bude mít vedoucí jižní a chvostová severní polaritu. Druhý cyklus je 22-letý, nazýván také Haleův, a nejde o nic jiného než o dva po sobě následující 11-leté cykly, tzn. když se polarita lokálních magnetických polí vrátí do původního stavu.

## **2.2 Erupce (flare)**

Dozvěděli jsme se, že aktivní oblasti jsou skupiny slunečních skvrn doprovázené aktivními jevy podmíněnými magnetickým polem. Mezi ně krom jiných patří erupce. Tato práce se zabývá právě možnou souvislostí mezi výskytem slunečních erupcí a morfologií (tvarem) slunečních skvrn. Sluneční erupce je reakce sluneční atmosféry na náhlý, rychlý proces uvolnění energie elektromagnetického původu, která způsobuje místní, časově omezené zahřátí plazmatu a urychlení částic. Ne všechny erupce, které jsem použila při této práci, musí souviset s danou aktivní oblastí, ale s nejvyšší pravděpodobností tomu tak je. Porovnávat každou jednotlivou erupci s příslušnou oblastí by bylo zdlouhavé a nevýhodné, proto používám sumační erupční index, který vyjadřuje intenzitu uvolňování energie v závislosti na čase pro danou aktivní oblast, tedy skupinu skvrn a její bezprostřední okolí.

## **2.3 Metody pozorování projevů sluneční aktivity**

Existuje několik způsobů, jak pozorovat projevy sluneční aktivity. Můžeme si je rozdělit na vizuální pozorování a fotografická a CCD pozorování. Mezi vizuální metody patří pozorování pouhým okem, zákres za dalekohledem a projekce za dalekohledem. Druhý

způsob, fotografická a CCD pozorování, zahrnuje pořizování snímků fotograficky (pro různé vlnové délky), elektronické snímání pomocí CCD nebo různých detektorů a pak už pomocí sond jako jsou SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) a STEREO (Solar Terrestrial Relations Observatory).

Snímky, které používám při práci, byly pořízeny metodou projekce na negativní materiál (v metodice uvádím více) a všechny negativy jsou uschovány v archivu hvězdárny.

## 2.4 Morfologie skupin slunečních skvrn

Morfologie aktivní oblasti ve fotosféře odráží konfiguraci magnetického pole. Jistá konfigurace magnetického pole vede ke vzniku erupční situace, proto lze na základě analýzy fotosférické morfologie aktivní oblasti odhadovat zvýšenou pravděpodobnost výskytu erupcí v aktivní oblasti (nebo obecně – změny erupčního trendu).

Na základě studia literatury a diskuse s konzultanty jsem identifikovala několik přederupčních fotosférických morfologií aktivních oblastí (včetně odkazů na původní práce):

1. Výskyt satelitní skupiny (Křivský, Obridko, 1968)
2. Přibližování dvou řádků skvrn – slítí na jednom konci do vícejaderné skvrny (Avignon a kol., 1967)
3. Určitá morfologie skupin slunečních skvrn – definované v práci (Antalová, 1967) jako:
  - Comp. - velké skvrny s četnými umbrami, 2-3 velké umbry (buď zbytek rozp. F nebo rychle se vyvíjející nová skupina), 1-2 dny před erupcí penumbra neobyčejně velká a spojuje izolované části skupiny – penumbra dostává často tvar U (s mnohými umbrami) 5x5 st.
  - H' - v těsné blízkosti H – výskyt malých skvrn, po několika dnech složitá umbra (někdy dělení umbry do dvou pruhů, nebo se objeví nová umbra ve společné penumbře)

- HE - typ H s novými rychle se vyvíjejícími skvrnami kolem – vznik E s četnými umbrami
  - E' - typ E se složitou strukturou a méně než třemi umbrami (nemusí se vyvinout s H)
  - R - skupina skvrn nebo komplex početných menších skvrn často velmi nepravidelného tvaru, nejméně jedna z nich – velký sklon k rovníku (šířka 5 st.)
  - 2F - dvě skupiny F umístěné těsně vedle sebe v šířce a později také v délce, v den erupce se plocha jedné skvrny zvětšuje a skupiny se přibližují (mnoho malých umber, plocha 2-3 umber se zvětšuje před erupcí)
  - F' - typ s více umbrami, ta se nachází v blízkosti starých skvrn H, J nebo nově se objevujících C, D – skupiny v těsném kontaktu – zvětšování (v těchto skupinách F se vedoucí část skupiny často rozpadá jako první); (typy C, D, E, F, J a H uvádí tzv. Curyšská klasifikace)
4. Zvýšený výskyt erupcí v typech E a F curyšské klasifikace (Kopecký, Křivský, 1966)
  5. Spirální (rotační) tvary penumber a umber (Ding You-Ji a kol., 1967)
  6. Rotační tvary ve skupině slunečních skvrn (Sakurai, 1974)

### 3. Metodika - zpracování

V astronomickém kroužku mě nejvíce zaujalo Slunce, jelikož jsme se jím zabývali relativně dlouho a důkladně. Přirozeně jsem si tedy zvolila téma související se sluneční činností. Pozorováním Slunce se na Hvězdárně Valašské Meziříčí zabývá především Ing. Libor Lenža, ten navrhl několik témat z různých oblastí výzkumu Slunce, kde byl dostatek pozorovacího materiálu ke zpracování. Zvolila jsem si problematiku vztahů erupčních trendů a fotosférické morfologie aktivních oblastí. Práce vychází ze serií detailních snímků fotosféry pořízených na hvězdárně ve Valašském Meziříčí refraktorem Zeiss AS 200/3000 mm na negativní materiál ORWO MA 8. Metodou projekce je na formát 24x36 mm zachycena oblast o rozměrech 4,5' x 3', což ve středu slunečního disku představuje oblast o velikosti zhruba 16,5 x 11 heliografických stupňů.

Po letním seznámení s obsahem práce mi pracovníci hvězdárny vybrali a zapůjčili série negativů z pěti aktivních oblastí. Aktivní oblasti jsou značeny zkratkou NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a pořadovým číslem. Aktivní oblasti zkoumané v mé práci: NOAA 6644 z roku 1991 a oblasti NOAA 7135, NOAA 7216, NOAA 7260, NOAA 7220 z roku 1992. Ty jsem překreslila přes fotografický zvětšovací a označila datem, kdy byly skupiny skvrn vyfoceny a příslušnou zkratkou aktivní oblasti (příloha: 1a-5a). Kresby skupin slunečních skvrn bylo třeba zdigitalizovat, což provedli pracovníci hvězdárny. Kresby jsem pak upravila ve vhodném programu, tak aby byly správně orientovány (směr východ-západ) a skupiny skvrn byly přehledně sestaveny podle času od východu skupiny až po zapadnutí skupiny za sluneční okraj. U některých skupin se nacházejí popisky. Ty jsem si pořizovala během překreslování z negativů, byla-li u některých negativů nějaká nejasnost (např. je-li pozorovaná struktura umbry, patří-li vůbec skvrna na negativu mezi sluneční skvrny nebo je to pouze chyba negativu, přesvětlené snímky – špatně rozeznatelná penumbra...).

Dále bylo třeba získat záznamy o erupční aktivitě v době výskytu daných aktivních oblastí. Ty jsem převzala z NGDC (National Geophysical Data Center) zveřejněných na internetových stránkách. Vybrala jsem erupce, které s nejvyšší pravděpodobností souvisí s danými aktivními oblastmi, a sestavila jsem nové tabulky tentokrát pouze s informacemi, které jsem potřebovala. Současnou klasifikaci slunečních skvrn bylo potřeba převést na klasifikaci starou (tabulka č. 1) a následně vypočítat erupční index  $F$  pro každou erupci v dané aktivní oblasti. Erupční index  $F$  je definován jako součin mohutnosti  $I$  (Importance) a doby trvání  $D$  (Duration) v minutách. Poté jsem sestavila sumační křivku erupční aktivity pro každou oblast podle postupu použitého ve starších pracích (Křivský, 1973). Na svislé ose jsou nanášeny sumy erupčních indexů a na vodorovnou osu relativní hodnoty času po dnech. Černými šipkami jsou vyznačeny okamžiky pořízení použitých snímků skupin slunečních skvrn, uvedených v příloze (viz. 1b-5b).

**Tabulka č. 1 - Klíč pro převod nové klasifikace na starou (od 1.1. 1966)**

-f = Sf		0,5
-n = Sn	1- = 0,5	
-b	když bylo na více stanicích -n a -b, 1f, 1n	1,0
1f	1	1,0
1n		
1b	když bylo více 1n, 1b tak: 1+, 2f, 2n	1,5
2f	2	2,0
2n		
2b	když 2b ojedinele 3f:2+, když na více: 3	2,5-3,0
3f	3	3,0
3n		
3b	když 3b: 3+4n	3,5
4f	3	3,0
4n	3+	3,5
4b	4	4,0

(tabulku poskytl Ing. Liborovi Lenžovi Dr. Ladislav Křivský)

Při zpracování mi jako vzor sloužila studie oblasti NOAA 6644 zhotovená Ing. Liborem Lenžou. Práci jsem především použila pro porovnání správnosti postupu s touž oblastí (tentokrát zpracovanou mnou), což jsem poznala podle průběhu sumační křivky erupční aktivity, která v obou případech vykazuje tři rozdílné trendy.

#### **4. Analýza časových řad vývoje skupin slunečních skvrn**

Prostudovala jsem si výše uvedené aktivní oblasti a všimla si význačných struktur, které jsem následně porovnávala s trendy erupční aktivity, přičemž jsem využila výše uvedených materiálů. Při popisu pozorovacích řad jsem vycházela s kreseb uvedených v příloze (1a-5a). Ty jsou orientovány tak, že horní část směřuje na sever a pravá strana kresby na západ. Každá aktivní oblast je popsána zvlášť. Pod pojmem maximum vývoje



skupiny slunečních skvrn rozumíme, že skupina obsahovala největší počet skvrn. Často užívám termín světelný most, který se nachází v umbře a většinou předchází jejímu rozpadu.

### **NOAA 6644**

První snímek z 23. 5. 1991 ukazuje vedoucí skvrnu následovanou několika dalšími skvrnami, přičemž dvě z nich mají rozvinutou umbrou. Menší skvrny se v dalších dnech přibližují ke skvrně s největší umbrou a spojují se s ní. Tak vznikla 25. 5. 1991 skvrna chvostová. Ta se dále vyvíjela, až získala pravidelný tvar. Dne 27. 5. 1991 se kolem západní části chvostové skvrny objevila spirální struktura tvořená obloukem menších skvrn. Maxima vývoje dosáhla spirální struktura o den později. Další den 29. 5. 1991 se menší skvrny slévaly do větších nebo zanikaly. Struktura se rozpadla 30. 5. 1991. Dne 28. 5. 1991, kdy spirální struktura dosáhla maxima, se ve vedoucí skvrně objevily světelné mosty. Porovnáme-li erupční aktivitu v době pozorovaného výskytu spirální struktury (viz. vyznačení v grafu č. 1), zjistíme, že nedochází k jejímu zvýšení, ale naopak k trvalému poklesu. Popsaná morfologie se vytvořila až v poslední fázi existence oblasti, v níž byla erupční aktivita velmi nízká.

Světelné mosty i tvar penumbrálních vláken naznačovaly blížící se rozpad skvrny. K rozpadu pak došlo 30. 5. 1991, kdy se umbra rozdělila na tři části a 1. 6. 1991 se tak rozdělila celá vedoucí skvrna. Toho dne se také rozdělila skvrna chvostová.

### **NOAA 7135**

Dne 18. 4. 1992, kdy byl pořízen první snímek této aktivní oblasti, se objevila na slunečním disku skupina několika skvrn, které se následující den slily a vytvořily vedoucí skvrnu s několika umbrami. Tu následovalo několik menších skvrn, jež se k sobě přibližovaly a vznikla tak skvrna chvostová. Mezi vedoucí a chvostovou skvrnou se nacházelo mnoho menších skvrn, nejvíce 21. 4. 1992. Menší skvrny inklinovaly spíše k vedoucí skvrně. Tento den dosáhla skupina maxima svého vývoje, tj. obsahovala nejvíce skvrn. Část skvrn východní části skupiny se spojila s chvostovou skvrnou. Další snímek je až z 25. 4. 1992, z čehož

vyplývá, že nemáme dostatek dokumentačního materiálu, který by vývoj podrobně zachytil. Teprve až 25. 4. 1992 můžeme sledovat, jak se během uplynulých dní skupina vyvíjela. Především obsahuje menší množství skvrn. Menší skvrny, které se 21. 4. 1992 vyskytovaly kolem vedoucí skvrny, zanikly, zbylo jich jen pár a část se oddálila od vedoucí skvrny, přičemž zůstala v poloviční vzdálenosti mezi vedoucí a chvostovou skvrnou. Chvostová skvrna se začala rozpadat. Umbra ve vedoucí skvrně byla rozdělena světelným mostem. Na posledním snímku z 26. 4. 1992 se chvostová skvrna dále rozpadá, skupina obsahuje menší počet skvrn.

Vývoj skupin z pohledu erupční aktivity je uveden v grafu č. 2, kde jsou rovněž vyznačeny okamžiky pořízených snímků, které jsme měli k dispozici. Přestože jsem měla k dispozici méně snímků, lze prokázat, že významně vyšší erupční aktivita se ve skupině objevila v okamžiku výskytu velkého množství menších skvrn a růstu jak vedoucí, tak chvostové skvrny.

## NOAA 7216

První snímek z 29. 6. 1992 zachycuje skupinu na východním okraji disku, proto je také zkrešlena skutečná velikost skupiny. Ve vedoucí skvrně lze tušit světelný most. Skvrna chvostová byla doprovázena další skvrnou protáhlou v severo-j jižním směru, která tak vytvářela oblouk kolem západní strany chvostové skvrny. Vedoucí skvrna měla pravidelný tvar, jak ukazuje snímek z 1. 7. 1992 a světelný most se prodlužoval ve směru od severovýchodu k jihozápadu. Mezi vedoucí a dvoujadernou chvostovou skvrnou se začal vytvářet náznak obloukové struktury, která se plně vyvinula 2. 7. 1992. Chvostová skvrna se 3. 7. 1992 protáhla v severo-j jižním směru. Ve vedoucí skvrně světelný most rozdělil umbru na dvě části. Spirální struktura se začala rozpadat a skvrny, které ji tvořily, vytvořily 4. 7. 1992 společně s chvostovou skvrnou novou obloukovou strukturu. Skvrny, které ji tvořily, se následující den rovnoměrně rozložily mezi vedoucí a chvostovou skvrnou. Toto rovnoměrné rozložení skvrn bylo patrné již na počátku vývoje skupiny a zachovalo se tak prakticky po celou dobu. Chvostová skvrna jevila od 5. 7. 1992 známky rozvojování, ale v dalších dnech se tak nakonec nestalo. Dvoujaderná povaha chvostové skvrny se během vývoje skupiny zachovala.

Sumační křivka erupční aktivity studované oblasti má oproti ostatním nezvyklý, prakticky lineární průběh. To lze interpretovat tak, že energie se uvolňovala kontinuálně ve formě velkého počtu malých erupcí (suberupcí), a konfigurace magnetických polí byla taková, která nevedla k zesílení magnetického gradientu, které by mohlo vést k výskytu větších erupcí.

## NOAA 7260

První snímek pochází z 12. 8. 1992. Pozorujeme na něm plošně výraznou vedoucí skvrnu doprovázenou podél téměř celého východního okraje skvrny skvrnami menšími. V dalších dnech lze pozorovat, že část se slila s vedoucí skvrnou a část vzdálenější od vedoucí skvrny vytvořila oblast skvrny chvostové. Vedoucí skvrna měla pravidelný tvar. Chvostová vícejaderná skvrna se vytvořila 17. 8. 1992 a následující den u ní lze pozorovat náznaky obloukovitých struktur, které přetrvaly až do 20. 8. 1992. U vedoucí skvrny 18. 8. 1992 možno rozlišit penumbrální vlákna vykazující spirální (rotační) uspořádání. Konzultanti práce naznačili možnost interpretovat tento jen jako důsledek velmi silných toků elektronů (tedy elektřiny) kolmých k rovině zobrazení. Další den se několik jader chvostové skvrny spojilo a vytvořilo 2 větší umbry, které se 20. 8. 1992 opět rozpadly. Umbra vedoucí skvrny se téhož dne také rozpadla a vznikla tak dvoujaderná skvrna.

Křivka sumačního erupčního indexu je velmi zajímavá. Mezi 18. – 23. 8. 1992 vykazuje trend velmi ostrý sklon, což svědčí o značné intenzitě uvolňování energie z elektromagnetických polí v oblasti. Přisuzujeme to výskytu silných elektrických proudů nepřímo detekovaných výskytem tzv. „hřebínků“ (combs) v penumbře vedoucí skvrny. „Hřebínky“ představují neradiální orientaci penumbrálních vláken naznačujících velkou intenzitu elektrických proudů tekoucích kolmo k zobrazené ploše. Jedná se o efekt Ampérova pravidla pravé ruky.

## NOAA 7220

Na prvním snímku ze 7. 7. 1992 je vedoucí skvrna následovaná několika menšími skvrnami. Část z nich se v dalších dnech spojila s vedoucí skvrnou. Skupina se protahovala v rovnoběžkovém směru a od 10. 7. 1992 doprovázelo vedoucí skvrnu několik menších skvrn, které se následující den spojily do větších celků. Ve východní části skupiny se 11. 7. 1992 vytvořil náznak obloukovité struktury, která vznikla uspořádáním těchto menších skvrn. Další snímek je až ze 14. 7. 1992, kde můžeme pozorovat, že obloukovitá struktura tvořená menšími skvrnami se značně rozvinula a dosáhla maxima svého vývoje. Dne 16. 7. 1992 se tato struktura rozpadla. Lze si také všimnout, že 11. 7. 1992 se vytvořila chvostová skvrna a 14. 7. 1992 se plně rozvinula. Vedoucí skvrna se téhož dne začíná rozpadat, zůstává už jen původní skvrna pravidelného tvaru. Umbra vedoucí skvrny se rozdělila na dvě části. Ve chvostové skvrně umbra vytvořila výběžek, který navazuje na spirální uspořádání menších skvrn. Poslední dva snímky z 16. 7. 1992 a 17. 7. 1992 ukazují skupinu, když se přibližovala k okraji slunečního disku a na obou se chvostová skvrna protahuje v rovnoběžkovém směru a skvrny východní části skupiny, které následovaly chvostovou skvrnu, zanikají.

Z hlediska erupční aktivity se jedná o skupinu velmi rozsáhlou a komplexní, což také potvrzuje sumační křivka erupčního indexu, která je po většinu doby značně strmá, což svědčí o větším počtu chromosférických erupcí a to i energeticky vydatnějších. Je to zřejmě důsledkem komplexní struktury a velikosti aktivní oblasti, a proto nelze blíže analyzovat vliv konkrétních detailů v morfologii.

Měli bychom si všimnout, že celkové hodnoty sumačních erupčních indexů jsou pro dané aktivní oblasti rozdílné. Pro oblast NOAA 6644 se  $F$  rovná 789,5, pro NOAA 7135  $F=2061,5$ , pro NOAA 7216  $F= 882$ , pro NOAA 7260  $F=4726$  a pro oblast NOAA 7220  $F=2366$ . Srovnáme-li časový průběh křivek, zjistíme, že mají jak lineární nárůst (NOAA 7216), tak také velmi strmý (NOAA 7260). Zbývající křivky jsou typické, vykazují 3 až 4 erupční trendy. Na základě právě popsaných poznatků můžeme uvažovat o vztahu mezi morfologií skupin slunečních skvrn a erupčními indexy.

## 5. Diskuse

Protože jsem měla k dispozici výsledky již zpracované oblasti NOAA 6644, přirozeně jsem je srovnala se svými. Především proto, abych se ujistila, že v průběhu práce nedošlo k chybě a aplikovaný postup byl správný. Obě studie této oblasti mají totožné výsledky, sumační křivka erupční aktivity vykazuje v obou případech stejný průběh a tři rozdílné trendy. Přestože tato oblast nenaznačuje, že by došlo ke zvýšení erupčního indexu, lze si všimnout, že sumační křivky erupčního indexu aktivní oblasti zkoumané v této práci mají velmi podobný průběh a také vykazují 3-4 rozdílné trendy.

Výjimku tvoří oblast NOAA 7216, kdy je průběh sumační křivky téměř lineární, avšak morfologická stavba je paradoxně poměrně složitá. Možná interpretace vychází z toho, že díky většímu množství skvrn (čili rozhraní mezi magnetickými polaritami) se vytvořilo větší množství gradientů magnetických polí. Ty se navzájem ovlivňovaly a neměly tak prostor pro výraznější projev.

Zcela opačný případ nastal u aktivní oblasti NOAA 7260, kdy sumační křivka vykazuje strmý průběh. Na rozdíl od předchozí oblasti má skupina nepříliš složitou strukturu a vedoucí skvrna si během vývoje zachovala pravidelný tvar. Příčinnou prudkého nárůstu erupčního indexu je zřejmě výskyt tzv. „hřebínků“ (combs), které v dané oblasti způsobují tok silných elektrických proudů. „Hřebínky“ nejsou sice na kresbách zachyceny, ale na negativech jsou patrné.

## 6. Závěr

Zabývala jsem se souvislostí mezi výskytem zvláštních struktur (viz. kapitola 2.4) a erupční aktivitou. Při porovnání výsledků se ukázalo, že výskyt spirálních tvarů ve skupině nemusí znamenat zesílení erupční aktivity, ale i přesto lze pozorovat jisté souvislosti, kdy nárůst erupčního indexu (zvýšení erupční aktivity) byl doprovázen typickými útvary ve skupině slunečních skvrn. Další souvislost můžeme pozorovat na průběhu křivek, u nichž lze pozorovat 3-4 erupční trendy, výjimku tvoří pouze NOAA 7216. Proto mým dalším postupem bude analýza dalších aktivních oblastí ve spolupráci s Hvězdárnou Valašské Meziříčí tentokrát s ohledem na výskyt erupcí (čili souřadnice pozorovaných erupcí vzhledem

ke studované skupině slunečních skvrn) a možnost odhalení prostorového vztahu mezi fotosférickou morfologií a projevy erupční aktivity.

Teď už jen zbývá zdůraznit využití získaných poznatků. Jak každý víme, je Slunce naše nejbližší hvězda. Dalo by se proto předpokládat, že o ní už vše víme. Ale ve skutečnosti je to právě naopak. Nevíme téměř nic, pouze existuje mnoho teorií, a přestože spousta z nich s vysokou pravděpodobností funguje, stále jsou to jen teorie, které mohou být vyvráceny. Důkladná znalost vlastností Slunce nám pak může pomoci předpovídat její budoucí chování a předem nás připravit na projevy sluneční aktivity, které významně ovlivňují Zemi.

## Literatura a zdroje:

- (1) VANÝSEK, V., *Základy astronomie a astrofyziky*, Praha, Academia, 1980
- (2) R. BRAY, R. LOUGHEAT, „*Sunspots*“, Chapman and Hall Ltd., 1964, zpracoval F. Zloch (AsÚ AVČR Ondřejov)
- (3) LENŽA, L., *Erupční trendy a fotosférická morfologie aktivní oblasti*, Sborník referátů ze semináře konaného dne 20.-22. dubna 1993 v Úpici, Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí
- (4) KLECZEK, J., *Ze života hvězd*, Říše hvězd, 9-10/1994, roč. 75, Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov, str. 197
- (5) BÍLEK, T., et al. *Astronomia* [online]. Plzeň: Katedra obecné fyziky (Západočeská univerzita, Pedagogická fakulta), 2008, 15. 1. 2010 [cit. 2010-03-20]. Sluneční skvrny. Dostupné z WWW: <<http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/slunce/744-slunecni-skvrny>>.
- (6) *National Geophysical Data Center: NOAA Satellite and Information Service* [online]. Boulder: 1985, 11. 1. 2010 [cit. 2010-03-20]. Solar flare data in H-alpha and X-ray wavelengths. Dostupné z WWW: <<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarflares.html>>.
- (7) Slunce#Rotace In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 14. 3. 2010 [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Slunce#Rotace>>.

- (8) ŠVANDA, M. Úvod. In ŠVANDA, Michal. *Studium supergranulace*. Praha: Matematicko-fyzikální fakulta UK, Astronomický ústav AV ČR, 2001 [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW:  
<[http://svanda.astronomie.cz/prace/odborne/supergranulace\\_600dpi.pdf](http://svanda.astronomie.cz/prace/odborne/supergranulace_600dpi.pdf)>.
- (9) SOBOTKA, M. Světelné mosty. In *Novinky ve výzkumu slunečních skvrn*. Praha: Astronomický ústav AV ČR, 2008 [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW:  
<<http://stara.suh.sk/obs/slnsem/sobotka.pdf>>.
- (10) ŠVANDA, M. Slunce plné procesů, Erupce a CME. In ŠVANDA, M. *Kosmické počasí*. Praha: [s.n.], 2001 [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW:  
<<http://svanda.astronomie.cz/prace/zare/zare.htm>>.

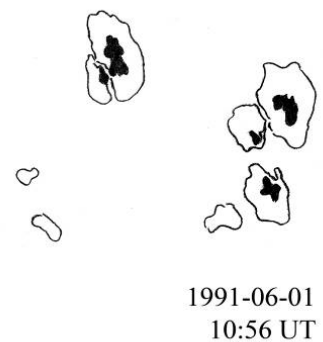
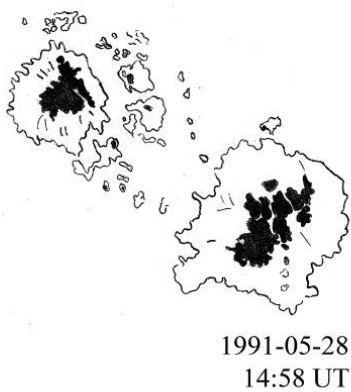
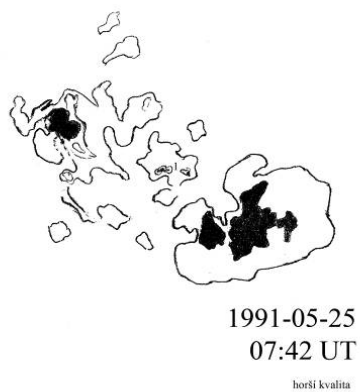
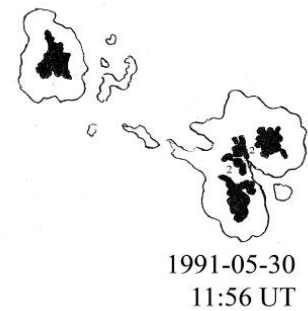
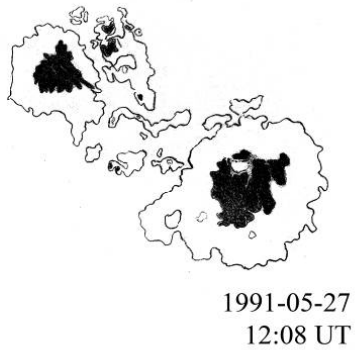
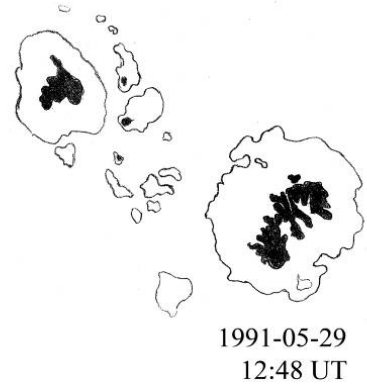
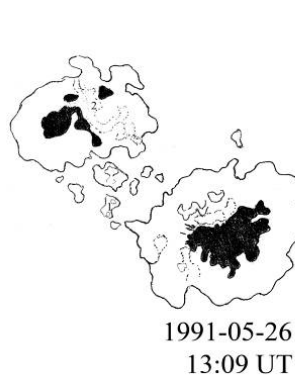
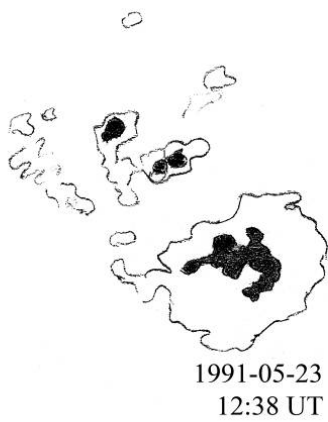
# Přílohy

## Seznam příloh:

Příloha č. 1a - Aktivní oblast NOAA 6644 .....	25
Příloha č. 2a - Aktivní oblast NOAA 7135 .....	28
Příloha č. 3a - Aktivní oblast NOAA 7216 .....	30
Příloha č. 4a - Aktivní oblast NOAA 7260 .....	33
Příloha č. 5a - Aktivní oblast NOAA 7220 .....	35

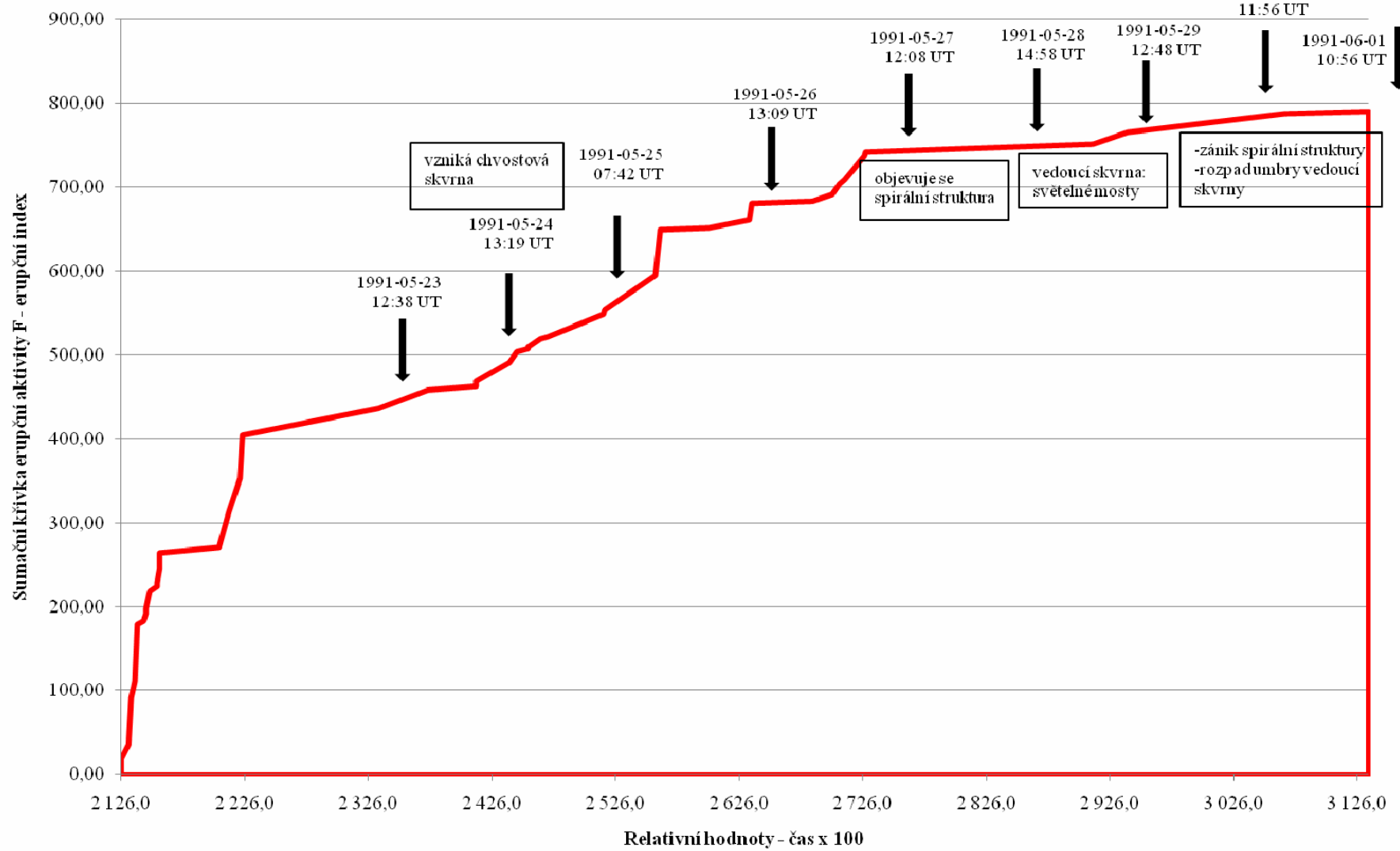


# Příloha č. 1a - Aktivní oblast NOAA 6644



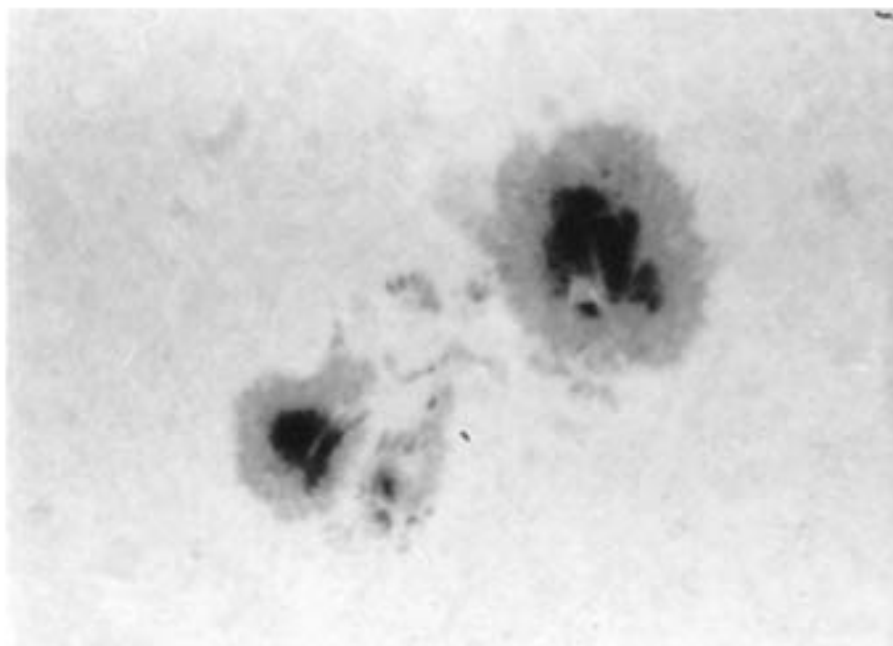
1 - umbra x výrazná struktura v penumbře  
2 - tmavší oblasti na negativu

## Sumační křivka erupční aktivity aktivní oblast NOAA 6644

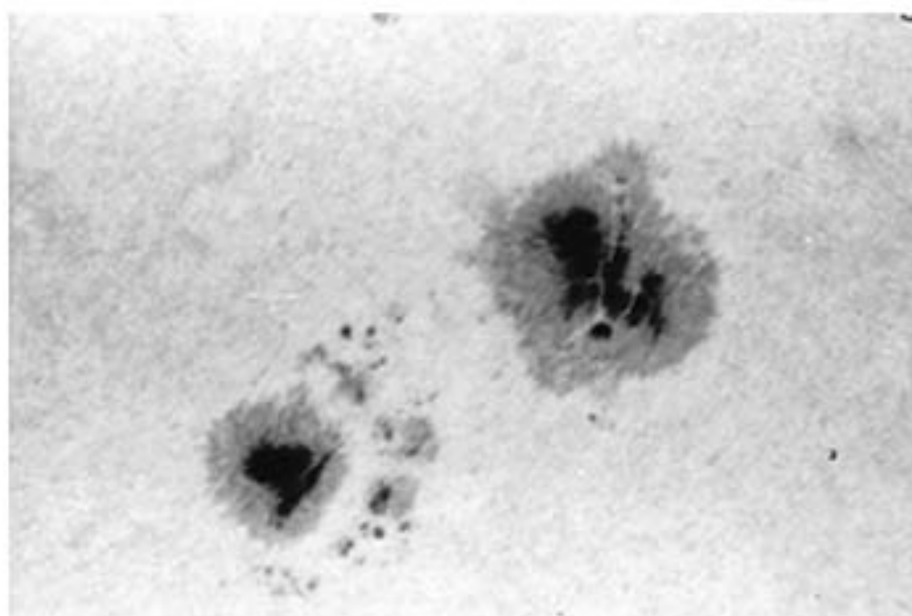


Graf č. 1b

# 1c - Aktivní oblast NOAA 6644

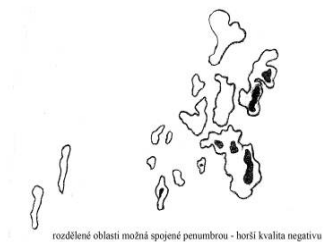


1991-05-27  
12:08 UT



1991-05-28  
14:58 UT

# Příloha č. 2a - **Aktivní oblast NOAA 7135**



1992-04-18  
07:52 UT



1992-04-19  
15:13 UT



1992-04-21  
2 expozice:  
07:15 UT  
07:20 UT



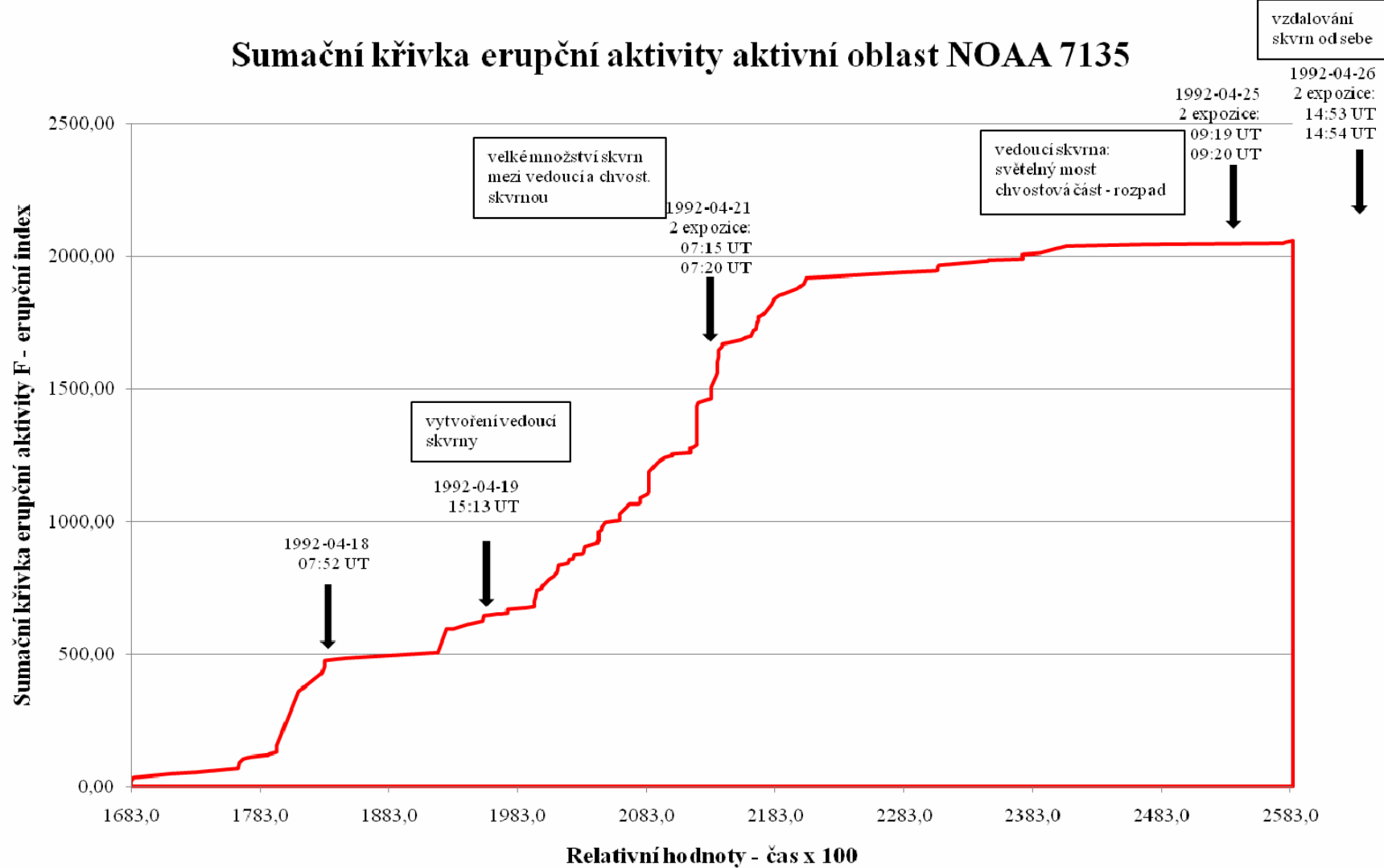
1992-04-25  
2 expozice:  
09:19 UT  
09:20 UT



1992-04-26  
2 expozice:  
14:53 UT  
14:54 UT

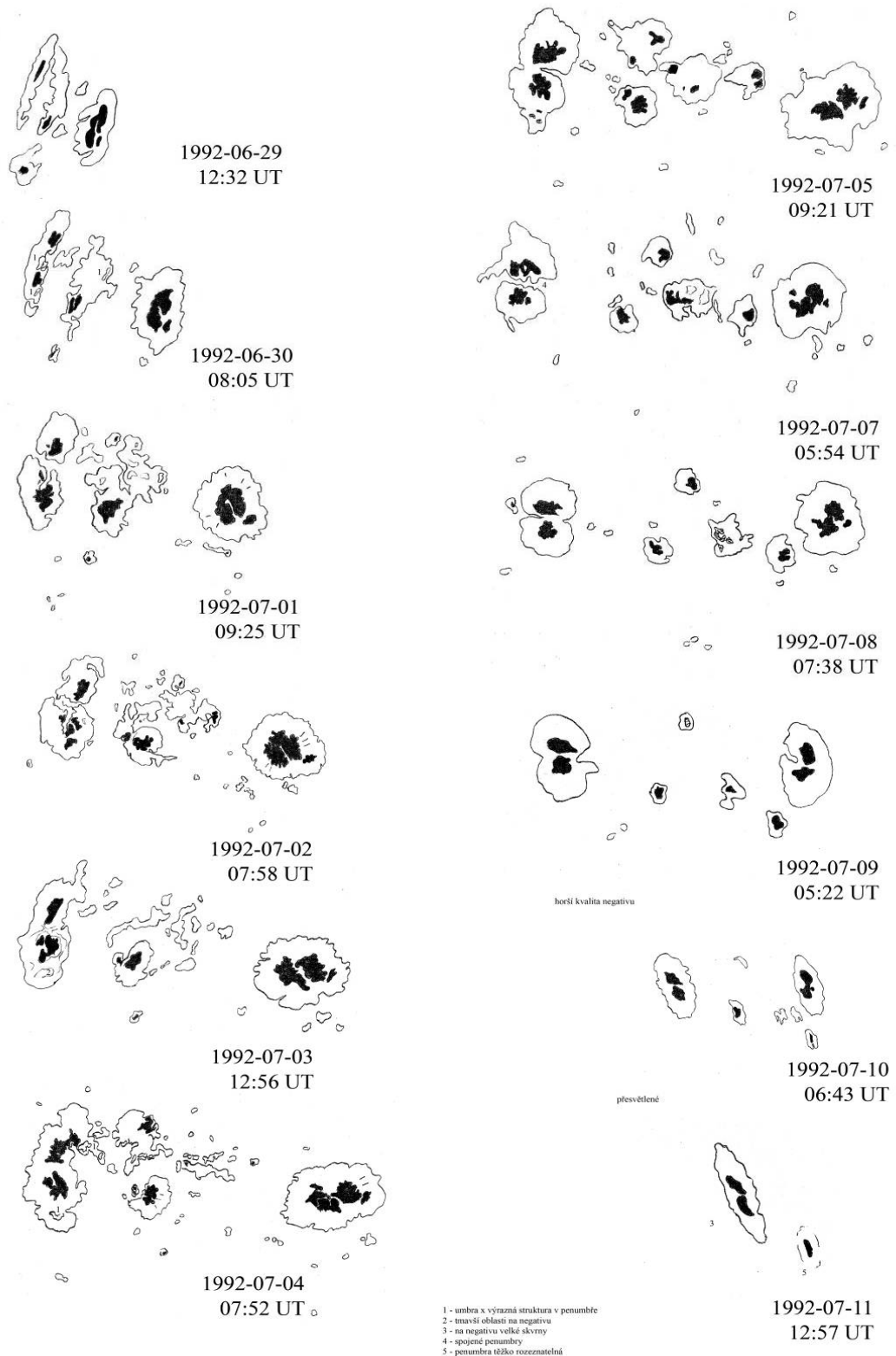
2 - tmavší oblast na negativu  
3 - na negativu velké skvrny

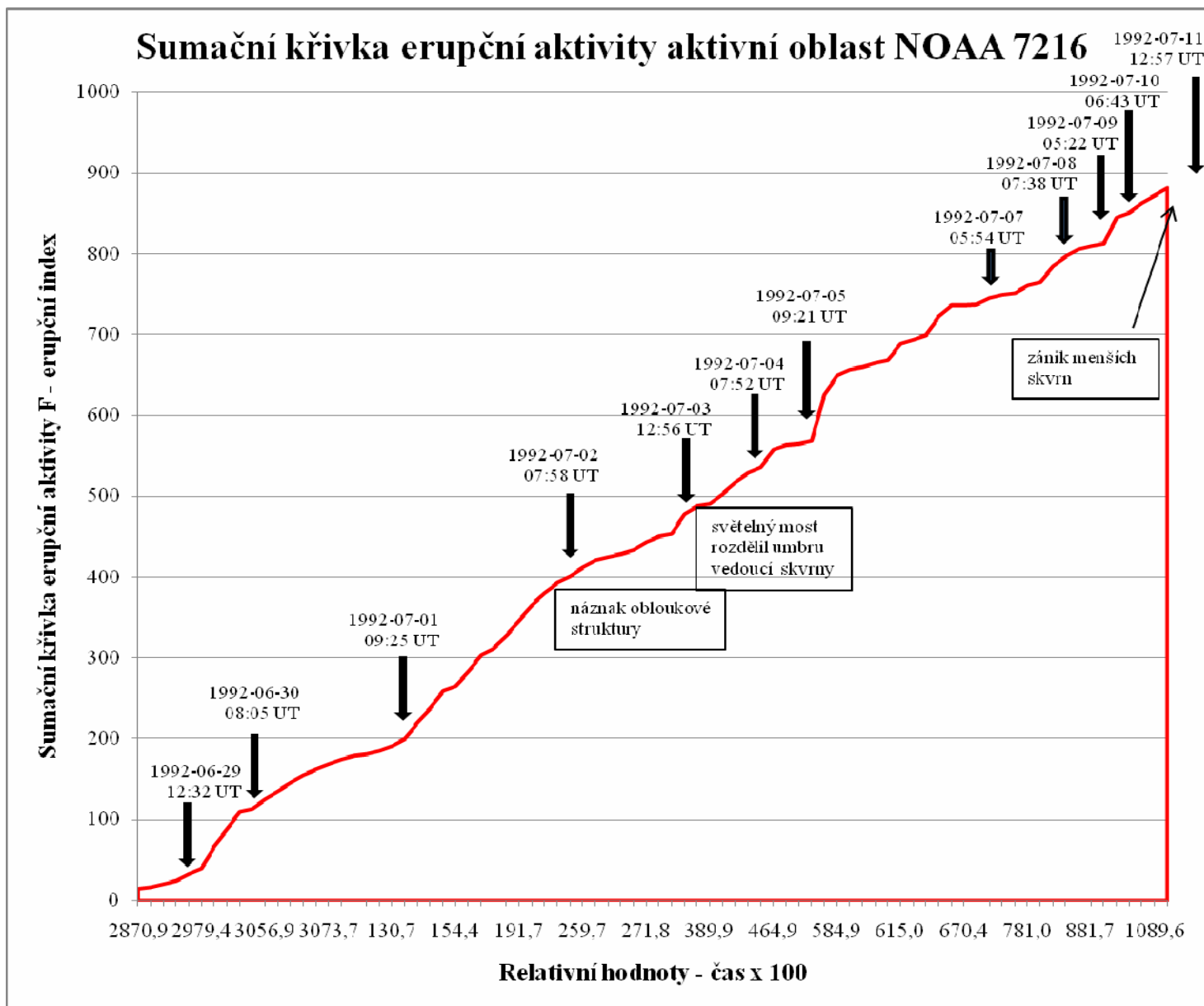
## Sumační křivka erupční aktivity aktivní oblast NOAA 7135



Graf č. 2b

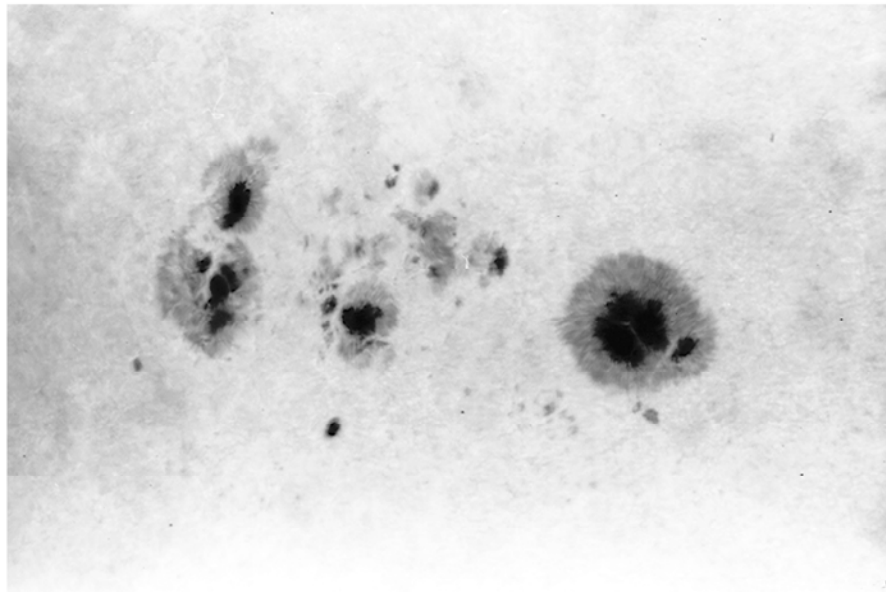
# Příloha č. 3a - Aktivní oblast NOAA 7216



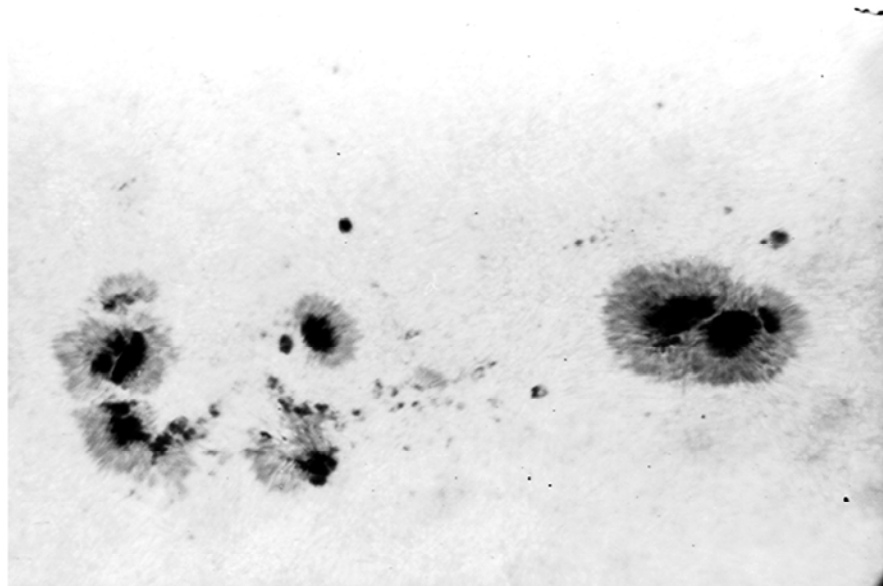


Graf č. 3b

### 3c - Aktivní oblast NOAA 7216



1992-07-02  
07:58 UT



1992-07-04  
07:52 UT



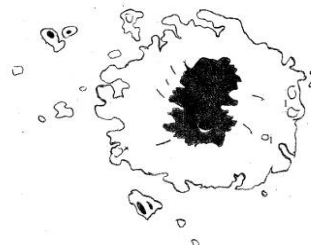
# Příloha č. 4a - Aktivní oblast NOAA 7260



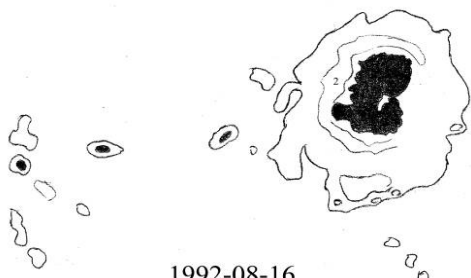
1992-08-12  
06:32 UT



1992-08-13  
10:39 UT



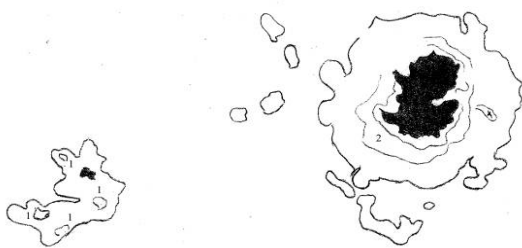
1992-08-18  
12:02 UT



1992-08-16  
06:48 UT



1992-08-19  
06:36 UT  
přesvětlené



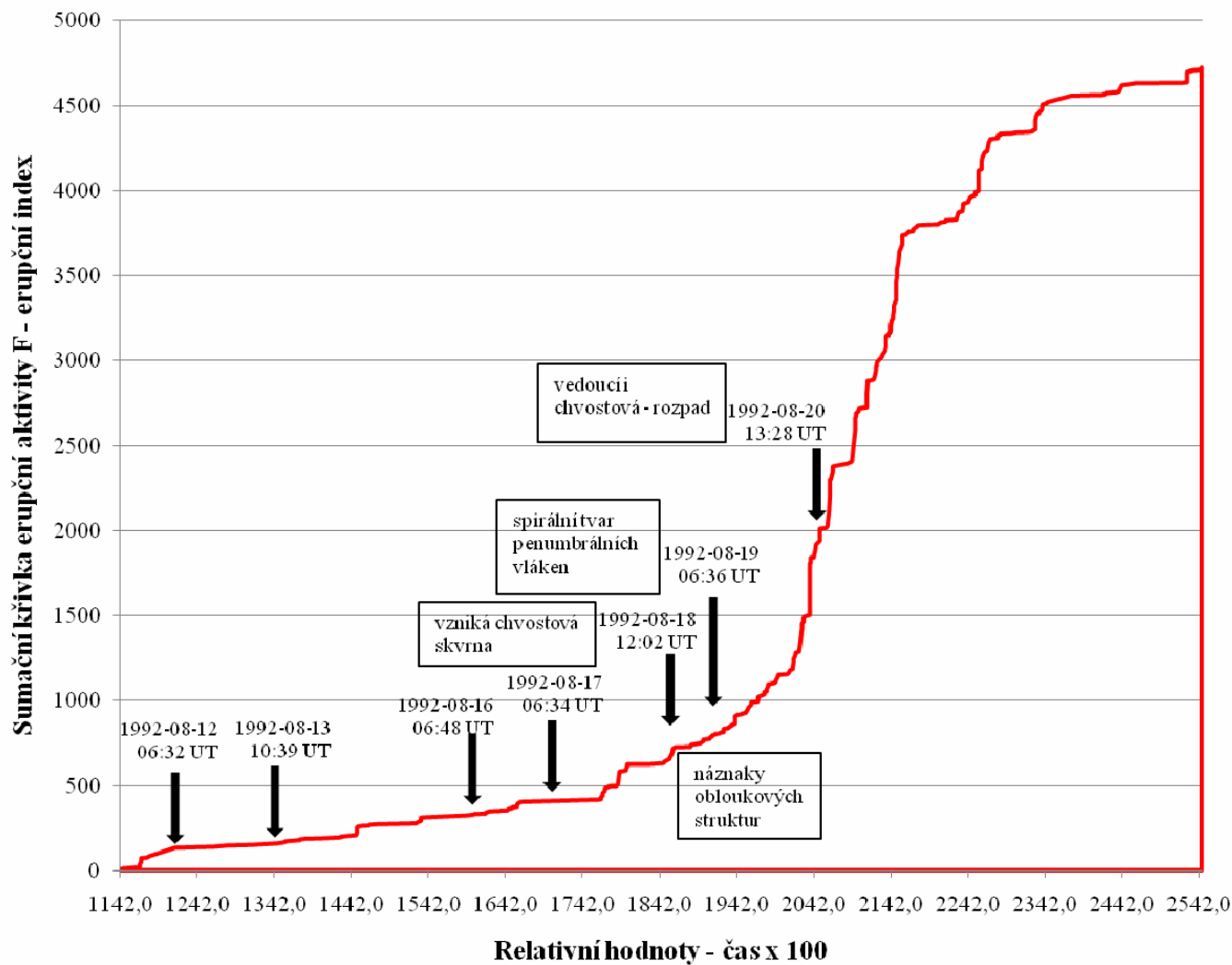
1992-08-17  
06:34 UT



1992-08-20  
horší kvalita negativu

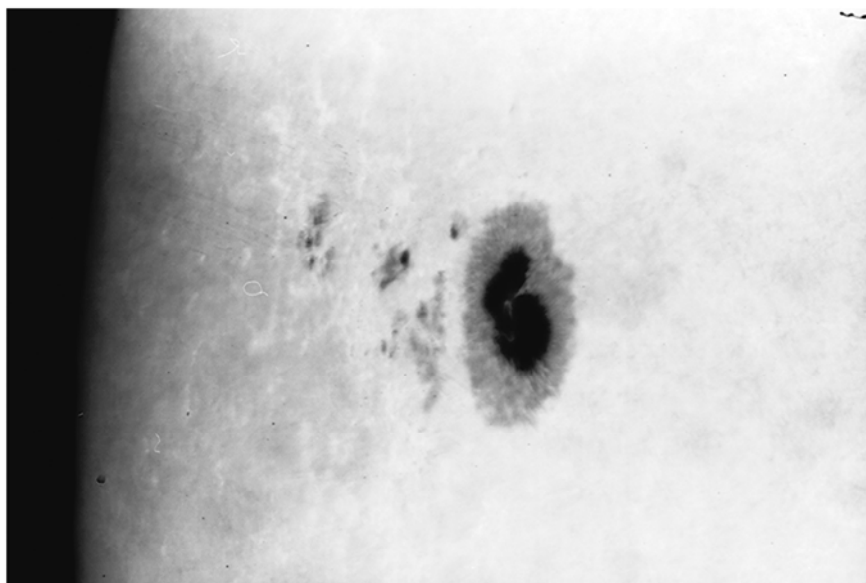
1 - umbra s výraznou strukturou v penumbře  
2 - tmavší oblast na negativu

## Sumační křivka erupční aktivity aktivní oblast NOAA 7260

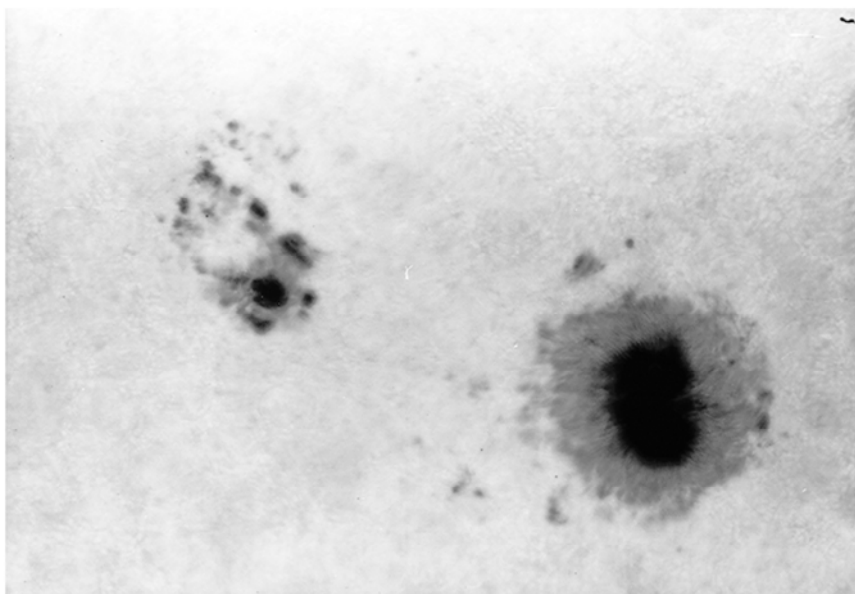


Graf č. 4b

## 4c - Aktivní oblast NOAA 7260

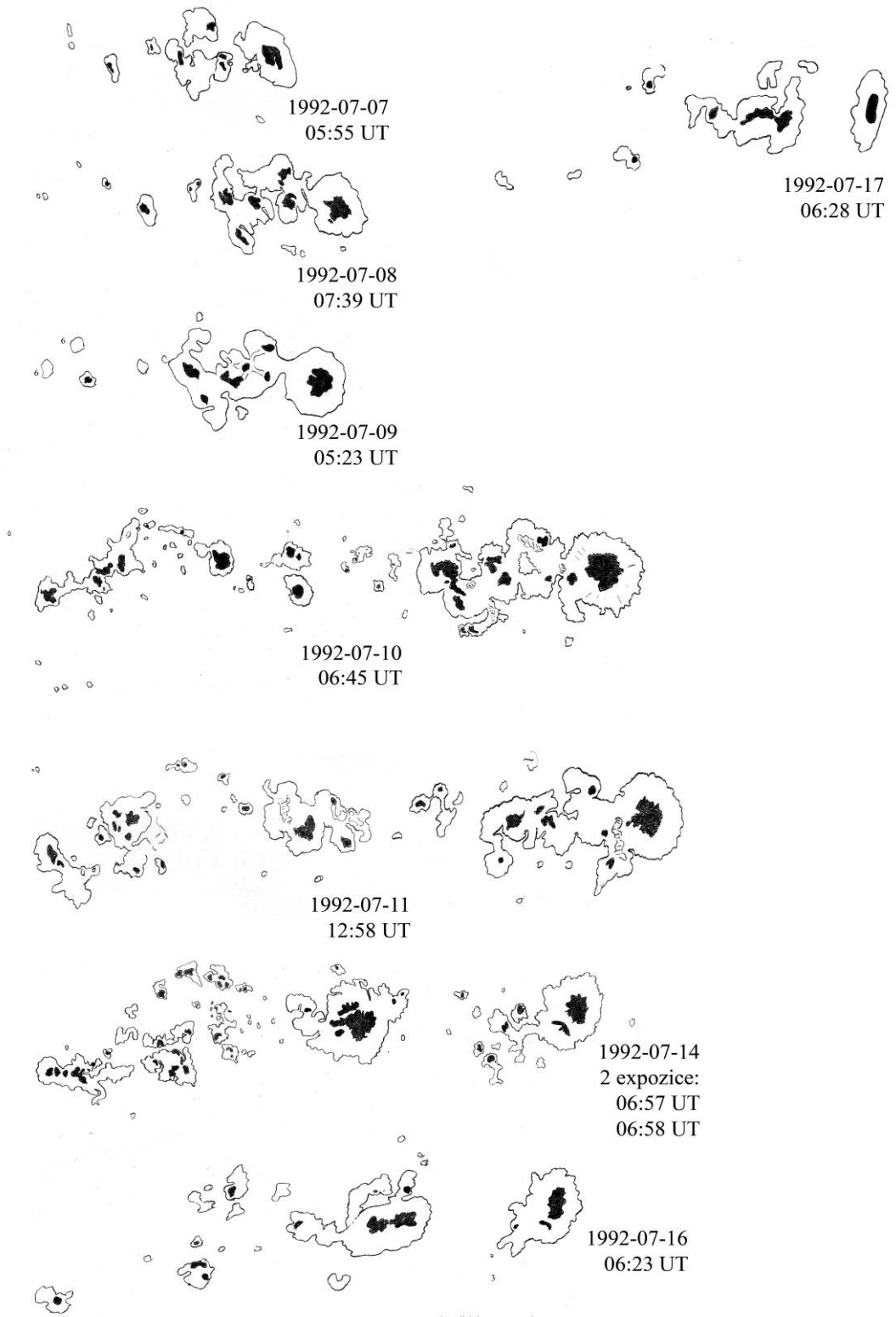


1992-08-13  
10:39 UT

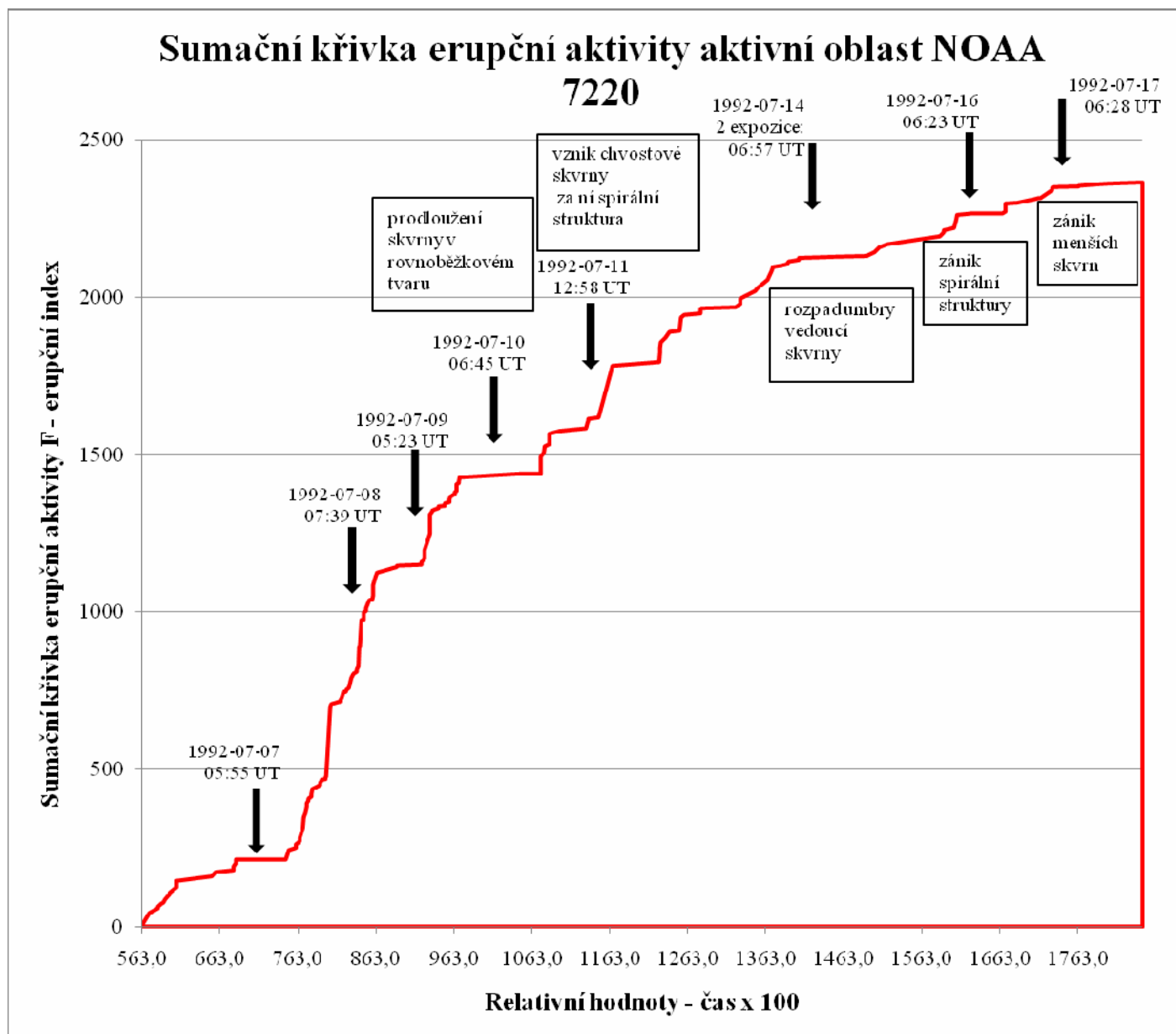


1992-08-18  
12:02 UT

Příloha č. 5a - **Aktivní oblast NOAA 7220**

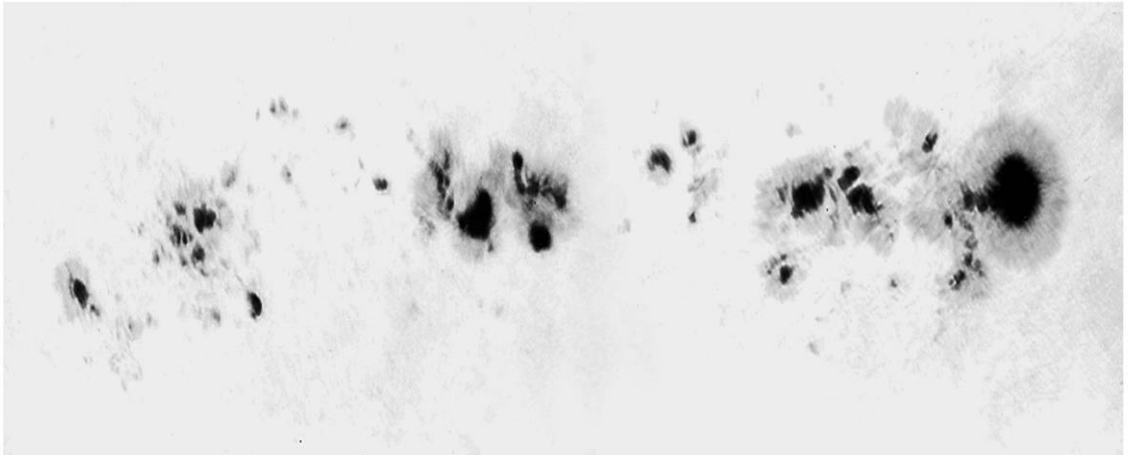


3 - velké skvrny na negativu  
6 - podle negativu jsou tam úbry

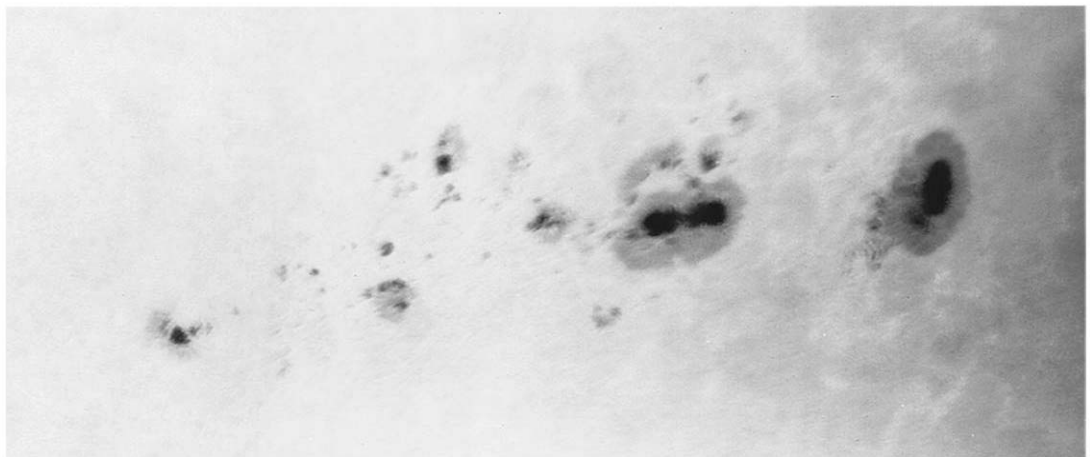


Graf č. 5b

## 5c - Aktivní oblast NOAA 7220



1992-07-11  
12:58 UT



1992-07-16  
06:23 UT