



**PROGRAM  
CEZHRANIČNEJ  
SPOLUPRÁCE**

SLOVENSKÁ REPUBLIKA  
ČESKÁ REPUBLIKA



**EURÓPSKA ÚNIA  
EURÓPSKY FOND  
REGIONÁLNEHO ROZVOJA**

SPOLOČNE BEZ HRANÍC



**FOND MIKROPROJEKTŮ**

# Sluneční skvrny od A do Z

Michal Sobotka  
Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov

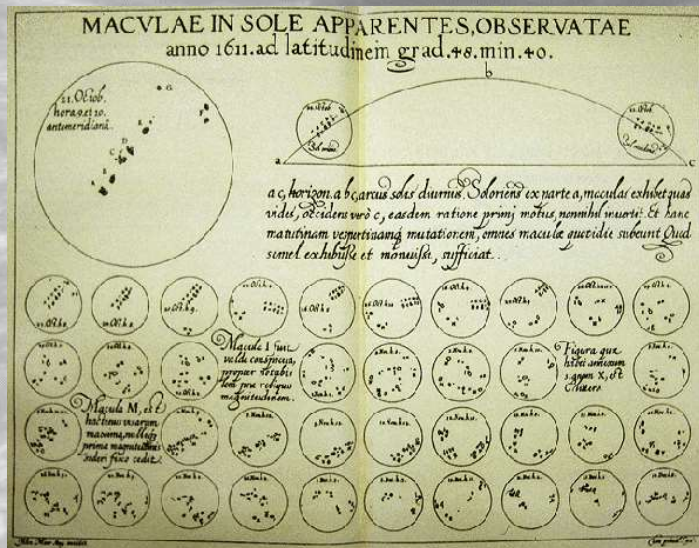


# Sluneční skvrny - historie

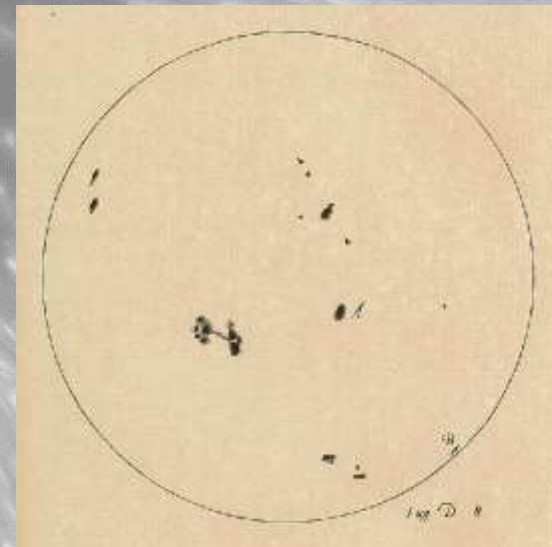
# Příležitostná pozorování velkých skvrn pouhým okem

## První pozorování dalekohledem:

- 1610 Thomas Harriot
- 1611 Johann Fabricius (první publikace o skvrnách)
- 1611 Christoph Scheiner
- 1611 Galileo Galilei (skvrny jsou útvary na povrchu Slunce, objev sluneční rotace, pozorování skvrn projekcí)



# Scheiner



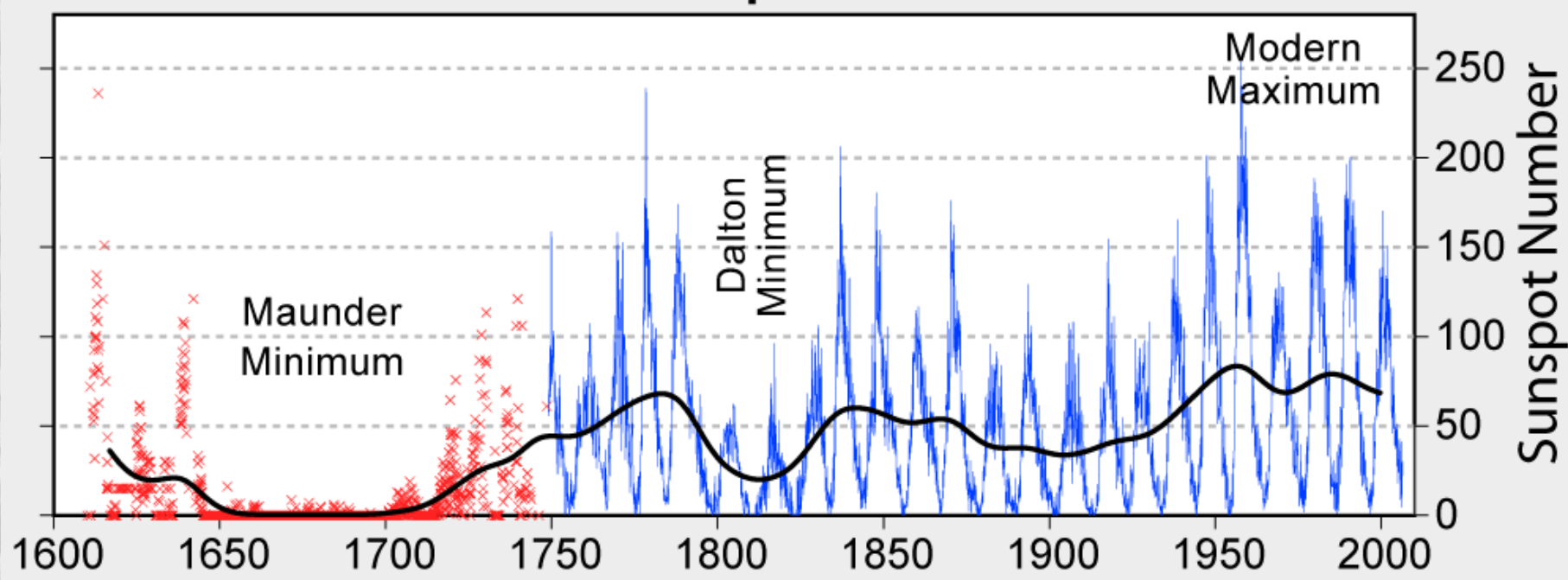
# Galileo



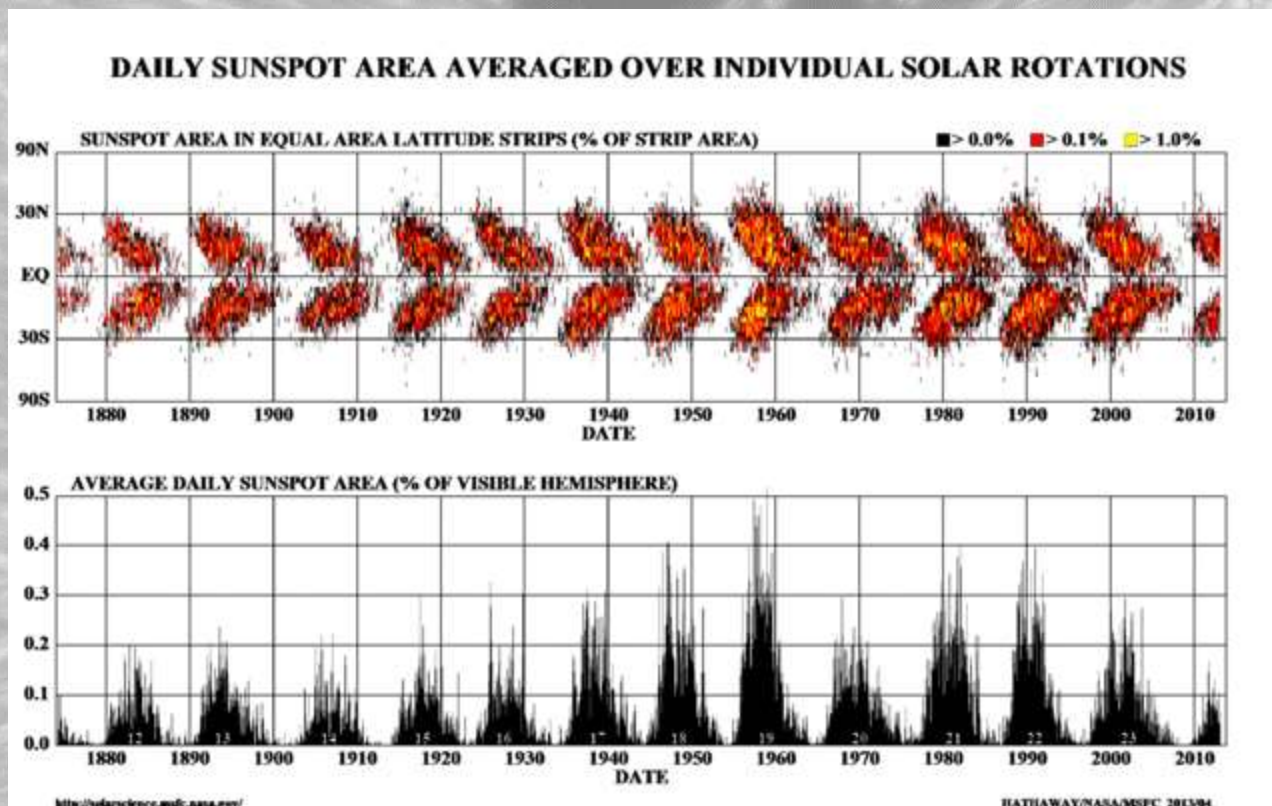
# Sluneční skvrny - statistika výskytu

1843 – Heinrich Schwabe a později Rudolf Wolf: objev slunečního cyklu (perioda 7,5 – 14 let, přibližně 11 let)

Relativní číslo (Wolf):  $R = k (10 g + s)$



## 1863 – Richard Carrington a nezávisle Gustav Spörer: motýlkový diagram

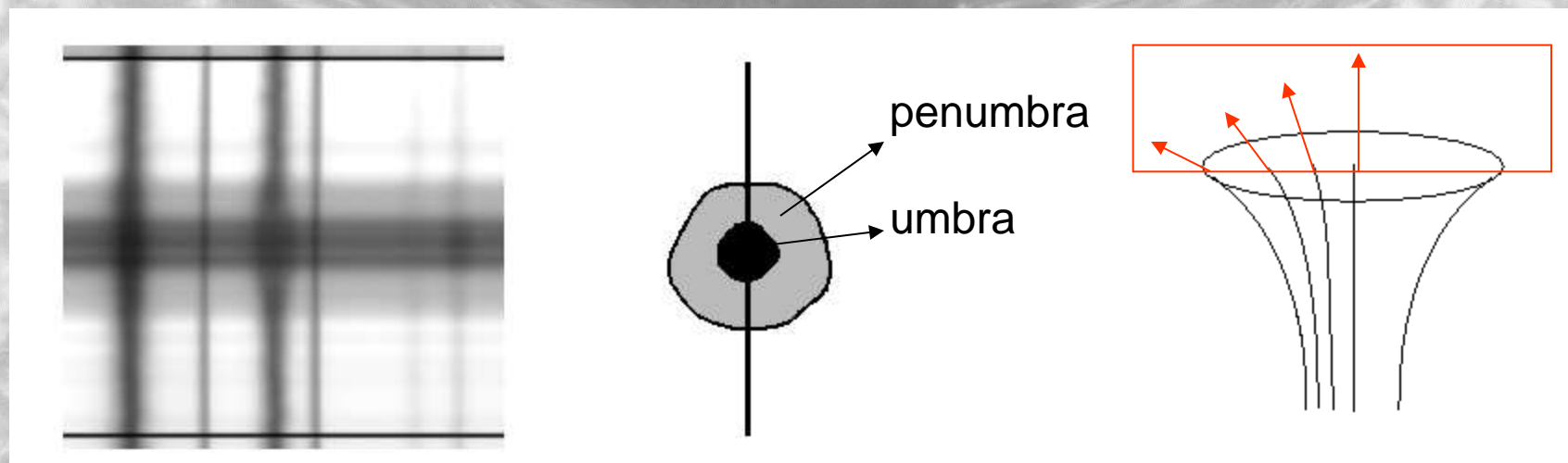


Na začátku cyklu se aktivita objevuje ve vyšších šířkách a postupně se přesunuje k rovníku.



# Sluneční skvrny - magnetické pole

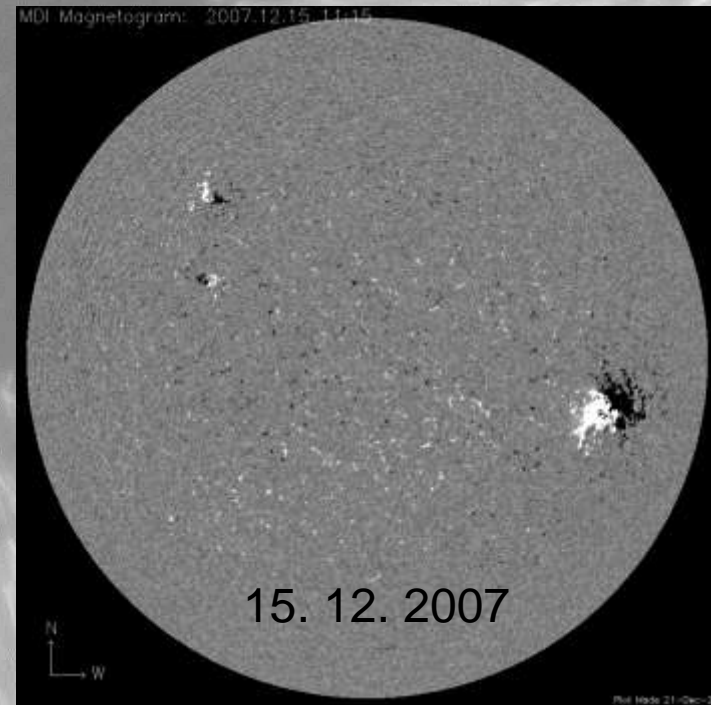
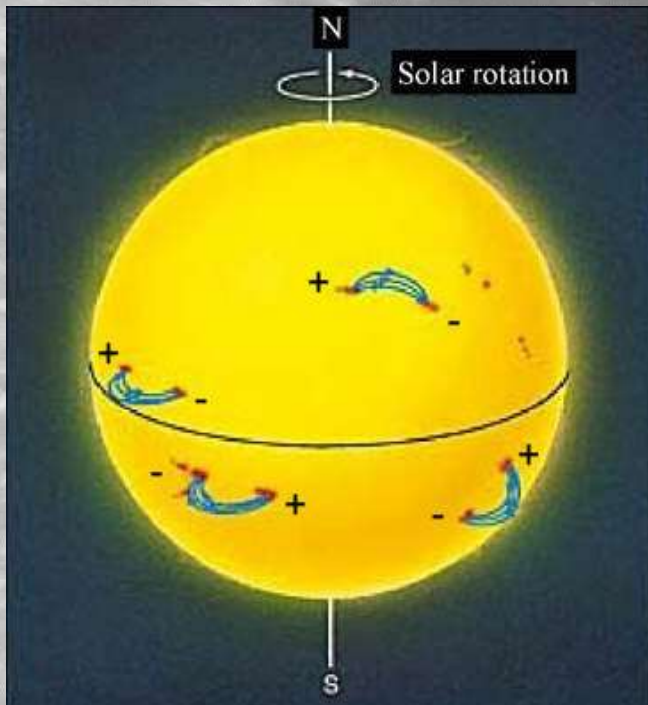
1908 – G. E. Halle poprvé pozoroval magnetické rozštěpení spektrálních čar ve skvrnách



Magnetické pole dosahuje hodnot  $0,3 \text{ T}$  ( $3000 \text{ G}$ ) ve středu skvrny, s rostoucí vzdáleností od něj slábne a stále více se odklání od svislého směru.

# Magnetický sluneční cyklus

Během jedenáctiletého cyklu se globální magnetické pole Slunce přepóluje. Polarity vedoucích (západních) a následujících (východních) částí skupin skvrn se v dalším cyklu vymění. Původní polarita se tedy obnoví až po dvou slunečních cyklech, tj. po 22 letech.

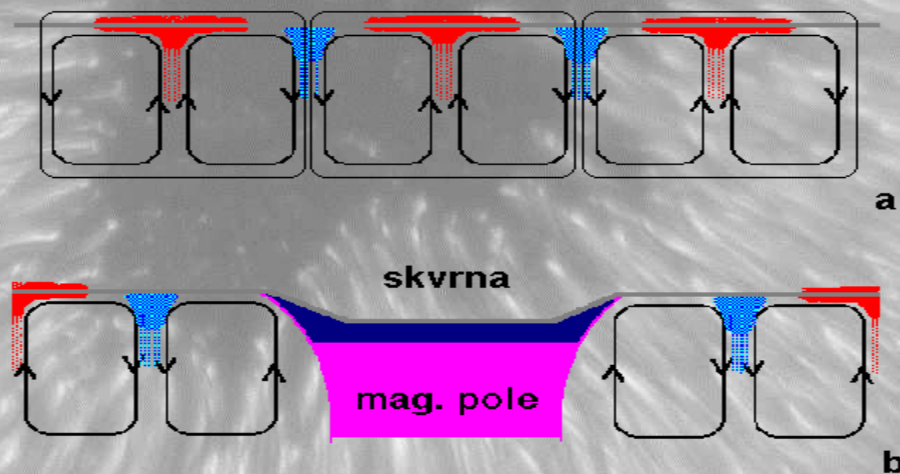




# Proč jsou skvrny temné?

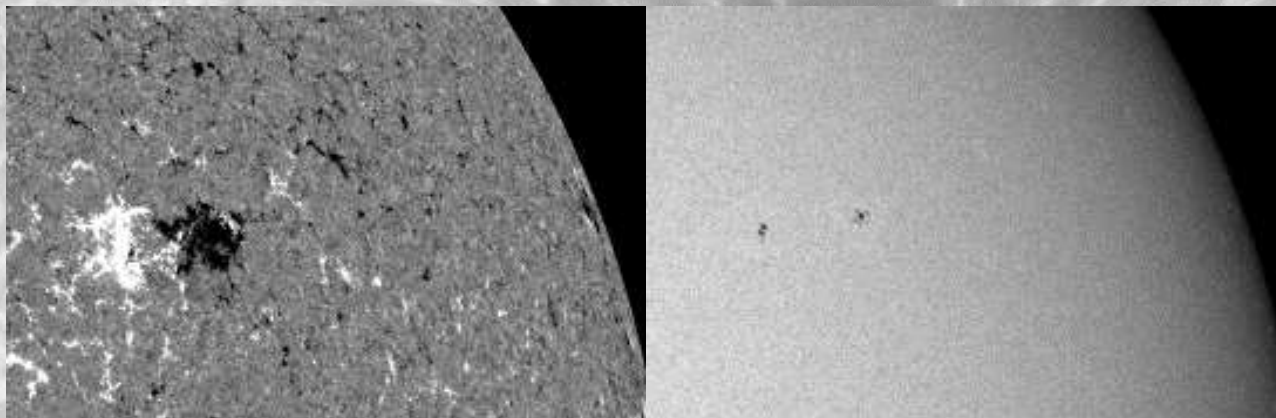
Umbra skvrn je asi o 2000 K chladnější než fotosféra.

1941 – L. Biermann: Magnetické pole brání konvektivnímu přenosu energie z hlubších vrstev pod skvrnou tím, že znemožňuje pohyb ionizovaného plynu (plazmatu) napříč siločar. Magnetický tlak ve skvrně vyrovnává tlak okolního horkého plynu a skvrnu tak stabilizuje.

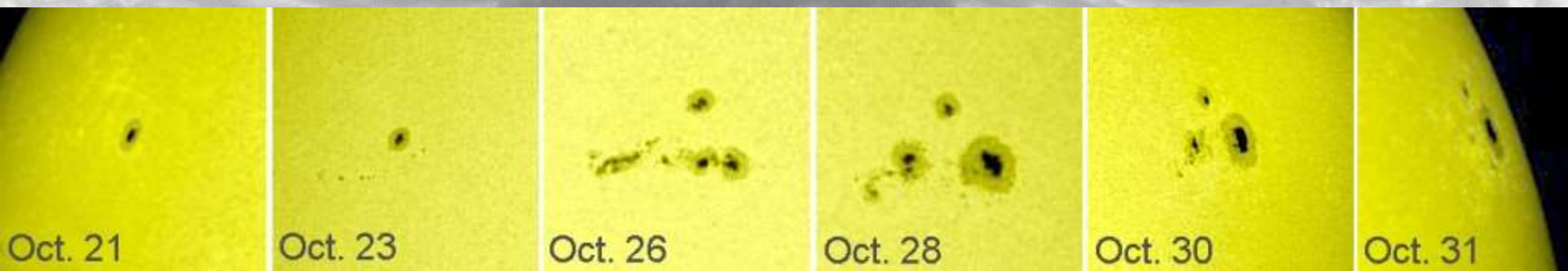




# Zrod a vývoj skvrn



Magnetická oblast, póry (bez penumbry) nebo malé skvrny

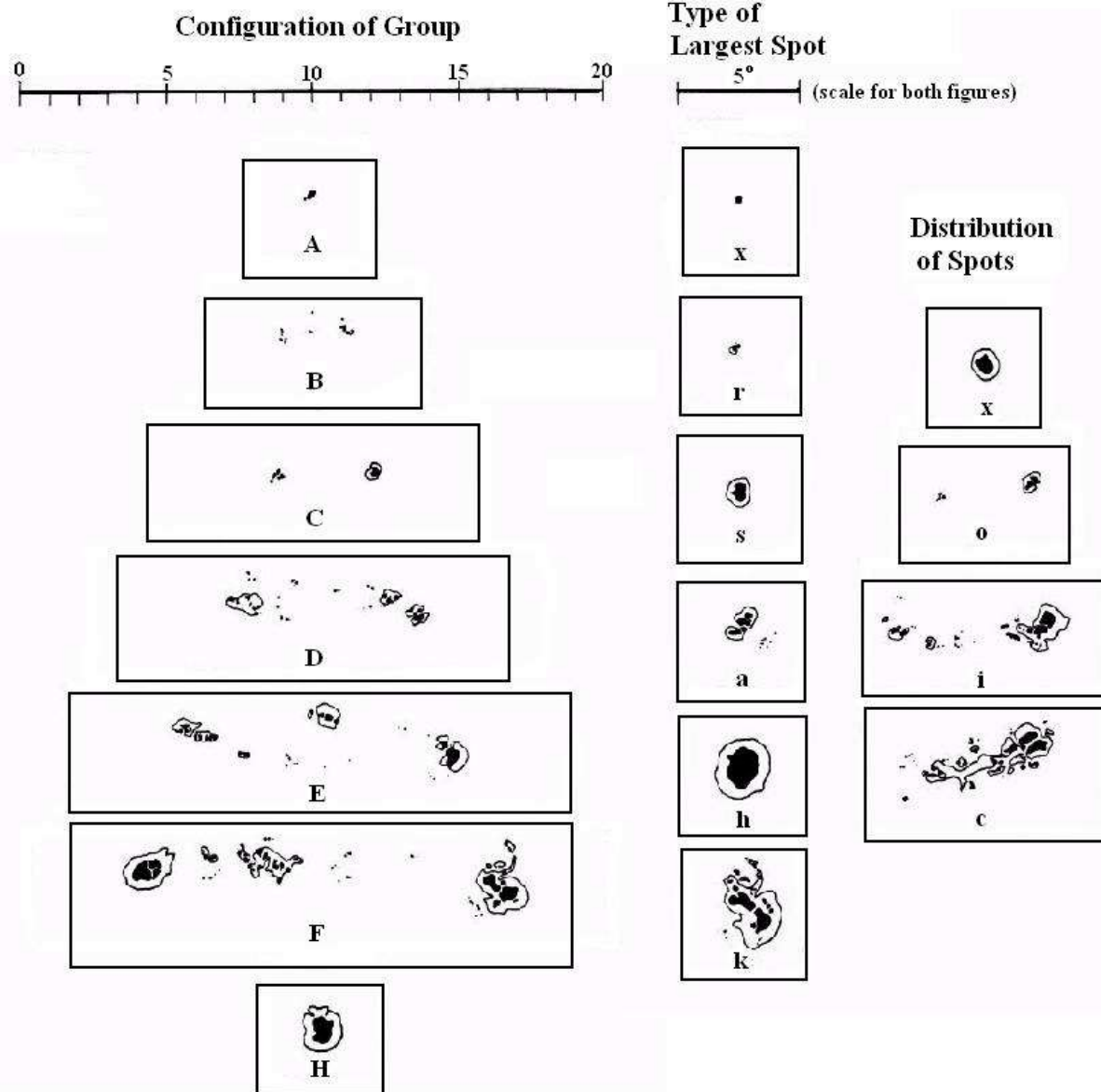


Vývoj skupiny skvrn (SDO, 2010)

Životní doba skvrny je od několika hodin do několika měsíců.

## Modified Zurich Sunspot Classifications

Courtesy of A.L.P.O. Solar Section - Rik Hill



## Klasifikace skupin skvrn

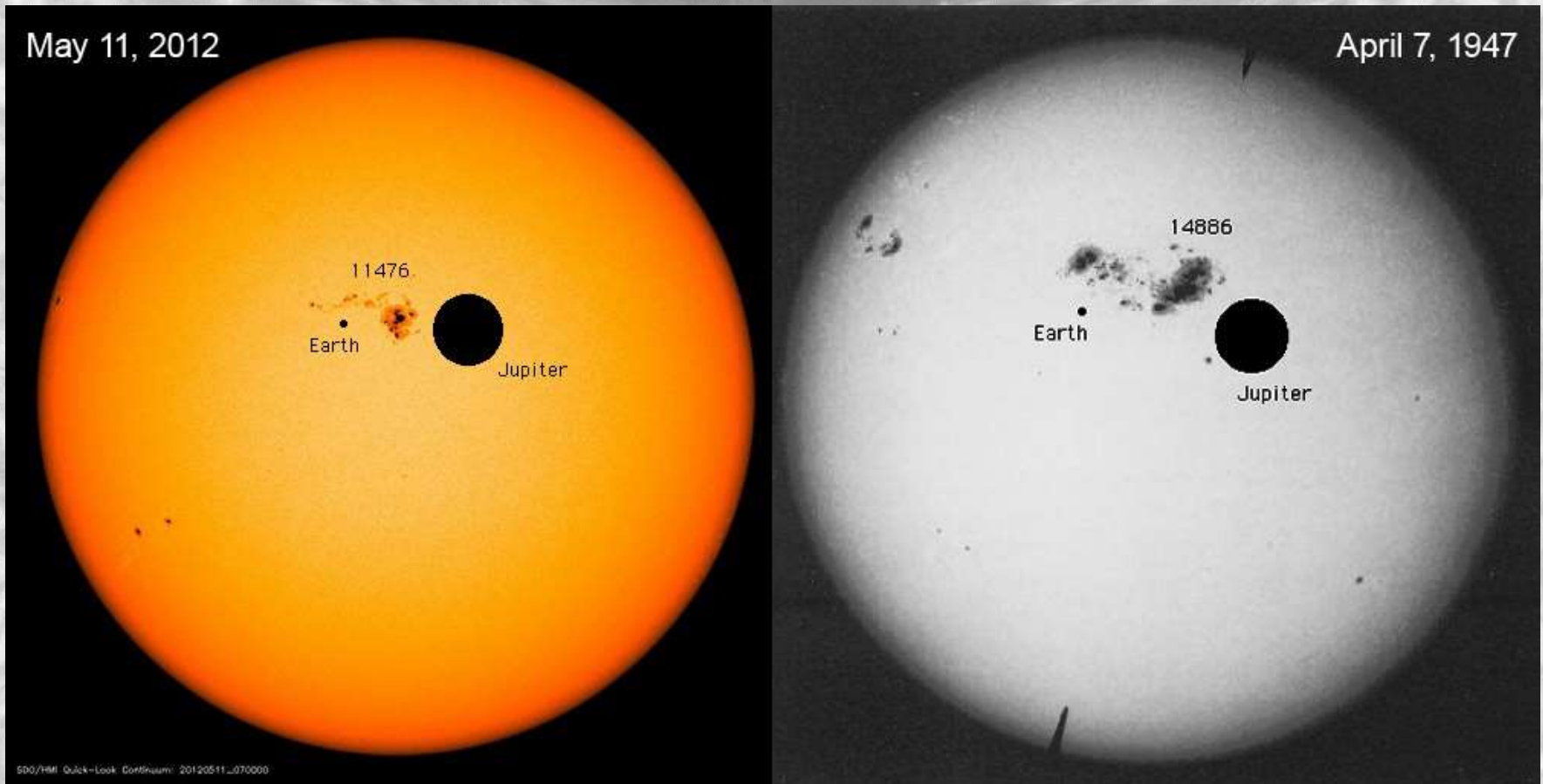
McIntosh, 1990

Ve skupinách typu *Fsi*, *Fki* a *Fkc* se často vyskytují sluneční erupce.

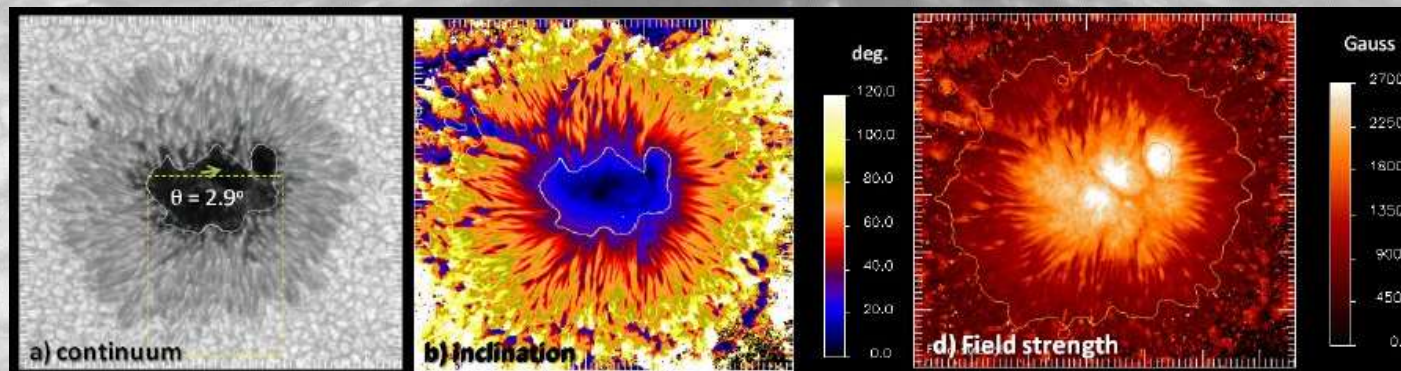
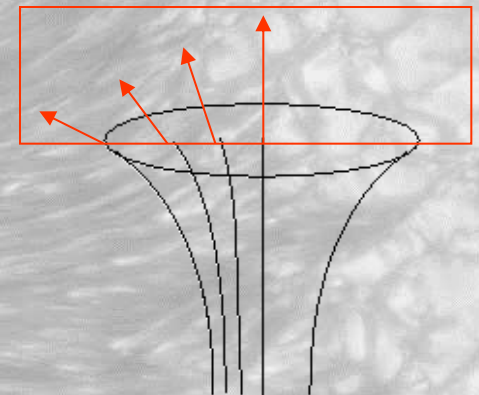
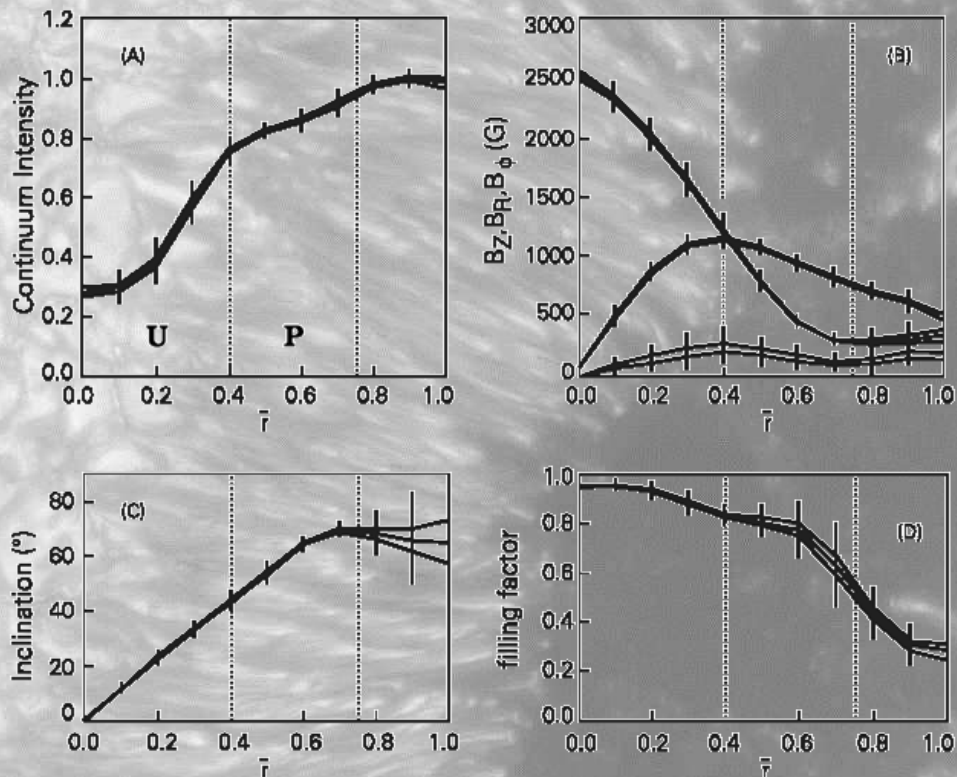


# Velikost skvrn

Od asi 1000 km (malá póra) do asi 100 000 km.  
Skvrny větší než 50 000 km jsou viditelné pouhým okem.



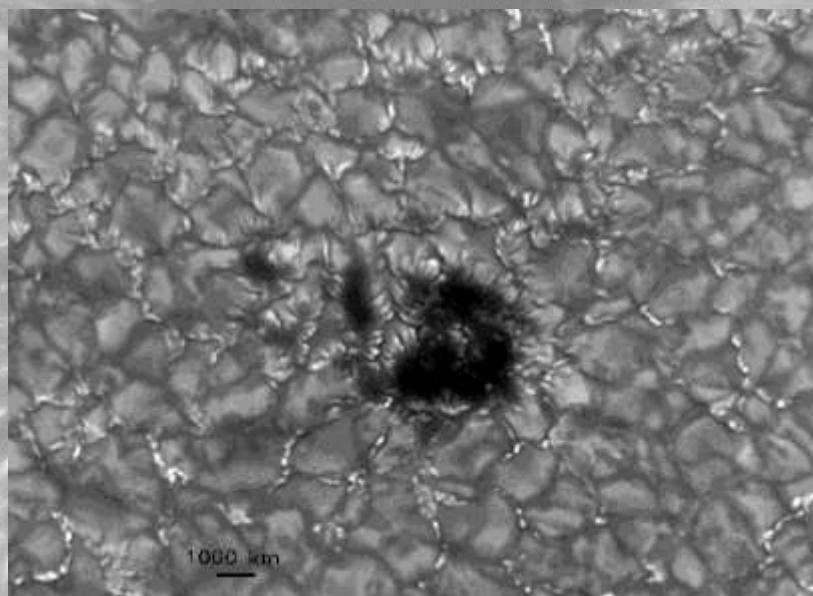
# Magnetické pole skvrn





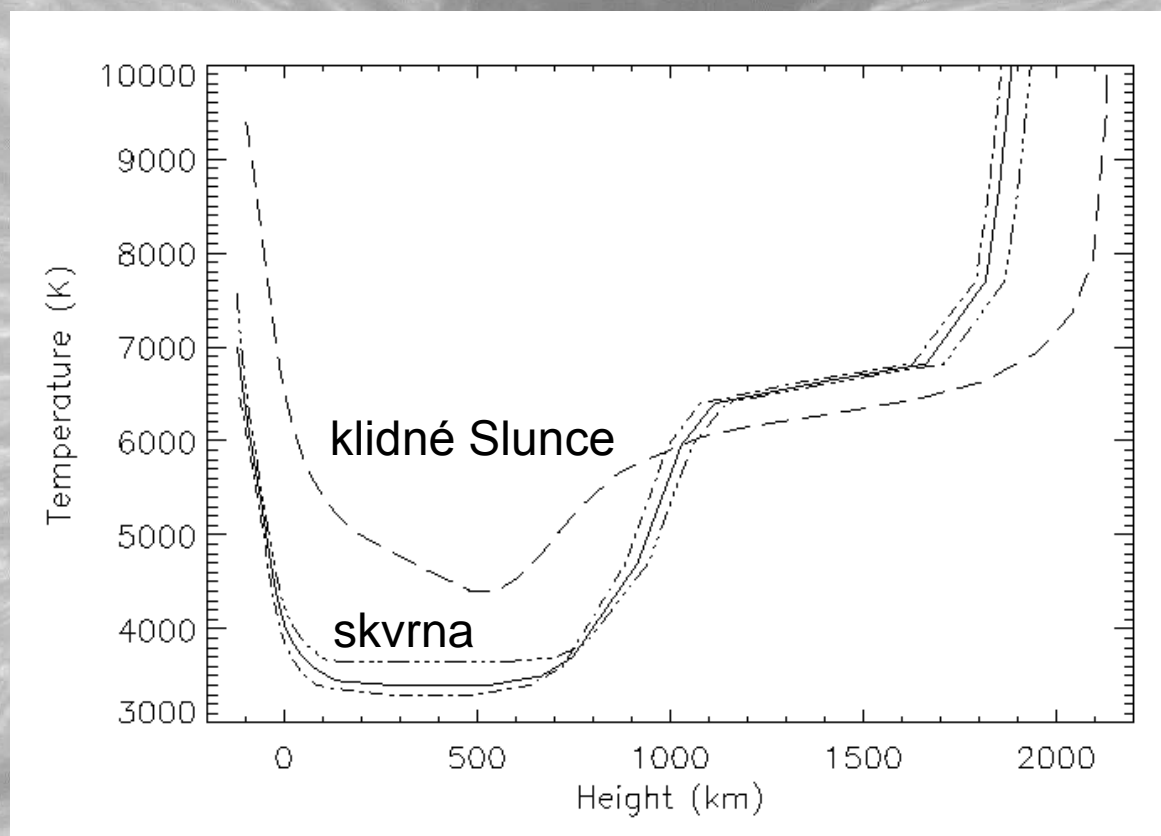
# Sluneční póry

jsou malé skvrny bez penumbry. Jejich magnetické pole je slabší než u skvrn (asi  $2/3$ ) a nestačí k rozevření siločar na okraji umbry natolik, aby vznikla penumbra. Žijí nejvýše několik dnů – buď se z nich vyvinou skvrny nebo zaniknou.



# Teplota ve skvrnách

Teplota závisí na výšce ve sluneční atmosféře. Ve fotosféře (0 – 500 km) s výškou klesá, v chromosféře roste. Závisí také na magnetickém poli: čím je pole silnější, tím je teplota nižší.

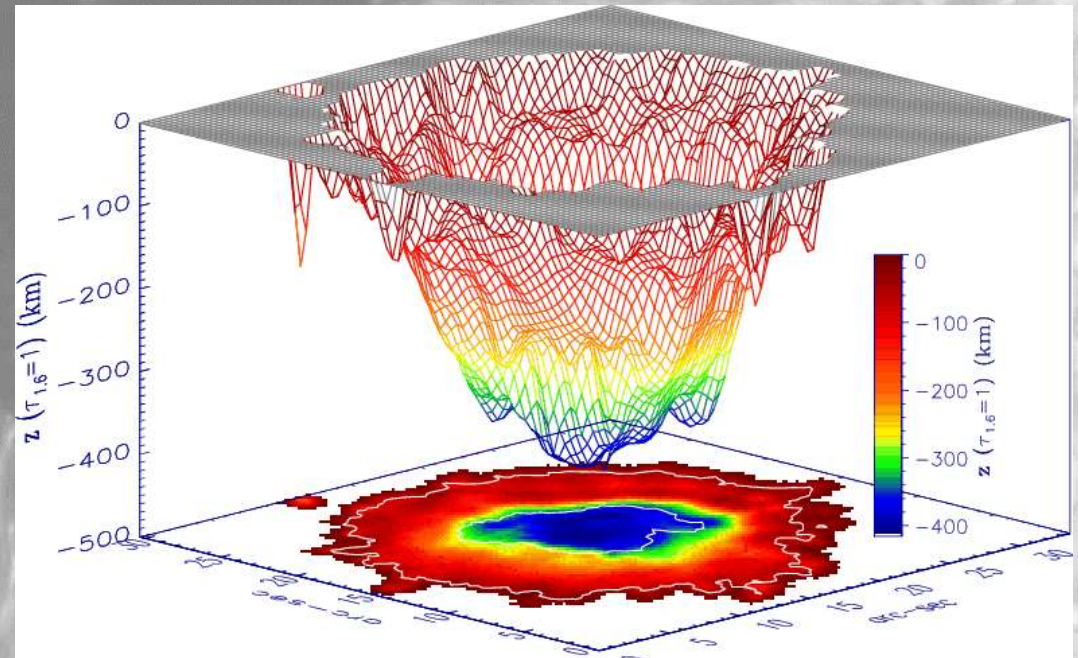




# Wilsonova deprese

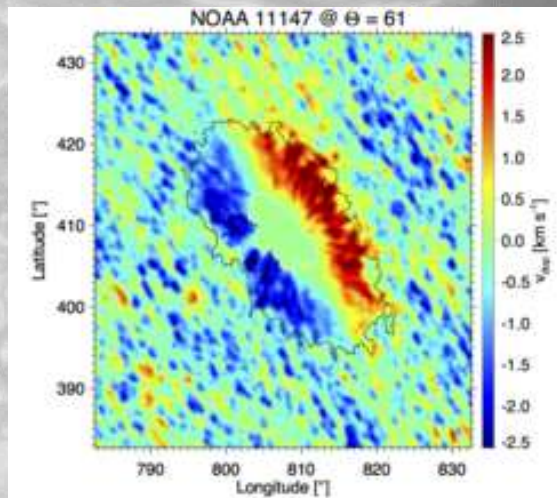
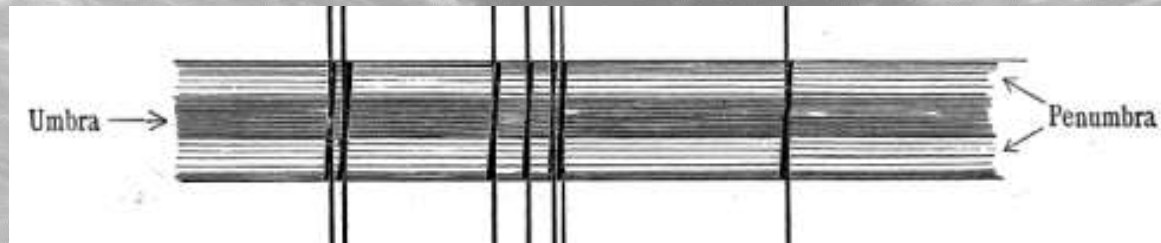
Objevena A. Wilsonem v roce 1769.  
Povrch Slunce ( $h=0$ ) je ve skvrnách  
asi o 400 km níž než v okolí. Skvrny  
jsou průhlednější než okolí díky nižší  
teplotě a tlaku plynu.

$$P_{\text{spot}}(z) + B^2(z)/2\mu = P_{\text{ext}}(z)$$



# Pohyby ve skvrnách a kolem nich

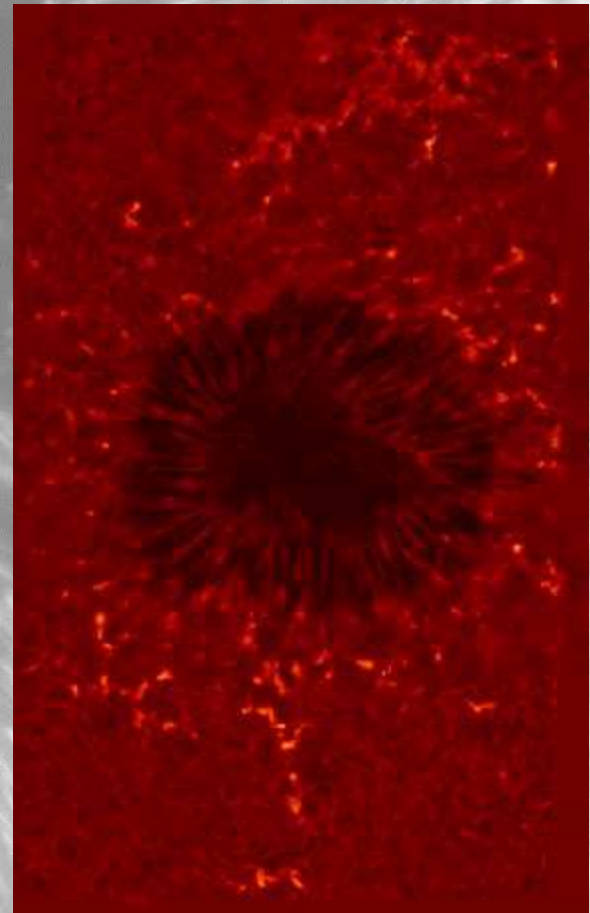
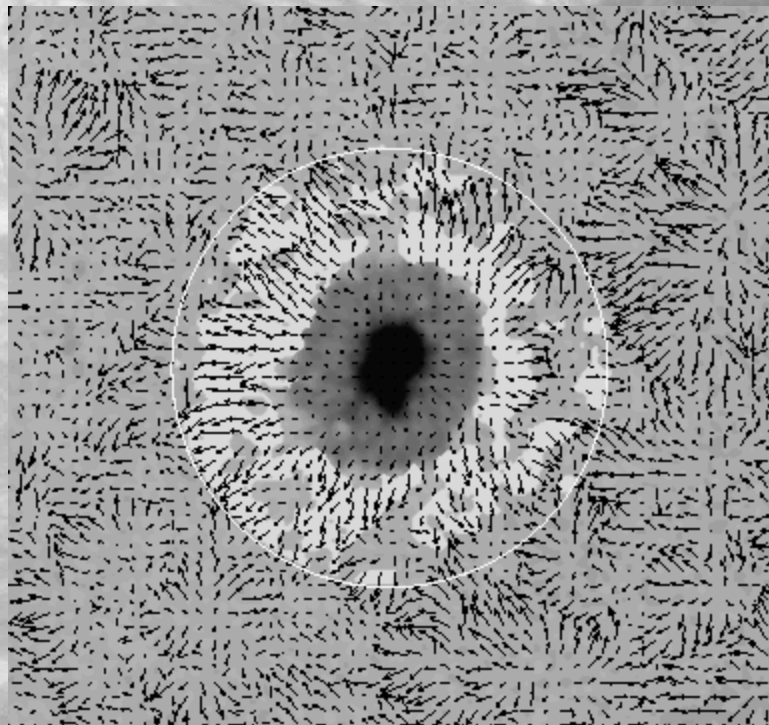
1909 – J. Evershed našel Dopplerův posuv spektrálních čar v penumbře skvrn a vysvětlil ho jako horizontální proudění plynu směrem od umbry – Evershedův efekt.



Evershedovo proudění o rychlosti 1–3 km/s je nejlépe vidět u skvrn ležících mimo střed slunečního disku.

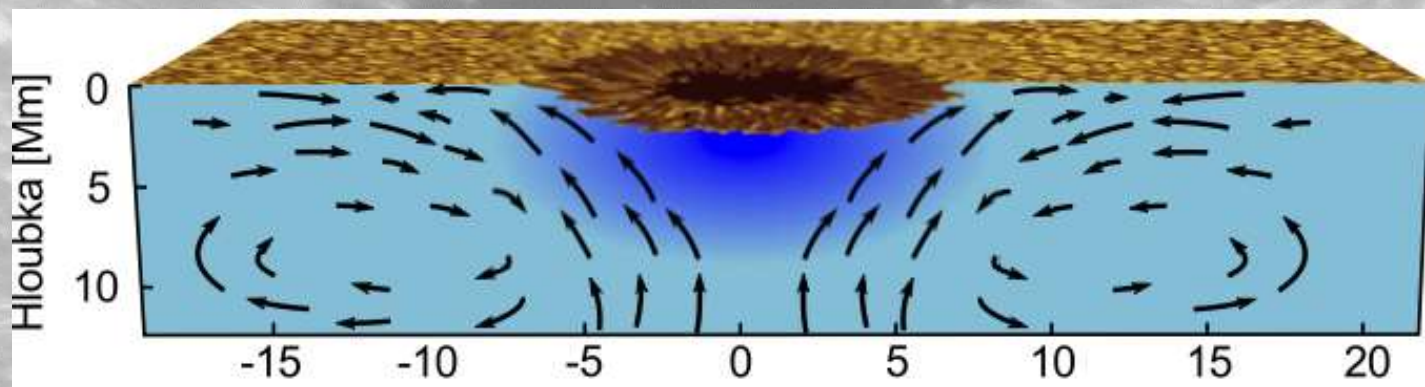


Moat (příkop) je prstencová oblast kolem skvrny, kde se granule a magnetické uzlíky pohybují rychlostí 0,5–1 km/s směrem od skvrny.



2 hodiny reálného času

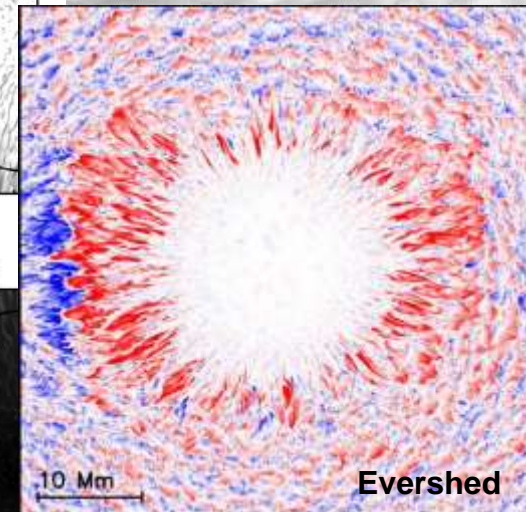
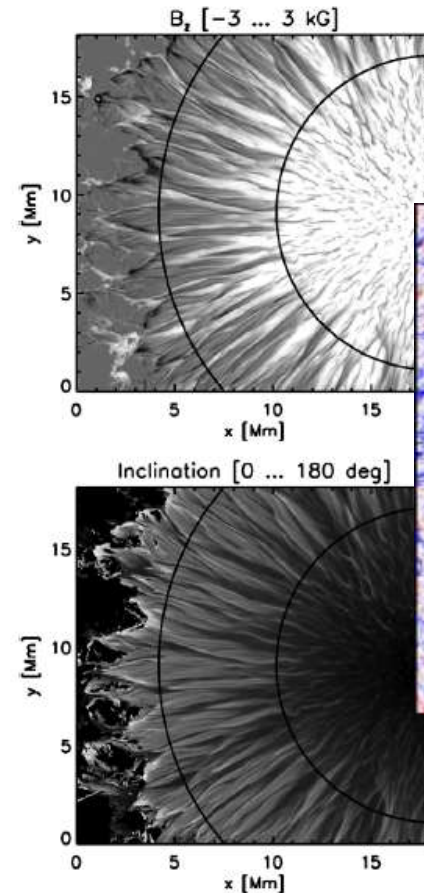
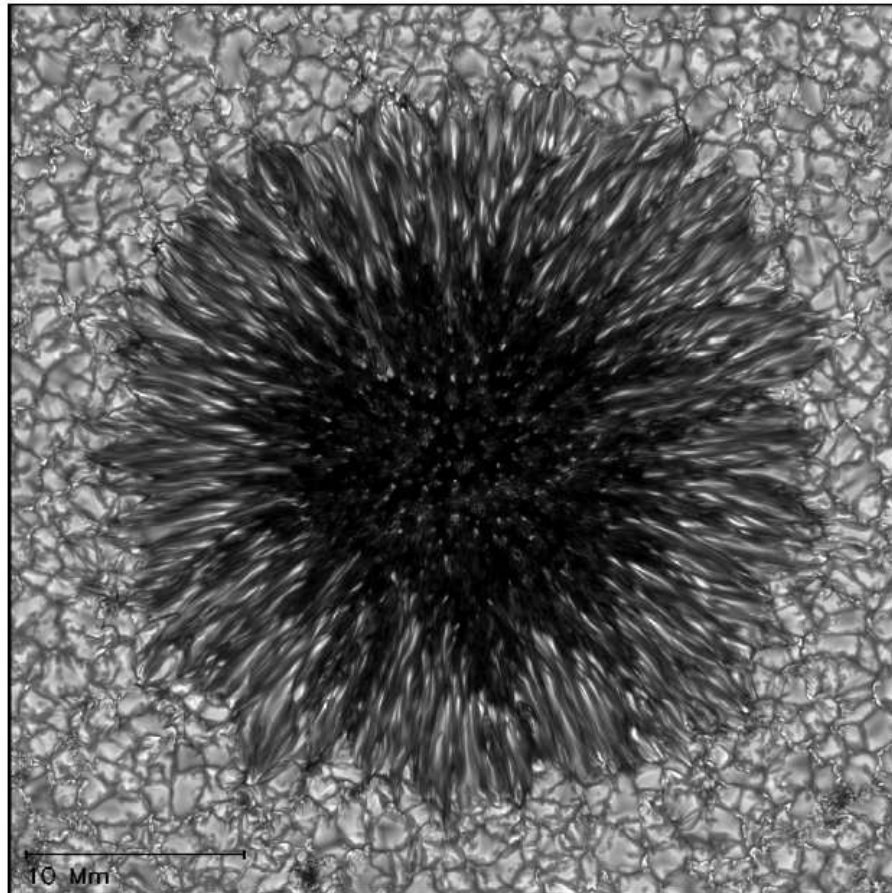
Pohyby v oblasti moat jsou patrně projevem proudění kolem skvrny pod povrchem Slunce, jak naznačují výsledky helioseismických měření a modelů. Takové proudění mechanicky stabilizuje skvrnu a prodlužuje její životní dobu.





# Numerické simulace

M. Rempel od roku 2009 vytváří skvrny na superpočítači. Simulace jsou založeny na řešení MHD rovnic spolu s přenosem záření.





**Díky za pozornost**