



**PROGRAM
CEZHRANIČNEJ
SPOLUPRÁČE**
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



**EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA**
SPOLOČNE BEZ HRANÍC



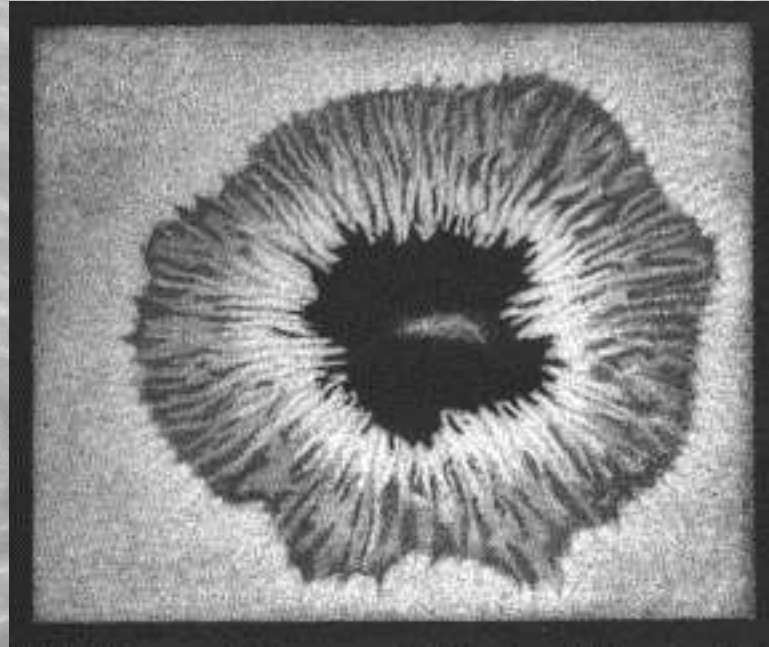
FOND MIKROPROJEKTŮ

Jemná struktura slunečních skvrn

Michal Sobotka
Astronomický ústav AV ČR, Ondřejov



První pozorování s vysokým rozlišením



1870 – Angelo Secchi: vizuální pozorování a kresby, kniha „Le Soleil“

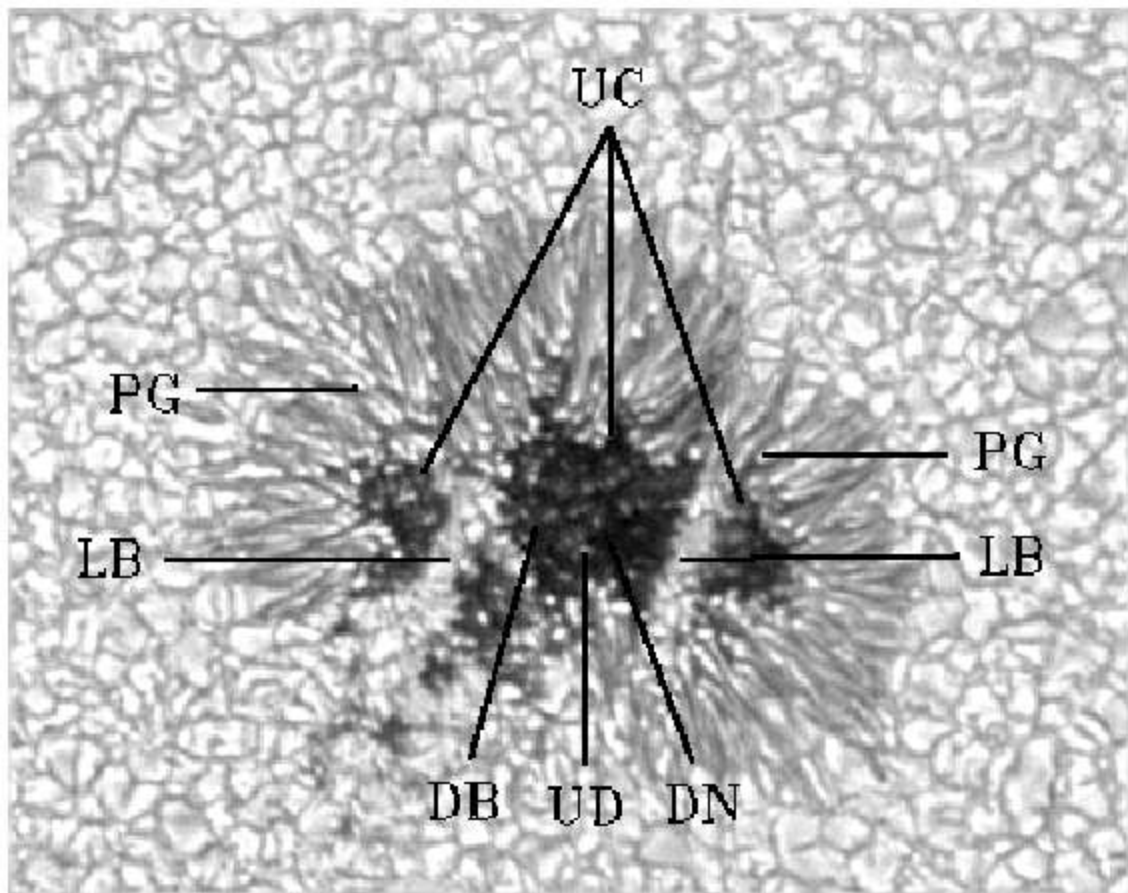
1916 – S. Chevalier: první fotografie, rozlišení 0,7" – 1" (600 km)

1964 – R. Danielson: jasné body v umbře (balón Stratoscope, 300 km)

1973 – R. Muller: penumbrální zrna (Pic du Midi)

Přehled útvarů jemné struktury

Sluneční skvrny vznikají vzájemným působením pohybujícího se plazmatu a magnetického pole. Tyto procesy se odehrávají v širokém rozsahu prostorových škál, od desítek do desítek tisíců kilometrů.



UC – umbrální jádro
PG – penumbrální zrno
LB – světelný most
DB – difúzní pozadí
UD – umbrální bod
DN – temné jadérko
Jasná a temná vlákna
(filamenty) v penumbře

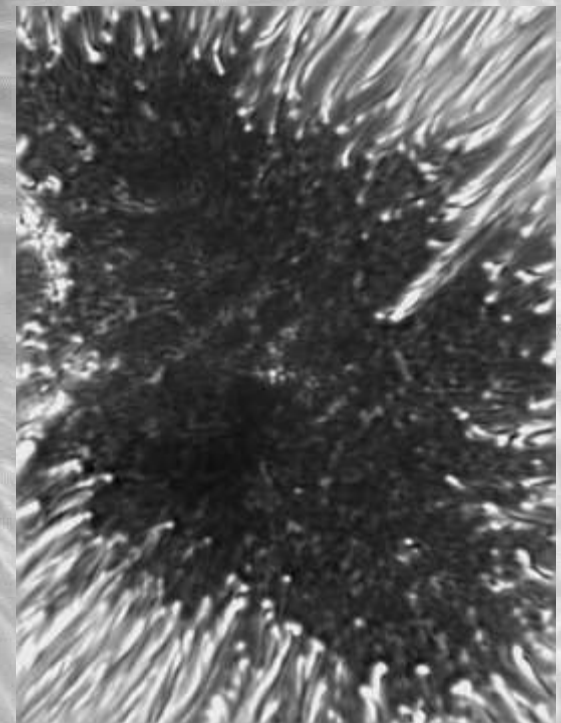
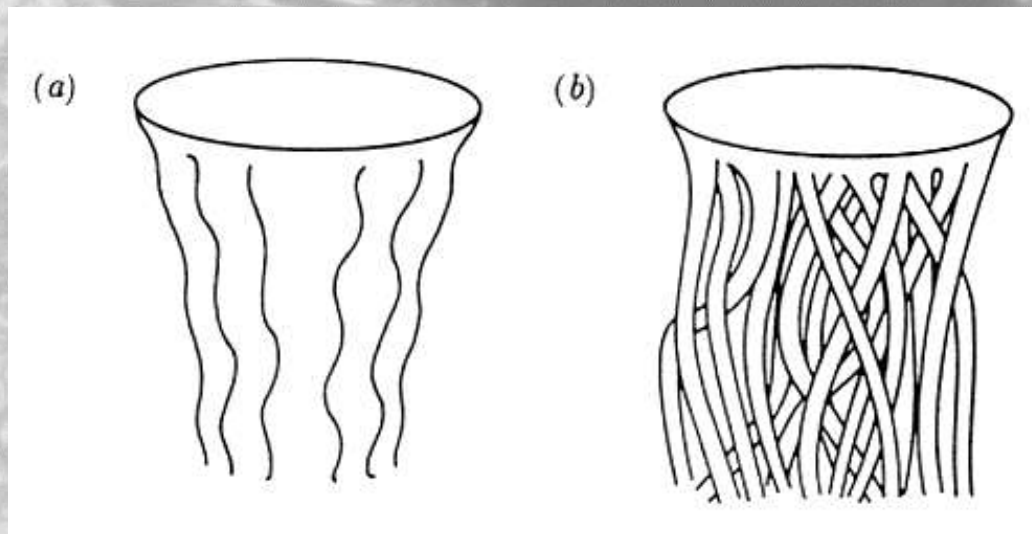
Umbra

Dva možné modely magnetické struktury umbry

(a) Monolitická silotrubice s magnetokonvekcí uvnitř

(b) Svazek tenkých silotrubic (spaghetti model)

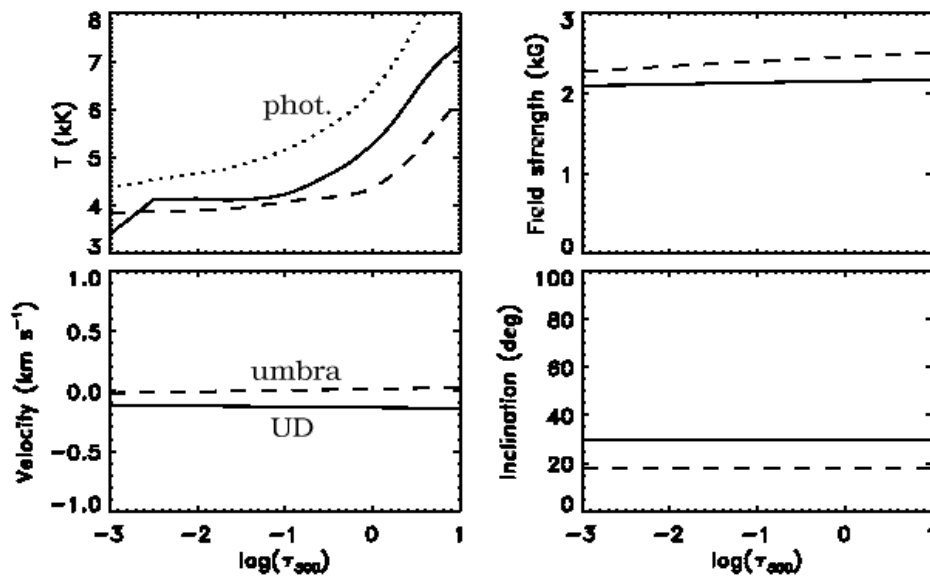
Oba modely jsou schopny vysvětlit pozorované struktury.



Umbrální body

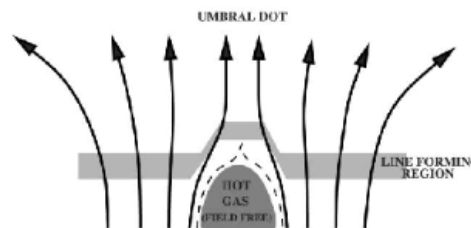
Malé jasné útvary v umbře, pozorované na samé hranici rozlišení (kolem 100 km) → je velmi obtížné určit jejich velikost, teplotu, magnetické pole a další charakteristiky. Důsledek magnetokonvekce (monolit. silotrubice) nebo pronikání horkého plynu (svazek silotrubic).

Modely: semiempirický ↓ simulace →

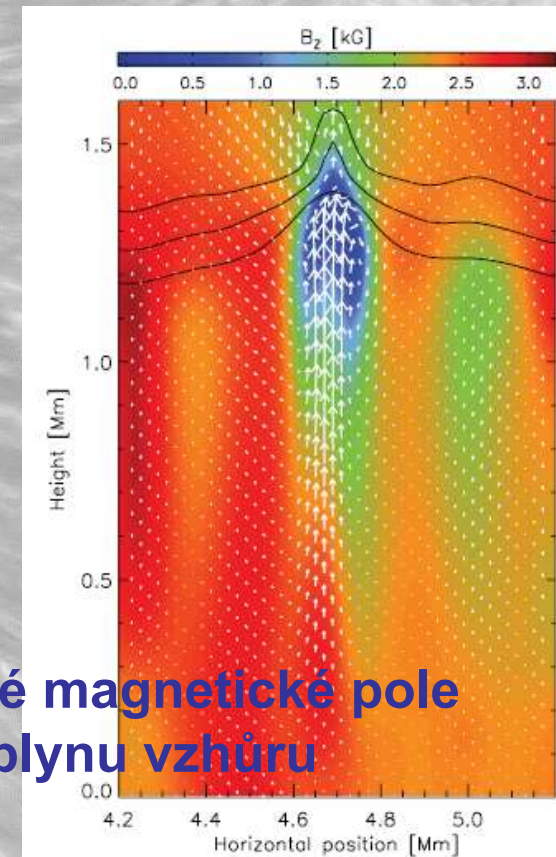


Socas Navarro, Martínez Pillet, Sobotka, Vázquez (2004)

2D (scanning) spectroscopy, 0.5-m SVST, LPSP

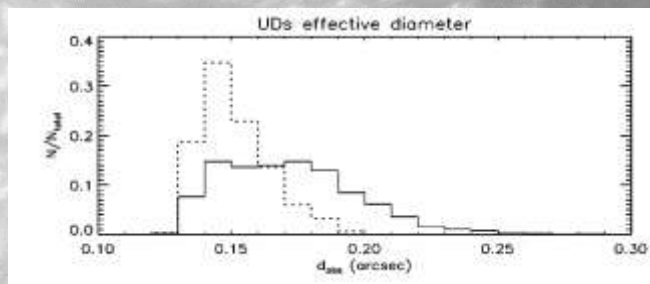
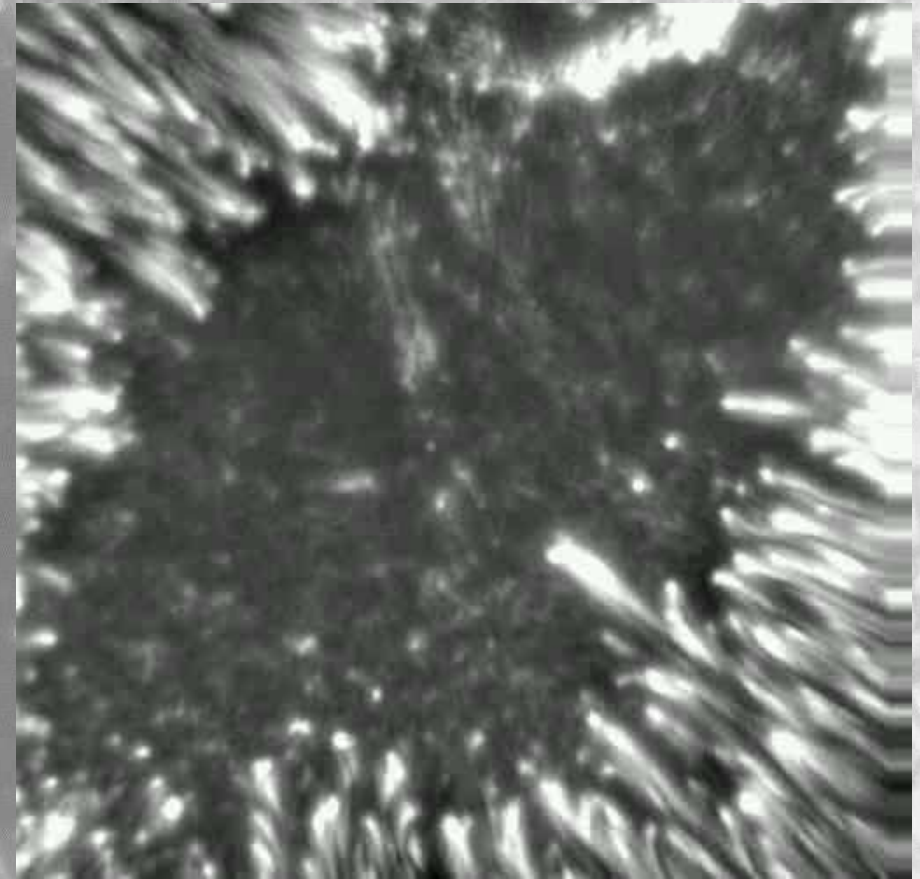
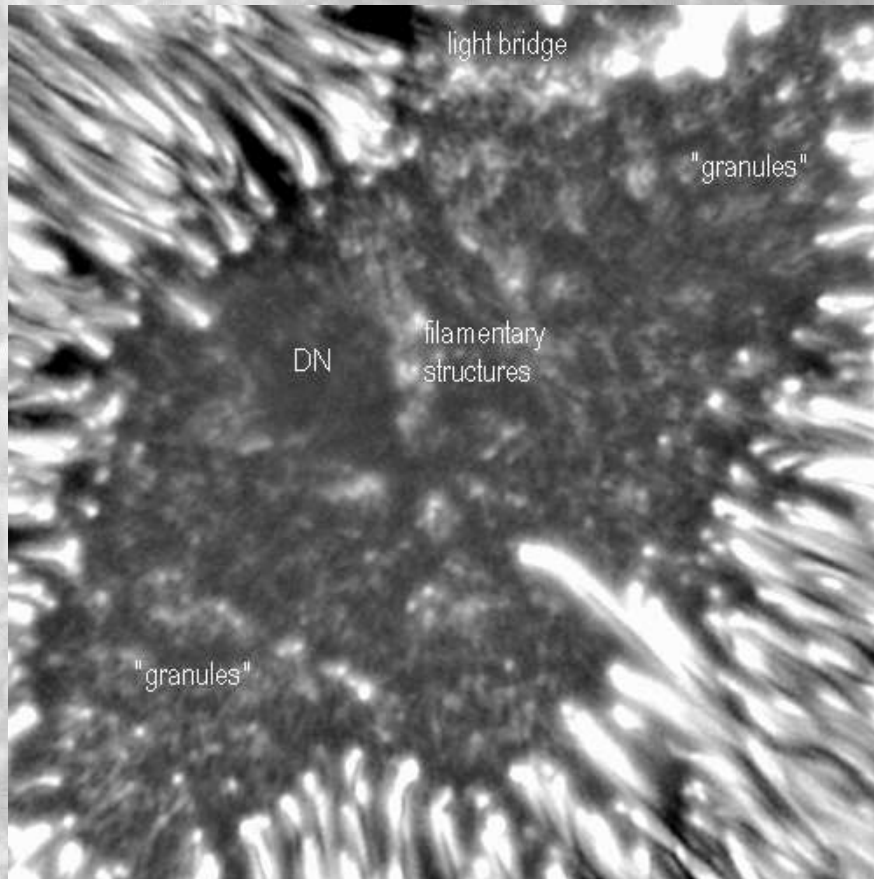


Zeslabené magnetické pole a pohyb plynu vzhůru



Schüssler & Vögler 2006

Pohyb a velikost umbrálních bodů



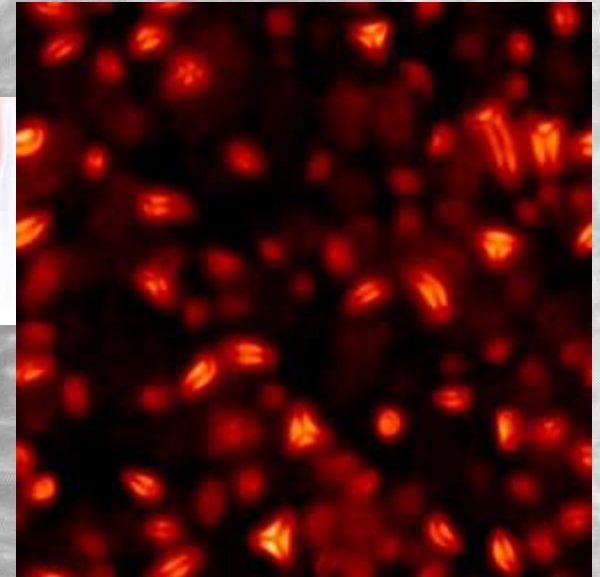
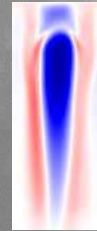
Horizontální pohyby v umbře 300 – 500 m/s.
Většina umbrálních bodů je rozlišena dalekohledem o průměru 1 m. Průměrná velikost umbrálních bodů je 120 km.

Substruktury v umbrálních bodech

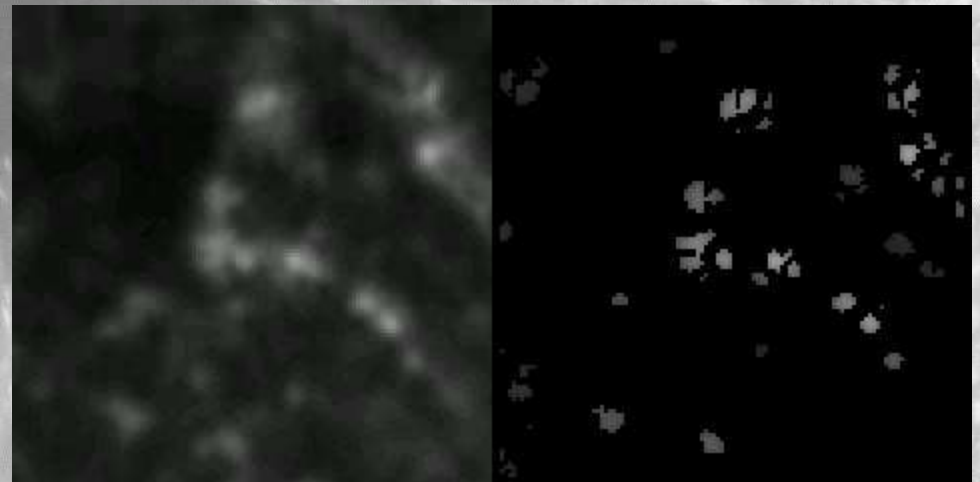
Simulace magnetokonvekce v umbře
(M. Schüssler a A. Vögler 2006)

- tmavé pruhy v umbrálních bodech
- sestupné proudění okolo u. bodů

Oba jevy byly potvrzeny pomocí pozorování s velmi vysokým prostorovým rozlišením (100 km).



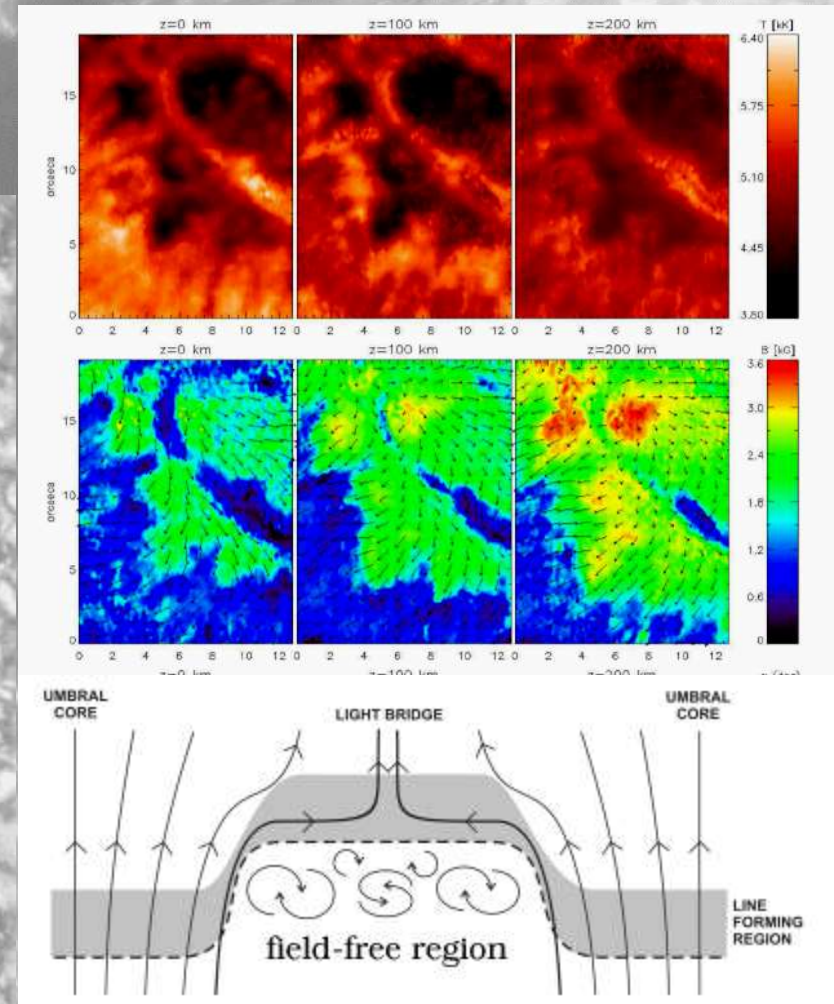
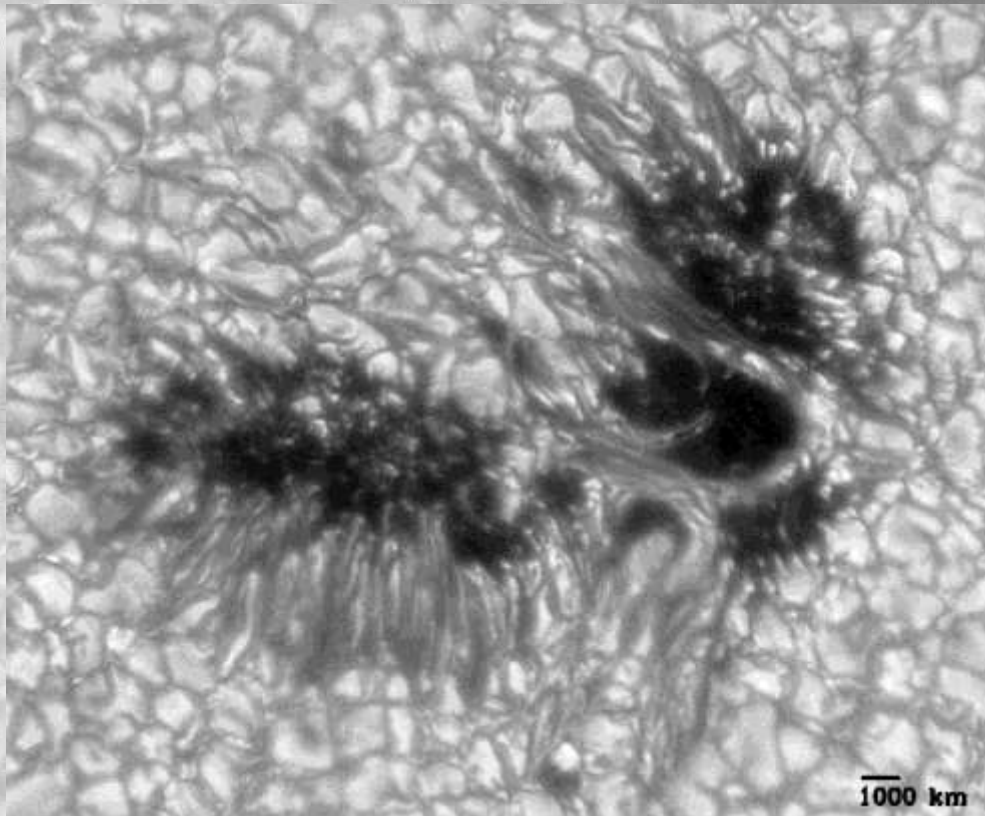
M. Sobotka a K. Puschmann,
2009



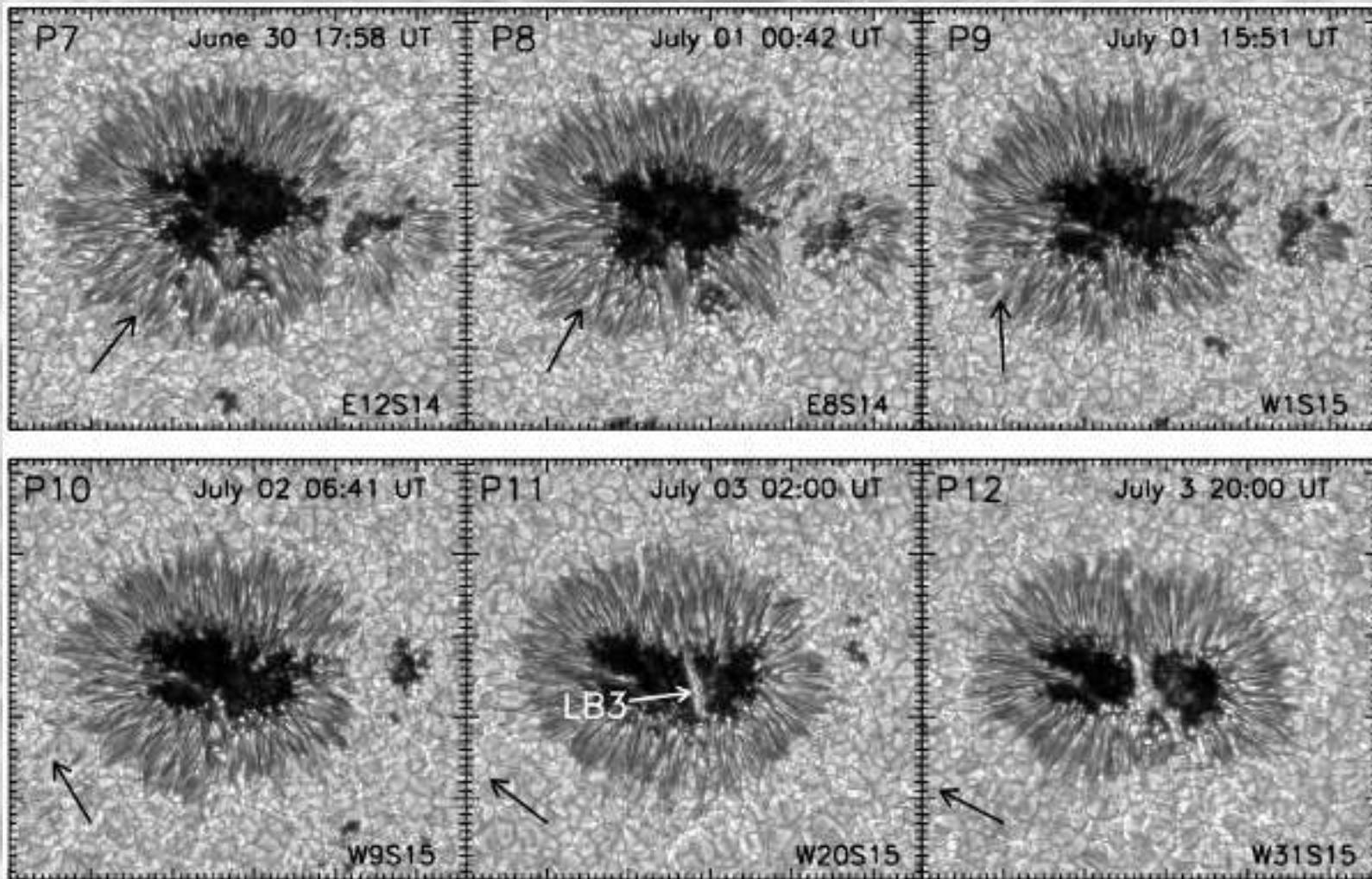
Světelné mosty

Jasné protáhlé struktury různé šířky s bohatou vnitřní strukturou, které oddělují umbrální jádra nebo jsou vnořeny do umbry. Magnetické pole ve světelných mostech je slabší a více nakloněné než v okolní umbře.

Ve spodních vrstvách pozorujeme konvektivní pohyby nahoru a dolů.



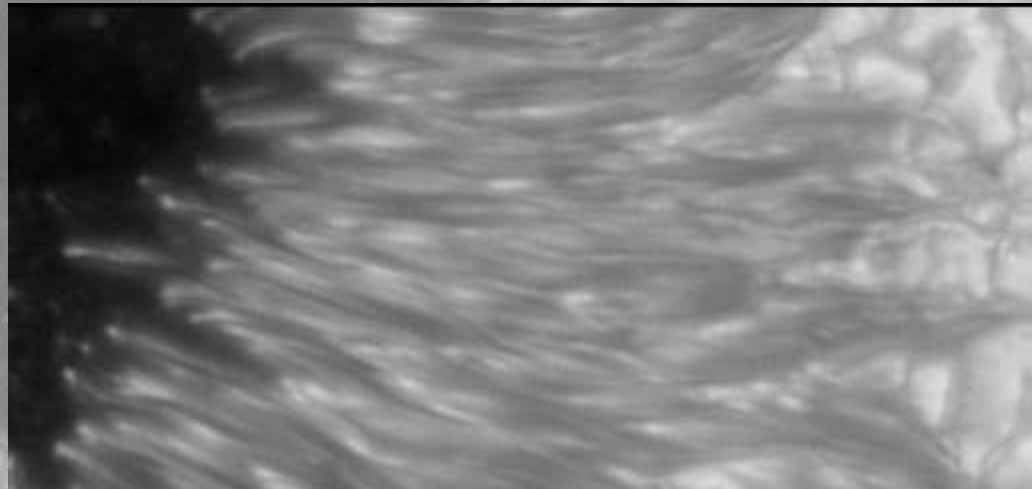
Vznik světelného mostu



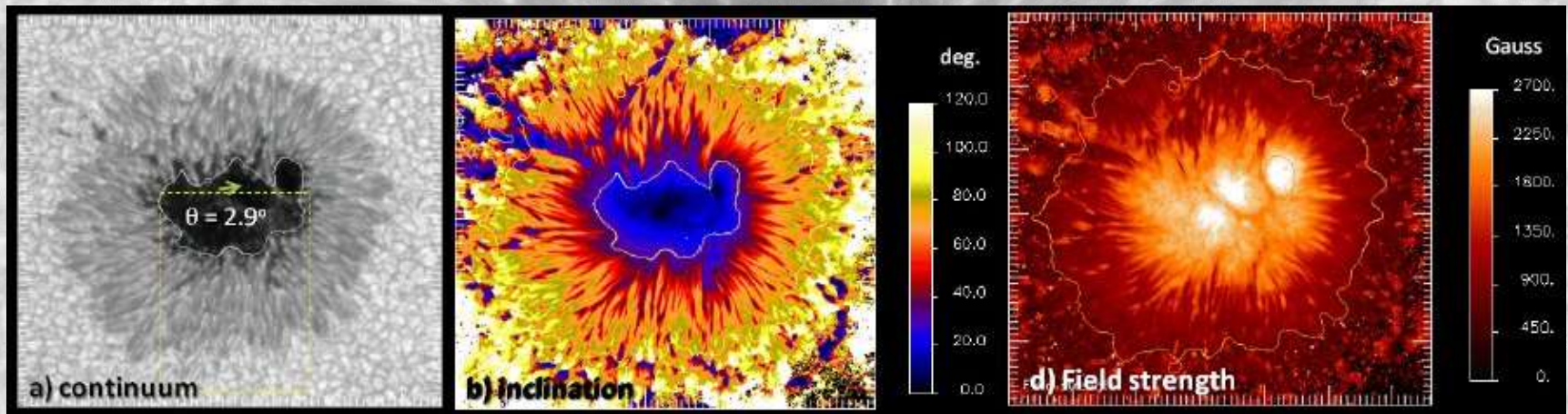
Penumbra

Je tvořena jasnými a tmavými vlákny o šířce od 100 km výš. Podél jasných vláken se pohybují penumbrální zrna rychlostí kolem 500 m/s. Ve vnitřní penumbře míří do umbry a mění se na umbrální body. Ve vnější penumbře některá zrna míří ven z umbry a mění se na granule.

reálný čas 90 minut →



Magnetické a rychlostní pole v penumbře

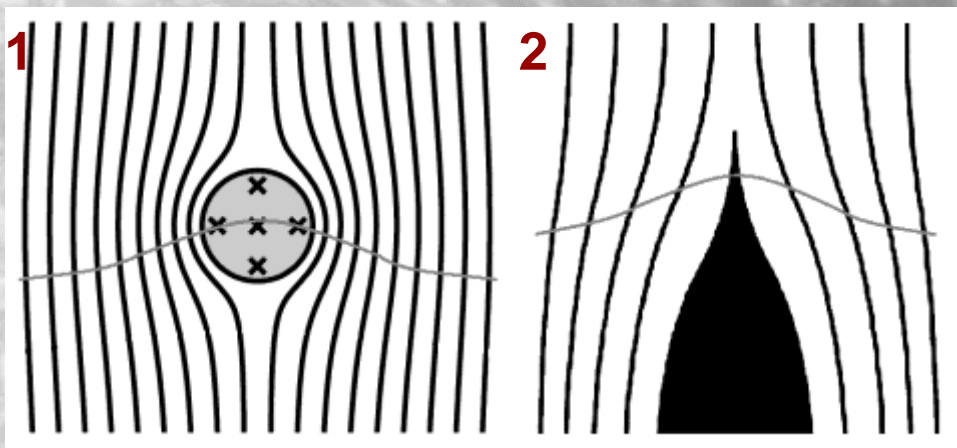


Magnetické pole má rovněž vláknitou strukturu, která však příliš nesouvisí s viditelnými jasnými a tmavými vlákny:

Vnitřní penumbra: v jasných vláknech je magnetické pole slabší, téměř vodorovné, a pozorujeme silné proudění plynu (4 km/s).

Vnější penumbra: v jasných vláknech magnetické pole míří více vzhůru a proudění je slabší než v okolí. Evershedův tok je soustředěn do temných vláken.

Dva možné modely magnetické struktury penumbry

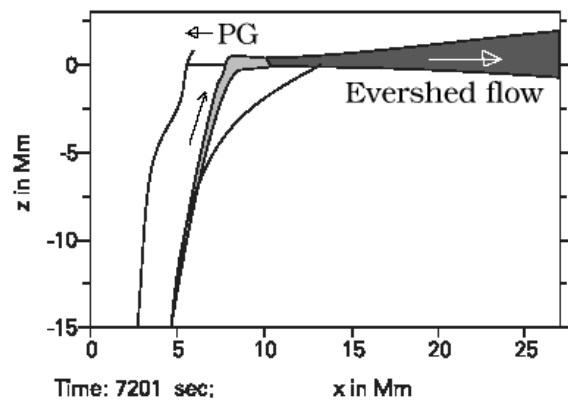
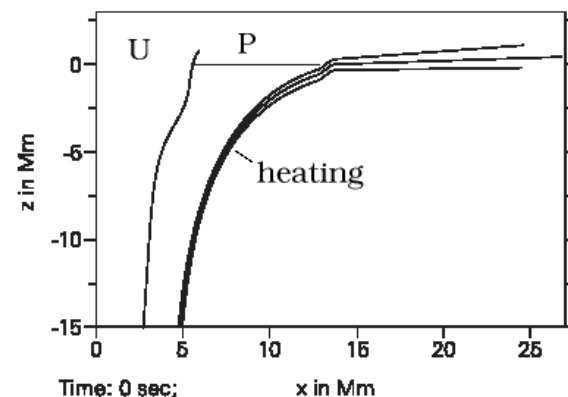
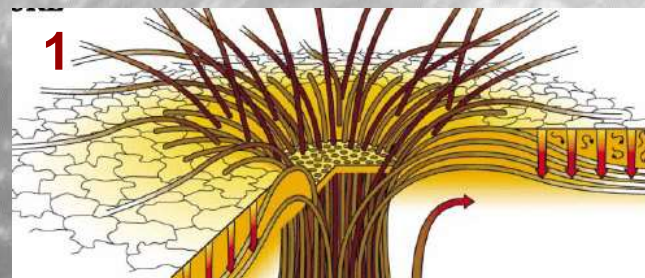


Model stoupajících silotrubic (1)
vysvětluje Evershedův tok a pohyb penumbrálních zrn.

Problém: jas penumbry.

Model nemagnetických mezer (2)
Konvekce v radiálních nemagnetických mezerách vysvětluje jas penumbry a Evershedův tok.

Problém: místa bez magnetického pole nebyla v penumbře nalezena.



Závěr

Dva soupeřící modely existují jak pro umbru (monolitická magnetická silotrubice s magnetokonvekcí nebo svazek silotrubic) tak i pro penumbru (stoupající silotrubice nebo nemagnetické mezery).

Analýza jemné struktury slunečních skvrn by měla pomoci rozhodnout, které modely jsou reálné. Zatím se to nepodařilo. Ani numerické simulace nedávají jednoznačný výsledek – zatím se nezdařilo dostatečně věrně simulovat penumbru.

Náznaky převahy modelů monolitické silotrubice v umbře a stoupajících silotrubic v penumbře existují, ale je třeba nových pozorování s prostorovým rozlišením podstatně lepším než 100 km, aby mohly být potvrzeny. Taková pozorování jsou možná na přístrojích nové generace, ať už na povrchu Země nebo v kosmu.