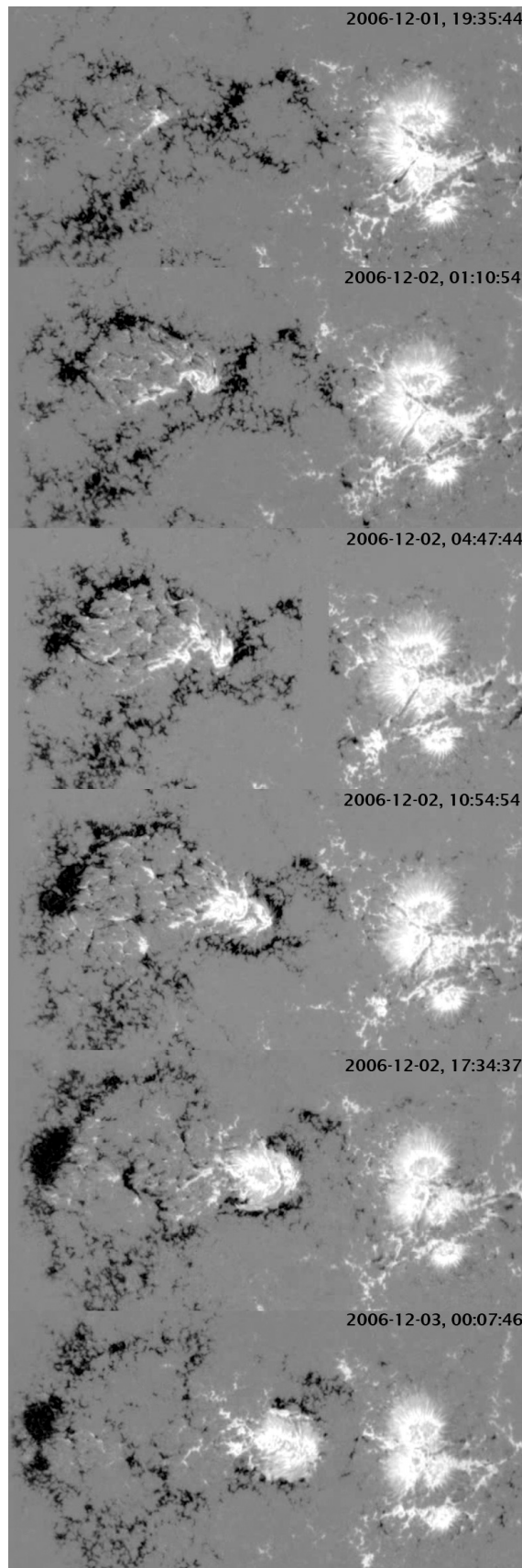


6. A napfoltcsoportok fejlődésének összefoglaló elképzelése

Az eddigiekben felsorolt megfigyelési adatok alátámasztanak bizonyos elméleteket, amelyeket más megfigyelésekkel is kombinálva egységes képet lehet alkotni a napfoltok és napfoltcsoportok fejlődéséről [51, 56]. A napfoltok tipikus megfigyelt tulajdonságai a következők: az elnyúlt, bipoláris mágneses szerkezetű napfoltcsoportok hossz tengelye nagyjából párhuzamos az egyenlítővel, a vezető foltok vannak közelebb. A csoport hossz tengelyének az egyenlítővel bezárt szöge növekszik a foltcsoport heliografikus szélességével (Joy törvénye, Joy 1919, Brunner 1930, Howard 1996, Sivaraman et al. 2007). A tipikus, szabályos bipoláris csoportokban a p -polaritású foltok kompaktabbak és hosszabb életűek, mint az f -polaritásúak. A felbukkanás után a p -polaritású rész gyorsan mozog előre (nyugatra), később lelassul, esetleg vissza is fordul (Waldmeier 1955, p.170). A vezető p -folt kis, p -polaritású pórusok összetartó mozgása és összeolvadása révén növekszik, amelyek a csoport közepén bukkannak fel (Thomas & Weiss 1992; Zwaan 1992), erre szép példa a 4.1 fejezetben bemutatott NOAA 6853 [44]. Egyes vélemények szerint (Zwaan 1992) a vezető folt növekedése akkor szűnik meg, amikor az előre mozgása megáll. A mágneses tér felbukkanásakor gyakran elég kevert, zavaros a szerkezet, azonban a kétféle polaritás kétféle irányú mozgása hamarosan bipolárisra rendezi át. Erre nagyon szép példát szolgáltatott a Hinode japán műhold első megfigyelései során (Tsuneta 2007, 53. ábra). A képen jól látható, amint a jobboldali öreg p -foltoktól elég távol keletre kezd felbukkanni egy mágneses dipól, az f -polaritás lassú hátra, a p -polaritás gyors előre mozgása, valamint a középső rész kevert mágneses polaritása. Különösen a mozgóképen jól látható, ahogy a mozgások összerendezik a teret, p -polaritásokat előre, f -polaritásokat hátra. Ahogy kialakul egy szabályos, kerek napfolt, körülötte megjelenik egy gyűrűáramlás (angolul *moat*), amelyben kis mágneses csomók mozognak radiálisan kifelé. Az 53. ábrán ez a dec. 2. -án 10:54:54-kor készült képen jelenik meg. Mivel a p -polaritású foltok gyakrabban szabályosak, a hosszabb életű foltok között gyakoribbak a p -foltok (kb. 5:1 arányban).

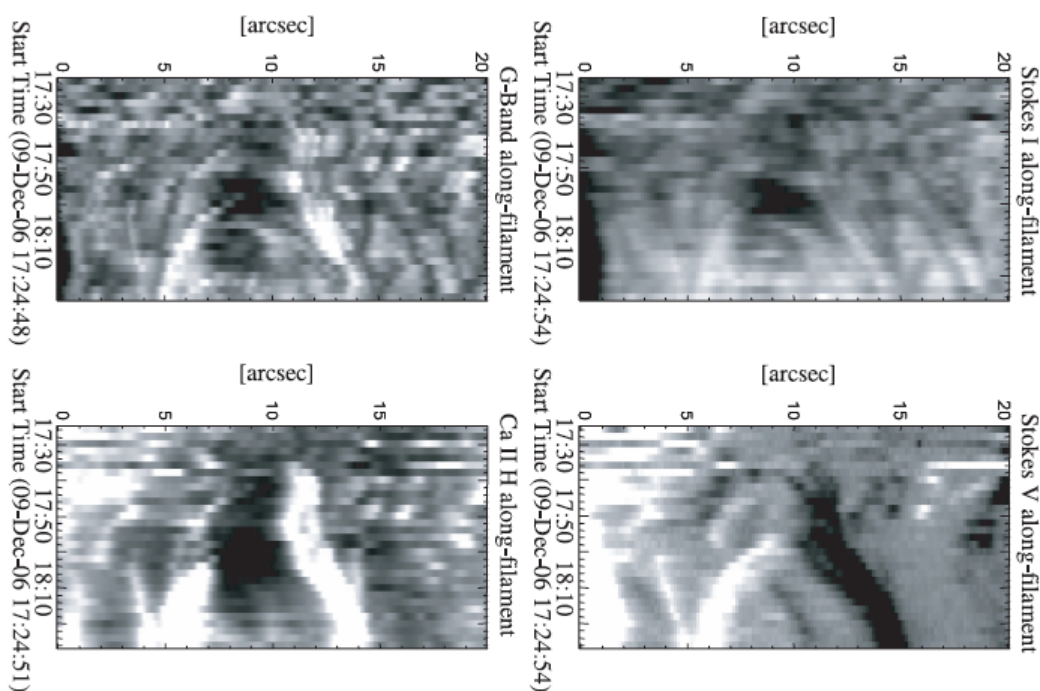
Új mágneses fluxus (új napfoltok) lényegesen gyakrabban bukkannak fel már meglévő napfoltcsoportokban. A gyakoriságra különböző becslések vannak, Liggett & Zirin (1985) tízszeres, Harvey & Zwaan (1993) huszonötszörös többletet talált. Az új aktivitás umbrái a fiatal foltokra jellemző dinamikus viselkedést (a p -foltok gyors előremozgását) mutatják, így mozgásuk alapján is megkülönböztethetők. Érdekes módon, az azonos aktivitási hullámhoz tartozó, azonos polaritású umbrák összeolvadnak, míg a különböző aktivitási hullámhoz tartozó, de azonos polaritású umbrák még közel kerülve egymáshoz is, különálló egységek maradnak, egyes esetekben még billiárdgolyóhoz hasonlóan vissza is pattannak egymásról [11a, 31]. Ezenkívül a napfoltcsoportok hajlamosak csoportosulni a Nap felületének egyes helyein, az "aktív hosszúságokon" v. "aktív komplexumokban", melyeket egyes kutatók "napfoltfészkeknek" (sunspot nests) is neveznek (McIntosh 1985, Zwaan 1987).

Mindezek a megfigyelt jelenségek összehozhatók egy egységes folyamatba, a mágneses tér fejlődésébe a Nap konvektív zónájában és légkörében. A jelenlegi dinamoelméletek szerint a merev testként forgó sugárzási zóna és a differenciális rotációt mutató konvektív zóna határán, a *tahoklínának* nevezett nyírási rétegben alakulnak ki megagauss erősségű toroidális mágneses fluxuscsövek (Parker 1996).



53. ábra. A Hinode japán műhold magnetogramjai a NOAA 10926 aktív vidék jobboldali öreg foltjai mögött új bipoláris mágneses tér felbukkanásáról (Tsuneta 2007 nyomán).

A mágneses tér megerősödésével ezeknek a fluxuscsöveknek a sűrűsége lecsökken, emiatt instabillá válnak, és felfelé törekednek, mint felszálló Ω -hurkok (Parker 1955). Eközben a felúszás közben a konvektív zónában zajló turbulens konvekció az eredetileg egységes erővonalköteget szálakra tudja bontani, ezekből a szálakból alakulnak ki a felszíni pórusok. A konvektív zónában a konvekció sebssége többszöröse a mágneses erővonalköteg felszállási sebességének (Cowling 1981), ezért a konvekciós mozgások jelentősen el tudják torzítani az erővonalköteg egyszerű bipoláris szerkezetét, ezáltal bonyolult szerkezetű napfoltcsoportokat létrehozva. Mivel a konvekciós mozgások energiasűrűsége meghaladja a felbukkanó erővonalköteg energiasűrűségét, ezért a mozgások el tudják torzítani az erővonalköteget. Emiatt valószínűleg nem tartható az az elképzelés, miszerint a fiatal napfoltok sajátmozgása csak geometriai jelenség, egy merev felbukkanó mágneses ív és a fotoszféra metszéspontjainak távolodása. Valószínűbb, hogy az erővonalak folytonossága miatt csak a topológiája őrződik meg az eredeti mágneses térnek, azaz a szálakra bomlott erővonalköteg szálait jelentő pórusok összetartó mozgást végeznek, és egyesülnek egy nagyobb folttá, amint az egységes erővonalköteg törzse is a felszínre jut. A számítások szerint a vízszintes irányú mágneses teret az ív csúcsán könnyebben szétszedi a konvekció, mint az Ω -hurok függőleges szarait. A felszálló hurok egy turbulens nyomot hagy maga után, ami megkönnyíti más erővonalkötegek felúszását (vagy egy következő

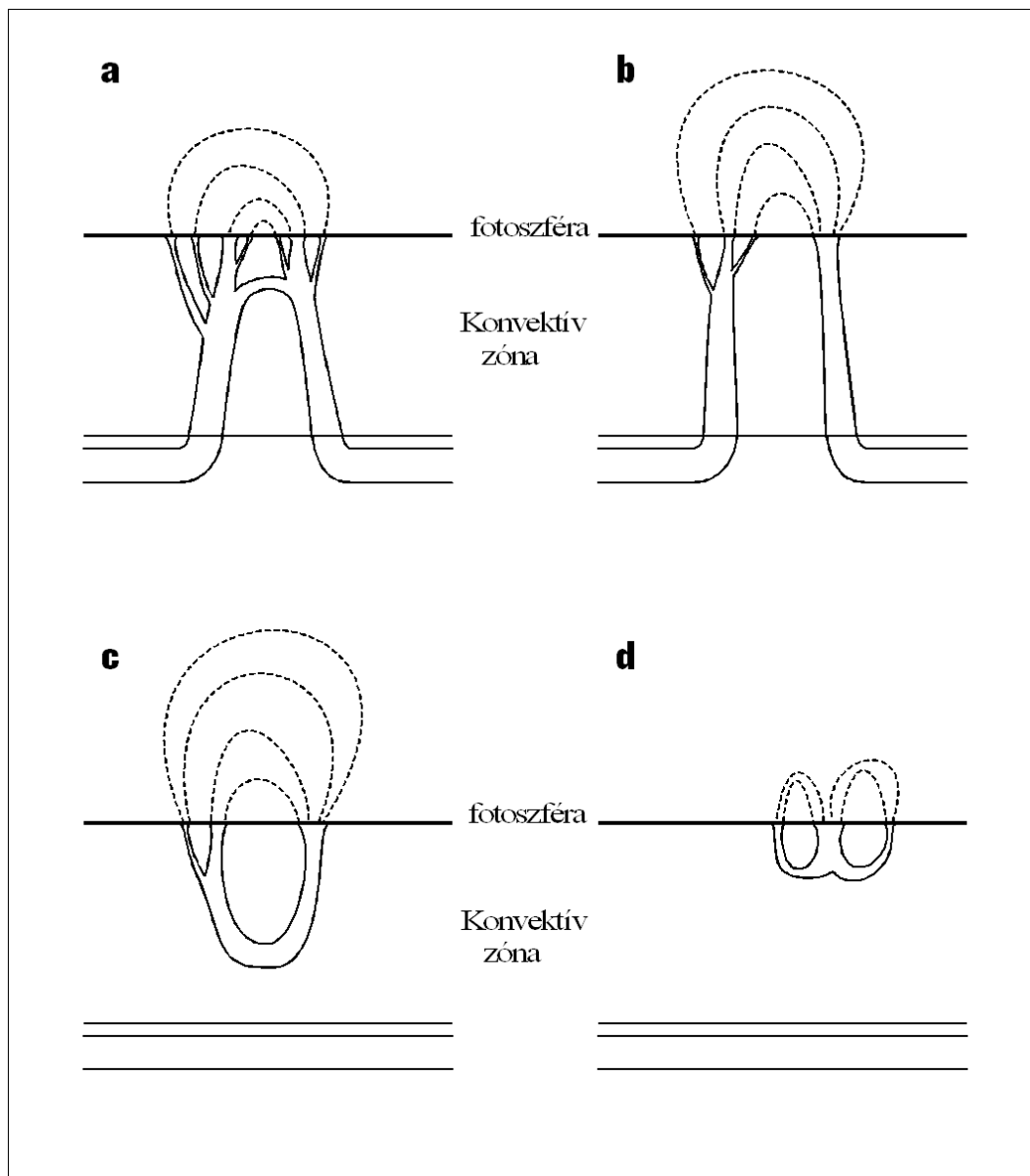


NOAA 10930 Emerging Flux Region

Otsuji, K. et XVI. al. 2007, *PASJ* **59**, S649

54. ábra. Idő-távolság ábrák a Hinode megfigyelései alapján egy kis, felbukkanó dipól hossz tengelyében. Az idő lefelé nő, az ábrákon a dipól hossz tengelyében egydimenziósan mért intenzitások vannak feltüntetve, egymás után. Balról-jobbra és felülről lefelé: fotoszféra (G-sáv), magnetogram-intenzitás, kromoszféra (Ca II H), és végül longitudinális magnetogram. Ez utóbbit látszik a felbukkanó dipól, az azonos polaritások összetartó, a különbözők széttartó mozgása.

Ω -hurok kialakulását, miután az öreg Ω -hurok talpánál a mágneses tér ismét összezárult). Az aktív hosszúságok kialakulására egy másik elképzelést dolgozott ki Harvey & Zwaan (1993), szerintük a konvektív zóna alján kialakulhat egy stabil mágneses ív, amelynek tetejéről egymás után úszhatnak föl az Ω -hurkok. Magát a felúszást a Hinode nagy időbeli és térbeli felbontású magnetogramjain meg is lehet figyelni (Otsuji et al. 2007, 54. ábra), egyszerűen a dipól tengelyvonalán mért intenzitásokat egymás után rendszeresen egymás mellé kell rakni, ezen az idő - távolság ábrán jól látható a felbukkanó mágneses tér, de az is, hogy a mágneses ív teteje jóval diffúzabb (és a mágneses tér vízszintes, ezért a longitudinális magnetogramon nem látszik).

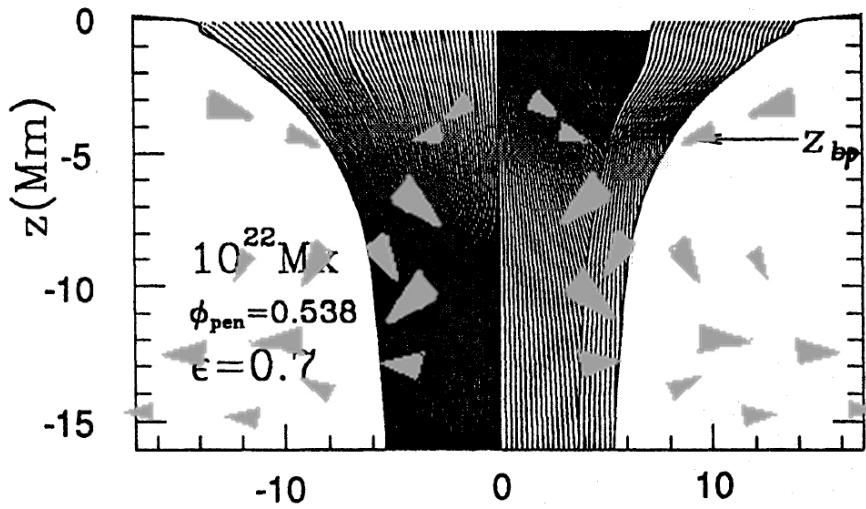
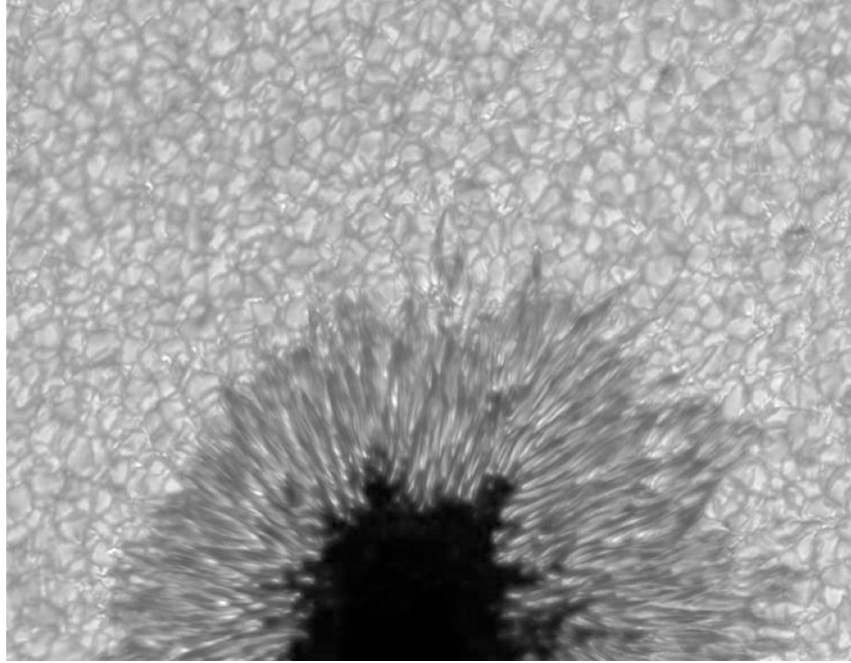


55. ábra. A napfoltcsoportok fejlődésének folyamata: **a** a felbukkanó Ω -hurok, **b** a felbukkant Ω -hurok a kialakult vezető folttal, **c** az öregedő napfoltcsoport a lefűződött O -hurokkal, **d** a gyűrűáramlás által stabilizált öreg p-folt, ω -hurok.

A p -foltok gyorsabb előre mozgása magyarázható azzal, hogy a mélységi differenciális rotáció miatt a közvetlenül a felszín alatti rétegek gyorsabban forognak, mint a fotoszféra (Kosovichev 1996). Amint a bipoláris napfoltpárt kialakító Ω -hurok talpa összezáródik, az így keletkező O-hurok elveszti kapcsolatát az alsó rétegekkel. A turbulens konvekció lassan szétszedi, így a bipoláris foltpár O-hurkából a fejlődés során a turbulencia erodálhatja a szétszórtabb f -polaritást, és a maradék szabályos folt mint ω -hurok létezik, a körülötte lévő gyűrűáramlás (Zhao & Kosovichev 2003) által stabilizálva. Mivel emiatt egy öreg folt már inkább felszíni képződmény, forgási sebessége is megegyezik a felszínével, mozgása pedig lassú és kaotikus [10a]. Emiatt lehetséges, hogy a napfoltok találkozásukkor visszapattanjanak egymásról. A teljes folyamatot az 55. ábra mutatja.

A szabályos napfoltokban a penumbra külső határát a mágneses tér abszolút értéke határozza meg, ott a határ, ahol a mágneses tér eléri az ekvipartíciós térerőt. Etől kezdve a mágneses tér ha teljesen megállítani nem is tudja, de jelentősen eltorzíja a konvekciót, ami *kicserélődési konvekcióvá* alakul: a forró erővonalkötegek a napfolt széléről befelé vándorolnak az umbra felé, ott lehűlnek és ismét kifelé tartanak. Ez megfelel a penumbrában megfigyelt mozgásoknak és a mágneses tér szerkezetének, valamint a penumbrából származó jelentős sugárzó energiafluxusnak is. A legjobban ezt a szerkezetet Jahn & Schmidt (1994) vastag penumbra modellje írja le (lásd még Jahn 1996), valamint ez magyarázza a penumbraszálak és a mágneses tér-vektor ugyanazon függőleges síkba esését is. Az ekvipartíciós mágneses térerő és a konvekciós mozgások energiasűrűségének, valamint az erővonalköteg felületi térerejének mélységi változása természetes határt ad a penumbra vastagságára, amit a hélioszeizmológiai mérések is alátámasztanak. A szabályos napfoltokat a körülöttük megfigyelhető gyűrűáramlás (Hurlburt & Rucklidge 2000, Zhao, Kosovichev & Duvall, 2001) stabilizálja, ezért valószínűleg viszonylag sekély képződmények (6-8 Mm). Az öreg, sekély, gyökerüket veszített foltokat pedig már lassan el tudja pusztítani a turbulens erózió (Petrovay & Moreno-Insertis 1997, Petrovay & van Driel-Gesztelyi 1997).

A jelenlegi megfigyelésekből és elméletekből leszűrt kép az 56. ábrán látható. Valószínűleg azonban hamarosan tisztázódni fog sok eddig még nem világos kérdés a penumbra tekintetében, a Hinode műhold 0,2 ívmásodperces térbeli és néhány másodperces időbeli felbontású megfigyelési sorozatainak köszönhetően. Az első cikkek már megjelentek 2007 végén.



56. ábra. Egy szabályos, kerek napfolt képe, a légköri nyugtalanság által okozott képromlás korrigálása után (Denker, Yang & Wang 2001). Lent: egy szabályos napfolt mágneses terének keresztmetszete (Jahn & Schmidt 1994), a metszet bal oldalán a sötétedés a mágneses térerővel arányos, a jobb felén a fehér fényben mért intenzitásnak megfelelő. A szürke nyilak a helioszeizmológiai mérésekből meghatározott felszín alatti áramlásokat mutatják (Zhao & Kosovichev 2003).