

Napfáklyák és más naptevékenységi indikátorok összefüggései



Kiss Tamás Sándor

Földtudomány Bsc hallgató tudományos diákköri dolgozata

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Témavezető: Dr. Petrovay Kristóf

Tanszékvezető egyetemi tanár

ELTE Csillagászati tanszék

Tartalomjegyzék

	Oldalszám
Kivonat	3
A napkultusz rövid összefoglalása	4
A modern napkutatás rövid összefoglalása	8
A Nap állapotjelzői és belső felépítése	11
A napciklus indikátorai	15
NAPFOLTOK	15
NAPFÁKLYÁK	17
10,7CM-ES RÁDIÓFLUXUS	18
Műszerek és adatbázisok	19
ROYAL GREENWICH OBSERVATORY	19
OTTAWAI 10,7CM-ES RÁDIÓFLUXUS MÉRÉSEK	20
DEBRECENI NAPFIZIKAI OBSZERVATÓRIUM	21
A kutatás előzményei	22
Adatfeldolgozás	28

A FÁKLYATERÜLETEK ÉS A 10,7CM-ES RÁDIÓFLUXUS KÖZÖTTI KAPCSOLAT . . .	28
A KIEGÉSZÍTETT ADATSOROK STATISZTIKAI VIZSGÁLATA	31
A STATISZTIKAI VIZSGÁLAT ÖSSZEFOGLALÁSA	37
A KITERJESZTETT ADATSOR GYAKORLATI FELHASZNÁLÁSA	38
Eredmények	40
Kitekintés	40
Köszönetnyilvánítás	41
Ábrajegyzék	42
Hivatkozások	43

Kivonat

CÉLOK: Kiegészíteni a napfáklya terület és 10,7cm rádiófluxus hiányos adatsorokat egy 138 év hosszú adatbázissá. Valamint négyféle statisztikai vizsgálat elvégzése a kiterjesztett adatbázison, majd más adatsorokkal való korrelációjával igazolni a reprodukciós módszer helyességét.

MÓDSZER: A Royal Greenwich Observatory napfáklya területei és az ottawai 10,7cm rádiófluxus értékek között lineáris kapcsolat keresése, majd ennek a lineáris kapcsolatnak a segítségével pótolni a hiányzó adatokat.

EREDMÉNYEK: Sikerült egy 1874 és 2012 közötti adatbázist létrehozni mind a napfáklya területek, mind a 10,7cm rádiófluxus értékeire. A kiterjesztett adatsorokon sikerült kimutatni a Waldmeier-effektust. Majd ezeket a számított értékeket összevetve más észlelt mennyiségek adatbázisaival (SDD és DPD) korreláltatva lineáris kapcsolatot találtam, tehát a reprodukciós módszer helytálló.

Továbbá a dolgozat tartalmazza a napkultusz és a napkutatás rövid összefoglalását, valamint a Nap belső felépítésének leírását.

Abstract

AIMS: To complete the solar facular area and 10.7cm radioflux's deficient series for a 138 years long database. I execute four different statistical analysis on the extended database, then I try to correlate them with other databases to prove the correctness of the reproduction method.

METHODS: I look for a linear relationship between the solar facular area data of Royal Greenwich Observatory and the 10.7cm radioflux data of Ottawa, then I use this linear relationship to complete those databases.

RESULTS: I can generate a database for these two variables between 1874 and 2012. I can exhibit the Waldmeier-effect on both extended databases. After I correlate these databases with other observed databases (SDD and DPD) and I find a linearal correlation, so the reproduction method is successful.

This paper also contains the short summary of Sun cult and Sun research, and also contains the conformation of the Sun.

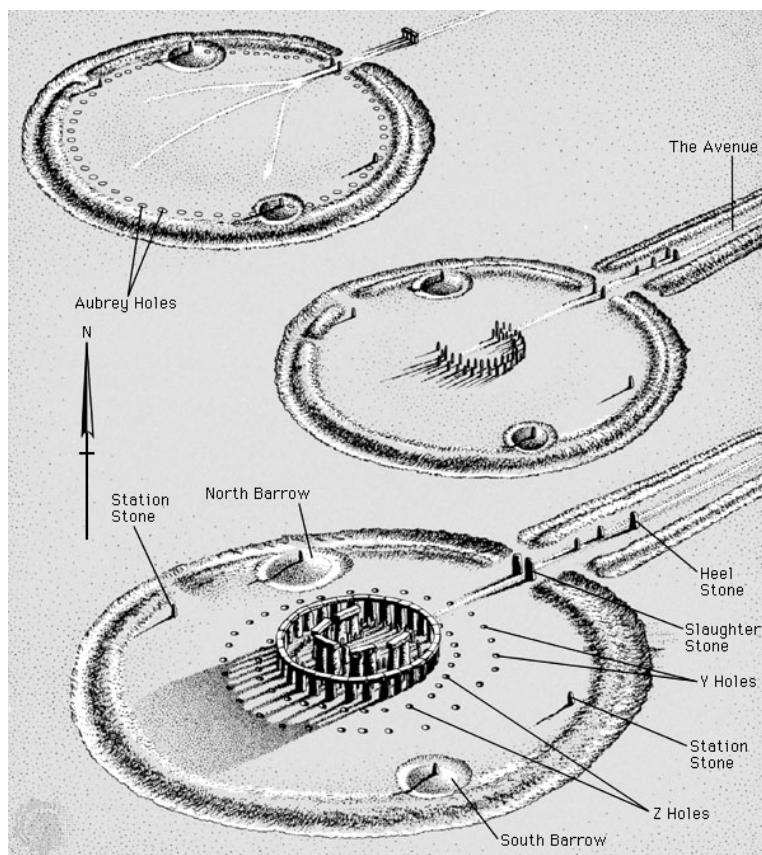
I. A napkultusz rövid összefoglalása

A kezdetektől fogva fontos szerepet töltött be a Nap az emberek mindennapjaiban. Már az őskorban is a Nap állt a természet középpontjában, ő volt a természet rendjén "uralkodó istenség". Épületeik megtervezését és megépítését is gyakran központi csillagunk kelésének, nyugvásának és delelésének rendelték alá. I. e. 5000 körül építhették a Gosecki-körárok rendszert ($\varphi = \text{É } 51^{\circ}10'42''$, $\lambda = \text{Ny } 1^{\circ}49.4'$), mely egy központi palánkból és két kőpalánkból állt. Kapui a napfordulók idején a Nap kelésének és nyugvásának irányába néztek. Az építmény közismertebb neve a "Goseck-i napobszervatórium".



1. kép: A Goseck-i napobszervatórium

A Goseck-i körárokrendszerrel egy földrajzi szélességen található Stonehenge, mely szintén egy napkultusszal kapcsolatos építmény. Stonehenge ($\varphi = \text{É } 51^{\circ}10,44'$, $\lambda = \text{Ny } 1^{\circ}49,31'$) építési munkálatai I.e.3500-1500 tarthattak és az elképzelések szerint három építési szakasz után nyerte el kész formáját. Az *első szakaszban* ($\sim$ I.e.3100-2900) megépítették az akkor még fából készült központi épületet, kiásták az 56 Aubrey-gödröt kör alakban, felállították a négy darab Állomáskövet, továbbá kijelölték a sugárutat és a helyére rakták ott a Sarokkövet. A *második szakaszban* ($\sim$ I.e.2900-2500) lebontották a központi faszentélyt, kőkövekből (dolorit) megépítették a Trilitonokat, továbbá a sugárút két szélén is árkokat húztak. A Trilitonok három kőből álló építmények voltak, amelyek két kőből és a rájuk pakolt harmadik kőből épültek fel. A *harmadik szakaszban* ($\sim$ I.e.2500-1600) a patkó alakú belső struktúrát építették meg szürke homokkövekből.



2. kép: Stonehenge épülésének három fázisa

Stonehenge több egyéb feltételezett funkciója mellett csillagászati obszervatóriumként is funkcionálhatott. A középpontból nézve a Sarokkő iránya határozta meg a nyári napforduló idején a felkelő Nap irányát. A nyári napforduló után a Nap mindig kicsit délebbre kelt, majd a téli napforduló után ismét egyre északabbra. Az 56 Aubrey-gödör fontos számítási eszköz volt, melynek segítségével különböző periódusokat lehetett számolni. A Hold keringési periódusa 27.322 nap, míg $\frac{56}{2} = 28$, így naponta két gödröt kellett "ugrani" a Hold követéséhez. A Föld keringési periódusa 365.25 nap, míg $56 \cdot 6,5 = 364$, így egy egyszerű számítással lehetett tudni, hogy az év melyik szakasza van. A Hold csomóregressziója 18.1 év, míg $\frac{56}{3} = 18,61$.

A legtöbb ókori civilizáció hitvilágában a főisten szerepét töltötték be a "Napistenek", melyek közül néhány nevét és a hozzá tartozó vallást a következő táblázat tartalmazza:

Név	Vallás
Rá	egyiptomi
Surya	hindu
Tonatiuh	azték
Amaterasu	japán
Inti	inka
Héliosz/Apollo	görög
Mithras	perzsa
Sol	norvég
Lugh	kelta

Ezen istenek közül kiemelendő az egyiptomi *Rá* isten, akitől az egyiptomi fáraókat is származtatták. A hit szerint a napkorong maga Rá isten, akit minden este alászáll a pokolba, hogy minden reggel újra szülhesse őt Nut istennő. A csillagászatban ma is használatos jel a Napra Rá isten egyiptomi jele volt.



3. kép: *Rá egyiptomi napisten jele, továbbá a Nap csillagászati jele*

Az egyiptomi civilizáció és mezőgazdaság alapja a Nílus folyó volt, így fontos volt, hogy pontosan tudják előrejelezni az áradások idejét. Ehhez pedig pontos csillagászati mérésekre és időszámításra volt szükség, melyet a babilóniai kultúrából vettek át. Az egyiptomi év 365 napból állt, melyet három részre osztottak: *A Nílus áradása*, a *Vetés időszaka* és az *Aratás időszaka*.

Az ókori Görögországban a matematika és a geometria fejlődésével több fontosabb eredmény megszületéséhez vezetett. *Számoszi Arisztarkhosz* (~I.e.310-230) már méretbeli becslést tudott adni a Nap és Hold méreteire. Fontos szerepet játszanak ezekben a számításokban a Nap és Hold látszó átmérői, azonban ezeket a szögeket akkoriban nem tudták nagy pontossággal mérni. A

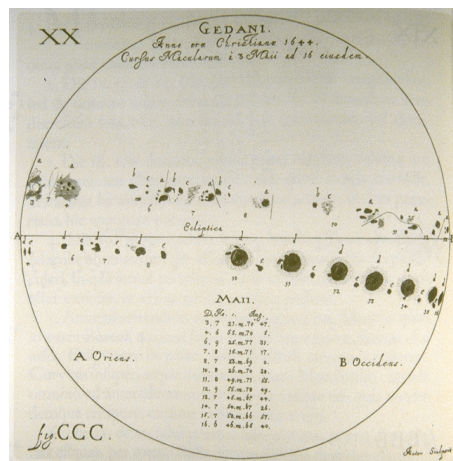
Hold és a Nap látszó átmérőjét 2° -nak vették $30'$ helyett, míg a Hold-Nap szögtávolságot félholdkor 87° -osnak számolták $89^\circ 52'$ helyett. Ennek következtében a Nap átmérőjére 6.5 Föld átmérő (mai elfogadott érték: 108.9 Föld átmérő), míg távolsága 180 Föld átmérő (mai elfogadott érték: 11726 Föld átmérő). Az ehhez szükséges Föld átmérő számítást *Eratoszthenész* végezte el, aki az egy hosszúsági körön lévő Sziéna (Asszuán) és Alexandria városainak távolságának ismeretéből, illetve abból a felismerésből, hogy mikor a nyári napforduló delén Asszuánban egy kút mélyén visszatükröződött a vízről, addig Alexandriában egy bizonyos szöggel tér el. Ez annak a megállapításnak az alapja, hogy az egy szélességi körön lévő helyeken egyidőben delel a Nap. Erathoszthenész ezt a szöget $7^\circ 12'$ -nek mérte, így a Föld kerülete $46'250\text{km}$ -nek adódott, ami kis mértékben tér csak el a ma elfogadott $40'075,02\text{km}$ -től.

Továbbá fontos megjegyezni, hogy már az I.e. 4. században kínai csillagászok napfolt megfigyeléseket hajtottak végre. Shi Shen csillagász feljegyzéseket is készített már, de a jelenségre azt a magyarázatot adta, hogy ezek egy napfogyatkozás részei, mely a nap középpontjából indul ki.

II. A modern napkutatás rövid összefoglalása

A Nyugat-Római Birodalom bukása után jelentős stagnálás, illetve visszaesés történt a természettudományokban és azon belül a csillagászatban is. A tudományos életet először a háborúk és az instabil politikai helyzet, később pedig az erős vallás bénította meg, mely a vallási nézetekkel nem összeférő elveket elvetette. Központilag a ptolemaiosi geocentrikus világkép lett elfogadva, mely alapvetően hibás koncepció volt. Továbbá az ókori görög ismeretek nagy része is feledésbe merült a középkor idején, melyet később az arabok közvetítettek vissza Európába. Az ókori görög eszmékhez, értékekhez való visszatérést *reneszánsznak* nevezzük.

Az első komolyabb lépést *Galileo Galilei* (I.sz.1564-1642) tette meg, aki egy konvex és konkáv lencse megfelelő összeállításából megalkotta az első távcsövet, mellyel forradalmasította a csillagászatot. Galilei a Jupiter holdjainak, a Vénusz fázisainak és számos halvány csillag felfedezése mellett a Napra is irányította távcsövét, ahol megfigyelt napfoltokat is. Észlelései során azt is feljegyezte, hogy a napfoltok vándorolnak és ő ezt már a Nap tengely körüli forgásának tulajdonította.



4. kép: Galilei rajza a napfoltokról és vándorlásukról

Azonban ezzel a felfedezéssel nem volt egyedül. *Christoph Scheiner* jezsuita pap is Galilei-vel párhuzamosan, de tőle függetlenül figyelte meg a napfoltokat. Scheiner *Rosa Ursina sive Sol* című művében részletes foglalja össze eddigi megfigyeléseit, megalkotva ezzel az első napfolt katalógust. Azonban ez heves vitát robbantott ki Galilei és Scheiner között, akik kölcsönösen

plágizálással vádolták egymást.

A következő évtizedek alatt csökkent az érdeklődés a napfelszíni alakzatok megfigyelése iránt, ugyanis ekkor volt a MAUNDER-MINIMUM. 1645 – 1715-ig a Nap felszínén található foltok száma és területe tartósan alacsony értéket vett fel. Érdekes, hogy ez a minimum egybeesett az Európában *kis jégkorszakként* ismert időszakkal, amikor az európai átlaghőmérséklet 1-2°C-kal is visszaesett.

Sir Isaac Newton fénytöréssel kapcsolatos munkásságát felhasználva 1800-ban *William Herschel* (1738-1822) felfedezte a Nap infravörös sugárzását, mikor megfigyelte, hogy a színei bontott fény vörös tartománya után egy hőmérő melegeledést mutat ott is, ahol már nincs látható sugárzás. Hasonló felfedezést vitt végbe *Johann Wilhelm Ritter* (1776-1810), aki megfigyelte, hogyha az ezüst-kloridba mártott papír elfeketedik, ha a színeire bontott fény lila tartománya után rakja. Ezt a nem látható sugárzást ultraibolya sugárzásnak nevezte el. 1802-ben *William Hyde Wollaston* (1766-1828) a newtoni módszert követve színeire bontja a Nap színeképét és abban fekete sávokat, abszorpciós vonalakat figyel meg. Ezzel a felfedezéssel megalapozta az asztrofizikát, ugyanis rájöttek, hogy a legtöbb információt a csillagokról és a Napról a színeképikkel szerezhetnek. A napfoltok létezésének egyik magyarázata az volt, hogy mivel a foltokat csupán a Nap egyenlítője környékén lehet megfigyelni, így a foltok csupán egy Merkúr pályájánál is beljebb keringő bolygó kitakarásai. Ez volt Vulkán bolygó elmélete. *Samuel Heinrich Schwabe* (1789-1875) a Vulkán bolygó megtalálása érdekében 17 éven át rögzítette minden felbukkanó napfoltok pontos helyzetét. A megfigyeléseket kiértékelve nem találta meg azt a bolygót, viszont felfedezett egy sokkal fontosabb jelenséget. Megfigyelte, hogy a napfoltszám egy általa 10 évesnek számolt ciklussal ismétlődik, így felfedezte a NAPPCIKLUS jelenségét. 1845-ben *Louis Fizeau* (1819-1896) és *Léon Foucault* (1819-1868) elkészítik az első dagerotípiát a Napról, amely jódgőzzel kezelt ezüstözött rézlemez volt, melyet utána higanygőzbe raktak. Ha ezt a rézlemezű fény érte, akkor ott ezüst-amalgám réteg jön létre, mely a fényes részeket adja, míg a sötét ezüstalap az árnyékokat adta. Az expozíciós ideje 1/60-ad másodperc volt, továbbá jól kivehetőek voltak rajta a napfoltok umbra/penumbra felépítése, továbbá a szélsőtétedés jelensége. Ez a módszer annyira sikeres volt, hogy *Warren De la Rue* (1815-1889) vezetésével 1858-tól naponta készítettek egy dagerotípiát a Napról az angol Kew obszervatóriumban. Ezeken már megfigyelhető volt a granuláció is. Továbbá az 1851.07.28. és 1960.07.18.-ai napfogyatkozások alkalmával szintén készítettek dagerotípiákat a Napról, melyeken már megfigyelhetőek voltak kitüremkedések. Ez volt a kromoszféra és a napkorona felfedezése.



5. kép: A Kew obszervatórium Richmondban

1848-ban a svájci *Rudolf Wolf* (1816-1893) Schwabe feljegyzései alapján definiálta a NAPFOLT RELATÍVSZÁM fogalmát, melyet ma Wolf vagy Zürich számként ismerünk. Ennek segítségével Wolfnak sikerült visszafejtenie a korábbi napciklusokat is, egészen az 1755-1766-os ciklusig, melyet *I. ciklus*ként definiált és minden későbbi ciklus ezt a számozást követi. Ezeknek a ciklusoknak a vizsgálata során kimutatta, hogy a ciklusok periódusa nem a Schwabe által definiált 10 év, hanem 11.1 év. Továbbá 1852-ben sikerült kapcsolatot találni a geomágneses index és a napciklus között, mely a kezdete volt a Föld-Nap kölcsönhatások megismerésében.

1859. szeptember 1.-jén *Richard C. Carrington* (1826-1875) amatőr csillagász napfolt megfigyelést tartott, amikor egy hirtelen felfénylést látott az egyik napfolt körül. Ezt a jelenséget *R. Hodgson* (1804-1872) brit csillagász is megerősítette, így végrehajtották az első fler megfigyelést. Csupán a legnagyobb flereket lehet megfigyelni látható tartományban. Továbbá Carrington nevéhez fűződik a nap differenciális rotációjának felfedezése is

1908-ban *George Ellery Hale* (1868-1938) megmérte a Zeeman-effektust a napfoltok spektrumában, továbbá vizsgálták a szétvált spektrális komponensek polarizációját. Ez perdöntő bizonyíték volt arra, hogy a napfoltokban erős mágneses tér található, ami kb 3000G. Ez volt az első Földön kívül detektált mágneses tér, ami ráadásul jóval nagyobb, mint a Földé. Továbbá 1919-ben újabb mágneses térrel kapcsolatos jelenségeket fedezett fel: Ezen jelenségek összefoglaló neve HALE SZABÁLY.

III. A Nap állapotjelzői és belső felépítése

A Nap állapotjelzői:

Állapotjelző	Mérték
Tömeg	$1.989 \cdot 10^{24}$ kg
Sugár	696'000 km
Luminozitás	$384.6 \cdot 10^{24} \frac{J}{s}$
Effektív hőmérséklet	5778 K
Kémiai összetétel	H-90.965% He-8.889% Egyéb-0.046%
Spektráltípus	G2V
Látható fényesség	-26.74mag (V sávban)
Abszolút fényesség	4.83mag
Kor	$4.59 \cdot 10^9$ év

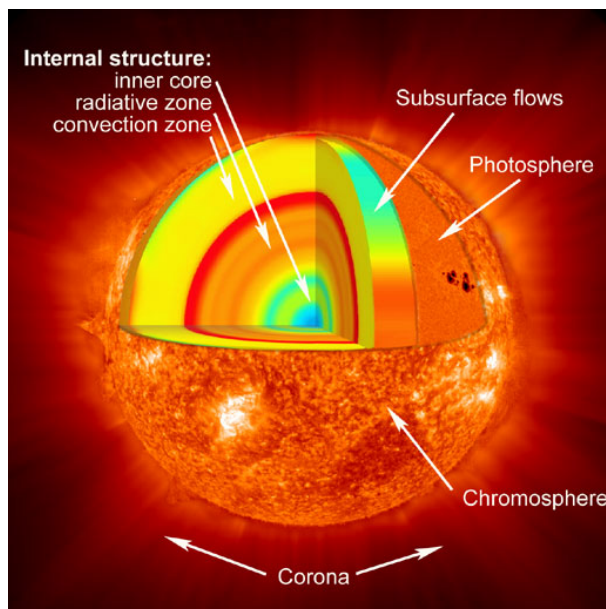
A Nap gravitációs és energetikai központja a Naprendszernek, mely egy gömbszimmetrikus plazmagömb. A plazma olyan gáz, melyben az atommagokról leszakadnak az elektronok, így pozitív töltésű atommagok és negatív töltésű delokalizált elektronok keveréke jön létre. Ez egy elektromosan töltött anyag, melyet a negyedik halmazállapotnak is neveznek. A Nap színeképében a semleges fémek jellemzőek, melyek közül a legerősebb az ionizálatlan kalcium. A relatíve alacsony $\sim 6000K$ -es felszíni hőmérséklet miatt már megjelennek molekulaszávok is, mint például CN és CO vonalak. Ezen paraméterek alapján a Harvard-klasszifikációban G osztályú és azon belül 2-es alosztályú csillag a Nap. A Moorgen-Keenan-féle luminozitása osztályozásban viszont az V, azaz a törpék közé helyezték. A Hertzsprung-Russel-diagrammon csillagunk a fősorozaton található, így fősorozati csillagnak nevezhetjük. Ez alapján a Nap sugárzási egyensúlyban van, tehát a magból érkező sugárzási nyomás ellen tud tartani az őt folyamatosan összehúzni akaró gravitációs erőnek.

Míg a Nap pulzációjának nyomási (p) módusa inkább a külső régiókban, addig a gravitációs (g) módusa a belső régiókban éri el a maximális amplitúdóját. Az ilyen rezgésekből nagyjából 10^7 db van, így ez a rengeteg sajátrezgés kiváló lehetőséget ad arra, hogy feltérképezzék a Nap belső

szerkezetét. Ehhez kétféle módszert használnak:

- **Közvetlen modellezés:** Kiszámítják az egyes sajátrezgéseket és sajátfrekvenciákat az egyes mélységekben, majd összehasonlítják a mérési eredményekkel. Ennek a technikának az alapja a standard napmodell.
- **Inverz módszer:** Kiszámítják az egyes rétegekben található hangsebesség profilokat és ebből lehet következtetni a belső felépítésre és az egyes rétegek forgási sebességére.

A modellek alapján így a Nap belseje héjas szerkezetű, legbelül egy maggal. Így belülről kifelé a Nap felépítése:



6. kép: A Nap belső felépítése

- **Mag:** Ide koncentrálódik a Nap tömegének döntő többsége és a sugár $\sim 25\%$ -áig terjed ki, továbbá a sűrűség $250 \frac{g}{cm^3}$. Csupán itt elég nagy a sűrűség és a nyomás ahhoz, hogy beindulhasson a Nap energiatermelésének döntő többségét adó *proton-proton ciklus*. A proton-proton ciklus során két darab H atommag, azaz proton alakul át deutériummá úgy, hogy az egyik proton β -bomlás következtében neutronná válik. Ez a deutérium elnyel egy újabb protont, így 3He könnyűhélium maggá alakul. Ez az atommag azonban instabil, így két ilyen 3-mas tömegszámú hélium atommag ütközéséből jön létre a 4He atommag. A folyamat során $4.3 \cdot 10^{-12} J$ energia keletkezik neutrínók és fotonok formájában, továbbá két új proton, mely a következő ciklus beindulását segíti elő. Ez a proton-proton ciklus főlánc, ugyanis máshogy is végbemehet a ciklus (ez a melléklánc), azonban a főlánc sokkal nagyobb

valószínűséggel következik be. A Nap másik típusú energiatermelése a CNO-ciklus, ez azonban csupán 2%-ban járul hozzá az összenergiához, mivel ez a folyamat bonyolultabb elemeket von be katalizátorként az energiatermelésbe.

A sugár mentén kifelé haladva azonban egyre jobban csökken a nyomás és a sűrűség, így energiatermelés csak a magban jön létre.

- **Sugárzási zóna:** Ez a zóna a mag fölött és a tachoklína alatt található és a sugár 50%-át teszi ki. Itt a nyomás még mindig elég nagy ($20\frac{g}{cm^3}$), de ahhoz kicsi, hogy energiatermelés indulhasson be. A neutrínók számára átlátszó a sugárzási zóna anyaga, így azok szabadon kijutnak belőle, azonban a fotonok számára már nem. Itt az energiátanszport sugárzással történik, ahogy a zóna neve is erre utal. Az átlátszatlanság miatt a fotonok folyamatosan ütköznek, szóródnak az atommagokon, így a fotonok akár $10^6 - 10^7$ évbe is telhet, hogy elhagyják ezt a zónát, miközben "visszahűlnek" a látható fény tartományába.
- **Tachoklína:** Ez egy vékony átmeneti réteg. A tachoklína alatt a Nap jó közelítéssel merev testként forog, míg efölött már fellép a DIFFERENCIÁLIS ROTÁCIÓ jelensége, azaz a Nap egyes az szélességi köreinél különböző sebességgel forog.
- **Konvekciós zóna:** A tachoklína felett található zóna alján már elég alacsony a hőmérséklet ahhoz, hogy a nehezebb atomok megtartsák elektronjaikat, így csupán részben ionizált plazma jön létre. Ebben az anyagban már képesek ezek az atomok a fotonokat elnyelni. Ennek az energiaelnyelésnek köszönhetően egyes tartományok felmelegednek a környezetükhöz képest és kitágulnak. Ennek a kitágult anyagnak a sűrűsége is csökken és a környezetéhez képesti sűrűségkülönbség felhajtóerőt generál, így ez a tartomány a felszín irányába emelkedni kezd. Ennek az emelkedő tartománynak a neve *konvektív cella*. A felszínen a cella leadja az energiáját, majd visszaereszkedik helyet adva az őt követő, forró cellának. Ezt a jelenséget a felszínen nagyfelbontású távcsövekkel észlelni lehet. Ez a *granuláció*.
- **Fotoszféra:** Ezt a ~ 400 km vastagságú réteget nevezzük a Nap felszínének, ugyanis a látható fény tartományában érkező sugárzás 99%-a innen érkezik. A fotoszféra hőmérséklete ~ 6000 K és egy ilyen hőmérsékletű fekete-test esetében a sugárzása a látható tartományba esik. A fotoszféra jelenségei: *napfoltok, napfáklyák, flerek, granuláció, szupergranuláció*.
- **Kromoszféra:** Ez a naplégkör alsó tartománya. Ezt a zónát csupán napfogyatkozásakor

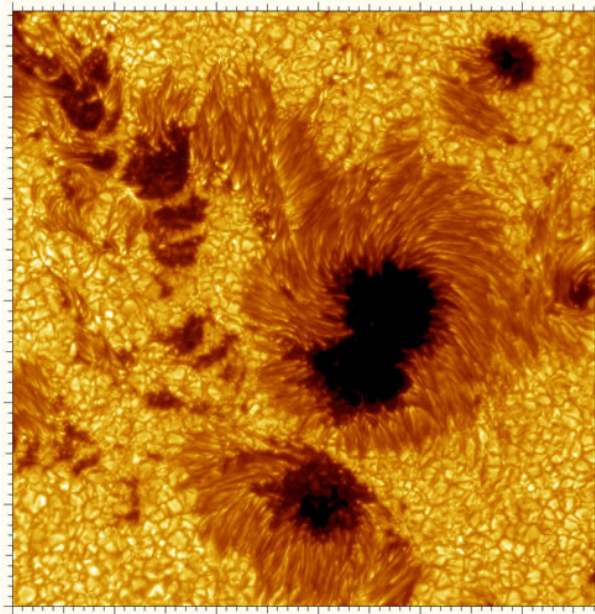
vagy spektroheliószkóp, illetve H_α kromátor segítségével lehet megfigyelni. A kromoszférában radiálisan kifelé haladva a hőmérséklet egyre emelkedik, bár a zóna vastagsága teljesen inhomogén. A legtöbb energiát a hidrogén Balmer-sorozatában, a H_α tartományban sugározza ki ($\lambda=656,3\text{nm}$), ami nevét is erről a jellegzetes vörös színről kapta. A kromoszféra jelenségei: *plázszerületek* (más néven kromoszférikus fáklyák), *protuberanciák*, *filamentumok*.

- **Napkorona:** Ez a naplégkör felső tartománya. A hőmérséklet itt már újra 10^6 nagyságrendet ér el, ugyanis itt már olyan alacsony sűrűségű az anyag, hogy az alsóbb rétegekből jövő energia könnyebben fűti fel ezt a kisebb részecskemennyiséget. Ennek következtében itt a részecskék már elérhetik a felszínre érvényes szökési sebességet, így néhány napsugár távolságból már kialakulhat egy radiális irányú részecskeáram, a *napszél*.

IV. A napciklus indikátorai

Napfoltok

A napfoltok a fotoszféra legkönnyebben észlelhető jelenségei. Két területből állnak: a sötétebb umbrából és a világosabb penumbrából. A foltok sötétségének oka az, hogy a foltokban lévő plazma hőmérséklete akár 2000K-nek is alacsonyabb lehet, mint a környező plazmáé. Ennek a jelenségnek az oka a következő: már Halle kimutatta a Zeemann-effektus segítségével, hogy a napfoltokban 2000-3000G erősségű mágneses tér található, mely a befagyás törvénye értelmében gátolja az alulról érkező konvekció fűtő hatását, így nem tud annyi energia a felszínre jutni. Így a plazma kihűl és a környezetéhez képest sötétebbé válik. Mivel azonban a folt közepén a mágneses térerősségvonalak vertikálisak, itt teljesen megszűnik a konvekció fűtése. Amint azonban kifelé haladva a mágneses fluxuscsovek megdőlnek, így ott már részleges konvekció fel lépni. Emiatt pedig ez az anyag magasabb hőmérsékletű lesz, mint a folt közepén, de még mindig alacsonyabb a környező anyagénál, ezért látjuk világosabbnak a penunbrát, mint az umbrát.



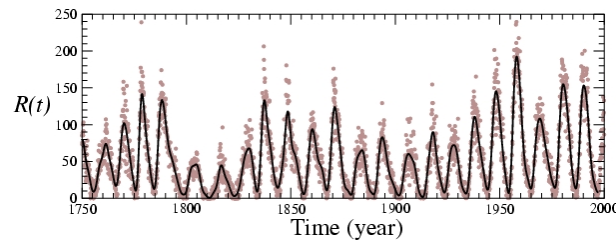
7. kép: Nagyfelbontású kép egy napfoltcsoportról, melyet a Swedish Solar Observatory készített

Mivel a napfolt a legkönnyebben megfigyelhető fotoszféra jelenség, így dokumentálásukat már korán kezdték. *Swabe* először kezdte el katalógusokba szedni a napfoltok pozíciót, továbbá megfigyelt egy 10 éves ciklikusságot is. Áttörést azonban *Wolf* munkássága jelentette, aki egy

matematikai módszert fejlesztett ki az egyes napfoltok jellemzésére. Ez a NAPFOLT RELATÍV-SZÁM, melyet a következőképp határozott meg:

$$W = k(10g + f),$$

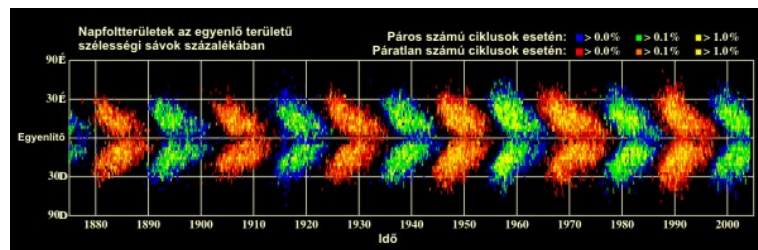
ahol k egy konstans, mely az adott távcsőre és észlelőre jellemző mennyiség, g a foltcsoportok száma, f a napkorongon található összes folt száma, W pedig a relatívszám. Továbbá Wolf összegyűjtötte a korábbi napfoltészlelési adatokat és az 1700-as évekig kiszámította.



8. kép: A Wolf-féle napfolt relatívszám ábrázolása

Ezt *John Eddy* folytatta, aki egészen Galilei idejéig számította ki a napfolt relatívszámot. Ekkor lett felfedezve a Maunder-minimum is. *Carrington* differenciális rotáció és aktív régió vándorlási elmélete alapján *Spörer* írt le egy összefüggést, melyet később róla neveztek el SPÖRER-SZABÁLYNAK:

"A napfoltok magasabb szélességeken keletkeznek a ciklus elején, majd a ciklus végére a Nap egyenlítője köré gyülekeznek." Ha ábrázoljuk az idő függvényében a napfoltok földrajzi szélességét, akkor egy jellegzetes ábrát kapunk. Ez a PILLANGÓ-DIAGRAM.



9. kép: A Pillangó-diagram

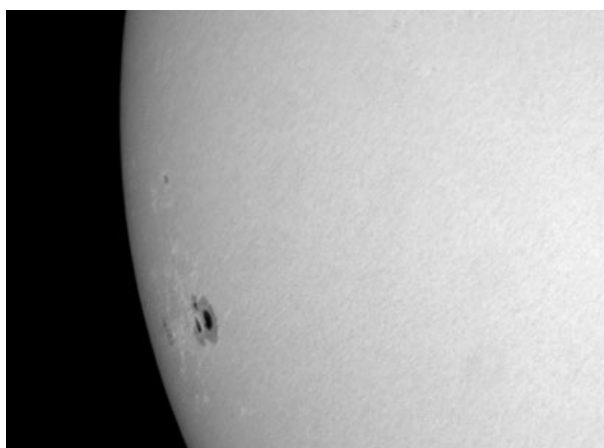
Miután *Hale* kimutatta, hogy a napfoltokban erős mágneses tér van jelen, sikerült felállítani a következő összefüggéseket:

- Az azonos hemiszférán lévő foltokban az ún. vezérfoltokban ellentétes polaritás található, mint a követőfoltokban.

- A két hemiszférán két különböző polaritás található a foltokban, azaz még az északi hemiszférán a vezető folt bizonyos polaritású, addig a déli hemiszférán az a követőfoltok polaritása.
- Ezek a mágneses teretek az egyes napfolt ciklusok között megfordulnak, tehát egy mágneses ciklus kétszer annyi ideig tart, mint a napfoltciklus.

Napfáklyák

A sötét napfoltok mellett megfigyelhetők világosabb területek is, melyeket *napfáklyáknak* neveztek el. Itt akár 300-500K-nel is magasabb lehet a hőmérséklet, mint a környező fotoszféra területeken. A napfáklyákat a *forró-fal modell* írja le, mely szerint ezekben a jelenségekben is a mágneses tér játszik közre. A fáklyákban is erős mágneses tér van, azonban a fluxuscső keskenyebb. Mikor plazma fagy bele a fluxuscsőbe, a mágneses tér gátolja a konvekciót, így a plazma lehűl és lesüllyed. Azonban nem elég vastag a fluxuscső, így a környező plazma vissza tudja melegíteni, bár még így is hidegebb környezeténél. Ha nem merőlegesen nézünk rá erre a rendszerre, akkor a felszínnél mélyebb és forróbb rétegeket látjuk. Ekkor a környező plazma még mindig melegebb, mint ami a fluxusban van, azonban erre a környező anyagra nem látunk rá, csak arra, ami bele van fagyva a fáklyába. Így látjuk a széleken a fáklyákat, mivel a korong közepén nézünk rá merőlegesen a rendszerre és a szélek felé haladva egyre kisebb szög alatt látjuk.



10. kép: Felvétel egy aktív területről, ahol napfoltok és napfáklyák együtt láthatók

A napfáklyák sok tekintetben jobb indikátorai a napsiklusnak, mint a napfoltok. A napfáklyák élettartama jóval nagyobb, továbbá már jóval a napfoltok előtt megjelennek és bőven eltűnésük

utánuk szűnnek csupán meg. Továbbá megfigyelhető, hogy a napfoltok kapcsolódnak a fáklyákhoz és nem fordítva.

A alacsony földrajzi szélességű fáklyákhoz hasonló jelenségek az ún. *polárfáklyák*, melyek magas földrajzi szélességeken találhatók és sosem kapcsolódnak hozzájuk foltok. A polárfáklyák maximuma éppen a napciklus minimumaira esik.

10,7cm-es rádiófluxus

A 10,7cm-es rádiófluxus a kromoszférából kiinduló hosszúhullámú sugárzás, mely az aktív területek felett az atmoszférában lebegő mágneses terek által okozott fűtés egyik jellemző mennyisége. Ez a 2800 MHz frekvenciájú sugárzás is remek indikátora a napciklusnak.

V. Műszerek és adatbázisok

Royal Greenwich Observatory

A napfolt és napfáklya méréseit naponta végezték a *Royal Greenwich Observatory* (RGO) megbízásából. Ezeket a méréseket 1874-től 1976-ig, 102 éven át végezték az RGO műszereivel. A méréseket továbbá két helyszínen is végezték: Cape Observatory, Dél-Afrika és Kodaikanal, India, azonban becsatlakoztak ideiglenes helyszínek is, mint Mt. Wilson és Freiburg Observatories. Az észlelést az évenként RGO által megjelentett *Greenwich Observations*-ban közzétették, amiben a megadott értékek a szélsőtétedés jelenségére korrigáltan és milliimod naphemiszférára normálva lettek publikálva. A késői észlelések során már csekély mennyiségű polárfáklyát is beleszámítottak a táblázatokba, de alapvetően az aktív régiókban található, napfoltokhoz köthető fáklyákat jegyezték fel. A mérési adatok nélküli napok száma elhanyagolható a méréssel rendelkező napok számával szemben.



11. kép: A Royal Greenwich Observatory

A méréseket két műszerrel végezték: az egyik a De la Rue által tervezett *Kew fotoheliográf* 86mm-es apertúrával, míg másik távcső a *Dallmeyer-távcső* volt, melyből összesen 3 darab volt. Átmérőjük 6,25 inch (15,9cm) volt egy 4 inch (10,2cm) átmérőjű blendével.

Ottawai 10,7cm-es rádiófluxus mérések

A 10,7cm-es rádiófluxus méréseit a kanadai Ottawa városa melletti rádiótávcsövekkel végezték 1947 óta minden nap helyi idő szerint délben, 17:00 GMT. A 2800MHz-es értékeket korrigálták több hibára is, mint az antenna erősítés vagy a környezet hőmérséklete által keltett torzítás. A méréseket 1991 elejétől a *Dominion Radio Astrophysical Observatory* rádióteleszkópjával folytatták Penticton, Brit Columbia közelében. Azonban fontos különbség az RGO méréseihez képest, hogy ebben az esetben nem csupán az aktív területek emisszióját mérték, hanem az egész napkorongra vett értéket.



12. kép: A *Dominion Radio Astrophysical Observatory* rádiótávcsövei

Debreceni Napfizikai Obszervatórium

A Royal Greenwich Observatory fotoheliográf munkálatainak befejeződteével indult meg a munka a *Debreceni Napfizikai Obszervatóriumban*, ahol egy új, minden eddigi adatsornál részletesebb és pontosabb katalógus létrehozását célozták meg. Ennek neve *Debrecen Photoheliographic Results (DPR)* lett, mely nem csak a napfoltok méretét és pozícióját, de a mágneses mező polaritását is tartalmazta. Azonban a munka aprólékossága, illetve mivel csupán 2 kutató dolgozott rajta, miatt nagy lemaradásba kerültek és a munka leállt.

Ennek a lemaradásnak a pótlására kezdték meg a DPR-en nem dolgozó kutatók a *Debrecen Photoheliographic Data (DPD)* katalógus szerkesztését, melyben csupán a foltok illetve foltcsoportok méretét és helyzetét katalogizálták, a polaritás adatokat nem. Az ehhez szükséges automatizálási folyamatok Győri Lajos vezetésével mentek végbe.

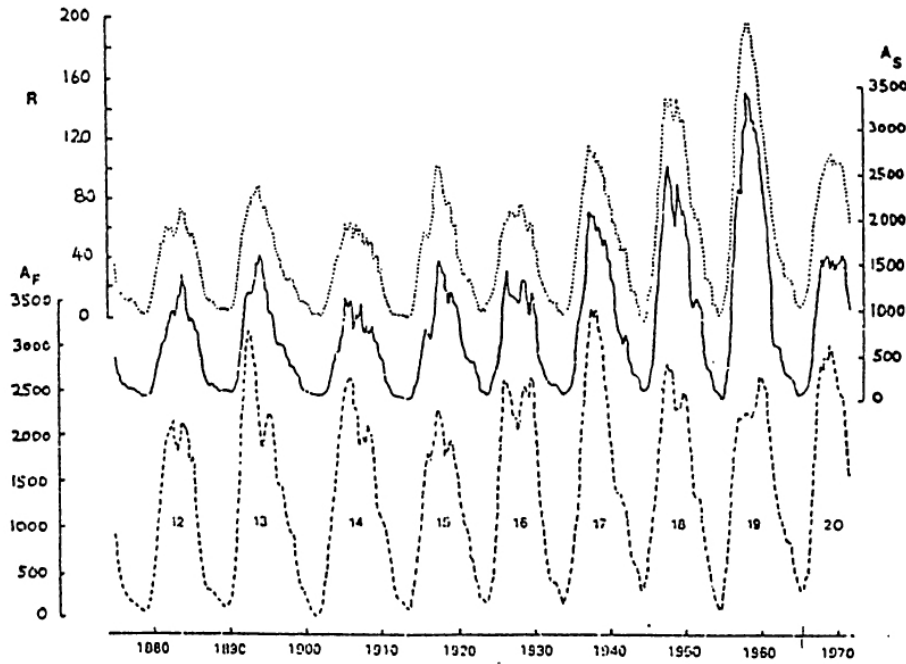
Az Obszervatórium műszerparkjában egy korongráf található, 53cm-es objektívvel és 8m-es fókussszal, azonban ez egy járulékos optikai egység révén 12m is lehet. Flerek megfigyeléséhez pedig $H\alpha$ szűrővel lehet felszerelni a konstrukciót.



13. kép: A Debreceni Napfizikai Obszervatórium központi épülete

VI. A kutatás előzményei

A napciklusok "klasszikus" indikátorai a napfoltok, hiszen *Samuel Heinrich Schwabe* ezek segítségével mutatta ki a 11 éves ciklust. Azonban *Brown & Evans (1980a)* munkájukban felhívják rá a figyelmet, hogy a naptevékenység ciklusainak vizsgálatához pontosabb indikátorok a napfáklyák. Ezen állítását arra alapozta, hogy a napfoltok kötődnek a fáklyákhoz és nem fordítva, továbbá élettartamuk is nagyobb. Ábrázolták a 13 havi csúszóátlagát a napfoltok területek (A_S), napfáklya területek (A_F) és a Wolf-féle napfoltrelatívszámnak (R). Megfigyelhető, hogy a napfolt és napfáklya terület idősorok fázisban vannak egymáshoz képest, viszont jelentős eltérések adódnak a maximumok elérésében. Erre példa a három legerősebb ciklus, melyet napfolt terület alapján vizsgálva a sorrend 19-18-17, azonban a napfáklya terület alapján vizsgálva 17-18-19.



14. kép: A három naptevékenységi indikátor 13 havi csúszóátlaga: az alsó szaggatott vonal a napfáklya terület, a középső folytonos vonal a napfolt terület, a felső pöttyözött vonal pedig a Wolf-féle napfoltrelatívszám

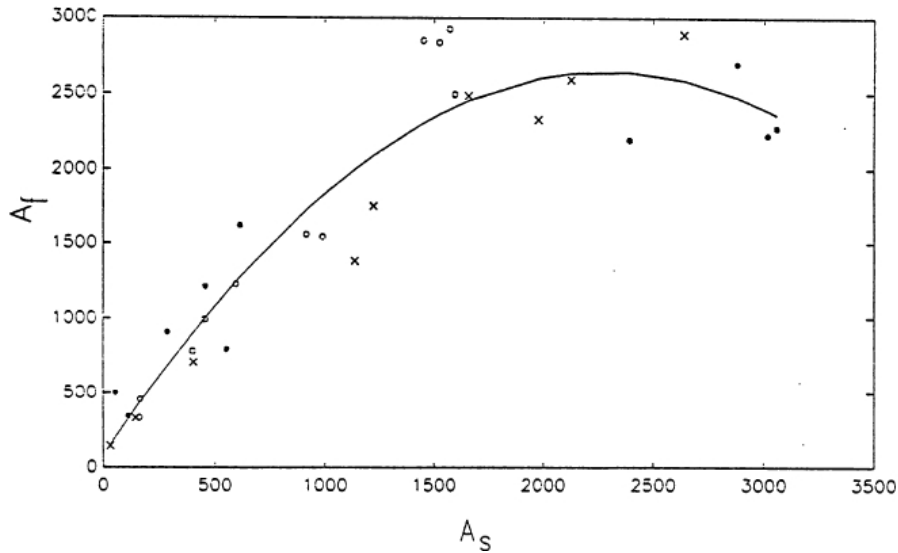
Megfigyelték, hogy a ciklusok korai szakaszában erős korrelációt lehet megfigyelni a napfáklya és a napfolt területek közt. Így húztak egy határt az $A_F = 1500$ -as értéknél és az ennél kisebb fáklya terület értékek segítségével próbáltak jóslást adni a később bekövetkező maximum erősségére. Így

a következő összefüggést kapták:

$$R_m - \max = 0.17 \cdot (A_S)_{1500} - 19.0$$

ahol $R_m - \max$ a 13 havi napfoltszám csúszóátlag maximuma, $(A_S)_{1500}$ pedig az $A_F = 1500$ értékhez tartó napfoltszám értékére adott becslés, melyet a két szomszédos csúszóátlag érték lineáris interpolációjából kaptak. Ennek a módszernek a segítségével jó közelítéssel megadható két évvel a maximum bekövetkezés előtt annak értéke. Azonban a Royal Greenwich Observatory részletes katalógusainak 1977-es megszűnésével nem lehetett tovább ezt a módszert tovább alkalmazni.

Foukal (1993) munkájában a fáklya és napfolt terület ciklusok közötti gyenge korrelációt vizsgálja. Az egyes ciklusok napfolt és fáklya terület amplitúdó hányadosaival jellemzi: $\frac{A_F}{A_S}$. A vizsgálathoz ábrázolta a három legnagyobb amplitúdójú napfolt ciklus (17-18-19) napfáklya terület értékeit a napfolt terület függvényében és erre egy parabolát illesztett. Ezen a parabolán megfigyelhető, hogy a kisebb napfáklya terület esetén a kapcsolat lineáris (ahogy Brown & Evans munkájában). A görbület oka pedig az, hogy a nagy napfolt területekhez csupán kisebb napfáklya területek kapcsolódnak.

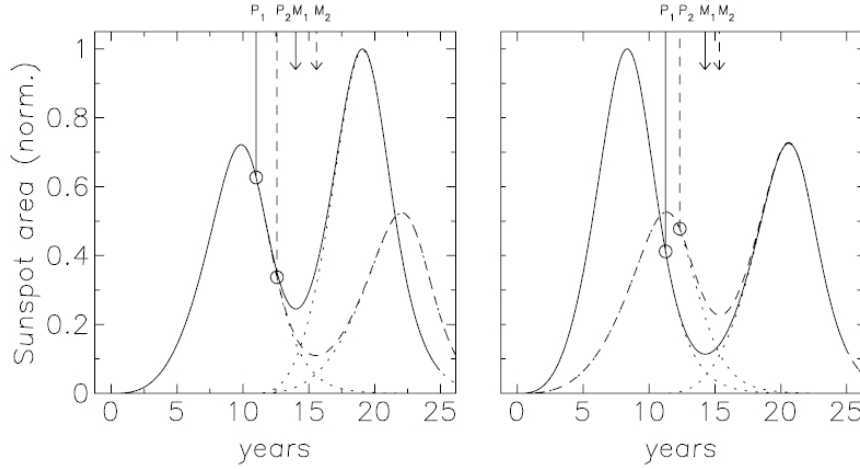


15. kép: A 17., 18., 19. napciklusok napfáklya terület értékei ábrázolva a napfolt terület függvényében, továbbá a rájuk illesztett parabola görbe

Ebben a munkában vizsgálja a 10.7cm rádiófluxus és Ca K plázsindex viszonyát (A_P) a kis napfoltok területekhez ($A_S < 3000$), azonban itt se jelentkezik nonlinearitás, így bizonyítva lett,

hogy a napfoltokat és plázt ugyanaz a mágneses tér hozza létre. Az csupán ismét nagyobb napfolt területek esetén alakul ki. Ennek oka az, hogy ha hasonló A_S értékek esetén vizsgáljuk A_F és A_P , akkor az $\frac{A_P}{A_F} \sim 10$, azaz a Ca K plázs területek fotometriai kontrasztja nagyobb, ami magasabb érzékenységet jelent az aktív területek plázsaiban.

Cameron & Schüssler (2007) munkájukban vizsgálatokat folytatnak a különböző napdinamó modellek előrejelző képességeire. Az első napdinamó modell, melyet a későbbi napciklusok előrejelzésére használtak, *Dikpati et al. (2006)* és *Dikpati & Gilman (2006)* munkákban lettek prezentálva, így a DDG MODELL néven hivatkoznak rá. Ennek az alapja a *Babcock-Leighton dinamó modell (BL-modell)*, mely egy fluxus transzport modell, így az észlelt napfolt adatokat próbálja reprodukálni a Nap felszínén radiálisan áthaladó mágneses tér azimutálisan átlagolt értéke alapján. Ezt egészítették ki egy differenciális rotációval, előírt meridionális cirkulációs minták segítségével a mágneses tér advekciónak és a polodiális tér két forrásával: egyiket a konvektív zóna aljára, másodikat pedig a felszín közelében az aktív területek dőlésének reprodukálásához (Joy-törvény). A modell feltételezi, hogy a differenciális rotáció felcsavarja a globális bipoláris polodiális teret, amelyről az a vélekedés, hogy dominálja a nagyléptékű mágneses teret minimumok idején, továbbá kialakítja a felszín alatti torodiális mágneses teret, amelynek későbbi kitörései okozzák a mágneses aktivitást a következő ciklus folyamán. Minél nagyobb a mágneses dipólmomentum, annál erősebb torodiális tér fog létrejönni, így annál erősebb lesz a következő ciklus feltételezhetően. A ciklus ideje alatt a globális dipól tér megfordul és egy ellentétes polaritású tér épül fel köszönhetően az aktív területek követő polaritású területeinek pólusirányú sodródásának illetve a korábbi polaritású területek egyenlítő környéki diffúziójának illetve felbomlásának. A vizsgálathoz a felszín közeli forrást paraméterezték az Royal Greenwich Observatory napfolt terület adataival. Így ez a modell képes volt reprodukálni a 16.-23.-as ciklusok maximális amplitúdóit 0.99 korrelációs együttható mellett, mely azonban erősen függ a paraméterektől. Ez azt sugallja, hogy a DDG modell segítségével sikerült egy alapvető "összetevőjét" leírni a napdinamó működésének.



16. kép: A minimum időbeli eltolódására készített ábra: a baloldalon ábrán egy gyengébb ciklus után következő erősebb ciklus látható M1 minimummal, a jobb oldali ábrán pedig egy erősebb ciklus utána gyengébb ciklus M2 minimummal.

Az egyik legerősebb kapcsolat a Wolf-féle napfolt relatívszám esetén a *Waldmeier-effektus*, mely a felszálló ág hossza és a maximális amplitúdó közötti antikorreláció. Ennek értéke erősen függ a minimum idejétől, melynek bekövetkezése az időben a következő ciklus erősségétől függ. Ha a következő ciklus erősebb, akkor a minimum előbb bekövetkezik, míg gyengébb követő ciklus esetében később. Így a különböző ciklusok 2-3 évig "egymásra csúszhatnak".

Ennek leírására *Li (1999)*; *Hathaway et al. (1994)* leírtak egy függvényt, melynek segítségével az adott ciklus alakja megadható:

$$f(t) = \frac{a(t - t_0)^3}{e^{\frac{t-t_0}{b}} - c} \quad (1)$$

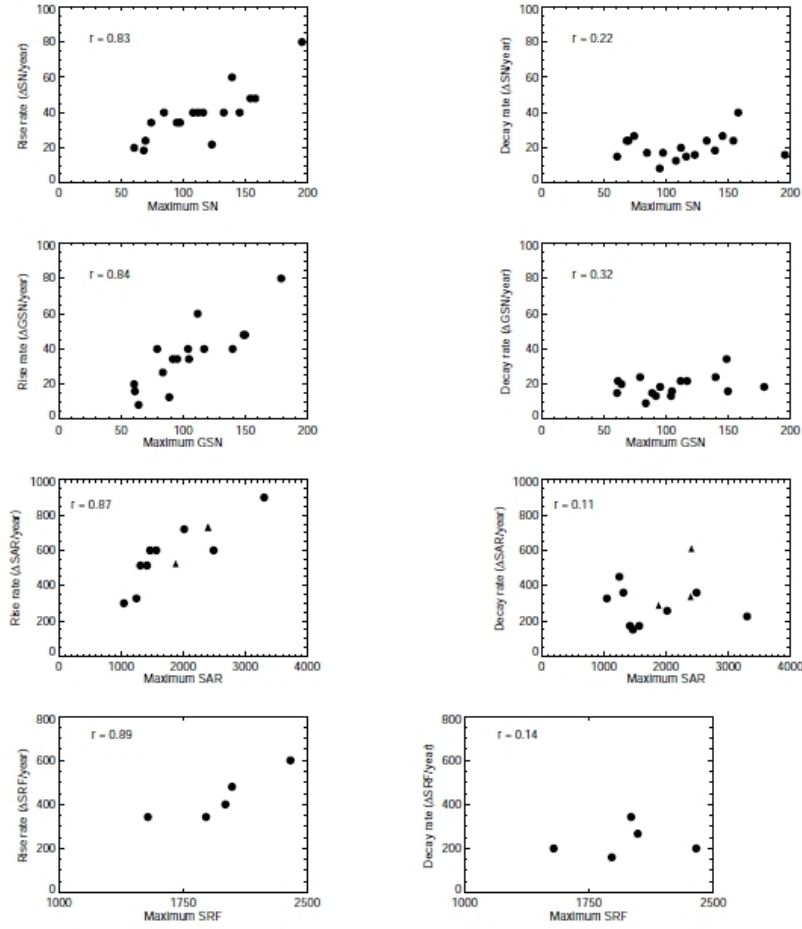
Ahol a az amplitúdó, b a minimumtól eltelt idő hónapban, t_0 a minimum időpontja és c az aszimmetriafaktor.

Dikpati et al. (2008) munkájukban a Waldmeier-effektus eredetét vizsgálják. A Wolf-féle napfolt relatívszám esetén $r = -0.71$ -es korrelációs együttható kapott eredményül a ciklusok felszálló ágának emelkedési ideje és a maximális amplitúdó között. Azonban ez az érték a napfolt területekre vizsgálva $r = 10^{-4}$. A Waldmeier-effektus természetének pontos megértése kiemelkedő fontosságú, hiszen ez egy olyan eszköz lehet, mellyel könnyen lehet kalibrálni a különböző napdinamó modelleket. Mivel *Hathaway et al. (2002)* kimutatták, hogy a Wolf-féle napfolt relatívszám

és a napfolt terület között $r = 0.99$ korrelációs együttható van, így a különbséget a Waldmeier-effektusban csak az "emelkedési idő" okozza. Külön-külön megvizsgálva a két hemiszférán a napfolt területeket arra a következtetésre jutott, hogy az "emelkedési idő" független a maximális amplitúdótól, ez pedig azt sugallja, hogy a Waldmeier-effektus csupán egy statisztikai "melléktermék", mint fizikai tartalommal bíró jelenség. Így *Cameron & Schüssler (2007)* munkájának sejtése cáfolva lett.

Cameron & Schüssler (2008) munkájukban az egyes ciklusok asszimetriája illetve a következő ciklusok erőssége között keres kapcsolatot, továbbá ennek hatását vizsgálja a különböző modellekre. Ehhez négyféle adatsort vizsgáltak: havi Wolf-féle napfolt relatívszám (SN); havi napfolt csoportszám (GSN, Hoyt & Schatten (1998); napfolt területek (SAR, Balmaceda et al. (2005)); 10,7cm rádiófluxus (SRF). *Hathaway et al. (2002)* rámutattak, hogy a klasszikus Waldmeier-effektus gyengébb a napfolt csoport szám (*Hoyt & Schatten (1998)*) esetén, mint a Wolf-féle napfolt relatívszám esetén. Mindkét adatbázisban a történelmileg legerősebb ciklusok (18,19,21,22) nem illeszkednek jól a lineáris kapcsolatra, valamiért hosszú emelkedési időt mutatnak. A linearitásnak eme gyengesége betudható a minimumok időbeli csúszásnak: erős, gyorsan növő ciklusok korai minimumot váltanak ki, ezáltal növekedni fog az eltelt idő a minimumok és a maximumok között. Ez az effektus még erőteljesebbé válik, amikor a *Dikpati et al. (2008b)* által vizsgált napfolt terület adatsort vizsgálják, köszönhetően annak a ténynek, hogy a 21.,22.,23. napfolt terület ciklusok elérnek egy kissé magasabb második „*Gnevyshev maximumot*” néhány évvel az első maximumuk után. Így nem meglepő, hogy kiszámolva a második maximumra nézve az emelkedési időt, az tönkreteszi a korrelációt a ciklus amplitúdójával.

Hogy mennyiségi leírást adhassanak, meg kellett mérniük a meredekséget a minimumok és a maximumok idejére való hivatkozás nélkül. Megbecsülték az emelkedési és a csökkenési rátát úgy, hogy kiszámolták az időt, ami ahhoz szükséges, hogy a megfigyelt aktivitási index meghatározott értéktartományt lefedjen. Ezt az intervallumot olyan mértékben választották meg, hogy a ciklusok átfedései ne befolyásolják őket szignifikánsan. A növekedési és a csökkenési ráták pedig úgy lettek definiálva, mint az értéktartományok illetve a megfelelő csökkenési és növekedési idők arányai.



17. kép: A különböző indikátorok ciklusainak maximumának függvényében ábrázolva a bal oszlopban a növekedési, a jobb oszlopban a csökkenési ráta. Továbbá az egyes ábrákban belül látható a rájuk illesztett egyenes korrelációs együtthatója. A harmadik sorban a háromszögek a 21.-22.-23. ciklusok értékeit jelzik

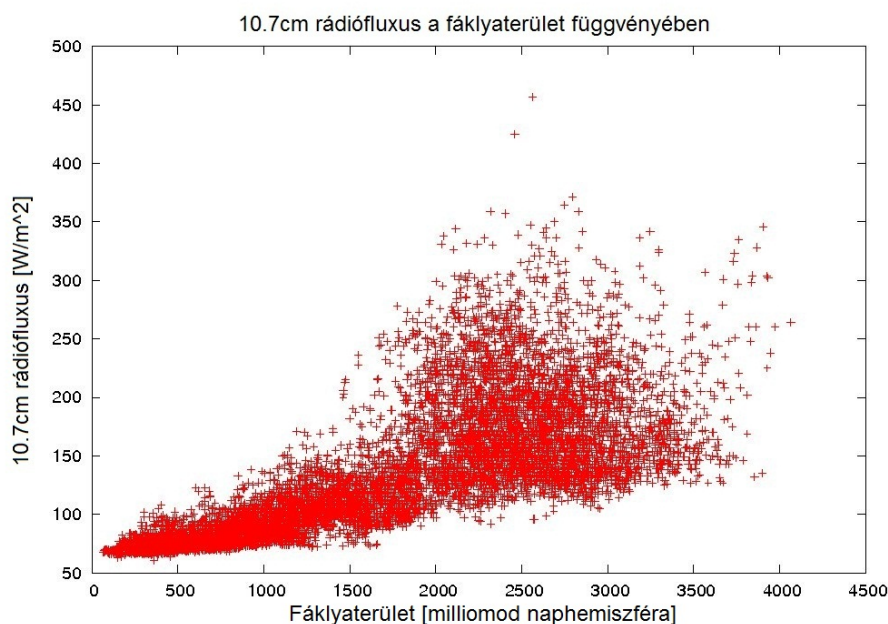
Az eredmények megmutatják, hogy erős korreláció figyelhető meg az "emelkedési idő" és az amplitúdó nagysága között. A 21.-22.-23. ciklusok is (kis háromszögekkel jelölve 17. kép harmadik sorában) rendelkeztek a legnagyobb Gnevyshev maximummal a napfolt terület adatsorban, amely legjobban rombolta a klasszikus Waldmeier-effektust *Dikpati et al. (2008b)* munkájában, jól illeszkedik a növekedési ráta korrelációjába. Másrészt, a csökkenési ráta nem mutat szignifikáns korrelációt a ciklus amplitúdójával, így kijelenthető, hogy az amplitúdó-függő asszimetria az új ciklus növekedési fázisától függ és nem az öreg ciklus csökkenési fázisától.

VII. Adatfeldolgozás

A fáklyaterületek és a 10,7cm-es rádiófluxus közötti kapcsolat vizsgálata

A fáklyaterületek (továbbiakban *fáklya* [jel: F]) és a 10.7cm rádiófluxus (továbbiakban *fluxus* [jel: f]) összefüggéseinek vizsgálatához olyan hosszú időintervallumra van szükségünk, ahol mind a két mennyiség mérve volt. Azonban ez nem áll rendelkezésünkre, ugyanis a Royal Greenwich Observatory mérései 1874 és 1976 között tartottak, míg az ottawai mérések csupán 1964-ben kezdődtek meg, viszont 2012.02.29.-ig elérhetőek. Ez a 12 éves intervallum csupán 2,5 ciklusnyi adatot biztosít, ami a kellően pontos statisztikai vizsgálatok elvégzéséhez kevés.

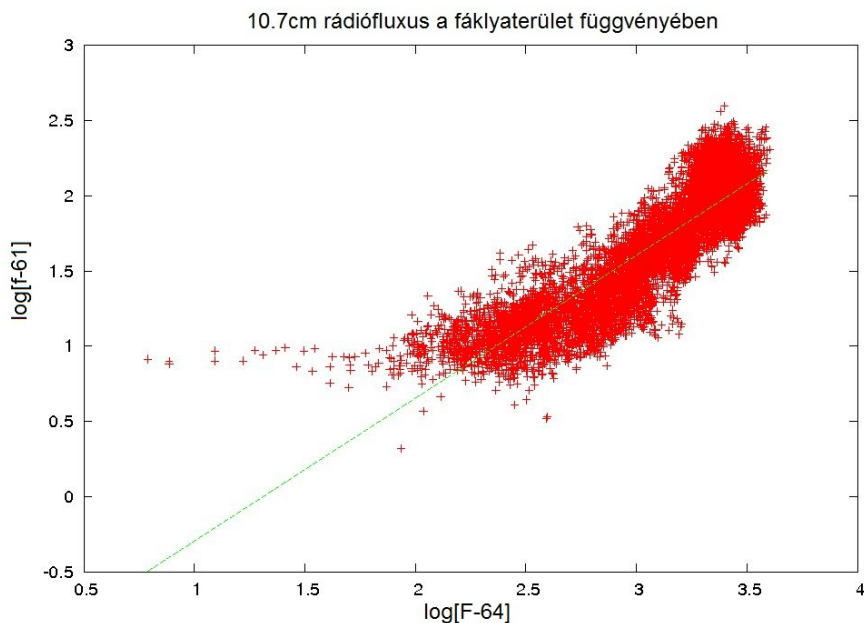
Hogy bővíthessük az adatsorokat, kapcsolatot kell találni a két változó között. Ehhez az 1946.01.01. és 1976.12.31. közötti napi adatokat használtam fel. Ábrázoltam a fáklyaterület függvényében a fluxust, azonban ez egy "széttartó" pontthalmazt adott eredményül, melyre nem lehet egyenest illeszteni jó pontossággal.



18. kép: A fáklyaterületek függvényében ábrázolva a fluxus értékei

A könnyebb illesztés érdekében a fáklyából kivontam 64-et, míg a fluxusból 61-et, így a halmazt eltoltam az origóba. Ezután mindkét érték logaritmusát állítottam elő és így már egy olyan pontthalmaz alakult ki, melyre jó pontossággal lehet egyenest illeszteni. A megillesztett egyenes

egyenlete: $f(x) = -1,245430,950153 \cdot x$.



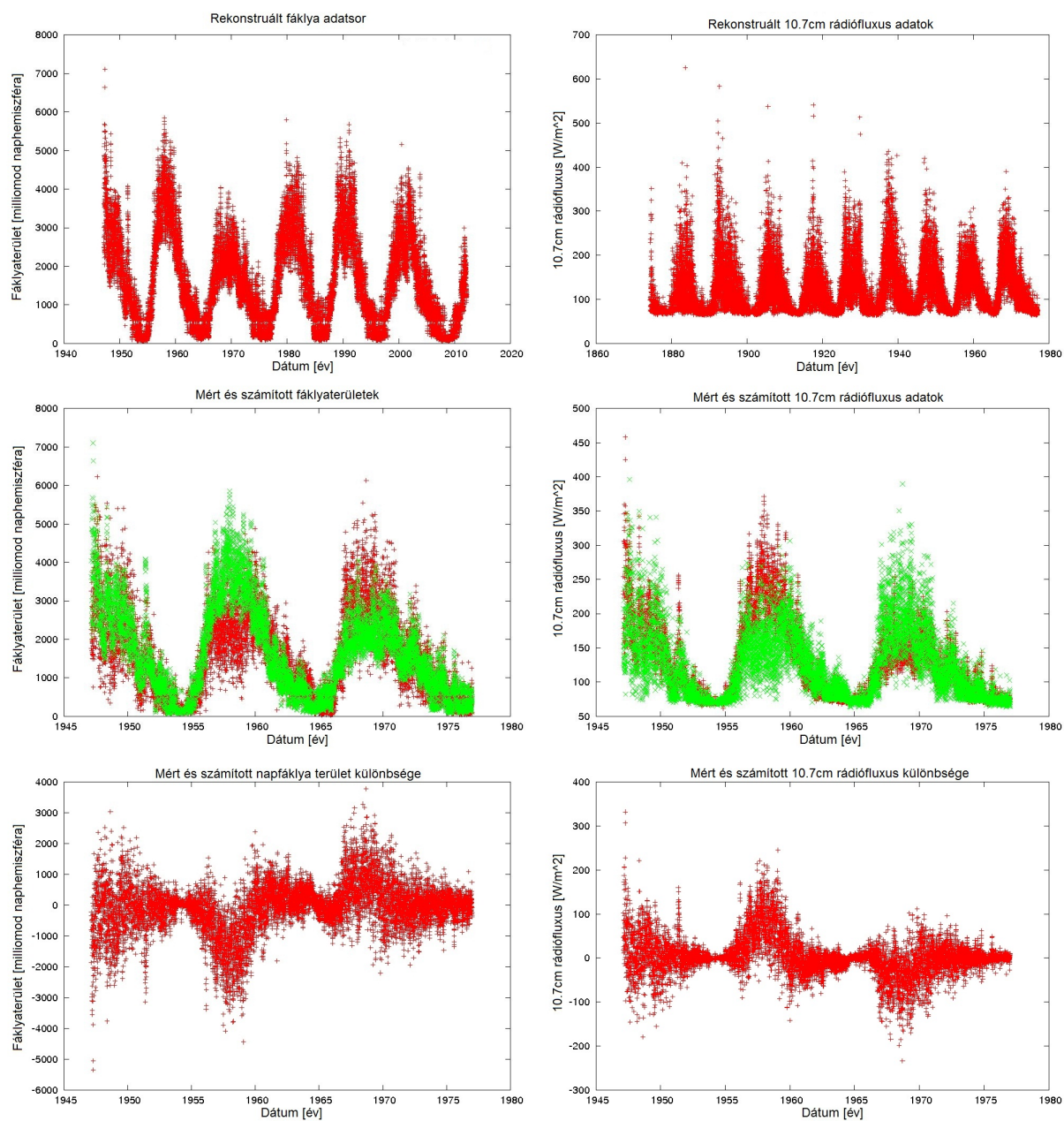
19. kép: Az $F-64$ logaritmusának függvényében ábrázolva az $f-61$ logaritmusának értékei, továbbá a pontthalmazra illesztett egyenes

Ezt a pontcsoportot megfigyelve látható, hogy az $x=2,7$ -nél kisebb értékekre a pontthalmaz "szét-tartóbb" lesz. Így praktikusabb megoldás egy-egy egyenest illeszteni az $x=2,7$ -es érték által két-tévágott pontthalmaz két oldalára. Az így kijött két egyenes egyenletei:

$$\text{Ha } x < 2,7: \quad h(x) = 0,38527 + 0,295172 \cdot x$$

$$\text{Ha } x \geq 2,7: \quad g(x) = -2,26812 + 1,26498 \cdot x$$

Ezzel a két egyenlettel már kiszámítható az egyik változó a másikkól ott, ahol az adott értéket nem mérték. Így mindkét változóról lett egy 1874-től 2012-ig tartó adatsorunk. Összevetve mindkét esetben a mért és a számított értékeket, látható, hogy a napminimumok idején a két adatsor teljesen együtt halad, míg a maximumok környékén alakulnak ki különbségek, melynek oka az lehet, hogy a fluxus értéke nem csupán a fáklyától függ, hanem a napfoltok területétől is.



20. kép: Az első sori ábrákon a reprodukált fáklya és fluxus adatsorok szerepelnek, a második sorban az észlelt adatok (piros) és a számított adatok (zöld) ábrázolva az idő függvényében, a harmadik sorban pedig az észlelt és számított adatok különbségei ábrázolva az idő függvényében

A kiegészített adatsorok statisztikai vizsgálata

Négyféle statisztikai vizsgálatot hajtottam végre a kiegészített fáklya és fluxus adatsorokra.

- **Waldmeier-módszer**
- **Lantos-módszer**
- **Cameron-Schüssler-módszer**
- **Minimum és maximum változás**

Ezen dolgozat Balázs Miklós korábbi tanulmányának eredményeit vizsgálja hosszabb időintervallumon, továbbá a fáklyaterületek mellett a 10,7cm-es rádiófluxus értékeit is bevonja a vizsgálatba. A napciklusok modellezésének egyik fő problémája a ciklusok kezdeti idejének meghatározása, ugyanis a ciklusok emelkedése a maximumig és csökkenése a minimumig nem azonos ütemű. Így az egymást követő ciklusok egymásra csúszhatnak, ezért nem feltétlen a minimum jelenti a következő ciklus kezdetét. Ezek alapján a legfontosabb az, hogy minél pontosabban tudjuk modellezni a ciklusok növekedési és csökkenési rátáját. A különböző módszerek a ciklus erőssége és növekedési ág időtartama között próbál kapcsolatot találni és ehhez különböző módon definiál időtartamokat.

Napfoltok esetén az egyik legerősebb jelenség a *Waldmeier-effektus*. A napfoltok esetén a minimum és maximum időkülönbsége, továbbá a napfoltmaximumok között erős korreláció mutatható ki. Ez a jelenség a napfolt relatívszám, a napfolt csoportszám, a napfoltterület és a 10,7cm-es rádiófluxus esetén valóban erős korrelációt mutatott, azonban a Wolf-féle átlagolás következtében ez a jelenség eltűnt. Ezt a jelenséget is vizsgálni fogom a kiterjesztett adatsorokra.

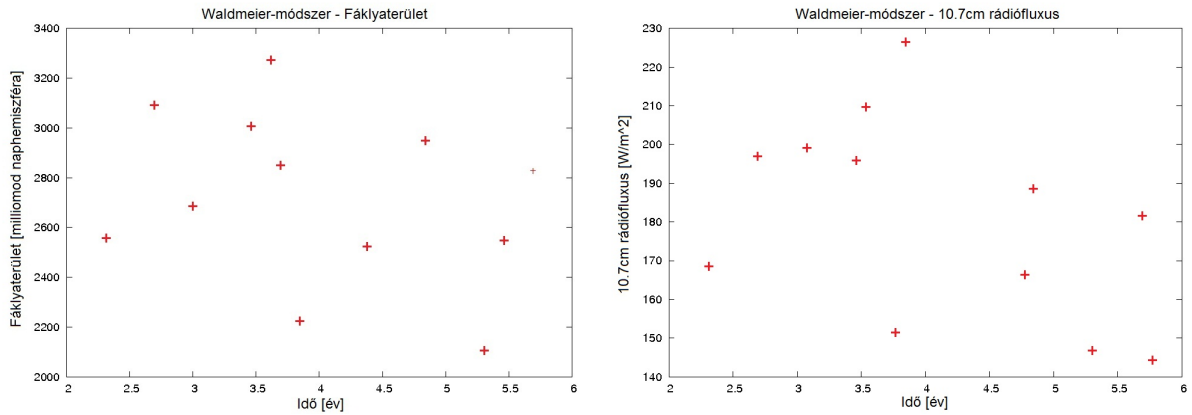
A vizsgálatok előtt mindkét adatsor napi adataiból havi adatokat számoltam, majd ezekre alkalmaztam a Wolf-féle átlagolást (Wolf-féle csuszóátlag), mely az adott havi középértéket, az az előtti és utáni 5 hónap átlagait teljesen, a 6. hónap átlagait pedig fél súllyal veszi figyelembe, majd ennek a számtani közepét veszi.

$$X_i = \frac{0,5 \cdot z_{i-6} + 0,5 \cdot z_{i+6} + \sum_{n=-5}^5 z_n}{13}$$

ahol X a Wolf-féle csuszóátlag és z a havi átlag.

Waldmeier-módszer: A módszer lényege, hogy a minimum és maximumok között eltelt időhöz rendeli hozzá az adott ciklus maximumának értékét. A hosszabbított adatsorokon elvégzett módszer eredményei, ahol r a korrelációs együttható:

Fáklya	$r = -0,295433093816717$
Fluxus	$r = -0,451099557262825$



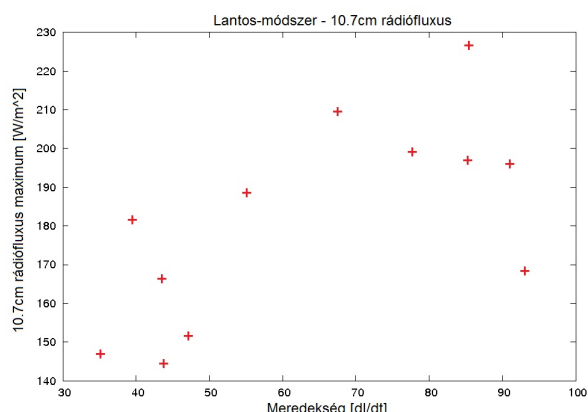
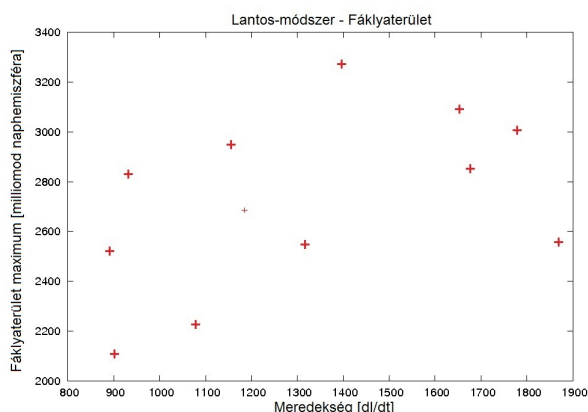
21. kép: A Waldmeier-módszerrel kapott ábrák, bal oldalt a fáklya esetén, míg jobb oldalt a fluxus esetén

Lantos-módszer: Ez a módszer független a minimum időpontjától, ugyanis a ciklus hosszához a felszálló ág maximális meredekségű pontjához rendeli hozzá. A legmeredekebb pont megtalálásához a különbségi hányadost használok fel, annyival módosítva, hogy itt ± 5 hónap értékeinek és idejeinek különbségével számolunk. Mivel az adatsorunk eleve simított, így nem léphetnek fel kiemelkedő nagyságú derivált értékek. Így a differenciálás definíciója:

$$M_n = \frac{x_{n-6} - x_{n+6}}{t_{n-6} - t_{n+6}}$$

A hosszabbított adatsorokra alkalmaztam ezt a módszert és az így kapott korrelációs együtthatók:

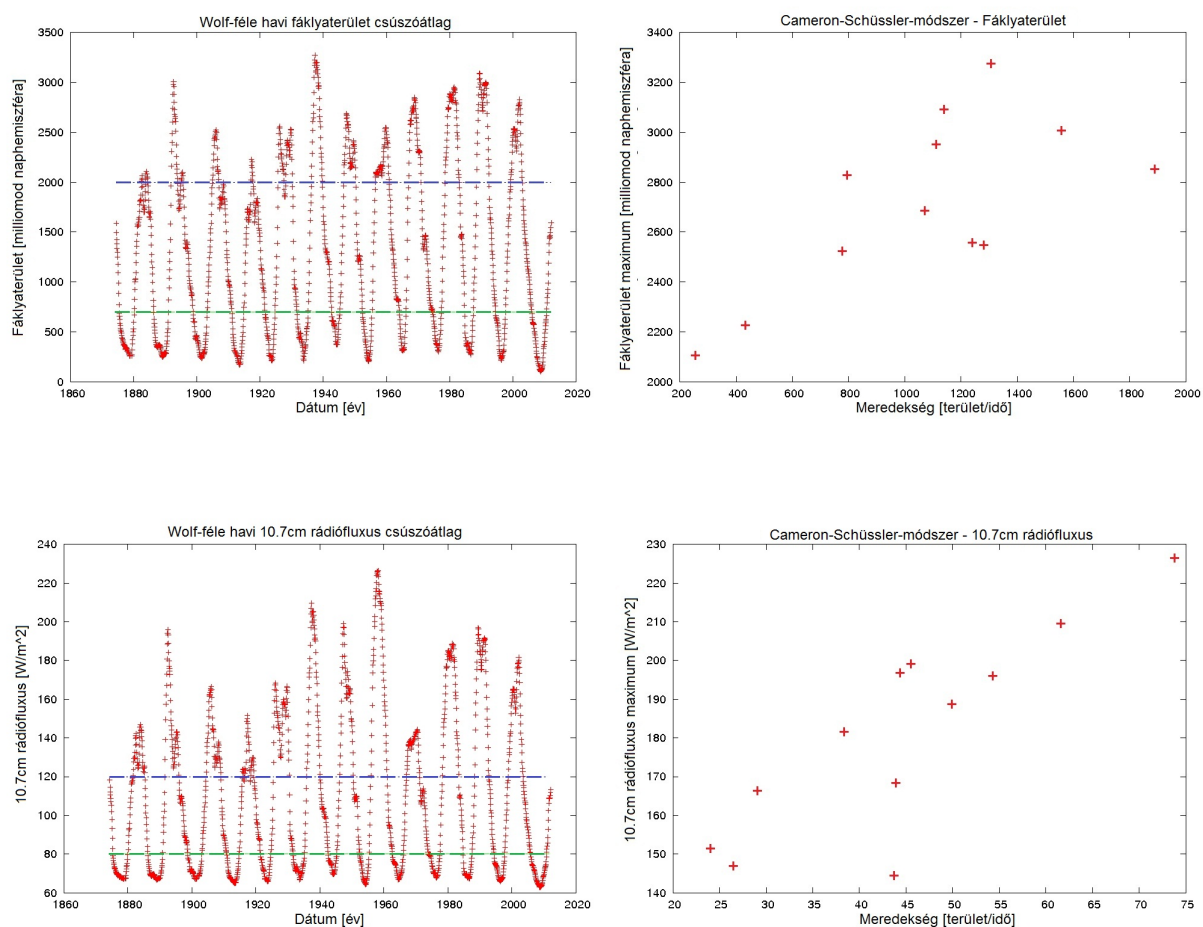
Fáklya	r= 0,475879065168621
Fluxus	r= 0,654657269150642



22. kép: A Lantos-módszerrel kapott ábrák, bal oldalt a fáklya esetén, míg jobb oldalt a fluxus esetén

Cameron-Schüssler-módszer: Ez a módszer két meghatározott intenzitásértéssel dolgozik, mellyel "elvágjuk" a ciklusok felszálló ágát. Ennek a módszernek az előnye az, hogy nem függ a minimumok idejétől, csupán arra kell figyelni, hogy az általunk választott intenzitásértékek szerepeljenek a ciklusok értelmezési tartományában. A két határral "elvágott" felszálló ágakra egyenest illesztettem, majd ezen egyenesek meredekségeinek a függvényében ábrázoltam a maximumértékeket. Az így kapott r korrelációs együtthatók:

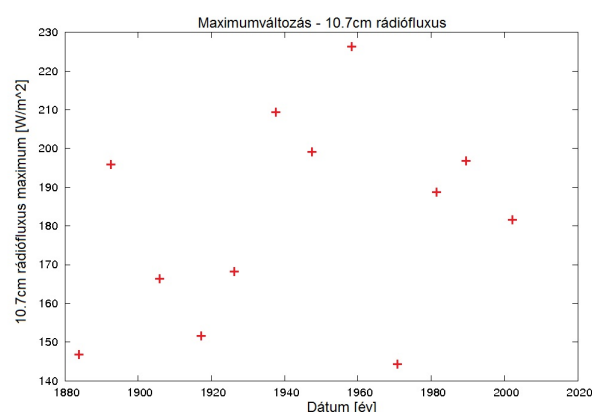
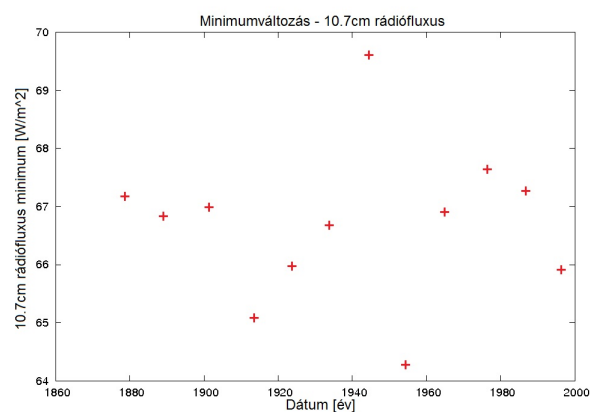
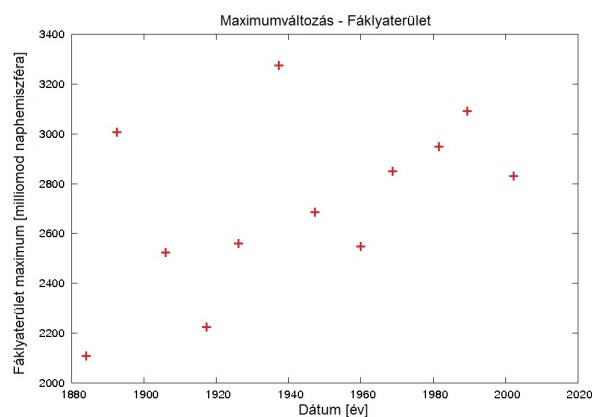
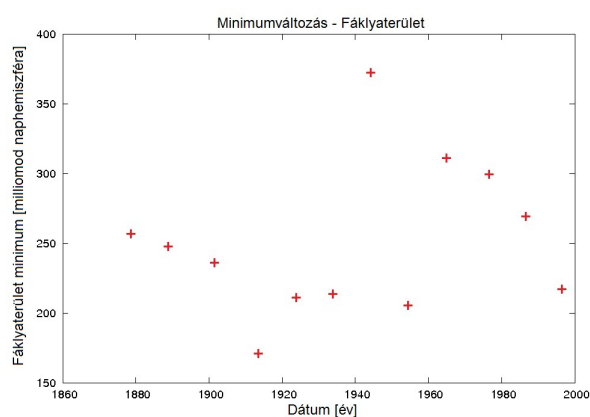
Amplitúdóértékek	Fáklya	Amplitúdóértékek	Fluxus
800-1500	0,153824838842503	80-120	0,843220761819338
1000-1500	0,076426119519123	100-130	0,532968809293624
500-1000	0,0192295654924093	75-100	0,678544177573887
700-2000	0,685741008368873		



23. kép: A bal oldali ábrákon a két csúszóátlag mellett ábrázoltam a legjobb "vágási" intervallumot, míg a Cameron-Schüssler-módszerrel kapott pontthalmazt ábrázoltam

Minimum és maximum változás: A minimumoknak és a maximumoknak az időbeli változásában kerestem korrelációt. Ez alapján az r korrelációs együtthatók:

	Minimumváltozás	Maximumváltozás
Fáklya	0,22987290468558	0,501826453463211
Fluxus	0,011781312	0,309629330990526



24. kép: A bal oldali ábrákon a minimumváltozással kapott ponthalmazt, míg jobb oldaliakon a maximumváltozással kapott ponthalmazokat ábrázoltam

A statisztikai vizsgálat összefoglalása

Az eddigi adatfeldolgozás során kiszámolt értékeket a következő táblázatban foglalom össze. Azonban a kiszámolt korrelációs együtthatókon még egy vizsgálatot el kell végezni, hogy megbizonyosodjunk róla, hogy a kapott korreláció nem csupán a véletlen műve. Így *kétoldali T-próbát* hajtottam végre és az így előállított *szignifikancia* megmutatja, hogy az adott korreláció milyen valószínűséggel nem a véletlen műve. Az eredmények alapján látható, hogy a kapott korrelációk szignifikanciái magasak.

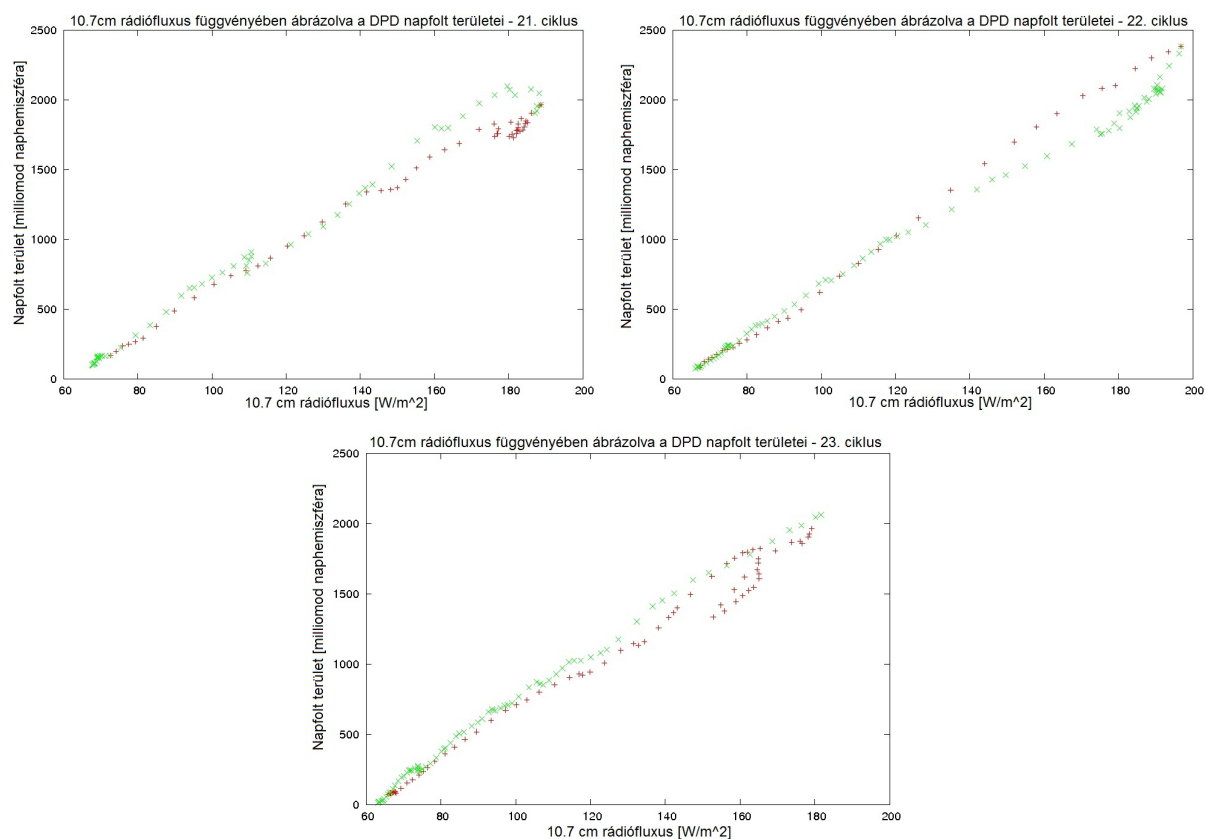
FÁKLYATERÜLET	Korrelációs együttható	Szignifikancia
Waldmeier-módszer	-0,29543	0,8244
Lantos-módszer	0,47588	0,9411
Cameron-Schüssler-módszer(700-2000)	0,685741	0,9931
Minimumváltozás	0,22987	0,7638
Maximumváltozás	0,50182	0,9518

10.7CM RÁDIÓFLUXUS	Korrelációs együttható	Szignifikancia
Waldmeier-módszer	-0,45110	0,9295
Lantos-módszer	0,65466	0,9896
Cameron-Schüssler-módszer(80-120)	0,84322	0,9997
Minimumváltozás	0,01178	0,5145
Maximumváltozás	0,30963	0,8363

A kiterjesztett adatsor gyakorlati felhasználása

Debrecen Photoheliographic Data (DPD)

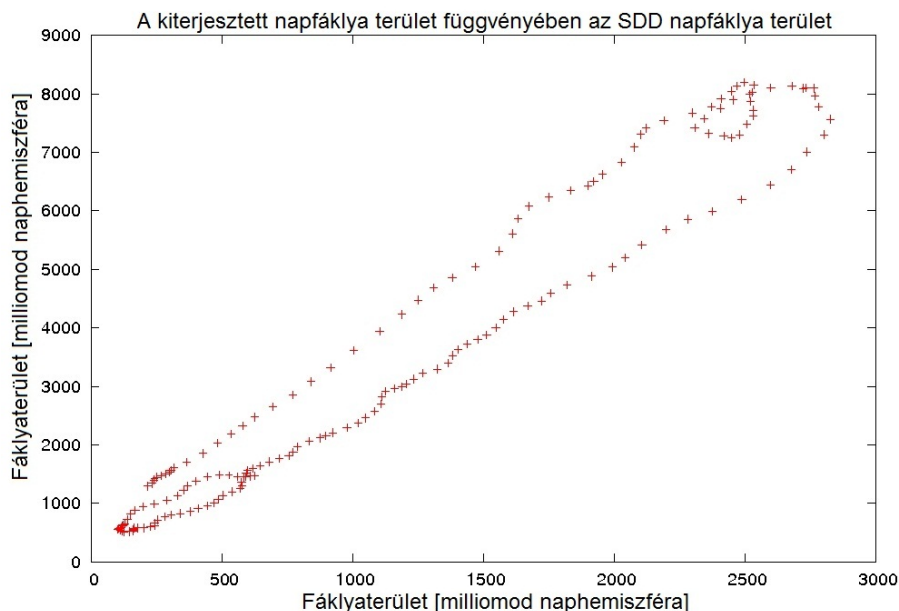
A 10.7cm rádiófluxus adatait korreláltattam a DPD adatbázisában található napfolt terület értékekkel. Ez a vizsgálat 35 év adatait használja fel 1977 és 2012 között. Három napciklus ment végbe ennyi idő alatt, melyeket egyesével ábrázoltam, továbbá a ciklusok felszálló ágait pirossal, míg a leszálló ágakat zölddel jelöltem.



25. kép: A 10.7cm rádiófluxus függvényében ábrázolva a DPD napfolt terület adatai

SOHO/MDI - Debrecen Data (SDD)

A *SOHO/MDI - Debrecen Data (SDD)* katalógus a *SOTERIA (Solar-TERrestrial Investigations and Archives)* project keretében készült el, mely során a SOHO MDI (Michelson Doppler Imager) napfolt, napfolt csoport és napfáklya adatait dolgozták fel. Ennek az adatbázisnak a napfáklya terület adatbázisával korreláltattam a kiegészített napfáklya terület adatsort. A vizsgálat 14 év adatai dolgozza fel 1996 és 2010 között, amely idő alatt kicsit több, mint egy napciklus zajlott le. Az így kapott adatokból látható, hogy közel lineáris a kapcsolat a két mennyiség között, de a SOHO/MDI adatai szisztematikusan egy $\sim 2,5$ szorzóval nagyobbak a reprodukált napfáklya adatoknál. Ez a linearitás pedig megerősíti a reprodukciós módszer megfelelő működését.



26. kép: A kiegészített adatsor napfáklya terület adatainak függvényében ábrázolva az SDD napfáklya terület adatai

VIII. Eredmények

- Az átviteli módszer jó közelítést ad a hiányzó adatsorok pótlásához. Ennek oka, hogy a számított adatsor szorosan követi az észlelt adatsort mind a növekedési, mind a csökkenési oldalon, továbbá a minimumok esetén is.
- A maximumok idején az eltérést az okozhatja, hogy a 10,7cm-es rádiófluxus értéke nem csupán a napfáklya területektől függ, hanem a napfoltokétól is. Valamint további hibaforrás lehet, hogy míg a napfáklya területeket csupán az aktív régiókban számolják, addig a 10,7cm-es rádiófluxust az egész napkorongon.
- A meghosszabbított adatsorokban kimutatható a Waldmeier-effektust, valamint megerősítést kap a Lantos-módszer közepesen erős és a Cameron-Schüssler-módszer erős korrelációja.
- A kiegészített napfáklya adatsor korrelációját vizsgálva az SDD adatbázis napfáklya terület adatsorával, lineáris kapcsolatot lehet felfedezni a két mennyiség között, mely a reprodukciós módszer létjogosultságát erősíti.

IX. Kitekintés

Egy későbbi dolgozatban érdemes lenne megvizsgálni, hogy a napfolt illetve a napfáklya területei milyen mértékben járulnak hozzá a 10.7cm rádiófluxushoz. Valamint további vizsgálat tárgya lehetne az, hogy ábrázolva egy cikluson belül a napfáklya terület (vagy a napfolt terület) függvényében a 10.7cm rádiófluxust, hogy miért változik a felszálló és a leszálló ágak egymáshoz viszonyított helyzete ciklusról ciklusra.

X. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni *Dr. Petrovay Kristófnak*, témavezetőmnek, a remek kutatási témát és a rengeteg segítséget a dolgozat elkészítéséhez. Továbbá szeretném megköszönni *Belucz Bernadettnek* a $\text{\LaTeX}$ programozással kapcsolatos segítséget, valamint *Dr. Székely Baláznak* a sok gyakorlatias jótanácsot. Továbbá szeretném megköszönni *Korsós Marianna Brigittának* és *Baranyi Tündének* a debreceni adatbázissal kapcsolatos segítséget.

XI. Ábrajegyzék

1.kép

http://3.bp.blogspot.com/_bFc8dbKDAE/UAw8F-YY36I/AAAAAAAAACDU/8O1XtSyCCjg/s1600/landmark9.jpg

2.kép

http://abyss.uoregon.edu/~js/images/stonehenge_map.jpg

3.kép

http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSyOt655aLbgm70V-n1ff_D_BSSD2cLabhI-TEWvI8bf1XSRPE180T88UHq

4.kép

http://galileo.rice.edu/images/things/hevelius_ss1.bmp

5.kép

<http://richmondhistory.org.uk/images/scot5.jpg>

6.kép

<http://ut-images.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2008/09/solarinterior.jpg>

7.kép

http://cde.nwc.edu/SCI2108/course_documents/the_sun/sunspot.jpg

8.kép

http://www.aanda.org/index.php?option=com_image&format=raw&url=/articles/aa/full/2006/13/aa3947-05/img11.gif

9.kép

http://astro.elte.hu/icsip/nap/nap_jelensegek/kepek/pillangodiagram.jpg

10.kép

http://www.wanglese.comxa.com/Astronomy/Sun/Sunspot_9_May_2005.jpg

11.kép

<http://www.london-attractions.info/images/attractions/greenwich-observatory.jpg>

12.kép

http://www.nrc-cnrc.gc.ca/images/education/astronomy/image_gallery/drao_lrg.jpg

13.kép

http://fenyi.solarobs.unideb.hu/deb_obs.jpg

14.kép

Brown, G. M.; Evans, D. R.; 1980; Fig.1.

15.kép

Foukal, Peter; 1993; Fig.2.

16.kép

Cameron, R.; Schüssler, M.; 2007; Fig.10.

17.kép

Cameron, R.; Schüssler, M.; 2008; Fig.1.

A 18.-26. képek saját ábrázolásaim.

XII. Hivatkozások

{1} **Brown, G. M.; Evans, D. R.;** *The use of solar faculae in studies of the sunspot cycle;* Solar Physics, vol. 66, June 1980, p. 233-243.

{2} **Foukal, Peter;** *The Curious Case of the Greenwich Faculae;* Solar Physics, Volume 148, Issue 2, pp.219-232

{3} **Foukal, Peter;** *What Determines the Relative Areas of Spots and Faculae on Sun-like Stars?;*The Astrophysical Journal v.500, p.958

{4} **Balázs Miklós;** *Fáklyaterületek változása a napsiklus során,* 2010

{5} **Székely Balázs;** *Nap-Föld fizikai kapcsolatok egyes humán hatásainak vizsgálata,* 1989

{6} **Simony Károly;** *A fizika kultúrtörténete;* Gondolat Kiadó, Budapest, 1981

{7} **Dr. Balázs Béla:** *A csillagászat története 1-2 című kurzusai*

{8} **Győri, L.; Baranyi, T.; Ludmány, A.:** *Photospheric data programs at the Debrecen Observatory Proc;* IAU Symp., 273, 403-407, 2011

{9} **Cameron, R.; Schüssler, M.;** *Solar cycle prediction using precursors and flux transport models;* The Astrophysical Journal, 659, 801–811, 2007

{10} **Dikpati, M.; Gilman, P., A.; De Toma, G.;** *The Waldmeier effect: an artifact of the definition of Wolf sunspot number?;* The Astrophysical Journal, 673, 99-101, 2008

{11} **Cameron, R.; Schüssler, M.;** *A robust correlation between growth rate and amplitude of solar cycles: consequences for prediction methods;* The Astrophysical Journal, 685, 1291, 2008

Felhasznált weboldalak

- [1] <http://ancienthistory.about.com/od/sungodsgoddesses/a/070809sungods.htm>
- [2] <http://www.hao.ucar.edu/education/TimelineD.php>
- [3] http://w3.exter.net.hu/ronay/fototech_tort.html
- [4] <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>
- [5] <http://sagv.gyakg.u-szeged.hu/tantargy/fizika/WEBROL/CSILL/STONEHEN/STONE.HTM>
- [6] <http://fenyi.solarobs.unideb.hu/tevekenyseg.html>