

**Doktori (PhD) értekezés tézisei**

**Fotoszférikus fáklyák tér- és időbeli fejlődésének  
vizsgálata  
a Debreceni Napfizikai Obszervatórium  
katalógusa alapján**

Elek Anett

Témavezető:

Prof. von Fáy-Siebenbürgen Róbert (Erdélyi Róbert)



DEBRECENI EGYETEM

Fizikai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2026



## Bevezetés

A Nap aktivitásának fontos jelzői a Nap felszínén gyakran megjelenő fáklyák, melyeknek két fő típusa létezik. Az első típusba tartoznak az aktív régiókhoz köthető fáklyák, amelyek alacsonyabb szélességi körökön jelennek meg, ahol gyakran a napfoltok dominálnak. Ezeknél a fáklyáknál gyakran megfigyelhető egy negatív összefüggés a napfoltok és a fáklyák területe között. A fáklyák és napfoltok közötti kapcsolat összetett, mivel a fáklyák kialakulása nem kizárólag az aktuálisan meglévő napfoltoktól függ. Az aktív régiók és maradványaik lassabban bomlanak le, mint a napfoltok. Ennek következtében az aktív régiók mágneses fluxusa fennmaradhat, és fáklyákat hozhat létre még azután is, hogy a napfoltok elbomlanak. Ez azt jelenti, hogy egy adott időpontban lehetnek olyan fáklyák, amelyek nem közvetlenül a jelenlegi napfoltokkal rendelkező aktív régiókhoz kapcsolódnak, hanem a már inaktív, feloszlott régiók környezetében jelennek meg, ahol a mágneses mezők még továbbra is jelentős hatással lehetnek a napfelszíni jelenségekre. A fáklyák második csoportját a poláris fáklyák alkotják, amelyek általában a  $\pm 60$  fokos szélességi körök felett jelennek meg. Ezeknél a fáklyáknál a mágneses mező polaritása megegyezik az adott területen uralkodó mágneses tér polaritásával. További vizsgálatok kimutatták, hogy a poláris fáklyák száma és a poláris mágneses tér erőssége között szoros korreláció áll fenn. Ezt az összefüggést gyakran használják a következő napciklus amplitúdójának előrejelzésére is.

A fáklyák térbeli eloszlása és mágneses fluxusa mellett a várható élettartamuk is fontos kutatási terület. Számos tanulmány egyetért abban, hogy a nagyobb területű fáklyák általában hosszabb élettartamúak. Általánosságban elmondható, hogy a fáklyák élettartama néhány perctől több óráig terjedhet. A kisebb fáklyák legfeljebb 16 percig vannak jelen, míg a nagyobb, körülbelül 2 ívmásodperc méretű fáklyák akár 3-5 óráig is fennmaradhatnak. A poláris fáklyák élettartama még ennél is hosszabb lehet, elérve az 5-6 órát.

A fáklyákról szerzett ismeretek alapvetően hozzájárultak ahhoz, hogy a napfáklyákat összekapcsoljuk a Nap globális tulajdonságaival. Kutatások sorozata igazolja, hogy erős összefüggés van a fáklyák és a napciklus fejlődése között, ami különösen figyelemre méltó, mivel a fáklyák jelentős

hatással vannak a szoláris irradianciára. A szoláris irradiancia hosszú távú ingadozásait elsősorban a fotoszférikus mágnesességnek tulajdonítják. Számos modellt dolgoztak ki annak érdekében, hogy megértsék a szoláris irradiancia változásait, és ezeket összekapcsolják a Nap felszínének mágneses aktivitásával, így biztosítva a klímaszimulációkhoz szükséges sugárzási adatokat. A szoláris irradiancia változékonyságát általában a napfoltok okozta csökkent intenzitás és a fáklyák által fokozott besugárzás együttes hatásaként értelmezik. Ezek a tanulmányok rámutatnak arra, hogy az „erősen lokalizált”, vagyis kis léptékű, de mindenütt jelenlévő szoláris jelenségek, mint a napfáklyák, kulcsszerepet játszhatnak a Nap globális viselkedésének megértésében.

Azt is érdemes megemlíteni, hogy a Nap mágneses aktivitása többféle időskálán figyelhető meg. A legismertebb és legszélesebb körben dokumentált ciklus a 11 éves Schwabe-ciklus, amelyet a napfoltok számának periodikus változása jellemez. A napfolttevékenység során nemcsak a jól ismert pillangódiagram szerinti szélességi vándorlás figyelhető meg, hanem az aktív régiók is hajlamosak bizonyos, úgynevezett "aktív hosszúságokon" koncentrálni. Az aktív hosszúságok fogalma már a 20. század eleje óta intenzív kutatások tárgya.

A kutatási eredmények azonban eltéréseket mutatnak az aktív hosszúságok élettartama és forgási sebessége tekintetében, különösen akkor, amikor különböző naptevékenységi jelzőket hasonlítanak össze. Például a napfoltok tevékenységének hosszútávú vizsgálata során kimutatták a napfoltok forgási periódusainak változásait. A napfoltok számát és a 10.7 cm-es koronális rádiófluxust elemezve azt találták, hogy a forgási sebesség gyorsult a 19. és 23. nappciklus közötti időszakban. Emellett több kutató is megállapította, hogy az aktív hosszúságok csak ideiglenesen léteznek, majd idővel más helyeken jelennek meg újra. Legtöbb esetben egy aktív hosszúság 10-15 Carrington-rotációig marad fenn, és általában 20 és 60 fok közötti szélességeken helyezkedik el. Ezeket az aktív hosszúságokat az új mágneses fluxusok gyakori megjelenése tartja fenn, bár a jelenség pontos okai továbbra is vitatottak. Vannak olyan vélemények is, amelyek szerint az aktív hosszúságok valójában nem léteznek. Elméleti szempontból jelenleg még nincs olyan dinamó modell, amely képes lenne megmagyarázni vagy előre jelezni az aktív hosszúságok jelenlétét.

Ez a tudományos vita arra ösztönzött, hogy dolgozatomban a Nap

felszínén megjelenő fáklyák időbeli változásaira összpontosítsak, mivel ezek a naptevékenységnek fontos jelzői. Ezen munka során a napkorongon megjelenő nagyszámú fáklyák tér- és időbeli eloszlását vizsgáltam, amelyhez a Debreceni Napfáklya Adatbázis adatait elemeztem a 2010.05.01 és 2014.12.31 közötti időszakban. Kutatásom fő célja az volt, hogy tovább vizsgáljam az aktív hosszúság létezését a fáklyák adatainak részletes elemzésével, valamint mélyebben megértsem az aktív hosszúság szerepét és jelentőségét a naptevékenységben. Ezen túlmenően célom volt feltárni az aktív hosszúság, a Rieger-típusú periódusok és a mágneses Rossby-hullámok lehetséges kapcsolatát is. Számos tanulmány arra utal, hogy a nap belsejében keletkező Rieger-típusú periódusok (a konvekciós réteg felsőbb tartományaiban) és a mágneses Rossby-hullámok (a konvekciós réteg alján és a tachoklína felett) valamilyen módon hatással vannak a napaktivitásra.

## Új tudományos eredmények

A fáklyák, mint a Nap globális mágneses aktivitásának nyomkövetői, fontos szerepet játszanak a naptevékenység megértésében. Részletes analízisem során a Debreceni Napfáklya Adatbázis adatait használtam. A mintavételezés 2 óránként történt a Nap központi meridiánjának (LCM)  $-70$  és  $70$  fok közötti tartományában, a  $-500$  G és  $500$  G közötti mágneses térerősségű fáklyákra koncentrálva. A kétórás mintavételezés célja az volt, hogy minden fáklya lehetőség szerint csak egyszer szerepeljen az elemzésben, mivel átlagosan pár perctől néhány óráig élnek. Emellett az időbeli nagy felbontású adatok használata lehetővé tette a pontosabb eredmények elérését. A  $-70$  és  $+70$  fok közötti tartományon kívül nem vettük figyelembe a fáklyákat, mivel ahogy haladunk a Nap korongja felé, úgy a projekciós hatás is egyre erősebb. Mivel a fáklyák mágneses ereje a szakirodalmi tanulmányok szerint kisebb mint  $500$  G, ezért a napfoltkatalógusban szereplő néhány fáklyát (kb. 50 db), amelyeknek nagyobb az értéke mint  $500$  G, kihagytuk. Az előbbieket figyelembevételével a fáklyák idő- és térbeli eloszlásának elemzése során érdekes tulajdonságokat figyeltem meg, amelyek hozzájárulhatnak a naptevékenység pontosabb megértéséhez, amint azt részletesebben kifejtem a következő tézispontjaimban.

## 1. tézispont: A fáklyák további bizonyítékot szolgáltatnak az aktív hosszúság létezésére

Alacsony szélességeken megjelenő, váltakozó erősségű párhuzamos vonalpárokat azonosítottam a fotoszférikus fáklyák tér- és időbeli fejlődése során. Ezek a vonalpárok körülbelül 10 napos időeltolódással jelentkeznek a napkorong keleti és nyugati szélein. Ez a 10 napos időintervallum hozzávetőlegesen megfelel annak az időtartamnak, amely alatt egy adott aktív régió áthalad a Nap központi meridiánján,  $-70$  foktól (keleti oldal)  $+70$  fokig (nyugati oldal). Ennek alapján a vonalpárok kapcsolatba hozhatók az úgynevezett aktív hosszúságok létezésével, ahol a napfoltok, fotoszférikus fáklyák és más naptevékenységek sűrűbben fordulnak elő, vagy időről időre ismétlődően megjelennek.

Ezt a hipotézist egy egyszerű kinetikai modell segítségével teszteltem, amely megerősítette a váltakozó vonalpárok és az aktív hosszúság koncepciója közötti kapcsolatot. A vizsgálat azt mutatja, hogy a fáklyák hosszúság szerinti eloszlását, valamint az aktív hosszúság jelenlétét csak kismértékben befolyásolja a differenciális rotáció. Ez arra utalhat, hogy az aktív hosszúságokon megjelenő fáklyák valószínűleg a tachoklína rétegében gyökerező erős mágneses erővonalakhoz kötődnek, így elkerülve a differenciális forgás hatásait. Ha ez igaz, akkor ez egy nem-tengelyszimmetrikus dinamófolyamat jelenlétét sugallja.

Más lehetséges magyarázatok közé tartozik a forgástengelytől eltérő maradványmező vagy a Napétól eltérő differenciális szögforgású dipólmező. Az is elképzelhető, hogy maga a dinamó generál és tárol olyan mezőket, amelyek sokkal hosszabb ideig nem fordulnak vissza, mint az évtizedes napciklusok, hanem inkább évszázados vagy évezredek időskálán fejlődnek. Újabb megfigyelés-alapú bizonyítékok mutatnak rá a poloidális mezők hosszú távú aszimmetriáira, amelyek arra utalnak, hogy a mágneses tér egy bizonyos összetevője nem fordul meg minden egyes új napciklussal.

További kutatásokra van szükség ezen feltételezések igazolásához és a fáklyák, valamint a Nap globális mágneses mezejével való kapcsolatuk megértésének finomításához. A jövőbeni műhold-missziók lehetőséget kínálnak arra, hogy tovább erősítsék vagy megcáfolják a témával kapcsolatos jelenlegi nézeteinket.

## **2. tézispont: Érdekes keresztmintázatok figyelhetők meg a fáklyák idő függvényében ábrázolt hosszúsági koordinátaiban, amelyek arra utalnak, hogy a fáklyák a szupergranulák nyomkövetői lehetnek.**

Érdekes keresztmintázatokat figyeltem meg a magasabb szélességeken, különösen  $\pm 60$  és  $\pm 75$  fok között. Az ilyen keresztirányú mintázatok élettartamát, hosszát és sebességét több mint 250 esetben mértem meg és elemeztem a 2010.05.01 és 2014.12.31 közötti időszakban. Ezeket a mintázatokot valószínűleg a szupergranulák határainál az intergranuláris részeken megjelenő fáklyák rajzolják ki. A szupergranulák átlagosan körülbelül 30 Mm méretűek, de ez az érték 20 és 70 Mm között változhat. Ezek a méretek hasonlóak az 5 és 40 Mm közötti hosszúságértékekhez, amelyeket ezekre a keresztmintázatokra mértem. Egy szupergranula a méretétől függően fél naptól akár 4 napig is élhet. Az általam számolt értékek szerint a keresztmintázatok élettartama 30 és 130 óra között van. A szupergranulák függőleges áramlása általában 20–30 m/s, míg a horizontális áramlásuk 150–400 m/s között van. Az általam mért vertikális sebességértékek a keresztmintázatok esetében 30 és 150 m/s között mozognak. A két sebességtartomány között egyértelmű hasonlóság mutatkozik. Fontos megjegyezni, hogy bár az egyezés szilárd, de nem tökéletes, és további elemzéseket igényel, amelyeket a jövőbeni kutatásaimban tervezek elvégezni.

## **3. tézispont: Globális oszcillációk a fáklyák idősorai-ban és ezek lehetséges kapcsolata a már ismert globális periódusokkal**

Különböző oszcillációkat azonosítottam a fotoszférikus fáklyák adataiban, amelyek a Nap mágneses mezejének változásaival függhetnek össze. Tanulmányom célja az volt, hogy részletesen feltárjam és megvizsgáljam a differenciális rotáció időskáláit, az aktív hosszúság jelenlétét, a Rieger-típusú periódusokat és a mágneses Rossby-hullámok közötti összefüggéseket.

Első lépésként a 2010. május 1-től 2014. december 31-ig terjedő

időszak fáklyaadatbázis kétóránkénti adatait vizsgáltam meg ismét. Ebben a folyamatban meghatároztam minden kétóránkénti észleléshez tartozó fáklya átlagos szélességi értékét mind az északi, mind a déli féltekére vonatkozóan. Ez lehetővé tette, hogy az északi és déli féltekén külön-külön végezzek wavelet-analízist. A kutatás során mindkét féltekén kimutattam rövid- és hosszútávú periódusokat, amelyek a következők:

- Figyelemre méltó, hogy a rövidtávú ciklusoknál talált periódusok hasonlóak voltak mindkét féltekén a napnak egy meghatározó  $\sim 27.3$  napos periódussal, amely megegyezik a Carrington-periódussal. Továbbá mindkét féltekén megfigyeltem ennek a jellegzetes periódusnak a felharmonikusait, körülbelül 13.5 napos és 9 napos ciklusokkal, amelyek potenciálisan az aktív hosszúsággal hozhatók összefüggésbe.
- Ezzel ellentétben a két féltekén azonosított,  $\sim 80$  és  $409$  nap közötti, hosszú távú periódusok jelentősebb eltéréseket mutattak a rövid távú periódusokhoz képest. Fontos kiemelni, hogy ezek a hosszú távú periódusok jól illeszkednek a Rieger-típusú periódusok és a mágneses Rossby-hullámok ismert periódus kategóriáiba.

Annak érdekében, hogy jobban megértsem a fáklyák idősaiban rejlő rövid- és hosszú távú periódusok eloszlását a különböző szélességi tartományokban, wavelet-spektrum analízist végeztem az előjel nélküli összmágneses fluxus adatokon. Az elemzést minden egyes  $5$  fokos szélességi sávban végrehajtottam, a déli  $90$  foktól az északi  $90$  fokig. A mért periódusok az egyes  $5$  fokos szélességi tartományokban a következőképpen alakultak:

- A  $\sim 3-9$  napos periódusok különösen kiemelkedőek voltak az alacsonyabb szélességi sávban, a déli  $40$  és az északi  $40$  fok közötti tartományban. A magasabb szélességi övezetekben, amelyek a déli  $40-90$  és az északi  $40-90$  fokot ölelik fel, körülbelül  $13$  és  $35$  napos periódusokat figyeltem meg. Emellett a déli  $60-75$  és az északi  $50-65$  fok magas szélességi sávoknál nagyjából  $50-130$  nap közötti periódusokat detektáltam.

- A Rieger-típusú periódusok és a mágneses-Rossby hullámperiódusok esetében fokozatos periódushossz-csökkenést figyeltem meg az egyenlítői övezettől a pólusok felé haladva mindkét féltekén. A Rieger-típusú periódusok körülbelül 300 napról 160 napra, míg a mágneses-Rossby hullámok periódusai 500 napról 300 napra rövidülnek az egyenlítőitől a pólusok irányába.

#### **4. tézispont: Aktív fészkek és a \*zabos hangulatú\* aktív régiók kapcsolat**

Az aktív hosszúságok jelenlétét szinoptikus térképek segítségével vizsgáltam. Kutatásom célja az volt, hogy megállapítsam, van-e jelentős koncentrációja a pozitív és negatív mágneses polaritású fáklyáknak a megfigyelt mintegy 4.5 éves időszak szinoptikus térképein. Ehhez a Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) és a Kernel Density Estimation (KDE) módszereket használtam. Ezt követően meghatároztam az azonosított pozitív és negatív mágneses polaritású fáklyacsoportosulások hosszúsági és szélességi súlypontjait. Végül a hosszúsági középponti koordináták időbeli eloszlását a K-Means klaszter-algoritmus segítségével elemeztem.

- A K-Means módszer alkalmazásával négy elkülönülő klaszter jelent meg a hosszúsági koordináták között, melyeket két párra lehet bontani. Az első pár a 0. és 1. klaszter, a második pár a 2-es és 3-as klaszter. Mindkét párhoz tartozó klaszterek kb. 180 fokra vannak egymástól, ami összhangban áll az aktív hosszúsági párok jelenlétével. Minden egyes aktív hosszúságon aktív fészkek jelennek meg, amik átlagosan 15-20 Carrington rotáció (vagy 410-550 nap) erejéig állnak fenn. Ez megegyezik a klasszikus mágneses Rossby-hullámok életciklusával.
- Figyelemre méltó volt az is, hogy az egy vagy több u.n. aktív fészkek megjelenése egybeesik a vizsgált időszak legintenzívebb napkitöréseinek (X-osztályú flerek) megjelenésével.

Összefoglalva, kutatási eredményeim megerősítik azt a koncepciót, hogy az aktív hosszúság, a Rieger-típusú periódusok és a mágneses

Rossby-hullámperiódusok valószínűleg kapcsolatban állnak egymással. Továbbá, korábbi vizsgálatokból származó feltételezések alátámasztására szolgáló megfigyelési bizonyítékokat is nyújtottam, amelyek szerint a napkitöréseknek otthont adó aktív fészkek valószínűleg kapcsolatban állnak az aktív hosszúságok helyzetével. Az aktív hosszúságok fennmaradása több Carrington-rotáción keresztül, a Rieger-típusú periódusok és a mágneses Rossby-hullámok jelenléte még arra is utalhat, hogy potenciális szerepük lehet a hosszabb távú napkitörés-előrejelző módszerek javításában. Vagy, más szavakkal, ezek az aktív hosszúságok összekapcsolhatják a hosszabb távú (hetek esetleg hónapok) fler-előrejelző modelleket a rövidebb távú (órától napokig tartó) előrejelzésekkel.

A pontos megfigyelések szerint az aktív hosszúságok megjelenése előrejelzésként szolgálhat a mágnesesen komplex aktív régiók kialakulására. Ezeket a régiókat további monitorozás alá kell venni annak érdekében, hogy feltárjuk kitörés előtti potenciáljukat. Tehát további kutatások szükségesek e hipotézisek alátámasztásához és az aktív hosszúságok, a Rieger-típusú periódusok, a mágneses Rossby-hullámok és a mágnesesen komplex aktív régiókban zajló napkitörési aktivitás közötti kapcsolatok mélyebb megértéséhez. E célból a jövőben szeretném kiterjeszteni kutatásomat a SOLIS fotoszférikus és kromoszférikus mágneses szinoptikai térképek további elemzésére, amelyek lefedik a 23. és 24. napciklust. Ezen vizsgálatok eredményei pedig jelentősen hozzájárulnának azon dinamóméletek megalkotásához, amelyek a Nap dinamikus belső szerkezetének 3-dimenziós, nem tengelyszimmetrikus modelljeit fejlesztenék tovább.

---

## A disszertáció tézispontjai a következő publikációkban jelentek meg

### 1.-2. tézispontok:

**Elek, A.**, Gyenge, N., Korsós, M. B., Erdélyi, R.: *Spatial Inhomogeneity in Solar Faculae*, Space Weather of the Heliosphere: Processes and Forecasts, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Volume 335, pp. 17-19 (2018)

**Elek, A.**, Korsós, M. B., Dikpati, M., Gyenge, N., Belucz, B., Erdélyi, R.: *Exploring Spatial and Temporal Patterns in the Debrecen Solar Faculae Database*, The Astrophysical Journal, 964, 112 (2024)

### 3.-4. tézispontok:

Korsós, M. B., **Elek, A.**, Zuccarello, F., Erdélyi, R.: *Exploring Spatial and Temporal Patterns in the Debrecen Solar Faculae Database – Part II*, The Astrophysical Journal, 975, 248 (2024)





Nyilvántartási szám: DEENK/616/2025.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Elek Anett

Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola

MTMT azonosító: 10090182

## A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Elek, A.**, Korsós, M. B., Dikpati, M., Gyenge, N. G., Belucz, B., Erdélyi, R.: Exploring Spatial and Temporal Patterns in the Debrecen Solar Faculae Database: Part I.

*Astrophys. J.* 964 (2), 1-11, 2024. ISSN: 0004-637X.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/ad2520>

IF: 5.4

2. Korsós, M. B., **Elek, A.**, Zuccarello, F., Erdélyi, R.: Exploring Spatial and Temporal Patterns in the Debrecen Solar Faculae Database: Part II.

*Astrophys. J.* 975 (2), 1-9, 2024. ISSN: 0004-637X.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/ad83bb>

IF: 5.4

### Egyéb folyóiratközlemények (1)

3. **Elek, A.**, Gyenge, N., Korsós, M. B., Erdélyi, R.: Spatial Inhomogeneity in Solar Faculae.

*PROC IAU.* 13, 17-19, 2018. ISSN: 1743-9213.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S174392131701136X>

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 10,8**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 10,8**

10,8

A DEENK a Jelölt által a Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2025.11.28.





**Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)**

**The Study of Temporal Evolution of Photospheric  
Faculae Based on the Debrecen Solar Observatory  
Catalogue**

by Elek Anett

Supervisor:

Prof. Róbert von Fáy-Siebenbürgen (Róbert Erdélyi)



UNIVERSITY OF DEBRECEN

Doctoral School of Physics

Debrecen, 2026



---

# Introduction

Analysing how the properties of various small-scale, short-lived localised solar phenomena may change over longer time scales, such as those comparable to the solar cycle evolution, can help us gain a better understanding of solar activity. One such important spatio-temporally localised markers of our active Sun are the solar faculae, which are abundantly present on the visible surface of the Sun. The average size of a facula is about 100 km. These faculae are characterised as bright spots in the photosphere and should not be confused with chromospheric plage, which are often referred to as chromospheric faculae. In this work, I focused only on photospheric faculae, and will refer to them simply as faculae hereafter.

In general, two types of solar photospheric faculae can be distinguished. The first type occurs at lower latitudes. One notable characteristic of these lower latitude faculae is the negative correlation between the sunspot area and the facular-to-sunspot-area ratio. The relationship between faculae and sunspots is rather complex because the presence of faculae at a specific time is not solely dependent on the concurrent existence of sunspots. Active regions and their remnants decay more slowly as a whole than the individual sunspots they initially harboured. Consequently, the magnetic flux from a particular active region persists, giving rise to faculae even after the sunspots within it have faded away. This suggests that, at any given time, faculae structures may be present that are not directly associated with the currently visible sunspot-bearing active regions, but rather with previous active regions where the sunspots have already dissipated. The second group of faculae appears at high latitudes, near the solar poles in both hemispheres, generally above  $\pm 60$  degrees latitude. The magnetic field polarity within polar faculae tends to coincide with that of the prevailing polar magnetic field. Further studies have demonstrated a correlation between the presence of polar faculae and the strength of the polar magnetic field. In many cases, this relationship has also been characterised as a predictive indicator of the amplitude of the subsequent sunspot cycle.

In addition to the spatial distribution and magnetic flux of faculae, their life expectancy is also a well-established topic of research. Several studies agree that larger faculae tend to have longer lifetimes. In general, the lifespan of faculae can range from a few minutes to several hours. Smaller

faculae may last only up to 16 minutes, while larger ones, approximately 2 arcseconds in size, can persist for 3-5 hours. Polar faculae, on the other hand, tend to have an even longer lifespan of 5-6 hours.

The studies mentioned above have greatly enhanced our understanding of the dynamics of solar faculae, which has become an increasingly popular research topic due to the successful connection between solar faculae and the Sun's global properties. For instance, a relationship has been identified between faculae and the evolution of the solar cycle. This relationship is particularly intriguing because faculae play a significant role in contributing to solar irradiance. Fluctuations in solar irradiance over timescales longer than a day are primarily attributed to photospheric magnetism. Models have been developed to capture this variability in solar irradiance by linking it to magnetic activity on the solar surface, providing the necessary radiative forcing inputs even for climate simulations. Solar irradiance variability is typically represented as the combined effect of diminished intensity due to sunspots and enhanced radiance from faculae. Such studies strongly support the idea that "highly localised," small-scale yet ubiquitous solar phenomena like solar faculae can be crucial elements in understanding the Sun's global behaviour. This aspect strongly motivates the present work, which aims to examine the spatio-temporal distribution of these highly localised faculae and their general migration across the solar disc, serving as markers or tracers of global solar activity, such as the evolution of the global magnetic field.

One of the most enigmatic and intriguing aspects of solar magnetic activity is its spatio-temporal organisation, which spans multiple scales from days to decades. The most prominent and well-known example is the widely documented 11-year Schwabe cycle, characterised by periodic variations in sunspot numbers over time. Spatially, sunspot activity not only follows the latitudinal migration depicted by the butterfly diagram but also shows a tendency for active regions to cluster at certain preferential longitudes, known as active longitudes. Studies on active longitudes have consistently proposed that various indicators of solar activity, including sunspots, the solar global magnetic field, the heliospheric magnetic field, and solar flares, all exhibit a marked preference for occurring within specific longitude ranges, reinforcing the concept of active longitudes.

However, discrepancies have been reported in the lifetimes and rotation

---

rates of active longitudes when different solar activity markers are compared. For instance, variations in the rotation period of sunspots have been observed over long timescales, as seen in sunspot records from 1818 to 2006. Additionally, several researchers have noted a gradual decline in the tendency for sunspot groups to aggregate at specific longitudes over time, with the most persistent correlations lasting between 10 and 15 Carrington rotations. The active longitudes themselves are approximately 20 to 60 degrees wide. It has also been observed that complexes of solar activity within these active longitudes are sustained by the frequent emergence of new magnetic fluxes. Despite these findings, the underlying causes of these spatio-temporal patterns remain a topic of debate. In fact, some argue that active longitudes may not exist at all. On the theoretical side, to our knowledge, no dynamo theory has yet been developed that can account for or predict the presence of active longitudes. A significant challenge appears to be the computational power required to perform 3-dimensional simulations where full rotational (magnetic) symmetry is relaxed.

This scientific debate motivated me to focus my dissertation on the temporal variations of faculae observed on the Sun's surface, as these are important indicators of solar activity. In this work, I examined the spatial and temporal distribution of a large number of faculae on the solar disk, analysing data from the Debrecen Solar Faculae Database for the period between May 1, 2010, and December 31, 2014. The main goal of my research was to further investigate the existence of active longitudes through a detailed analysis of the faculae data, as well as to gain a deeper understanding of the role and significance of active longitudes in solar activity. Additionally, I aimed to explore the possible connections between active longitudes, Rieger-type periodicities, and magneto-Rossby waves. Rieger-type periodicities and magneto-Rossby waves are generated in the solar interior, particularly at the top of the convection zone and near the tachocline. Some studies suggest that Rieger-type periodicities and magneto-Rossby waves could influence global solar activity on longer time scales.

## New Scientific Results

I employed the SDO/HMI–Debrecen Faculae Data Catalog, covering the period from May 1, 2010, to December 31, 2014. This catalog includes details such as the observation date and time, dimensions, and solar latitude and longitude coordinates for each facula, along with the average magnetic field strength within these regions, recorded hourly. I excluded faculae located near the periphery of the Sun’s visible disk. My analysis focuses on faculae within  $\pm 70$  degrees of longitudinal distance from the Sun’s central meridian, with magnetic field strengths between -500 G and 500 G. The purpose of the two-hour sampling was to ensure that each facula appeared in the analysis only once, as they typically have a lifespan ranging from a few minutes to several hours. Additionally, using high temporal resolution data allowed for more accurate results. We did not consider faculae outside the range of -70 to +70 degrees, as the projection effect becomes stronger as we move towards the solar disk. We also adhere to a threshold of  $|500|$  G for faculae’s magnetic field values, a limit supported by literature, which indicates that such regions typically exhibit a spatially averaged field strength of up to  $|500|$  G, so only about 50 faculae were rejected. Taking the above into consideration, during the analysis of the temporal and spatial distribution of faculae, I observed interesting characteristics that could contribute to a more precise understanding of solar activity, as I will elaborate in more details.

### **Thesis Point 1: Increased presence of faculae at active longitude**

I observed alternating strong and weak stripes at low latitudes in the spatial and temporal evolution of faculae between May 1, 2010, and December 31, 2014. These alternating stripes are consistent with a shift of approximately 10 days between the eastern and western solar limbs due to solar rotation. Specifically, this 10-day interval corresponds roughly to the time it takes for a solar feature to move from LCM = -70 degrees (on the eastern side) to LCM = 70 degrees (on the western side). Therefore, the simplest interpretation (applying Occam’s razor) of the enhanced and abundant presence of faculae, visualised as these alternating stripes, is their

---

association with the debated concept of active longitude —longitudinal bands where sunspots, photospheric faculae, and other solar activity tend to concentrate or reoccur over time. I supported this hypothesis using a simple synthetic (kinetic) model, which aligns with and confirms the relationship between the alternating stripes and the concept of active longitude.

Based on the above results and using faculae, which are abundantly present in the lower solar atmosphere, as tracers or markers of sub-surface dynamics, I found that faculae tend to cluster around active regions, exhibiting a non-axisymmetric longitudinal distribution similar to that of sunspots. These findings indicate that the longitudinal spatial distribution of faculae remains unaffected by the continuous drift caused by differential rotation, as evidenced by the identification of active longitudes. This suggests that faculae observed in active longitude regions are likely situated close to strong magnetic field line branches rooted near the tachocline, thereby evading the effects of differential rotation. If this is true, it implies the presence of a non-axisymmetric dynamo process.

Other potential explanations include a relic field misaligned with the rotational axis or a dipole field exhibiting differential angular rotation distinct from that of the Sun. It is also possible that the dynamo itself generates and stores fields that do not reverse on the decadal timescale of the solar cycle, but rather on centennial or millennial scales. Recent observational evidence for long-term asymmetries in the solar poloidal fields suggests that a component of the field may not reverse with each new solar cycle.

Further research is needed to validate these hypotheses and to refine our understanding of faculae and their relationship to the Sun's global magnetic field. Future missions may further confirm or refute some aspects of our current perspectives on this topic.

## **Thesis Point 2: Criss-cross patterns in space-time diagram of faculae**

Intriguing criss-cross patterns were observed at higher latitudes, specifically at  $\pm 60$  and  $\pm 75$  degrees. I measured and analysed the lifetime, length, and velocity of over 250 of these criss-cross patterns in the time interval between

May 1, 2010 and December 31, 2014. Based on their characteristics, it could be conjectured that these criss-cross patterns may result from the presence of faculae in magnetically inactive regions found along the boundaries of supergranules at all latitudes. The meridional flow appears to be reliably measurable between  $\pm 75$ -degree latitudes, which also supports that these criss-cross patterns are not present because of the foreshortening at higher latitudes.

Supergranules typically have a size of about 30 Mm, but this can vary from 20 to 70 Mm. These characteristic sizes are similar to the length values I obtained for the observed criss-cross patterns, which range from 5 to 30 Mm. Further, the evolution of a supergranule may take from half-a-day up to 4 days, depending on its size. I found lifetimes of the criss-cross patterns ranging from 30 to 130 hours.

Additionally, the vertical (i.e. polarward) flow of a supergranulae is typically around 20-30 m/s, while the criss-cross patterns represent velocities ranging from 30 to 150 m/s. The two velocity ranges are comparable (e.g. their order of magnitude), but the agreement is not perfect and this may require further analyses. Therefore this conclusion should remain as a conjecture.

### **Thesis Point 3: Global oscillations in the time series of faculae**

Finally, various oscillatory patterns were identified in the faculae data series. The analysis initially considered every 2-hour data point from May 1, 2010, to December 31, 2014. For this, I determined the mean latitude value for all faculae in each observation, for both hemispheres. This approach enabled me to conduct separate wavelet analyses for the northern and southern hemispheres. These analyses revealed both short- and long-term periodicities in each hemisphere. The results are as follows:

- Notably, the periodicities found in the short-term cycles were similar across both hemispheres, with a prominent period of approximately 27.3 days, matching the Carrington rotation period. Additionally, we observed higher harmonics of this characteristic period, with cycles of approximately 13.5 days and 9 days in both hemispheres,

potentially linking them to the presence of active nests in active longitudes.

- Meanwhile, the long-term periods, ranging from approximately 80 to 409 days, exhibited more variation between the hemispheres compared to the short-term periods. Notably, these long-term periods align well with the categories of Rieger-type periods and the periods associated with magneto-Rossby waves.

To deepen the understanding of the distribution of short- and long-term periodicities in the faculae loci time series across different latitudes, a wavelet spectrum analysis of the unsigned magnetic flux was conducted. This analysis was performed within a series of consecutive 5-degree latitudinal bands, spanning from -90 degrees in the southern hemisphere to 90 degrees in the northern hemisphere. The resulting periods of oscillations were identified within these 5-degree segments:

- The periods of approximately 3 to 9 days were notably prominent within the lower latitudinal band, between S40 and N40 degrees. In the higher latitudinal zones, spanning S40-90 and N40-90, I observed periods of around 13 and 35 days. Additionally, in the high-latitude bands of S60-75 and N50-65, periods ranging from about 50 to 130 days were detected.
- Regarding the identified periods longer than 130 days, a gradual decrease in the length of these periods was observed: from approximately 300 to 160 days and from 500 to 300 days, when sampling from the equatorial region towards the poles in both hemispheres.

#### **Thesis Point 4: Connection between active nests and \*angry\* active regions**

To investigate the presence of active longitudes, I further explored this phenomenon using synoptic maps. The objective was to analyse whether there is a significant concentration of positive and negative magnetic polarity faculae in the synoptic maps over the observed ~4.5-year interval that can be linked to active regions with a the strongly eruptive nature.

To achieve this, the Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) and Kernel Density Estimation (KDE) methods were employed. Subsequently, the longitude and latitude centroids of the identified positive and negative magnetic polarity faculae clusters were determined. Finally, the temporal distribution of the longitudinal central coordinates was established using the K-Means clustering algorithm. The following findings were made:

- There are four distinct groups, referred to as clusters, of longitudinal coordinates, organised into two pairs: Clusters 0 and 1 make up the first pair, while Clusters 2 and 3 form the second pair. Each pair is separated by about 180 degrees, consistent with the presence of active longitude pairs. Within each group, active nests were identified, typically lasting around 15 to 20 Carrington rotations, or approximately 410-550 days.
- Notably, the host active regions of the most energetic solar eruptions appear to be predominantly in the middle or at the end of the lifetime of an active nest.

Overall, my research findings reinforce the concept that active longitudes, Rieger-type periodicities, and magneto-Rossby waves are likely interconnected. Additionally, I provided observational evidence supporting earlier hypotheses that suggest active nests, which host solar flares, are probably related to the positions of active longitudes. The persistence of active longitudes across multiple Carrington rotations, influenced by the dynamics of Rieger-type periodicities and magneto-Rossby waves, may also indicate a potential role in enhancing long-term solar flare prediction methods. In other words, these active longitudes could bridge the gap in forecasting across various larger-scale timelines, linking longer-term predictions (weeks or even months) with shorter-term forecasts (ranging from hours to days).

Observations suggest that the appearance of active longitudes may indicate the formation of magnetically complex active regions. These regions warrant further monitoring to assess their potential for solar flares. However, additional research is necessary to substantiate these hypotheses and to deepen our understanding of the connections between

---

active longitudes, Rieger-type periodicities, magneto-Rossby waves, and solar flare activity in magnetically complex active regions. To this end, I plan to extend my research by further analysing SOLIS photospheric and chromospheric magnetic synoptic maps, covering solar cycles 23 and 24. The results of these studies could significantly contribute to the development of dynamo theories, advancing three-dimensional, non-axisymmetric models of the Sun's dynamic internal structure.

## **Publications in the scope of the thesis**

### **Thesis Points 1-2:**

**Elek, A.**, Gyenge, N., Korsós, M. B., Erdélyi, R.: *Spatial Inhomogeneity in Solar Faculae*, Space Weather of the Heliosphere: Processes and Forecasts, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Volume 335, pp. 17-19 (2018)

**Elek, A.**, Korsós, M. B., Dikpati, M., Gyenge, N., Belucz, B., Erdélyi, R.: *Exploring Spatial and Temporal Patterns in the Debrecen Solar Faculae Database*, The Astrophysical Journal, 964, 112 (2024)

### **Thesis Points 3-4:**

Korsós, M. B., **Elek, A.**, Zuccarello, F., Erdélyi, R.: *Exploring Spatial and Temporal Patterns in the Debrecen Solar Faculae Database – Part II*, The Astrophysical Journal, 975, 248 (2024)





Registry number: DEENK/616/2025.PL  
Subject: PhD Publication List

Candidate: Anett Elek  
Doctoral School: Doctoral School of Physics  
MTMT ID: 10090182

### List of publications related to the dissertation

#### Foreign language scientific articles in international journals (2)

1. **Elek, A.**, Korsós, M. B., Dikpati, M., Gyenge, N. G., Belucz, B., Erdélyi, R.: Exploring Spatial and Temporal Patterns in the Debrecen Solar Faculae Database: Part I.  
*Astrophys. J.* 964 (2), 1-11, 2024. ISSN: 0004-637X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/ad2520>  
IF: 5.4
2. Korsós, M. B., **Elek, A.**, Zuccarello, F., Erdélyi, R.: Exploring Spatial and Temporal Patterns in the Debrecen Solar Faculae Database: Part II.  
*Astrophys. J.* 975 (2), 1-9, 2024. ISSN: 0004-637X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3847/1538-4357/ad83bb>  
IF: 5.4

#### Other journal articles (1)

3. **Elek, A.**, Gyenge, N., Korsós, M. B., Erdélyi, R.: Spatial Inhomogeneity in Solar Faculae.  
*PROC IAU.* 13, 17-19, 2018. ISSN: 1743-9213.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S174392131701136X>

**Total IF of journals (all publications): 10,8**

**Total IF of journals (publications related to the dissertation): 10,8**

The Candidate's publication data submitted to the Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

28 November, 2025

