

GLOBALIS VILLÁMTEVÉKENYSÉG VIZSGÁLATA

Lancz Dávid
TDK dolgozat
Meteorológus MSc

Témavezető: Dr. Jánosi Imre, egyetemi docens
Komplex rendszerek fizikája tanszék



Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar
2013. január 3.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Felhasznált villámgyakoriság adatok	2
2.1. A mérőhálózat	2
2.2. Az adatok	3
3. Létezik-e heti ciklus?	5
3.1. Villámgyakoriság analízis São Paulo térségében	5
3.2. Villámgyakoriság analízis globális szinten	8
4. A napi menet	9
4.1. A villámgyakoriság napi menete szárazföldek fölött	11
4.2. A villámgyakoriság napi menete óceánok fölött	12
5. Korrelációk	14
5.1. Észak-atlanti vízfelszíni hőmérséklet keresztkorrelációs vizsgálata . . .	14
5.2. Napfoltyszámok keresztkorrelációs vizsgálata	16
6. Összefoglalás	18
Irodalomjegyzék	19

1. fejezet

Bevezetés

A villám az egyik legfigyelemreméltóbb és leglenyűgözőbb jelenség, amely már régóta foglalkoztatja a kutatókat. Mégis, kialakulásának pontos okai máig sem teljesen ismertek.

Magát a villámkisülés folyamatát a nagysebességű kamerák segítségével egész pontosan megismertük már. A legáltalánosabb tulajdonságait, mint a kisülés áramerősségét, sebességét vagy a kialakuló plazma hőmérsékletét a tudósok lemérték. Viszont a folyamat indulásának első lépései, pontos kiváltó oka(i), vagy azon befolyásoló tényezők, melyek szinte azonos időjárási feltételek mellett is nagyságrendi villámgyakoriság különbségeket eredményeznek, nem pontosan ismertek.

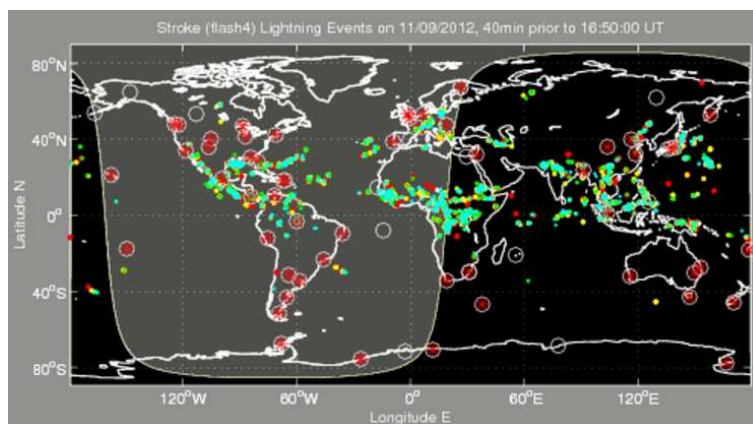
Dolgozatunkban globális szinten vizsgáljuk a villámok klimatológiáját. Megpróbáljuk a heti ciklus kimutatását São Paulo térségében saját adataink alapján, mert irodalomban megjelent tanulmányok szerint létezik egy ilyen jelenség. A közölt eredmények reprodukciója mind az említett térségben, mind globális skálán sikertelen volt. Megvizsgáljuk a villámok napi menetét, szintén az egész Földre kiterjedően. Végül korrelációs kapcsolatokat keresünk a villámok száma és más, esetleg fizikailag csatolt mérési adatok, konkrétan a tengerfelszín hőmérséklete és a napfoltszámok közt.

2. fejezet

Felhasznált villámgyakoriság adatok

2.1. A mérőhálózat

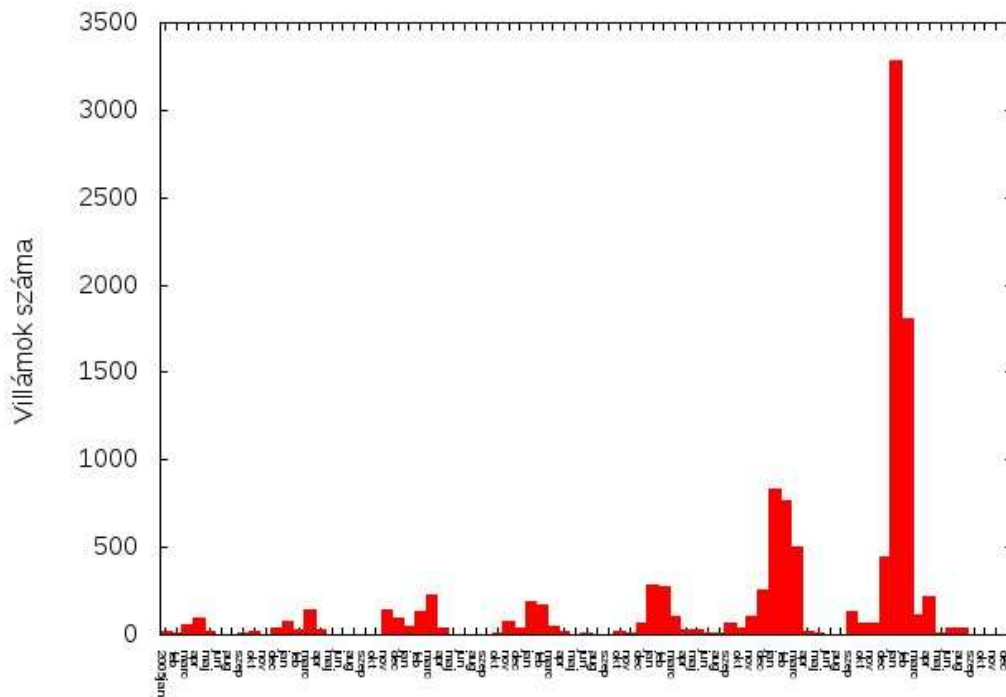
A WWLLN (World Wide Lightning Location Network) egy globális villámmegfigyelő rendszer, amely a villámok által gerjesztett rádióhullámok távolsági észlelésén alapul. A mérési elv az ún. TOGA (time of group arrival) algoritmust használja, a VLF (3 - 30 kHz) rádiófrekvenciás sávban dolgozik és alkalmas megfelelően erős kisülések helyének és idejének pontos meghatározására. Világszerte több mint 50 állomás üzemel. Az egyiket az ELTE működteti, így hozzáférésünk van az adatokhoz, amelyek 2004. augusztus 10-től gyűlnek.



2.1. ábra. A WWLLN mérőhálózat: a piros csillagok fehér körben az aktív érzékelők.
forrás: <http://wwlln.net>.

A rendszer az egész Földre kiterjedően észleli a villámokat, de érzékenysége térben és időben változó, és a kisülések egyedi jellemzőit sem ismeri fel. A 2. ábrán

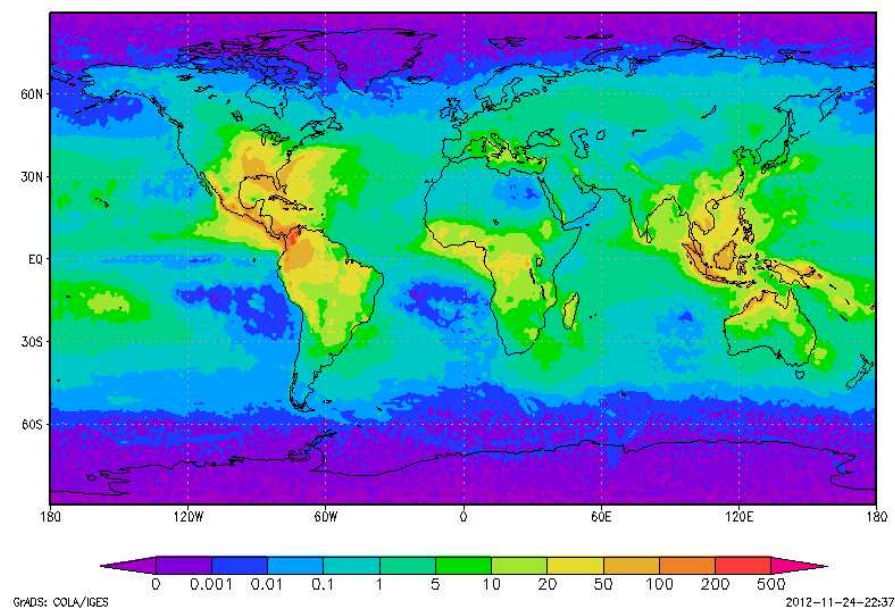
látható, hogyan észlelt egyre több villámot a rendszer São Paulo térségében a fokozatosan bővülő érzékelőhálózatnak köszönhetően. A hálózat érzékenysége 2010-ben 11% körül mozgott, de az erősebb villámoknál akár több mint 30% is lehetett [Hutchins *et al.*, 2012]. Az érzékelőpontok egyenetlen elhelyezkedése miatt egyes térségekben jobb, míg máshol rosszabb az időbeli és térbeli felbontás. Afrika jelentősen zivataros területei fölött például gyengébb [Hutchins *et al.*, 2012]. Érzékeli, de nem tesz különbséget a lecsapó és a felhővillámok közt, bár úgy tűnik a lecsapó villámokra érzékenyebb a mérőhálózat [Colliers *et al.*, 2011].



2.2. ábra. A WWLLN mérőhálózattal São Paulo térségben észlelt villámok havi összegei 2005. januárjától.

2.2. Az adatok

A WWLLN hálózat adataiba bekerül minden olyan villám, amit legalább 5 érzékelő észlel. Egy adat tartalmazza az észlelt kisülés pontos idejét (év, hónap, nap, óra, perc, másodperc - mikroszekundumos pontossággal), helyét (földrajzi szélesség és hosszúság 4 tizedes pontossággal), az időpont hibáját mikroszekundumokban és az észlelő állomások számát.



2.3. ábra. A globális villámsűrűség [villám/nap/ $1^\circ \times 1^\circ$] a WWLLN mérőhálózattal mért adatok alapján.

Munkánk során 2005. január 1-től 2011. augusztus 31-ig észlelt adatokat dolgoztuk fel. Az adatok C++ és Fortran programokkal lettek feldolgozva, majd Gnuplot-tal és GrADS-szal lettek ábrázolva. Ezek segítségével készíthettünk olyan ábrákat és animációkat, mint a 2.3 ábra, ahol a globális villámsűrűség látható. Ehhez hasonló képeket és további információkat találhatunk a mérőhálózat honlapján is: <http://wwlln.net>.

3. fejezet

Létezik-e heti ciklus?

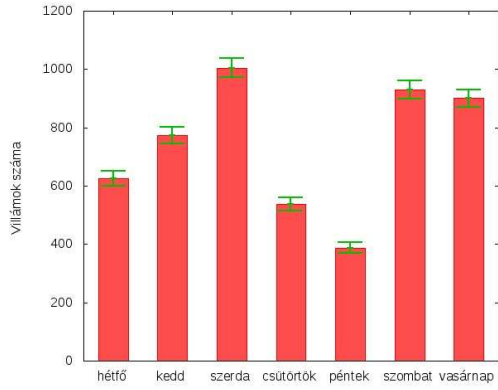
A természetben a heti ciklus előfordulása nagy valószínűséggel az emberi tevékenységre vezethető vissza, mivel a ciklonok általános egy hetes élettartamán kívül, csak az ember hétköznapijai és hétvégei közti különbség indokolhatná azt. Ilyen például a városok légszennyezettsége, ami hétvégeken minimális, a hétköznapiakon pedig maximális, és az ezekből eredő egyéb jelenségek. Több olyan tanulmány is létezik, amelyben ezen heti ciklus kimutatásával foglalkozik.

Ilyen például Bell és társainak 2008-as munkája [Bell *et al.*, 2008], amiben sikerült kimutatni, hogy a hét közepén (kedd - csüt.) nagyobb volt az átlag csapadék az 1998-2005-ös nyári időszakokban az USA délkeleti, nem partvidékes részén [Bell *et al.*, 2009]. A jelenséget azzal magyarázták, hogy a légszennyezettség a hét közepén a legmagasabb, ami pedig elősegítheti a csapadékképződést.

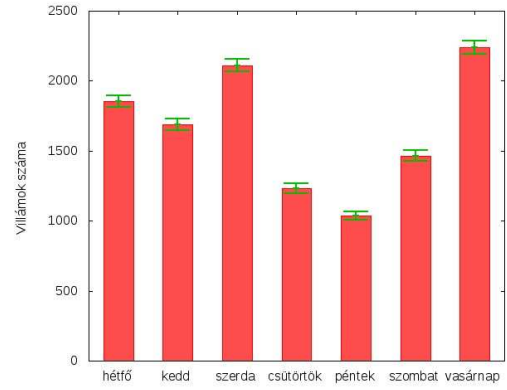
3.1. Villámgyakoriság analízis São Paulo térségében

Farias és munkatársai egyik cikkükben São Paulo villámai és légszennyezettsége közti kapcsolatot keresték [Farias *et al.*, 2009]. A város 50 kilométer átmérőjű területének villám gyakoriságát vizsgálták meg az 1999-2004-es időszakban. Megállapították a nyári évszak (októbertől márciusig) 14:00-20:00 LT (local time - helyi idő) időpontok közti (vagyis a villámaktivitás napi maximumának idejében) lecsapó villámmainak heti mentetét a BrasilDAT hálózat adataiból.

A cikkből kiindulva mi is megvizsgáltuk São Paulo villámmainak heti menetét. A közleményben leírtakhoz hasonlóan, egy nagyjából 50 kilométer széles, négyzet alakú, São Paulo belvárosát tartalmazó területen számoltuk össze a villámokat, a nyári időszakban a 14:00-20:00 LT időpontokban (3.1 (a) ábra). A teljes évre és teljes napra kiterjesztve is elvégeztük a számolást (3.1 (b) ábra).



(a) 2005. jan. - 2011. aug., okt.-márc., 14:00-20:00 LT



(b) 2005. jan. - 2011. aug.

3.1. ábra. São Paulo területén észlelt villámok heti bontásban. Hibák a $\sqrt{n}$ képlettel lettek becsülve (n az észlelt villámok száma az adott napon).

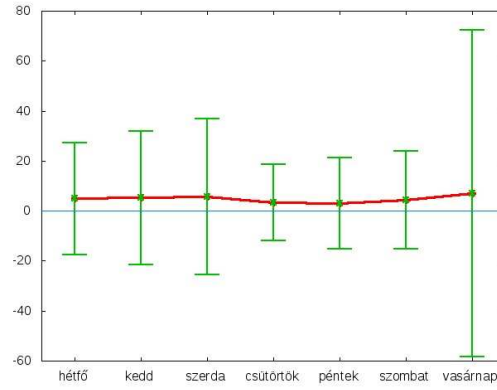
Az általunk várt eredmény egy maximum a hét közepén ill. egy hétvégi minimum lett volna, hisz a feltevések szerint a hétvégén kisebb a gépkocsiforgalom, így kisebb a légszennyezettség is. Ez kevesebb aeroszolt jelentene, ami miatt csökkenne a felhő- és esőcsepp képződés és gyengülne a töltésszétválasztódás. Végeredményül pedig kevesebb villámot érzékelnénk a hétvégeken.

Akkor mondhatjuk, hogy a heti menetnek egyértelműen minimuma vagy maximuma van, ha a hét legnagyobb és legkisebb értékeinek különbsége nagyobb, mint a hibáik összege. Ehhez viszont helyesen kell meghatározni az értékek hibáit. Először a hét adott napján észlelt villámok számának négyzetgyökével közelítettük a hibákat, de ez a módszer csak független eseményeknél használható, ami villámokra nem mondható el. Zivataros időszakokban rengeteg villám képződhet, míg ezen időszakok közt napok, hetek telhetnek el. Ezért a továbbiakban a hibát az empirikus szórással közelítettük. Kiszámoltuk a hét összes napjára a napi átlagos villámmennyiséget és annak szórását is (3.2 ábra).

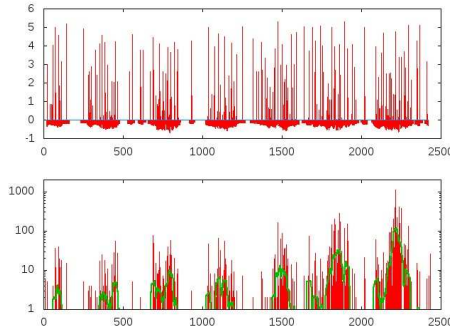
Ez a számolás persze nem veszi figyelembe a mérőrendszer időben növekvő érzékenységét, ezért meghatároztuk a 31 napos futóátlagokat (3.3 ábra (a) lent). Ezekben az értékekben már eltűnik a heti ciklus, így ha a napi villámszámokból kivonjuk az aznapi futóátlagot és leosztjuk a 31 napos szórással, egy olyan értéket kapunk, ami tartalmazza a heti menetet, de már nem mutatkozik meg benne a mérőhálózat érzékenységének fejlődése:

$$x_{anom} = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}, \quad (3.1)$$

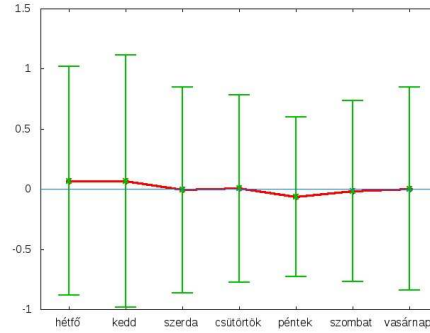
ahol x_{anom} az anomália, $\bar{x}$ a 31 napos átlag és σ a 31 napos szórás.



3.2. ábra. São Paulo területén észlelt átlagos napi villámok (2005. jan. - 2011. aug.) heti bontásban. A hibát az empirikus szórással becsültük.



(a) Fent: anomáliák, lent: villámok és a futóátlaguk



(b) Anomáliák heti menete és szórása

3.3. ábra. (a) São Paulo területén észlelt napi villámszámok (2005. jan. 1-től), 31 napos futóátlaguk és az anomáliák (2005. jan. 16-tól). (b) Az anomáliák heti menete. A hibát a szórással becsültük.

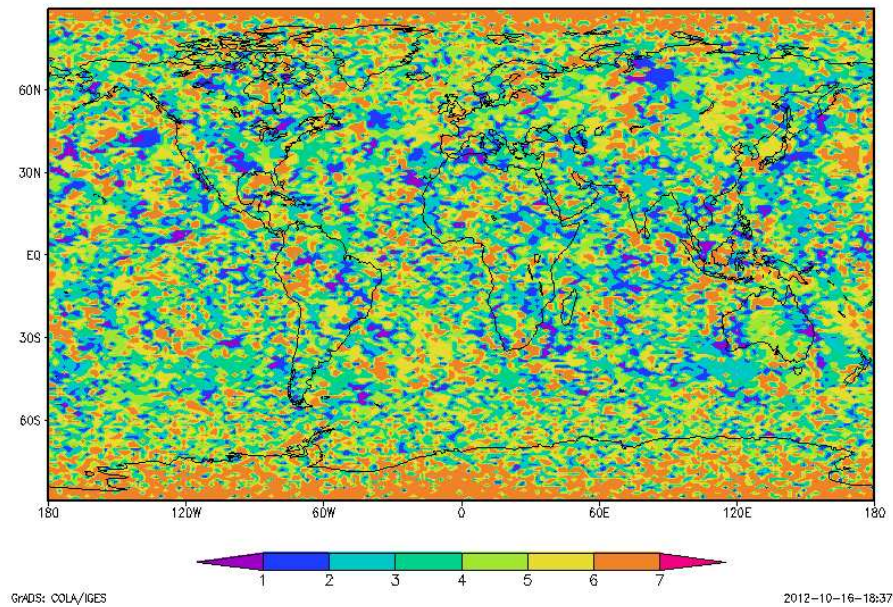
Az így kapott anomáliáknak szintén kiszámoltuk az átlagértékeit és szórásait (3.3 ábra (b)).

Mivel az anomáliák vizsgálatánál a heti minimum és maximum közti különbség nem volt nagyobb mint a hibáik (szórásuk) összege, ezért arra a következtetésre jutottunk, hogy az adatokból nem mutatható ki egyértelműen a heti ciklus. Negatív eredményünk nem zárja ki egy gyenge heti ciklus létezését, mert a WWLLN hálózat említetten alacsony észlelési határfoka, továbbá az eltérő észlelési időszak, valamint a lecsapó és felhővillámok megkülönböztethetlensége torzulásokat okozhat.

A számolást elvégeztük a 2005-2010-es időszakra is, amikor még hasonló érzékenységgel működött az érzékelőrendszer az egész időszak alatt, és úgy is, hogy kizártuk a villámmentes napokat, de mindegyik esetben nagyjából ugyanarra az eredményre és azonos végkövetkeztetésre jutottunk.

3.2. Villámgyakoriság analízis globális szinten

Azt, hogy a heti ciklus kimutatható-e az egész világra kiterjesztve, szintén megvizsgáltuk. $1^\circ \times 2^\circ$ -os felbontásban mindegyik téglalapra kiszámoltuk a villámszámok anomáliáit és azok szórásait heti felbontásban. Megvizsgáltuk, hogy a heti minimum és maximum közti különbség nem volt-e nagyobb mint a hibáik (szórásuk) összege. Mivel sehol nem volt nagyobb, arra jutottuk, hogy a WWLLN adatokból nem tudjuk kimutatni a heti villámcyklust sehol a világon.



3.4. ábra. A villámszámok anomáliáinak heti menetében jelentkező maximum napjainak globális térképe (hétfő = 1, kedd = 2,...). A sarkok környékén csak a villámok hiánya miatt egyszínű.

A 3.4 ábrán a maximális anomáliák napjait ábrázoltuk. Ugyan sehol sem szignifikáns, de ha ezt nem tudnánk, a véletlenszerű térbeli eloszlásukból is arra következtethetnénk, hogy az adatainkból nem lehet meggyőzően kimutatni a heti menetet.

4. fejezet

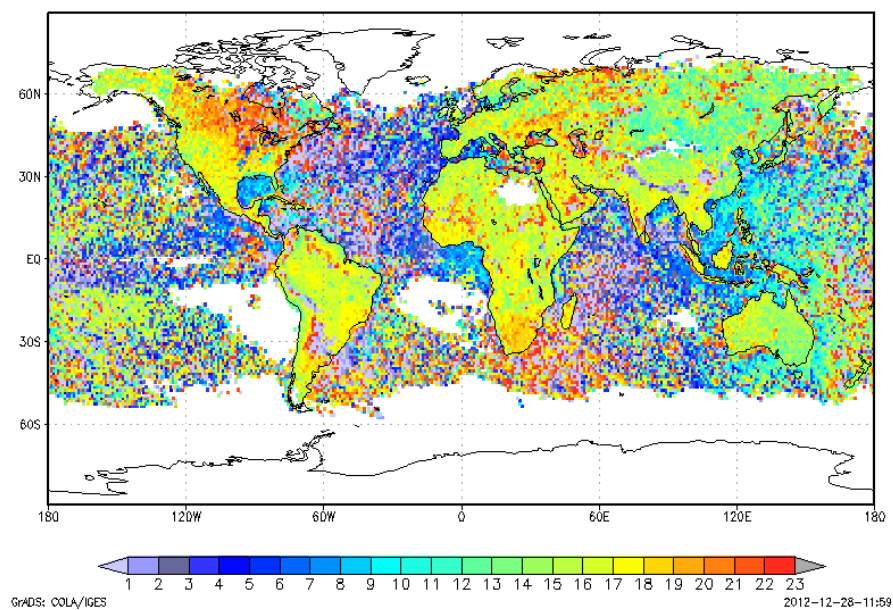
A napi menet

Az általános vélekedés szerint a villámaktivitásnak késő délután/este van a napi maximuma és hajnalban a minimuma. A mérések azt bizonyítják, hogy ez nem feltétlenül van így [*Zajac és Rutledge, 2000*].

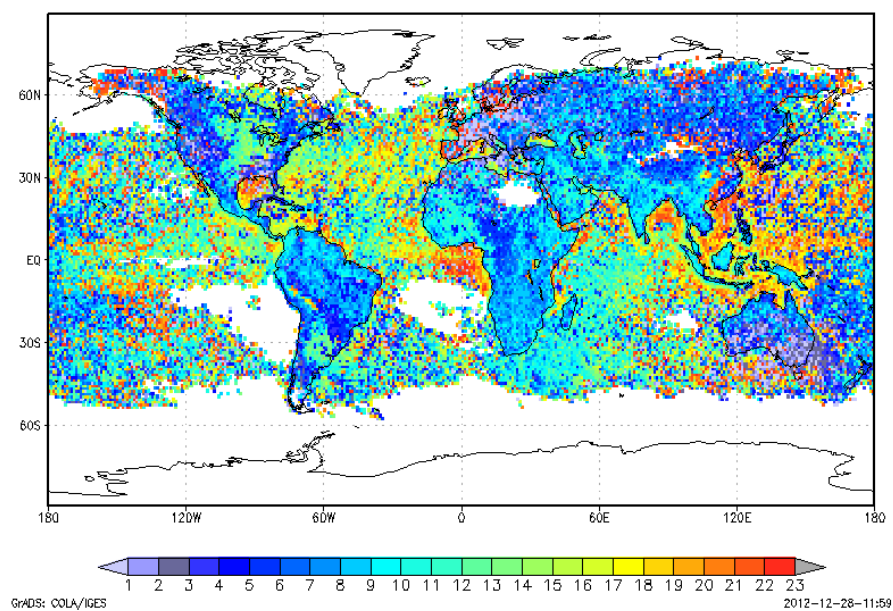
A globális adatokat felhasználva az egész világra kiterjedően megvizsgálhattuk ezt a kérdést. A világ egy adott részén, $1^\circ \times 1^\circ$ -os térbeli és 1 órás időbeli felbontásban összeadtuk a villámok havi összegeit. Így kaptunk mindegyik területre, ahol legalább 100 villámot észleltek az egész időszak alatt, egy 80 hónap $\times$ 24 órás adatsort. Ebből 97 órás futóátlagot, majd standardizálással anomáliákat számoltunk ki (3.1 képlet). Ezen anomáliák átlagait és szórását órás bontásban megvizsgáltuk. Térképen ábrázoltuk az átlagok maximumának és minimumának időpontjait (4.1 és 4.3 ábra) és azokat a helyeket, ahol ezek a minimumok és maximumok jobban eltérnek egymástól mint a szórásuk összege. Ezeken a helyeken egyértelműen van napi menet, de ha megvizsgáljuk a maximumok és minimumok térképét, erős térbeli összefüggéseket fedezhetünk fel bennük. Így bár szignifikánsan csak néhány helyen sikerült kimutatni a napi menetet a villámaktivításban, a térképekből látszik, hogy több helyen is létezik.

Megemlítjük, hogy a számolásoknál a helyi időt (LT - Local Time) szigorúan csak az UTC-ből (Coordinated Universal Time) és a földrajzi hosszúságból számoltuk ki, nem vettük figyelembe sem az országhatárokat, sem a szezonális időszámításokat. $7,5^\circ$ ny. h.-tól $7,5^\circ$ k. h.-ig az UTC egyenlő a helyi idővel, ettől nyugatra 15° -onként -1 órával csökken, keletre pedig +1 órával növekszik.

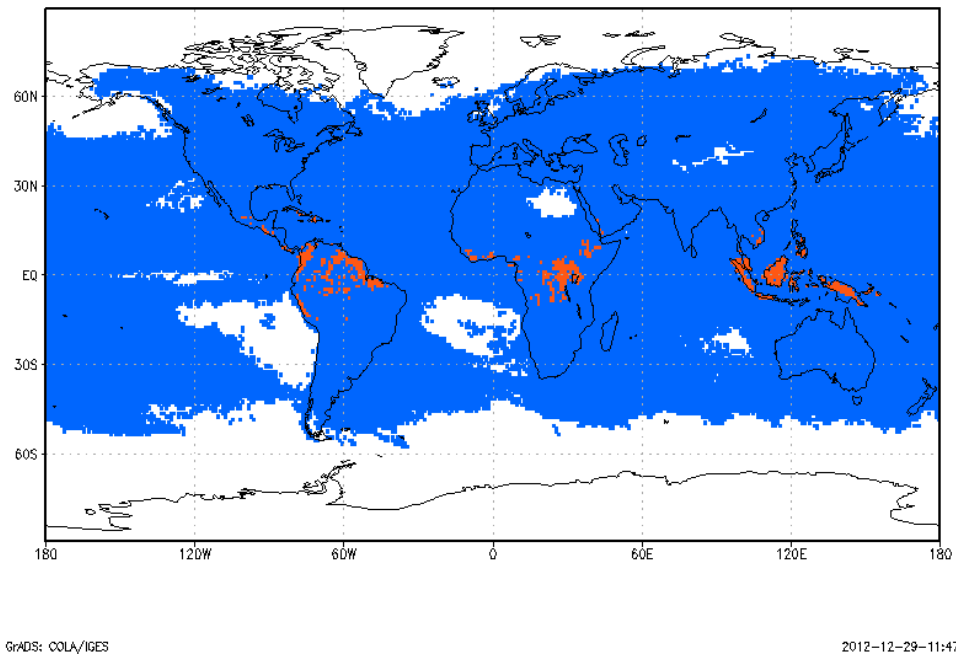
A napi menet maximumait és minimumait ábrázoló térképeken, a heti maximumot megjelenítővel ellentétben, már több minden látszik. A kontrasztokból pedig jól kivehetők a kontinenesek partvonalai, amiből már következtethetünk arra, hogy elemzésünkkel sikerült kimutatni azt, hogy mennyire befolyásolja a felszín a villámok kialakulását.



4.1. ábra. A zivatartevékenység napi meneteinek maximumai órás bontásban (0 → 0:00-1:00 LT, 1 → 1:00-2:00 LT,...).



4.2. ábra. A zivatartevékenység napi meneteinek minimumai órás bontásban (0 → 0:00-1:00 LT, 1 → 1:00-2:00 LT,...).



4.3. ábra. A narancssárgával jelölt területeken egyértelműen kimutattuk a napi menetet.

4.1. A villámgyakoriság napi menete szárazföldek fölött

A szárazföldet vizsgálva többnyire azt kaptuk, amit vártunk: délutáni/esti maximumot és hajnali minimumot. Viszont még az olyan erőteljesen délutáni maximummal rendelkező területeken, mint Afrika, is becsúszik pár délelőtti maximum. Feltehetően a felszíni adottságok adnak okot erre a jelenségre, mint például a Viktória-tó, ahol a maximum valmivel éjfél után/hajnalban van, a minimum pedig délután.

Dél-Amerikában hasonló a helyzet. Ott is főleg a délutáni maximum a jellemző, bár megfigyelhető egy érdekes, Uruguaytól kezdődő, nyugat felé folytatódó majd az Andok keleti lábánál húzódó sáv, ami éjfél/éjfél utáni maximummal és déli/kora-délutáni minimummal rendelkezik. Itt feltehetően az Andok játszik jelentős szerepet. Egy ilyen sávot figyelhetünk meg a Himalája lábánál is, de itt érdekes módon csak a maximumokban van eltérés.

Nem várt eltérést láthatunk még Észak-Amerika Központi-síksága fölött is. Itt a maximum időpontja eléggé változékony és még hajnali maximum is található. Ez azért érdekes, mert keleten az észlelt villámok száma több, mint nyugaton, a Sziklás-hegység fölött, ahol viszont már jóval egységesebb a maximum. A minimumok a

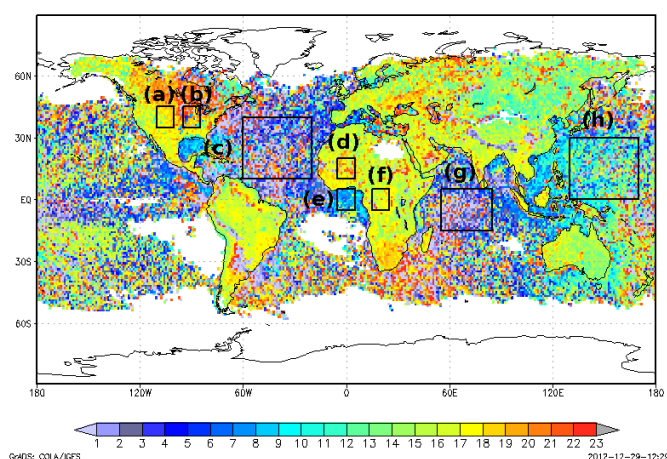
síkság északnyugati felében kora délutániak, a délkeleti felében pedig kora hajnaliak.

4.2. A villámgyakoriság napi menete óceánok fölött

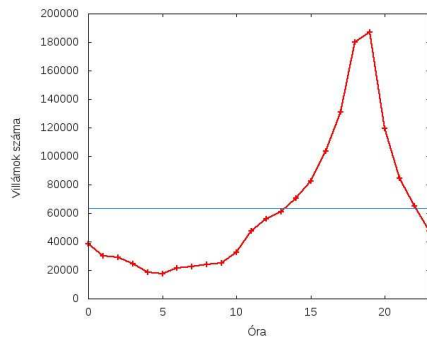
A tengerek fölött a partoknál, a szárazfölddel ellentétben reggel vannak a maximumok és késő délután a minimumok. Ennek a legvalószínűbb oka a partmenti cirkuláció, ahol is a délutáni leáramlás gátolja, a reggeli feláramlás pedig segíti a zivatarképződést. Ez legjobban a Mexikói-öböl, a Földközi-tenger, Guineai-öböl és Délkelet-Ázsia tengerei fölött figyelhető meg.

A minimumok térképén látni, hogy milyen mélyen benyúlik a tengerekbe a partmenti szél hatása. Az Atlanti-óceán északi részén látható délutáni foltot pedig vélhetően a Golf-áramlat okozza, és a megnövekedett villámszámokért is ő lehet a felelős (2.3 ábra).

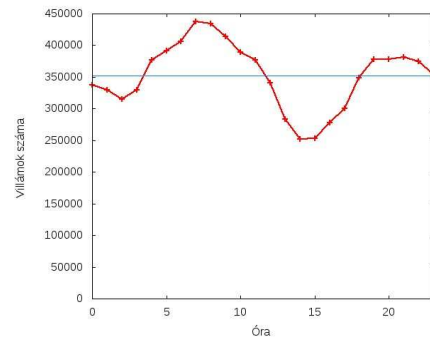
Az 4.4 ábrán látható területek összegző napi meneteit a 4.5 ábrák mutatják be.



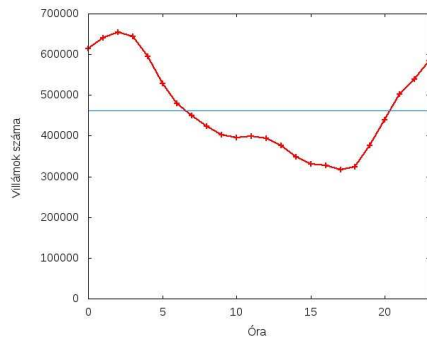
4.4. ábra. A zivatartevékenység napi menteteinek maximumai. A kijelölt területek összegző napi meneteit a 4.5 ábrák mutatják be.



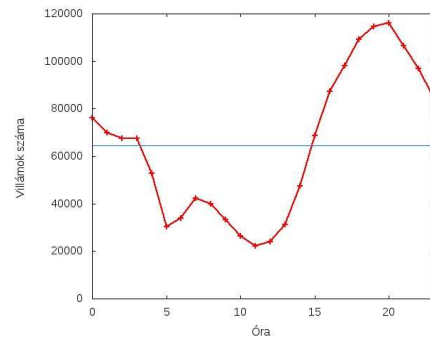
(a)



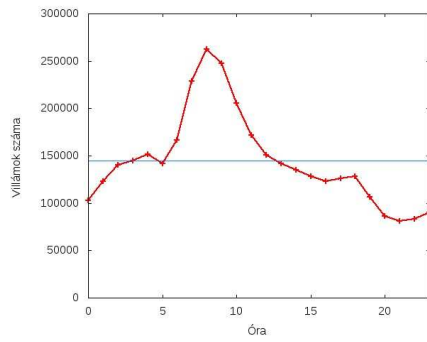
(b)



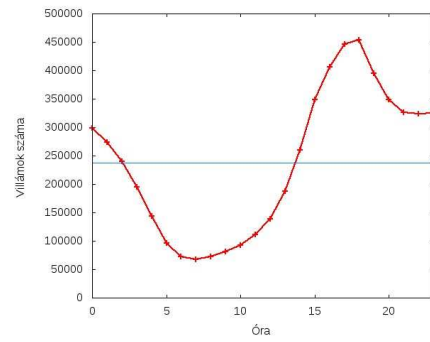
(c)



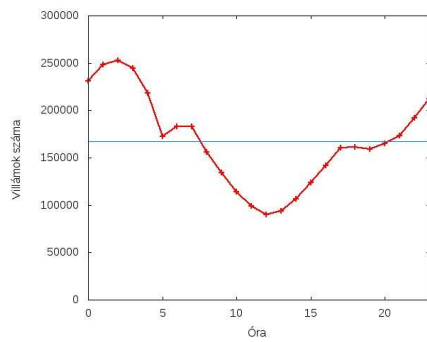
(d)



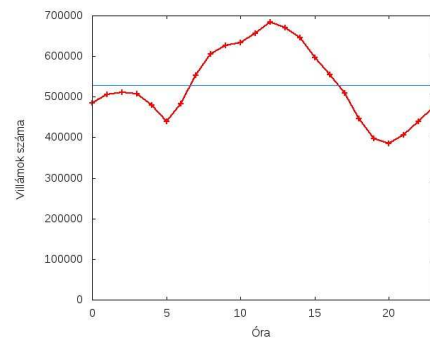
(e)



(f)



(g)



(h)

4.5. ábra. A 4.4 ábra kijelölt területeinek napi menetei. A kék vonalak az átlagot jelenítik meg.

5. fejezet

Korrelációk

Mint ahogy arra már a bevezetőben is kitértünk, a villámok kialakulásának okai nem teljesen tisztázottak. Solorzano és társai cikkében például összehasonlítottak két 5-ös szintű atlanti hurrikánt: az egyik a Katrina (2005. aug.) a másik a Rita (2005. szept.) volt [Solorzano et al., 2008]. Kiderült, hogy a két hurrikán, hasonlóságuk ellenére, a szem körüli villámok mennyiségében igencsak eltértek.

Hogy a villámok keletkezésének körülményeit jobban megismerjük, a WWLLN adatokat keresztkorrelációs vizsgálatoknak vettük alá. Megnéztük, létezik-e kapcsolat az észak-atlanti vízfelszíni hőmérséklet és a térség napi villámszámai közt, továbbá a napfoltszámok és a globális villámszámok között.

5.1. Észak-atlanti vízfelszíni hőmérséklet keresztkorrelációs vizsgálata

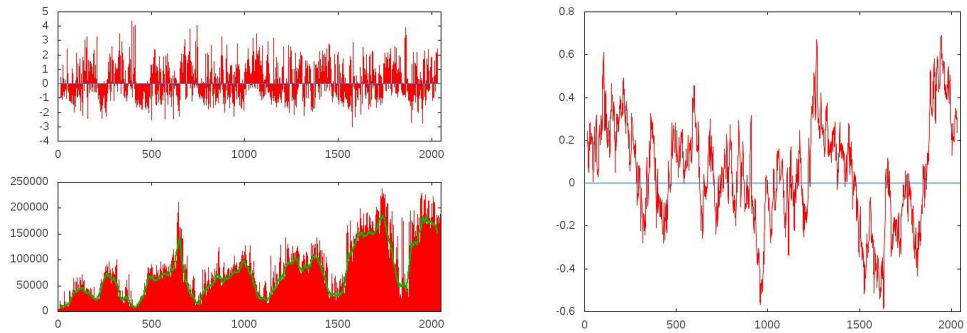
A WWLLN adatokból kiszámoltuk a napi villámszámokat az észak-atlanti térségre ($0^\circ - 70^\circ$ é.f.sz., 100° ny.f.h. - 20° k.f.h.). Természetesen ezekből az adatokból is anomáliákat számoltunk, hogy kiszűrjünk a mérőrendszer érzékenységében beálló javulás hatásait. Ezt a heti ciklus számolásánál használt standardizálással értük el, szintén 31 napos futóátlagokkal (3.1 képlet).

Az észak-atlanti vízfelszíni hőmérséklet (SST - Sea Surface Temperature) anomáliáinak napi adatait a KNMI Climate Explorer honlapjáról (<http://climexp.knmi.nl>) töltöttük le. Itt műholdas, mikrohullámú tartományban észlelt adatok optimális interpolációjával nyert napi SST értékekhez férhettünk hozzá különböző földrajzi kivágatokban. Mi az $5^\circ - 55^\circ$ é.f.sz., $50^\circ - 20^\circ$ ny.f.h. terjedő terület átlagos napi SST értékeiből (az éves menet levonásával) kapott anomáliát használtuk fel a számolásainkhoz. Mivel ezek az SST anomáliák csak az 1998. jan. 1-től 2010. júl. 25-ig terjedő időszakra álltak rendelkezésünkre, a vizsgált időszak ennél a korrelációvizsgálatnál

2005. jan. 16. - 2010. júl. 25. volt.

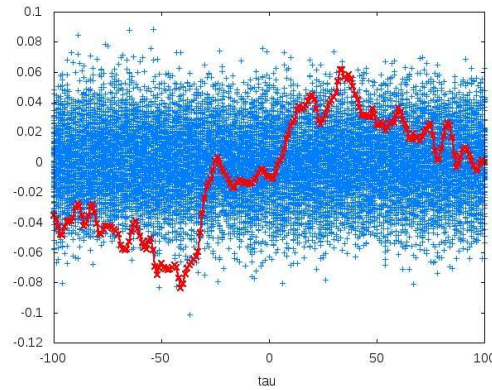
A napi villám és SST anomáliák adatsorait a TISEAN programcsomag segítségével keresztkorrelációs vizsgálatnak vetettük alá.

Az eredmény szignifikanciájának vizsgálatához 100-szor kiszámoltuk a villámszámok napi átlagos anomáliájának önmaga véletlenszerűen átkevert adatsorával (data shuffling) vett keresztkorrelációit, így volt mihez hozzávetnünk az eredményünket. Megállapíthattuk, hogy nincs szignifikáns kapcsolat a két paraméter között, hisz a próbastatisztikáink korrelációinak legnagyobb abszolút értékei nagyobbak a két paraméter korrelációinak abszolút értékeinél 5.2 ábra.



(a) Fent: anomáliák, lent: villámok és a futóátlaguk. (b) Az SST napi értékeinek anomáliái ($^{\circ}\text{C}$).

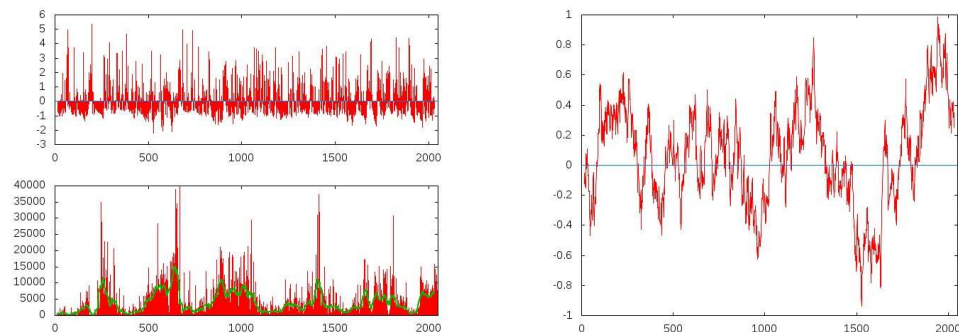
5.1. ábra. (a) Az észak-atlanti térségben észlelt napi villámszámok (2005. jan. 1-től), 31 napos futóátlaguk és az anomáliáik (2005. jan. 16-tól). (b) Az észak-atlanti SST napi értékeinek anomáliái 2005. jan. 16-tól.



5.2. ábra. Az észak-atlanti térségben észlelt napi villámszámok anomáliáinak és az észak-atlanti napi SST anomáliák értékeinek keresztkorrelációi (piros) és a villámszámokból kapott próbastatisztikák (kék). τ az időeltolási paraméter.

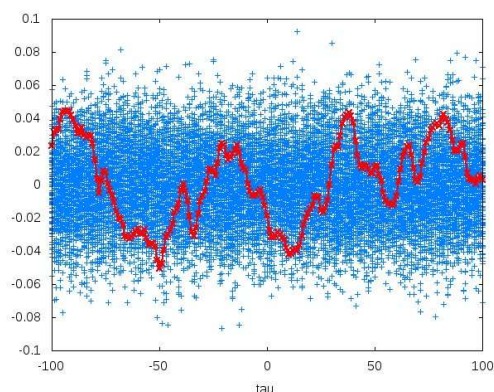
Elvégeztünk egy másik keresztkorrelációs vizsgálatot is a villámok és az SST értékek közt. Ebben az esetben az Európa fölötti (35° - 70° é.f.sz., 10° k.f.h. - 40°

ny.f.h.) villámok anomáliáit és az Észak-Atlanti-óceán keleti medencéjének ($5^\circ - 55^\circ$ é.f.sz., 30° k.f.h. - 20° k.f.h.) SST anomáliáit vetettük össze. Mivel Európa fölött nyugatias szelek uralkodnak, esélyesnek láttuk az összefüggést, de az eredmény ebben az esetben is negatív volt, amint azt az 5.4 ábra is mutatja.



(a) Fent: anomáliák, lent: villámok és a futóátlaguk. (b) Az SST napi értékeinek anomáliái ($^\circ\text{C}$).

5.3. ábra. (a) Európa térségében észlelt napi villámszámok (2005. jan. 1-től), 31 napos futóátlaguk és az anomáliáik (2005. jan. 16-tól). (b) Az Észak-Atlanti-óceán keleti medencéjének napi SST értékeinek anomáliái 2005. jan. 16-tól.



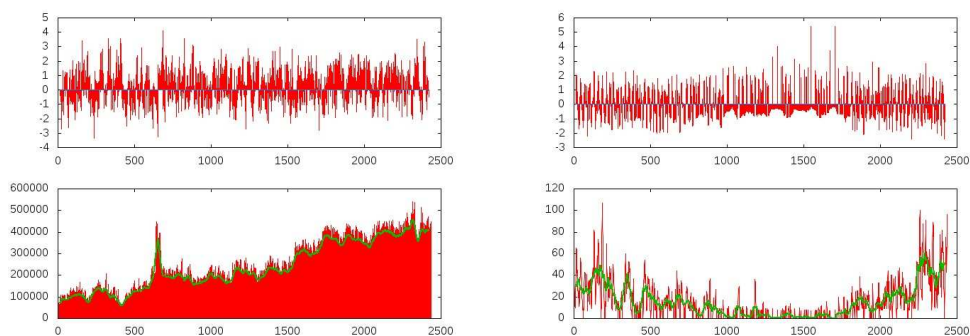
5.4. ábra. Az európai térségben észlelt napi villámszámok anomáliáinak és az Észak-Atlanti-óceán keleti medencéjének napi SST anomáliáinak keresztkorrelációi (piros) és a villámszámokból kapott próbastatisztikák (kék). τ az időeltolási paraméter.

5.2. Napfoltszámok keresztkorrelációs vizsgálata

A naptevékenységet jellemző paraméterek tükrében már régóta vizsgálják a villámokat [Schlegel et al., 2001]. Mi a napfoltszámokkal vettettük össze őket.

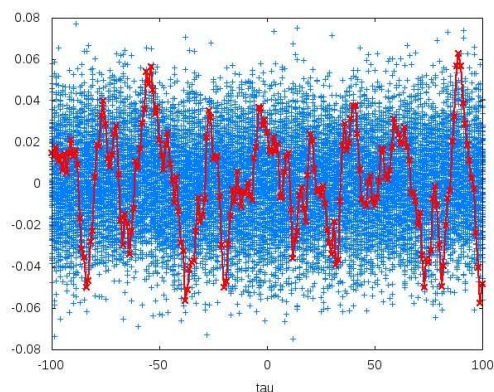
A napfoltszámok napi adatait a Solar Influences Data Analysis Center honlapjáról szereztük meg (<http://sidc.oma.be>). Ezeket az egész Földön észlelt napi villámszámokkal vetettük össze. Itt is végrehajtottuk mindkét adatsoron a standardizálást és újabb 100 darab próbastatisztikát készítettünk a villámszámok anomáliáiból.

Az eredményen látszik, hogy ismét nincs elég erős kapcsolat a két paraméter között.



(a) Fent: anomáliák, lent: villámok és a futóátlaguk. (b) Fent: anomáliák, lent: napfoltok és a futóátlaguk.

5.5. ábra. (a) Az egész Földön észlelt napi villámszámok (2005. jan. 1-től), 31 napos futóátlaguk és az anomáliáik (2005. jan. 16-tól). (b) Az észlelt napfoltszámok (2005. jan. 1-től), 31 napos futóátlaguk és az anomáliáik (2005. jan. 16-tól).



5.6. ábra. Az egész Földön észlelt napi villámszámok és a napfoltszámok keresztkorrelációi (piros), valamint a villámszámokból kapott próbastatisztikák (kék). τ az időeltolási paraméter.

6. fejezet

Összefoglalás

A WWLLN globális villámadatokat felhasználva megvizsgáltuk, hogy létezik-e heti ciklusa a villámoknak, amit az emberi tevékenységre vezethetnénk vissza. Először célzottan São Paulo területére, majd az egész világra kiterjedően arra a következtetésre jutottunk, hogy ezt az adatainkból nem tudjuk szignifikánsan kimutatni.

Az adatainkból elkészítettük a zivatartevékenység napi ciklusának maximum- és minimumtérképét és ezeket elemezve különböző következtéseket vontunk le. Megállapítottuk, hogy a villámaktivitás napi menete nagyban függ a terepviszonyoktól.

Végül keresztkorrelációs vizsgálatokat számoltunk ki az észak-atlanti vízfelszíni hőmérséklet és a villámszámok közt, továbbá a napfoltszámok és az egész Föld napi villámszámai között, de egyik esetben sem találtunk statisztikailag szignifikáns kapcsolatot.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondanék Dr. Jánosi Imre témavezetőmnek a TDK dolgozat elkészítésénél nyújtott útmutatásáért és tanácsaiért. A C++ programozásban kapott fontos segítségért Kučera Györgynek mondanék köszönetet, a rendelkezésünkre bocsátott WWLLN adatokért pedig a ELTE TTK Űrkutató Csoport munkatársainak. Továbbá köszönet az SST adatokért (biztosította: KNMI Climate Explorer), a napfoltszám adatokért (biztosította: Solar Influences Data Analysis Center) és mindenkinek, aki egy kicsit is segítette ezen dolgozat létrejöttét.

Irodalomjegyzék

- [Bell et al., 2008] T. L. Bell, D. Rosenfeld, K.-M. Kim, J.-M. Yoo, M.-I. Lee, and M. Hahnenberger (2008), *Midweek increase in U.S. summer rain and storm heights suggests air pollution invigorates rainstorms*, J. Geophys. Res., **113**, D02209
- [Bell et al., 2009] T. L. Bell, D. Rosenfeld, K.-M. Kim, (2009) *Weekly cycle of lightning: Evidence of storm invigoration by pollution*, Geophys. Res. Lett., **36**, L23805, 5 pp.
- [Brockhauser, 2011] Brockhauser Barbara, (2011) *Az Észak-Atlanti Oszcilláció (NAO) és a Villámtevékenység Lehetséges Összefüggésének Empirikus Vizsgálata*, szakdolgozat (Budapest, ELTE TTK)
- [Colliers et al., 2011] A. B. Collier, J. Lichtenberger, M. A. Clilverd, C. J. Rodger, P. Steinbach, (2011) *Source region for whistlers detected at Rothera, Antarctica*, J. Geophys. Res., **116**, A03219, 13 pp.
- [Farias et al., 2009] W.R.G. Farias, O. Pinto Jr., K.P. Naccarato, I.R.C.A Pinto, (2009) *Anomalous lightning activity over the Metropolitan Region of São Paulo due to urban effects*, Atmos. Res., **91**, 485–490.
- [Hutchins et al., 2012] Michael L. Hutchins, Robert H. Holzworth, Craig J. Rodger, James B. Brundell, (2012) *Far-Field Power of Lightning Strokes as Measured by the World Wide Lightning Location Network*, J. Atmos. Oceanic Technol., **29**, 1102–1110.
- [Schlegel et al., 2001] K. Schlegel, G. Diendorfer, S. Thern, M. Schmidt, (2001) *Thunderstorms, lightning and solar activity—Middle Europe*, J. Atmos. Sol. Terr. Phys. **63**, 1705–1713.
- [Solorzano et al., 2008] N. N. Solorzano, J. N. Thomas, R. H. Holzworth, (2008) *Global studies of tropical cyclones using the World Wide Lightning Location Network*, Paper presented at AMS 2008 meeting in New Orleans (January 2008)
- [Zajac és Rutledge, 2000] B. A. Zajac, S. A. Rutledge, (2000) *Cloud-to-Ground Lightning Activity in the Contiguous United States from 1995 to 1999*, Mon. Weath. Rev. **129**, 999 pp.