

**NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM  
ERDŐMÉRNÖKI KAR  
KITAIBEL PÁL KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLÁJA  
GEOKÖRNYEZETTUDOMÁNY (K2) PROGRAM**

**DOKTORI ÉRTEKEZÉS**

**EXTRATERRESZTRIKUS HATÁSOK ÉRVÉNYESÜLÉSE A  
TROPOSZFÉRÁBAN ÉS A SZTRATOSZFÉRÁBAN**

Témavezető: Dr. Bencze Pál  
c. egyetemi tanár

Készítette: Cseh Sándor

**S O P R O N  
2004**

**EXTRATERRESZTRIKUS HATÁSOK ÉRVÉNYESÜLÉSE A  
TROPOSZFÉRÁBAN ÉS A SZTRATOSZFÉRÁBAN**

Értekezést doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében, a  
Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki kar Kitaibel Pál Környezettudományi  
Doktori Iskolája,  
Geokörnyezettudomány (K2) programjához tartozóan

Írta:  
Cseh Sándor

Témavezető: Dr. Bencze Pál

Elfogadásra javaslom (**igen** / nem)

.....  
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton ..... %-ot ért el,

Sopron, .....

.....  
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen / nem)

Első bíráló (Dr. ....) igen / nem

.....  
(aláírás)

Második bíráló (Dr. ....) igen / nem

.....  
(aláírás)

Esetleg harmadik bíráló (Dr. ....) igen / nem

.....  
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján ..... %-ot ért el.

Sopron, .....

.....  
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése .....

.....  
az EDT elnöke

# TARTALOMJEGYZÉK

<b>TARTALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>3</b>
<b>BEVEZETÉS .....</b>	<b>5</b>
<b>1. EXTRATERRESZTRIKUS ÉGHAJLAT-ALAKÍTÓ TÉNYEZŐK .....</b>	<b>7</b>
1.1. A NAPSUGÁRZÁS .....	7
1.1.1. A Nap .....	7
1.2. A NAPTEVÉKENYSÉG .....	9
1.2.1. Az aktív Nap jelenségei a napfoltok .....	9
1.3. A GALAKTIKUS-KOZMIKUS SUGÁRZÁS .....	14
1.4. A FÖLD MÁGNESES TERE, GEOMÁGNESES TEVÉKENYSÉG .....	16
<b>2. AZ EXTRATERRESZTRIKUS TÉNYEZŐK IDŐJÁRÁSRA GYAKOROLT ESETLEGES HATÁSA .....</b>	<b>19</b>
2.1. ÖRVÉNYESSÉGI TERÜLETI INDEX (VAI = VORTICITY AREA INDEX) .....	19
2.2. A LÉGKÖRI ELEKTROMOSSÁG .....	20
<b>3. AZ EXTRATERRESZTRIKUS TÉNYEZŐK HATÁSAI AZ IDŐJÁRÁSI ELEMekre .....</b>	<b>23</b>
3.1. ADATBÁZIS ÉS AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK .....	23
3.2. AZ EXTRATERRESZTRIKUS HATÁSOK ÉRVÉNYESÜLÉSE AZ IZOBÁRSZINTEK MAGASSÁGÁRA .....	26
3.2.1. Az izobár szintek magassága a troposzférában .....	26
3.2.1.1. Az 500 hPa-os szint magassága .....	29
3.2.2. Izobárszintek magassága a sztratoszférában .....	31
3.2.2.1. A 150 hPa-os szint magassága .....	33
3.2.2.2. A 30 hPa-os szint magassága .....	36
3.2.2.3. A 20 hPa-os szint magassága .....	41
3.2.2.4. A 10 hPa-os szint magassága .....	45
3.2.3. Az extraterresztrikus tényezők hatását kifejező, az izobárszintek magasságára vonatkozó spektrumanalízis eredményei .....	48
3.2.4. A fejezet konklúziója .....	53
3.3. AZ EXTRATERRESZTRIKUS HATÁSOK ÉRVÉNYESÜLÉSE AZ IZOBÁRSZINTEK HŐMÉRSÉKLETÉRE .....	56
3.3.1. Az izobárszintek hőmérséklete a troposzférában .....	57
3.3.1.1. Az 500 hPa-os szint hőmérséklete .....	62
3.3.2. Az izobárszintek hőmérséklete a sztratoszférában .....	65
3.3.2.1. A 150 hPa-os szint hőmérséklete .....	67
3.3.2.2. A 30 hPa-os szint hőmérséklete .....	69
3.3.2.3. A 20 hPa-os szint hőmérséklete .....	72
3.3.2.4. A 10 hPa-os szint hőmérséklete .....	75
3.3.3. Az extraterresztrikus tényezők hatását kifejező, az izobár szintek hőmérsékletére vonatkozó spektrumanalízis eredményei .....	79
3.3.4. A fejezet konklúziója .....	82
3.4. AZ EXTRATERRESZTRIKUS TÉNYEZŐK HATÁSA AZ IZOBÁRSZINTEK SKALÁRIS SZÉLSEBESSÉGÉRE .....	85
3.4.1. Szélviszonyok a troposzférában .....	85

3.4.1.1.	Az 500 hPa-os szint skaláris szélessége.....	85
3.4.1.2.	A szélmaximum szintjének jellemzése.....	87
3.4.2.	<i>Szélviszonyok a sztratoszférában.....</i>	<i>91</i>
3.4.2.1.	A 150 hPa-os szint szélviszonyai .....	91
3.4.2.2.	A 30 hPa-os szint szélviszonyai .....	93
3.4.2.3.	A 20 hPa-os szint szélviszonyai .....	96
3.4.2.4.	A 10 hPa-os szint szélviszonyai .....	98
3.4.3.	<i>Az extraterresztrikus tényezők hatását kifejező, az izobárszintek szélviszonyaira vonatkozó korrelációk idősorai, valamint a spektrumanalízis eredményei.....</i>	<i>100</i>
3.4.4.	<i>A fejezet konklúziója .....</i>	<i>105</i>
3.5.	AZ EXTRATERRESZTRIKUS TÉNYEZŐK HATÁSA A POTENCIÁLISAN KIHULLHATÓ VÍZMENNYISÉGRE .....	107
<b>ÖSSZEGZÉS.....</b>		<b>116</b>
<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....</b>		<b>123</b>
<b>IRODALOMJEGYZÉK .....</b>		<b>124</b>

## Bevezetés

A levegő óceán, amelynek az alján élünk napjainkban már leíró jelleggel jól ismert. Az időjárás, azaz a légköri állapotok egymást követő sorozatát előre jelezni azonban már bonyolult és nehéz probléma.

A nehézséget az a szembetűnő tény jelenti, hogy a légköri folyamatokat, amelyben az életfolyamatok játszódnak a rendezetlenség jellemzi. A légköri folyamatokat hosszabb időszakon át vizsgálva a rendezetlenségben megjelenik a rend (például: évszakok). Ez az a rend, amely az életfeltételeinket megszabja. Ezt bizonyítja az a tény is, hogy az élet szereplői alkalmazkodtak hozzá, törvényszerűségei a tevékenységek meghatározó tényezői. A kialakult rendben természetesen a légköri állapotok rendezetlenségének nagysága és gyakorisága változó. (Nem véletlen, hogy a matematikai KÁOSZ elmélet megalapítója meteorológus és a problémát is a légköri folyamatokon keresztül vetették fel.) Ezt az atmoszférában kialakult rendet, amely az időjárás átlagos viselkedését reprezentálja, éghajlatnak nevezzük.

Az éghajlat a légköri állapotok összessége, azaz a légköri állapotnak egy ideális sokasága, amelynek tulajdonságait a rendelkezésünkre álló véges hosszúságú idősorok alapján becsüljük meg. Ez alapján véve klasszikus matematikai statisztikai probléma a becslélmélet témakörben.

Az éghajlat vizsgálata megköveteli az éghajlati időskála alsó határának definiálását, azt a legkisebb időszakot, amelynek alapján az éghajlati jellegű anomáliák számíthatók. A különböző éghajlati idősorokból számított anomáliák, trendek és paraméterek jellemzésére nincs szigorú terminológia. (Czelnai et al., 1983)

- Éghajlati változékonyság az, amikor az individuális hónapok és évek statisztikai paraméterei az éghajlatilag várható értékektől eltérést mutatnak.
- Éghajlat-ingadozás az, amikor az egymást követő hónapok, évszakok és évek sorozatos egyirányú anomáliát mutatnak.
- Éghajlatváltozás az, amikor hosszabb idősoron fellelhető egyirányú trendek figyelhetők meg.

Az éghajlattan feladata, hogy válaszoljon arra a kérdésre, hogy milyen tényezők határozzák meg az éghajlat jellemzőit. Melyek azok a tényezők, amelyek az éghajlati változékonyságot, éghajlat-ingadozást vagy éghajlatváltozást okozzák.

E dolgozat arra vállalkozik, hogy az éghajlat alakító tényezők közül az extraterresztrikus hatásokat vizsgálja. Az extraterresztrikus hatások közvetlenül vagy közvetetten érkeznek a légkörbe és ott vélhetően trigger hatásként érvényesülnek.

Éghajlati szempontból e hatások dominanciája a legnagyobb, hisz a Nap sugárzása e körbe tartozik. A vizsgálat egyik irányultsága az, hogy az extraterresztrikus hatások az éghajlat változékonyságát előidéz-e?

E célból a feldolgozás a naptevékenység, a galaktikus-kozmosz sugárzás, a geomágneses tevékenység időjárásra gyakorolt hatását vizsgálja, kiemelten az izobár szintek magasságának, hőmérsékletének, skaláris szélsőségeinek és egy adott légoszlop kihullható vízmennyiségnek a változásait elemezve.

Számos dolgozat látott napvilágot, mióta megnőtt az érdeklődés a naptevékenységnek az időjárásra gyakorolt hatása iránt az ezerkilencszáz-nyolcvanas, ötvenes években. Ezek a tanulmányok azonban elszórt próbálkozások voltak ezen összetett probléma megközelítésére (Wasserfall, 1941; Beynon és Brown, 1951; Shapiro, 1956; Bauer, 1957; Bauer, 1958; Shapiro, 1959; Woodbridge et al., 1959; London et al., 1959; Macdonald és Roberts, 1960; Macdonald és Knecht, 1961; Nookester, 1967; Beynon és Winstanley, 1969). A naptevékenység időjárásra gyakorolt hatásának szisztematikusabb tanulmányozása a hetvenes években kezdődött, amikor Wilcox és társai (1973, 1974) összefüggést mutattak ki a Nap mágneses szerkezete és a sztratoszférikus keringés között, pontosabban a bolygóközi mágneses mezőben levő szektorhatár-átmenetek és a troposzférikus örvényesség területi indexe [vorticity area index] (VAI) között. Ez az összefüggés összhangban van Roberts és Olson (1973) eredményeivel, akik a geomágneses viharok és az észak-csendes-óceáni – észak-amerikai térségben, téli időszakban kialakuló 300 hPa-os légnyomási teknő közötti összefüggésről számolnak be. Wilcox et al. eredményeit eleinte ugyan erősen vitatták, Wilcox et al. következtetései azonban igazolhatók voltak és – Roberts és Olson eredményeivel együtt – hozzájárultak a naptevékenység és az időjárás közötti összefüggés lehetséges magyarázatához vezető gondolat kialakulásához.

A naptevékenységnek a troposzférára és a sztratoszféra alsó és középső rétegére gyakorolt hatását már kimutatta K. Labitzke és H. van Loon (1998), Balachandran et al. (1999), K. Labitzke és B. Soukharev (2001), ez utóbbiban figyelembe véve más tényezők (üvegház-gáz, ózon és vulkanikus kényszer) hatását is. Ezen vizsgálatok azonban nem foglalkoztak a kihullható csapadék naptevékenységtől való függőségével, valamint a galaktikus kozmosz sugárzás és a geomágneses tevékenység hatásával.

## ***1. Extraterresztrikus éghajlat-alakító tényezők***

Az éghajlatot alakító tényezők, így az extraterresztrikus hatások is általában nem közvetlenül, hanem bonyolult visszacsatolási mechanizmusokon keresztül érvényesülnek. Az éghajlat kialakításában közreható tényezők együttesére olyan tényezők hatnak, amelyek nincsenek kölcsönhatásban a rendszerrel, ezeket éghajlati kényszernek nevezzük.

Az extraterresztrikus hatások éghajlati kényszerként értelmezhetők, hisz kölcsönhatások, illetve visszacsatolási folyamatok a vizsgálatainkban szereplő időskálán nem lépnek fel, illetve ismereteink erre vonatkozólag jelenleg nincsenek.

Az extraterresztrikus hatások közül kiemelkedően a legfontosabb a Nap sugárzása, de ide soroljuk többek között a galaktikus-kozmosz sugárzást és a geomágneses tevékenységet is. A jelen dolgozatban az extraterresztrikus hatások közül különös tekintettel a naptevékenységet vizsgáltuk.

### **1.1. A napsugárzás**

#### **1.1.1. A Nap**

A Nap egy átlagos típusú csillag a Tejútrendszerben.

A Nap a Tejútrendszer  $10^{11}$  db csillaga között a csillagokhoz hasonlóan főként H-ból és He-ből álló „izzó” gáztömb, amelyet a középpontja felé mutató gravitációs erő és a kifelé irányuló nyomás tart egyensúlyban. Méretét tekintve 115-ször, tömegét tekintve 330000-szer nagyobb, mint a Föld. Kora kb. 5 milliárd év. A Nap szerkezete héjas felépítésű. A középponttól való távolság függvényében minden paraméter folyamatosan változik. A  $273,98 \text{ m/s}^2$  gravitációs gyorsulás miatt anyaga a középpont felé sűrűsödik.

A Nap központi tartománya a mag, amelynek sugara 0,2 Napsugár, a teljes térfogat kb. 1%-a, ugyanakkor a tömegének  $2 \cdot 10^{33}$  g, több mint a fele e térrészben található. E centrális tartományban így alakult ki a  $3 \cdot 10^{11}$  Pa földi méreteknél nem tapasztalható óriási nyomás, a  $155 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$  sűrűség és  $15 \cdot 10^6$  K hőmérséklet.

Az energiatermelést teljes egészében a  $\text{H} \rightarrow \text{He}$  fúzió adja, a felszabaduló energia 19,79 MeV döntőrészt gamma fotonok, kis részben neutrínó formájában távozik.

A magot határolja a köpeny. A köpenyben a  $\gamma$  sugarak a sorozatos ütközések hatására kisebb energiájú röntgensugárzássá alakulnak át. A röntgen sugárzású öv

határán túl az ún. konvektív zóna kezdődik, amelynek az anyaga részlegesen ionizált gázkeverék. Az energiaáramlás nem sugárzás formájában, hanem konvekciós folyamat révén terjed tovább.

A konvekciós zóna feletti réteg kb. 500 km vastagsággal a fotoszféra. Itt helyezkednek el a napfoltok. E rétegből származik a fényenergia (látható és infravörös sugárzás) döntő része. A fotoszférából származó fényenergia hullámhossz szerinti eloszlása azt mutatja, hogy a kibocsátott maximum fluxus érték 460 nm-nél helyezkedik el, azaz a kék tartományhoz van közelebb. A Stefan-Boltzmann és a Wien törvény alkalmazásával feltételezve, hogy a fotoszféra abszolút fekete testnek tekinthető a hőmérséklet  $T=5778$  K-nek adódik. A fotoszféra spektrumából a hidrogén ún. Balmer sorozatának vonalai emelkednek ki, amelynek alapján az összetételre 91 %  $H_2$  adódik. A további összetevők 8,9 % He, 0,1 %-on pedig a periódusos rendszer 50 nehezebb eleme osztozik. A fotoszféra a látható tartományban átlátszó, a Nap felszínének is nevezhető.

A fotoszféra fölött helyezkedik el a kromoszféra. A sugárzás erőssége három nagyságrenddel kisebb mint a fotoszférában, így a kromoszféra fénye elnyomódik. A fotoszférával ellentétben a hőmérséklet kifelé haladva nő. Szerkezete inhomogén, vastagsága nehezen meghatározható.

A kromoszféra fölött helyezkedik el a Nap külső légköre a napkorona. A korona anyaga rendkívül ritka, hőmérséklete több millió fokos nagyságrendű. A magas hőmérsékletet a konvekciós zónában történő feláramlások okozta lökéshullámok energiájának hővé történő átalakulása okozza. A korona mágneses terében zárt és nyitott mágneses erővonalakkal rendelkező tartományok alakulnak ki. A nyitott erővonalak mentén hagyja el a napszél a Nap felszínét. A napkorona alakja és fényessége változó. A korona sugárzása a látható tartományban szórt fotoszféra-fényből, a bolygóközi porszemeken visszaverődő fényből és mintegy 30 emissziós vonalból áll, amelyek a magas hőmérséklet következtében sokszorosán ionizált atomoktól (pl. Fe XIV, Ca XV, F X) származnak. Az 50 és 100 nm között a részecskék közötti ütközések által gerjesztett vonalak, 10 nm-nél kisebb hullámhosszakon elektronok és ionok közötti rekombinációból származó folytonos spektrumú sugárzás jellemzi a korona sugárzását.

A napszél a koronának egy olyan tartományában jön létre, ahol a részecskék hőmozgásának sebessége felülmúlja a szökési sebességet és a mágneses tér nem gátolja. Az áramlás átlagos sebessége nyugodt Nap esetén kb. 400 km/s. (Markson et al., 1980)



A Nap légkörének különböző tartományai által kibocsátott teljes sugárzási energia a napállandóval jellemezhető. Az ún. Napállandó ( $1367,6 \text{ W/m}^2$ ) üresközökkel végzett mérése azt bizonyítja, hogy értéke néhány ezrelékkal változhat. A változás oka a naptevékenységgel fellépő mágneses alakzatoknak a sugárzás intenzitásnövelését, illetve csökkentését előidéző hatása. Ezek az összetevők az ultraibolya és röntgensugárzás tartományában találhatók, energiafluxusuk több nagyságrenddel kisebb mint a látható színek tartományban. A napállandóhoz az infravörös sugárzás 51%-kal, a látható sugárzás 40%-kal, az ultraibolya sugárzás 9%-kal járul hozzá.

## **1.2. A naptevékenység**

A Nap jelenségei két csoportra oszthatók a nyugodt és aktív Nap jelenségeire.

A nyugodt Nap effektus azt jelenti, hogy a gázgömb belsejében létrejött hatalmas nyomás kikényszeríti az energiatermelő folyamatokat, amelynek hatására energiatranszport jön létre.

Az aktív Nap effektus azt jelenti, hogy a Nap 200 000 km vastag konvektív zónájában turbulens mozgások zajlanak. Miután a Nap anyaga plazma, a mozgó elektromosan töltött részecskék mágneses teret indukálnak, amely visszahat a mozgó részecskékre.

E folyamatok vizsgálatára az elektrodinamika Maxwell-egyenletei és a magnetohidrodinamika törvényszerűségei szolgálnak. A Napon működő folyamatos kölcsönhatások jelenségeit, azaz a Napban és a Nap légkörében lejátszódó változásokat összefoglalóan naptevékenységnek nevezzük.

### **1.2.1. Az aktív Nap jelenségei a napfoltok**

A szabályos időbeli változásokat mutató jelenségek közé tartoznak a naptevékenység elsőként felfedezett megnyilvánulásai a napfoltok, illetve a napfoltok száma.

A napfoltok az aktív Nap, a fotoszféra legjellegzetesebb képződményei. Egy átlagos napfolt mérete összemérhető a Földével. A napfoltoknál megkülönböztethető egy sötét mag az umbra és annak világosabb szegélye a preumbra. A foltokból fejlődésük során csoportok alakulnak ki. Így a foltok legtöbbször csoportosan jelennek meg, melyek általában két részcsoportha oszthatók. A foltok umbrájának hőmérséklete

kb. 1500 K fokkal kisebb hőmérsékletű, mint a környező fotoszféra. Az umbra mágneses tere 1000 Gauss, míg a Nap átlagos mágneses tere 2 Gauss.

Az erős mágneses tér az umbrában lefékezi a konvekciós mozgásokat, így a felszín alatti rétegekből a hő csak hővezetés és sugárzás útján tud a felszínre kerülni. Tehát a folt kisebb hőmérsékletű terület a Nap felszínén. A foltcsoport hosszanti mérete kb. 400 000 km. A legkisebb látható folt átmérője kb. 1 000 km, a legnagyobbaké kb. 200 000 km is lehet. A napfoltok élettartama 1 naptól – több hónapig terjedhet.

A napfoltok száma időben változik. Jellemzésére a Wolf-féle relatív számot (W) vezették be.

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

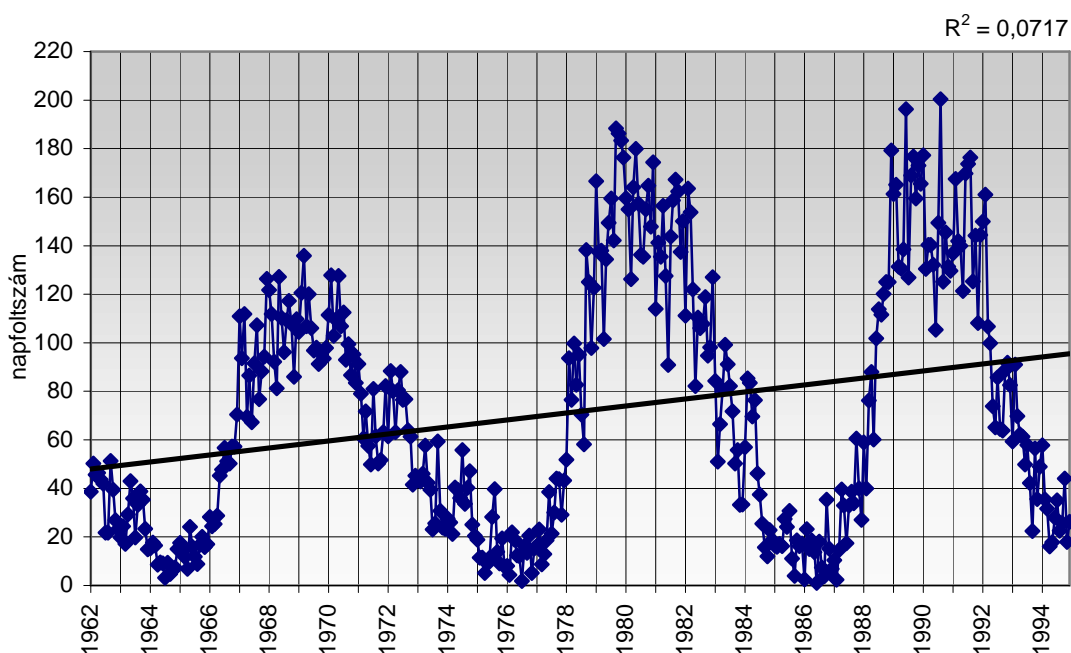
g= a foltcsoport száma

f = foltok száma

k = a távcsőre jellemző állandó

A Wolf-féle relatív szám időben változik, 11,1 éves periodicitást mutat, ez a periodicitás az 1962 – 1994 között, a dolgozatban vizsgált időtartam alatt is jól megfigyelhető. (1. ábra) Megállapítható, hogy egy cikluson belül a napfoltszám eloszlásának a felfutó ága rövidebb, mint a lecsengő ág, azaz aszimmetrikus eloszlást mutat. A napfoltciklus a Napon +45° és -45° heliografikus szélességektől +/- 5°-os szélességgig terjed.

A 45° szélességen túl még nem találtak napfoltokat, de az 5°-os szélességi körtől az egyenlítőig terjedő sávban sem.



1. ábra A napfoltszámok havi értékei 1962-1994 között

A Napon annak háttér mágneses tere és a nagy vezetőképessége miatt érvényes az ún. befagyási tétel. Ez azt jelenti, hogy a mágneses tér szerkezetét a Nap anyaga határozza meg, ha az anyag kinetikus energiasűrűsége nagyobb, mint a mágneses tér energiasűrűsége. Ellenkező esetben fordított a helyzet az anyag mozgása a mágneses erővonal mentén történik. Ez utóbbi a helyzet a Nap erős, zárt erővonalakkal rendelkező területén például a napfoltokban. Mivel a Nap tengely körüli forgásának szögsebessége az Egyenlítő felé haladva növekszik, ezért a fotoszférában a mágneses erővonalcsövek felcsavarodnak.

A plazmával együtt megjelenő mágneses tér a felcsavarodás folyamán kiemelkedhet, legegyszerűbb esetben pozitív és negatív polaritású napfoltok keletkeznek. A forgásirányban elől levő folt a vezető, a másik a követő folt. Ezeket a területeket aktív vidékeknek nevezzük. Az aktív vidékek átlagos szélessége a napciklus során egyre csökken és a ciklus végére az Egyenlítő közelébe ér. A napfoltoknak a keletkezési helyét (heliografikus szélesség) ábrázolva az idő függvényében, egy napfoltciklusnyi időszakra jellegzetes alakot kapunk, amelyet a szakirodalom pillangó- vagy lepke-diagrammnak nevez.

Napfizikai tény, hogy ha az egyik féltekén a vezető folt északi mágnességű, akkor ugyanazon napcikluson belül a másik féltekén a vezető folt mágnessége déli. Amint a napfoltciklus véget ér és a következő megkezdődik a polaritás felcserélődik. Az előjelváltás mindig napfolt minimumkor következik be. Így az eredeti helyzet nem 11 évenként, hanem 22 évenként ismétlődik. (Hale-szabály, vagy a 22 éves mágneses ciklus) (Bencze et al., 1983)

A naptevékenység megközelítően szabályos időbeli változását idézi elő a napfoltok nagy élettartama miatt, a Nap közel 27 napos periodicitással rendelkező tengely körüli forgása. (Labitzke, K., Soukharev, B. 2001) Megfigyelhető jelenség, hogy időnként egy aktív vidék felett instabillá válik a mágneses konfiguráció, majd nagyon rövid idő alatt egy stabilabb formáció jön létre, közben energia szabadul fel, amely a térrészben levő részecskék mozgási energiájának növelésére fordítódik. Ezek egy része a zárt mágneses térből kiszabadulva a bolygóközi térbe távozik, más része a Nap felé tér vissza, amelynek következményeként az erővonalhurok talppontjának a közelében beérkezésekkor a fotoszférát felhevítik látványos fényjelenség kíséretében. Ezt a jelenséget flernek vagy napkitörésnek nevezzük.

A fler látványos, kísérőjelensége az említett koronaanyag kidobódás. Az alakzat egy gigantikus méretű felhőnek tekinthető, amelynek összetartó ereje nem a felületi

feszültség, hanem a mágneses tér. A kidobott anyag tömege átlagos esetben  $10^9$  t, sebessége 20 km/s – 1200 km/s. A nyugodt nap kb. 15 perc alatt bocsát ki ekkora tömegű anyagmennyiséget a napszél révén.

A fler tevékenység ideje alatt a részecskesugárzás növekedése mellett az elektromágneses-sugárzás is megnő. Azok a mágneses erővonalcsövek, amelyek nem alkotnak nagy fluxus sűrűségű napfoltokat, laza halmazokba állnak össze. Az ilyen fluxuscso-együttesek a fotoszférában a napperem környékén látszanak a környezetüknél fényesebbnek, ezért fotoszférikus fáklyáknak, az ennek megfelelő kromoszférában észlelhető jelenséget kromoszférikus fáklyáknak nevezzük.

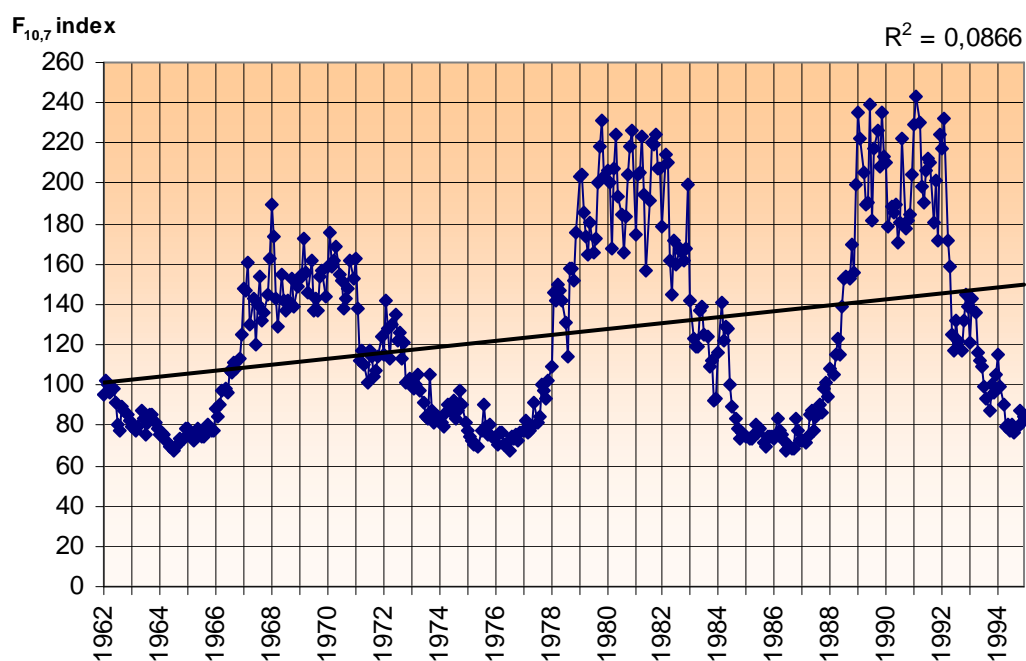
A Nap rotációja miatt gyenge, dipólushoz hasonló háttér mágneses tere a bolygóközi térben spirális szerkezetet hoz létre, mivel itt a gyenge mágneses tér miatt annak szerkezetét az anyag mozgása határozza meg. Az anyag mozgásának irányát pedig a sugárirányú és a rotációs mozgás eredője szabja meg. Így alakul ki a Nap mágneses terének szerkezete a bolygóközi térben, amelyet már bolygóközi mágneses térnek neveznek. Az ellentétes polaritású térfelet nem egy sík korong alakú, szabályos az egyenlítői síkban elhelyezkedő ún. neutrális réteg választja el egymástól, hanem hullámos felület, amit a szakirodalom balerinaszoknyának hív. Azokat a metszsvonalakat, ahol az ekliptika síkja metszi az ellentétes polaritású mágneses félgömböket elválasztó semleges rétegeket, szektorhatároknak nevezzük.

A szabályos szerkezetet az északi és déli félgömb ellentétes irányú mágneses erővonalait más folyamatokból, leginkább a nyitott mágneses térrel rendelkező koronalyukakból kiinduló gyors napszél-nyalábok, illetve a napkitöréseket kísérő plazmakidobódás eredményeként keletkező plazmafelhők zavarhatják meg. Ha a Föld pályájának a síkja a szektorhatáron áthalad a Föld mágneses tér zavaaraiból erre következtethetünk.

A naptevékenység ciklikus változása megmutatkozik a napfoltok, a napfáklyák, flerek és protuberanciák gyakoriságában. A Nap elektromágneses sugárzása a naptevékenységgel összefüggő időbeli változásokat mutat. A változásokról összefoglalóan azt lehet mondani, hogy azok a sugárzás spektrumának rádiófrekvenciás és az ultraibolyánál kisebb hullámhosszúságú (extrém ultraibolya, röntgen) tartományaira korlátozódnak. Az ultraibolyánál kisebb hullámhosszúságú tartománnyal kapcsolatban is megfigyelhető még az, hogy a sugárzás erősségének a változása annál nagyobb, minél kisebb a hullámhossz. Az ultraibolyánál kisebb hullámhosszúságú sugárzás változásai földi szempontból azért érdemelnek figyelmet, mert ez a sugárzás a

Föld légkörének középső és felső részében nyelődik el és így befolyásolja azok állapotát.

A Nap elektromágneses sugárzásának a rádiófrekvenciás tartományát tanulmányozva arra a megállapításra jutottak, hogy a rádiófrekvenciás sugárzásnak a cm-es hullámhosszúságú sávban mért erősségével az ultraibolyánál kisebb hullámhosszúságú sugárzás naptevékenység változását követő ingadozásai pontosabban jellemezhetők, mint a napfolt relatív számmal. (Bencze et al., 1983) Ez a megfigyelés azért jelentős, mert így a naptevékenység megfigyelése a Nap láthatóságától függetlenül történhet. A naptevékenység jellemezésére a legelterjedtebben a 10,7 cm-es (2800 MHz) mért rádiófrekvenciás sugárzás erősségét ( $F_{10,7}$  index) ( $10^{-22} \text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$ ) használják.



2. ábra  $F_{10,7}$  index havi értékei 1962-1994 között

Az  $F_{10,7}$  index havi értékei 1962-1994 között a 2. ábrán láthatók. Megállapítható, hogy a görbe menete hasonló a napfoltszámot megjelenítő görbével, ugyanakkor finomabb szerkezetű. A kettő közötti korreláció értéke  $r=0,98$  (szignifikancia szint 99,9%).

### 1.3. A galaktikus-kozmosz sugárzás

Az éghajlat alakításában, mint extraterresztrikus tényező a galaktikus-kozmosz sugárzás is szerepet játszhat.

Vélhetően Milliken nevéhez fűződik a kozmosz sugárzás elnevezés, amely ma már tudjuk a fotonokon kívüli rendkívül nagy energiájú töltéssel rendelkező nukleáris részecskékből (protonok, könnyű, közepes nehéz atommagok, neutronok) áll. A részecskék áthatoló képessége ennek következtében nagy. A kozmosz sugárzást alkotó részecskék feltételezés szerint galaxisunkon kívülről érkeznek és kölcsönhatásba lépnek azokkal a mágneses mezőkkel, amelyek a galaxisunkban vannak jelen.

A kozmosz sugárzás energiájára  $10^9$  eV és  $3 \cdot 10^{20}$  eV közötti értékeket kaptak. A  $10^{11}$  eV fölötti energiáknál a bolygóközi mágneses tér már nem játszik szerepet. A  $10^{11}$  eV –  $10^{18}$  eV energiáknál pedig a csillagközi mágneses mezők hatása a domináns.

A Napból csak  $10^{10}$  eV-nal kisebb energiájú „kozmosz sugárzás” érkezik főként a flarek, illetve tömegkilökdések (CME) következményeként. Ezért ezt a sugárzást szoláris kozmosz sugárzásnak nevezzük.

A Föld légkörét minden irányból „bombázó” részecskék kb. 70 km magasságig gyakorlatilag energiaveszteség nélkül teszik meg útjukat. Miután a légkörben a Föld felszíne felé közeledve a levegő sűrűsége növekszik, így egyre nagyobb a valószínűsége annak, hogy a részecskék a levegő atomjaiba ütközve, azok elektronhéjából egy elektront szakítsanak ki, az atomot ionizálják.

25 km alatt a galaktikus-kozmosz sugárzást alkotó részecskék atomrombolást is okozhatnak. Az atomrombolás során keletkezik a másodlagos (szekunder) galaktikus-kozmosz sugárzás, összetevői a nukleon, a kemény és a lágy komponens. A nukleon komponens protonokból,  $\alpha$  részecskékből, könnyű atommagokból, neutronokból áll, a kemény komponens  $\pi$  és  $\mu$  mezonokat, a lágy komponens elektronokat és fotonokat tartalmaz. (Bencze et al., 1983)

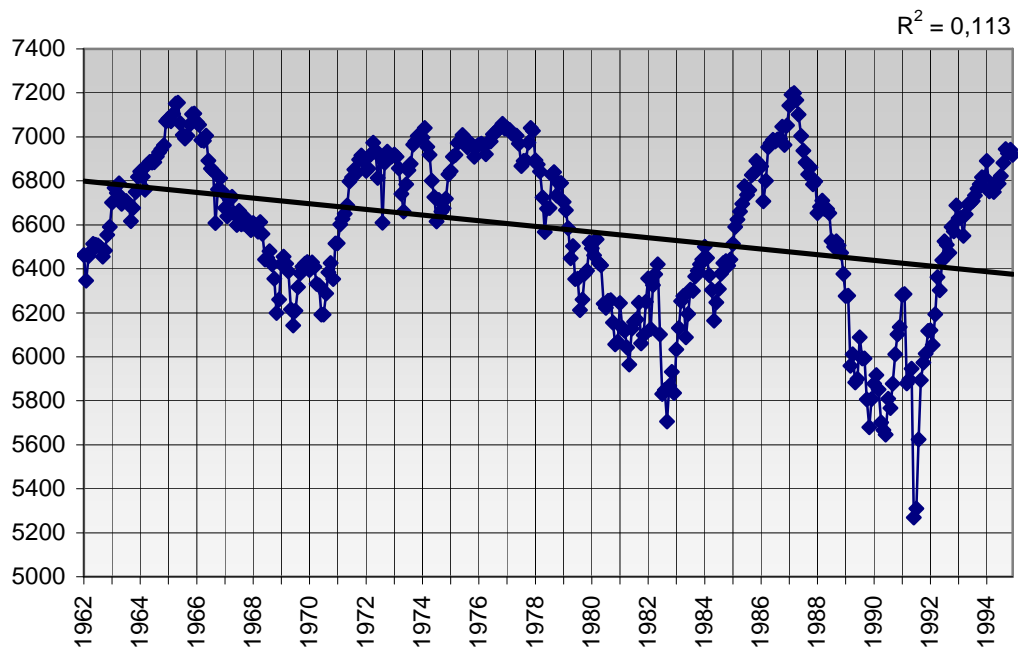
A galaktikus-kozmosz sugárzás primer és szekunder komponense az iránytól független. A mérések alapján a szekunder galaktikus-kozmosz sugárzástól származó ionizáció erőssége a talaj felszínének közelében  $2,1$  ionpár  $\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ , a teljes ionizáció erőssége  $9-10$  ionpár  $\text{cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ . A szekunder galaktikus-kozmosz sugárzás okozta ionizáció erőssége a Föld felszínétől távolodva nő.

A világűrben a Föld légkörébe érkező primer kozmosz részecskék a felsőlégkört alkotó elemekkel kölcsönhatásba lépve magreakciókat idéznek elő. A keletkezett magaktív

másodlagos kozmikus részecskék további reakciókat váltanak ki. A létrejövő légköri radioaktív nuklidok keletkezési sebessége döntőrészt a kozmikus sugárzás energiaspektrumától ennek légkörön belüli változásaitól, illetve az elsődleges és másodlagos kozmikus részecskék jellegétől függ. A radioaktív izotópok többsége másodlagos alacsony energiájú neutronok hatására keletkezik ez utóbbiak fluxusa a geomágneses pólusok közelében kb. négyszer akkora, mint az Egyenlítő fölött (Junge, 1963.). A kozmikus sugárzás hatására keletkezett légköri radioaktív izotópok közül a trícium és a  $^{14}\text{C}$  gáz halmazállapotú. (Junge, 1963.) Ezek légköri ciklusa a víz, hidrogén, illetve szén-dioxid légköri forgalmához kapcsolódik. (Mészáros, 1977.)

A nuklidok keletkezési sebességének vertikális eloszlása a kozmikus sugárzás intenzitásától, illetve a levegő sűrűségétől függ. A nuklidok koncentrációja abban a szintben maximális, ahol a fenti két paraméter szorzata a legnagyobb. A keletkezési sebesség a sztratoszférában a pólusok felé haladva növekszik, ezt a másodlagos neutronfluxus szélességek szerinti eloszlása okozza.

A galaktikus-kozmosz sugárzás intenzitását kifejező mutató (beütésszám) havi átlagait a 3. ábra mutatja be. A neutron becslések intenzitását Deep River (Kanada) állomáson mérték (N45°;W77°, 140 gpm).



3. ábra Galaktikus-kozmosz sugárzás mutatójának havi értékei 1962-1994 között (Neutron becslések intenzitása Deep River, Kanada)

A galaktikus-kozmosz sugárzás intenzitása a naptevékenység kvázi 11 éves ciklusával ellentétes változást mutat. Ennek az oka, hogy a bolygóközi tér

„átlátszósága” – a bolygóközi mágneses térben mutatkozó irregularitásokon történő szóródás miatt - a galaktikus-kozmosz sugárzást alkotó, mintegy 10 GeV-nél kisebb energiájú részecskék (protonok,  $\alpha$  részecskék) számára a naptevékenység növekedésével csökken. A galaktikus-kozmosz sugárzás intenzitása nemcsak a naptevékenységi ciklussal változik, hanem az intenzitás csökkenését idézik elő a szoláris koronalyukakból kiinduló, ún. korotáló gyors napszél-nyalábok is, amelyek szintén irregularitásokat (lökéshullámot) hoznak létre a bolygóközi mágneses térben. A korotáló gyors napszél-nyalábok a naptevékenységi ciklus csökkenő szakaszában a leggyakoribbak és mintegy 27 napos periodicitással ismétlődnek.

Az emberre ható háttérsugárzás összetevői közül a galaktikus-kozmosz sugárzás nem elhanyagolható, tengerszinten a háttérsugárzásnak kb. 30 %-át adja. A háttérsugárzás további része a természetben előforduló radioaktív anyagokból ered.

#### **1.4. A Föld mágneses tere, geomágneses tevékenység**

A Föld felszínén minden irányban szabadon elforduló, súlypontjában felfüggesztett mágnes a helyre jellemző irányba áll be, rá egy erő gyakorol hatást. E tényből következik, hogy a Földet mágneses tér veszi körül.

A mágneses térnek a csillagászati északi iránnyal bezárt szögét, a mágneses elhajlást, Ken-Csung-Csi kínai fizikus ismerte fel 1115-ben. Az első európai elhajlás adatok Columbus feljegyzéseiből maradtak fenn 1492-ből.

A Föld közelítőleg homogén mágnesezett gömbnek tekinthető. Mágneses tere helyettesíthető olyan dipólus terével, amelynek tengelye csak kissé tér el a Föld forgástengelyének irányától. A mágnesezés erőssége  $80\,000\text{ Gauss/m}^3$ . Feltehető, hogy a Föld folyékony belsejében keringő konvekciós és kondukciós áramok felerősödvé hozzák létre a mágneses teret. Az erősítő folyamatot a forgássebesség-különbséget fenntartó forgás idézi elő. Ugyanis feltételezhetjük, hogy a Föld belső tömegei más szögsebességgel forognak, mint a külső tömegei. A Föld belsejében történő változások a föld-mágneses tér lassú változását (évszázados változás) okozhatják. A föld-mágneses tér rövid idejű változásait a Föld magas légkörében lejátszódó jelenségek okozzák. (Beynon et al., 1969)

A mágneses tér változása napi menetet mutat. A szabályos napi menet döntően a Nap hullám-természetű sugárzásának a következménye. A Nap elektromágneses sugárzása a felsőlégkörben ionizációt és felmelegedést okoz. Az ionizáció miatt a



vezetővé vált rétegek a felmelegedés hatására a Föld mágneses teréhez viszonyítva mozgásba jönnek, bennük elektromos áram indukálódik. Ennek mágneses hatása a Föld felszínén szabályos napi hullámként jelenik meg. A szabályosság a sugárzás folyamatos elnyelődésének és a Föld forgásának a következménye. A magaslégtörnek az a része, ahol az említett indukciós eredetű áramrendszer létrejön 90 és 150 km közötti magasságban található és dinamótartománynak nevezik. (Bencze et al., 1983)

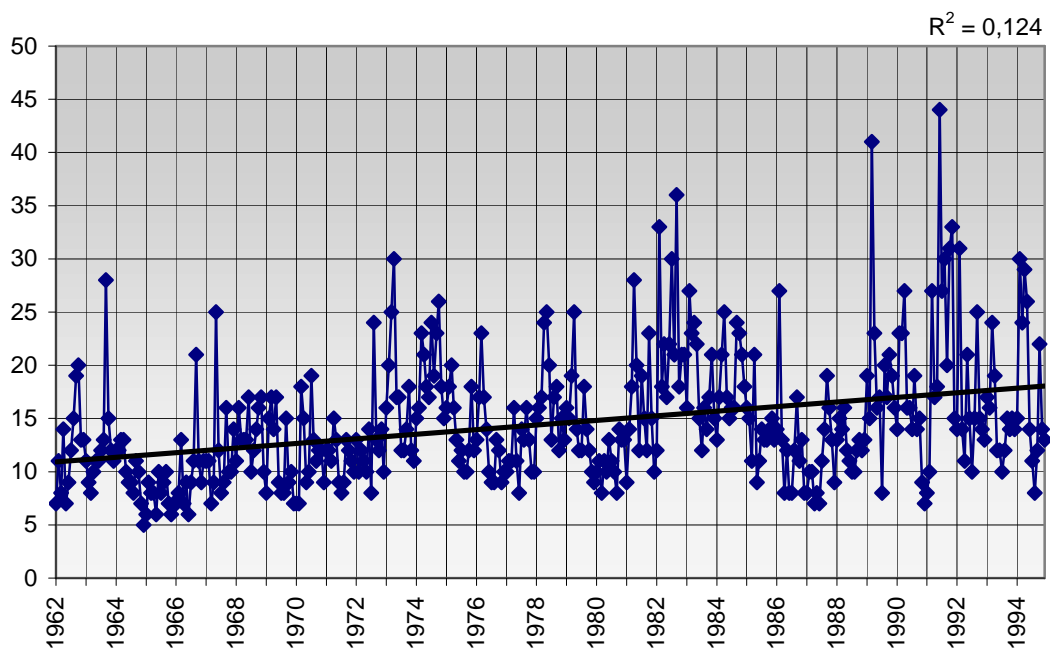
A mágneses tér nem periodikus szabálytalan háborgásai egyes időszakokban gyakrabban, máskor ritkábban jelentkeznek. A gyakoriságok maximuma 11 éves periódust követ, mint a napfoltok. A mágneses tér háborgásaiban a Nap megnövekedett aktivitása jut érvényre. A mágneses háborgások idején általában sarki fény is fellép és a sarki fény gyakoriság ugyanolyan periodicitást mutat, mint a napfoltok gyakorisága, ami a három jelenség között oksági kapcsolatra utal. A szabálytalan mágneses háborgást mérésekkel igazolták, azaz bizonyított tény, hogy okozója a Napból jövő korpuszkuláris sugárzás. Mérésekből az a következtetés vonható le, hogy a kívülről jövő korpuszkuláris sugárzás behatolását a Föld mágneses tere gátolja, azaz a Földet úgynevezett tiltott zónák veszik körül, ahol a részecskék kényszerpályára kényszerülnek. Földünket az ionoszféra fölött nagy magasságban egy újabb légköri tartomány, az úgynevezett sugárzási övek veszik körül.

A magnetoszférának a szerkezete Földünk mágneses erővonalait követi, az erővonalak a pólusok táján konvergálnak. A magnetoszféra keresztmetszetben a Földet gyűrű alakban veszi körül az északi és a déli sarkkörök között. A Nap felőli oldalon az benyomódik, a Nappal ellenkező oldalon kiterjed, mintegy csóvaszerű alakot vesz fel. A magnetoszféra alsó határfelülete 3-5, a felső határfelülete 15-20 földugárnyi távolságban van Földünk felszínétől. A határfelületek magassága a Nap helyzetétől függően, de a naptevékenység hatására is erősen változik. (Ness, 1967)

A Földet a magnetoszféra felső határa, az úgynevezett magnetopauza határolja, mert a folyamatokat eddig a szintig a Föld erőterei befolyásolják.

A jelen vizsgálat során a bonyolult jelenség jellemzésére felhasználtuk a geomágneses tevékenységet kifejező Ap indexet. Az Ap geomágneses tevékenységi indexet azért választottuk, mert skálája lineáris és így nem erősíti fel a kis amplitúdójú zavarokat a nagy amplitúdójú tevékenységhez képest, mint az a Kp logaritmikus skála esetében előfordul. Az Ap indexek időSORA a 4. ábrán látható. Ap index a geomágneses tevékenység alkalmazott napi mutatója. Feymann (1979), Allen (1982) és Coffey et al. (2000) kutatásai bizonyították, hogy nem létezik egyetlen mindent átfogó mutató a

geomágneses tevékenység jellemzésére. Az Ap mutató jól használható a naptevékenység, a bolygóközi mágneses mezők, a szoláris szél, a magnetoszféra és az ionoszféra változásainak kutatásánál.



4. ábra Az Ap index havi értékei 1962-1994 között

## ***2. Az extraterresztrikus tényezők időjárásra gyakorolt esetleges hatása***

Az extraterresztrikus tényezők és azon belül is a naptevékenység és az időjárás közötti összefüggés tanulmányozása energetikai oldalról közelíthető meg. Elfogadott az az alapkövetelmény, hogy az időjárás befolyásolásához annak alakításában szerepet játszó energiákhoz hasonló nagyságrendű energiára van szükség. Keresendő tehát egy olyan hatásmechanizmus, amely a naptevékenység által a légkörbe jutó energiának (sugárzási vagy részecske) csekély változásait felerősíti, így az összemérhető lesz az időjárást alakító energiákkal. Valószínűsíthetően ez a felhőkben adódó latens hő lesz. Azaz az eddigi ismeretek szerint felhőfizikai jelenségek felelősek az energia sokszorozódásáért, amelyet extraterresztrikus hatások okozhatnak.

### **2.1. Örvényességi területi index (VAI = vorticity area index)**

Az örvényességi területi index annak  $10^5 \text{ km}^2$  egységekben kifejezett területnek a nagysága, ahol az 500 hPa-os izobár felületen az abszolút örvényesség  $20 \cdot 10^{-5} \text{ 1/s}$ -nál nagyobb. Az örvényességi terület index a ciklogenezis erősödésének és az alacsony nyomású képződmények mélyülésének a mértéke. (Götz et al., 1981)

Az első fejezetben bemutatott szektorhatár átmenet és az örvényességi terület index kapcsolatára Wilcox és társai (1973, 1974) mutattak rá először. Később Tinsley és társai szignifikáns kapcsolatot abban az esetben tudtak kimutatni, ha korpuszkuláris részecskeáram jutott a légkörbe. Azonban ez a kapcsolat csak akkor jelentkezett, ha a vizsgált időszakban a sztratoszférában vulkáni hamu volt jelen. (Tinsley et al., 1994) A sztratoszférikus aeroszol részecskék jelenlétekor az örvényességi területi index szignifikáns csökkenést mutat a szektorhatár átmenetek körüli napokban. (Kirkland et al., 1996) A szektorhatár átmenet idején megnő a geomágneses tevékenység és megváltoznak a bolygóközi tér paraméterei (napszél sebessége, bolygóközi mágneses tér iránya). A vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a naptevékenység és az örvényességi területi index negatív korrelációt mutat. (5. ábra) Az előző vizsgálatok azzal az eredménnyel is szolgáltak, hogy az izobár szinteken mért szélesebbesség a naptevékenységgel is negatív korrelációt mutat.

A galaktikus-kozmosz sugárzás intenzitásának a napkitörést követő időszakban fellépő csökkenésének (Forbusch csökkenés) következménye az, hogy az örvényességi területi index is csökkenést jelez. (Tinsley és Deen, 1991, Todd et al., 2001)

## **2.2. A légköri elektromosság**

A galaktikus-kozmosz sugárzás intenzitása és a naptevékenység kvázi 11 éves periódusa ellentétes változást mutat. A bolygóközi tér átlátszósága ugyanis a naptevékenység növekedésével a galaktikus sugárzást alkotó, mintegy 10 GeV-nál kisebb energiájú részecskék (protonok, alfa részecskék) számára a szóródási jelenségek miatt csökken. A galaktikus-kozmosz sugárzás intenzitása nemcsak a naptevékenység intenzitásának növekedésekor csökken, hanem csökkenést idéznek elő szoláris koronalyukakból kiinduló ún. korotáló gyors napszélnyalábok is. (Bencze, 2000)

A galaktikus-kozmosz sugárzás intenzitása, mivel elektromos töltéssel rendelkező részecskékből áll, a geomágneses tér jelenlétének következtében a földrajzi szélesség növekedésével nő.

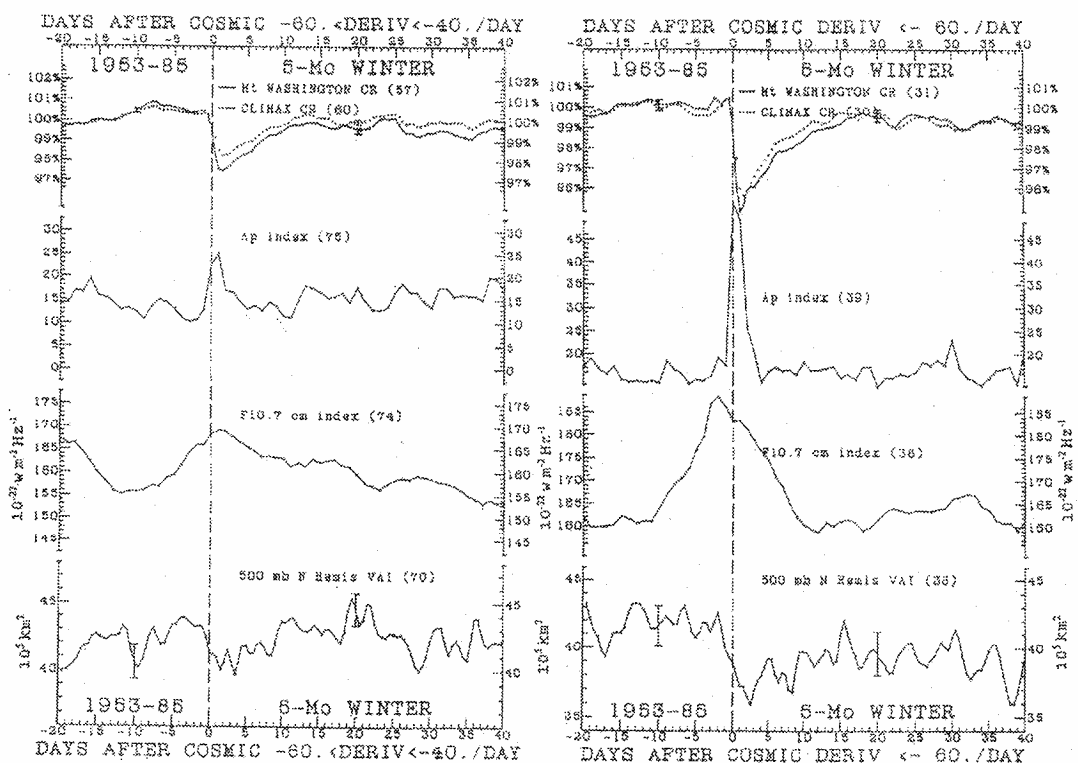
A galaktikus-kozmosz sugárzásnak a légkörre gyakorolt egyik hatása, hogy az intenzitásának növekedésével nő az ionizált részecskék száma, nő az elektromos vezetőképesség. Ezáltal az adott légoszlop elektromos ellenállása csökken, ennek következtében a légköri vertikális áramkörben a vertikális áram nő. Tinsley (1996.b.) a globális elektromos áramkörre vonatkoztatta ezt a folyamatot. Azaz, feltételezése szerint mivel a magasabb földrajzi szélességeken a galaktikus-kozmosz sugárzás intenzitása nagyobb, mint a közepes földrajzi szélességeken, ezáltal az áram erősségek is így változnak a földrajzi szélességgel.

Az aeroszol részecskék hatása a globális légköri áramkörön keresztül érvényesül. A levegő vezetőképessége az aeroszol részecskék koncentrációjától függ. Aeroszol részecskék mozgékonyasága kisebb, ezáltal az ellenállás nő, azaz az áram növekedése ellen hat. (Tinsley et al., 1994)

Az aeroszol részecskék kondenzációs magokként elősegítik a vízgőz lecsapódását és felhők kialakulását. A felhőfizikai folyamatokban a galaktikus-kozmosz sugárzás ionizációs hatása úgy jelentkezik, hogy a 0 °C-os izoterma feletti felhőkben túlhűlt vízcseppek elektromos töltésűvé válnak, így a jéggé történő átalakulásuk felgyorsul, ami látens hő felszabadulásával jár. (Tinsley, 1996.a.)

A felhőből átlagosan 10%-nyi víz távozik csapadékként. A csapadékképződés hatékonyságának növekedésével a távozó felhővíz 11%-ra növekedhet. Ezt a növekedést a galaktikus-kozmosz sugárzás  $10^{-10}$  watt/cm<sup>2</sup> nagyságú energia fluxusváltozása eredményezheti, amely a latens hő energia-felszabadulás folytán  $10^9$ -szeresére növekedhet. A folyamat eredményeként a felhőzet középső részében kevesebb víz marad, ennek elpárolgása is csökkenti a feláramlásba bevont telítetlen levegő hőmérsékletét. Így erősödnek a függőleges mozgások, amelyek kedvező helyzetet teremtenek a ciklonok kialakulásához. A galaktikus-kozmosz sugárzásnak a naptevékenység változásaira visszavezethető modulációja tehát a belső energia  $10^9$ -szeresének megfelelő energiát szabadíthat fel. (Tinsley, 1996.a., Pruppacher et al., 1997)

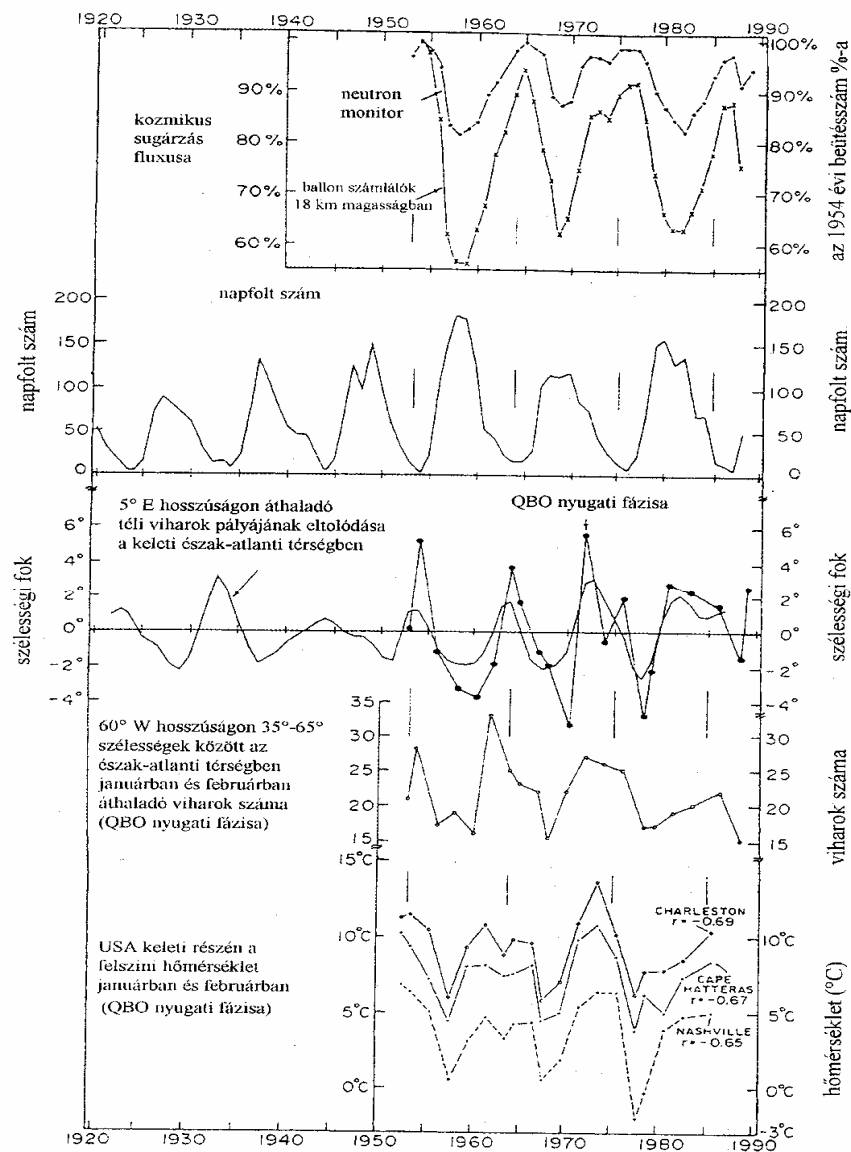
A naptevékenység növekedése következtében a bolygóközi tér átlátszósága a galaktikus-kozmosz sugárzás számára csökken, azaz ha csökken a galaktikus-kozmosz sugárzás intenzitása, csökken az örvényességi területi index is. (5. ábra)



5. ábra A galaktikus-kozmosz sugárzás és az örvényességi területi index kapcsolata gyenge (baloldali ábra) és erős (jobb oldali ábra) geomágneses zavar esetén (Tinsley et al., 1991)

A csökkenő intenzitású galaktikus-kozmos sugárzás által okozott mérséklődő ionizáció következtében csökken a vertikális áram is, valamint a túlhűlt vízcseppek fagyása, a csapadékképződés, ezzel a ciklogenezis körülményei kedvezőtlenebbé válnak. (6. ábra)

A fenti mechanizmus kísérleti bizonyítása teljesült azáltal, hogy sikerült bizonyítani, hogy a galaktikus-kozmos sugárzás növekedésével növekedett a felhőzetben az elektromos töltések koncentrációja, illetve ez fordítva is teljesült. Erre a csúcskísülési áramok regisztrálása adott magyarázatot. A csúcskísülési áram nagysága összefüggésbe hozható a felhőzetben kialakult töltésfelhalmozódás nagyságával.



6. ábra A galaktikus-kozmos sugárzás, a napfoltszám és a ciklusokkal összefüggő viharok számának, valamint a felszíni hőmérsékletnek a változása 1920 és 1990 között (Tinsley et al. 1991)

### 3. Az extraterresztrikus tényezők hatásai az időjárási elemekre

#### 3.1. Adatbázis és az alkalmazott módszerek

A dolgozatban az extraterresztrikus tényezőknek, különös tekintettel a naptevékenységre, az időjárásra gyakorolt hatását vizsgáljuk, 33 éves adatsor alapján a meteorológiai elemek változásainak az elemzésével. Keressük néhány meteorológiai elem változását, amely összefüggésben van a felhőképződés folyamatával, a felhőfizikai folyamatokkal. Ilyennek tartjuk az izobár szintek magasságát, az izobár szinteken mérhető hőmérsékletet, szélereősséget, valamint a nedvesség egyik kifejező paraméterét a kihullható vízmennyiséget.

Az extraterresztrikus tényezők adatsorát, azaz az  $F_{10,7}$  index és a galaktikus kozmikus sugárzás adatait a Solar Geophysical Data prompt reports NOAA, National Geophysical, Colorado US. Department of Commerce, a geomágneses tevékenység indexeit Geomagnetic planetary indices, Institut für Geophysik Göttingen 2000. évi kiadványokból származtattuk.

A magaslégköri adatsort 1962-1994 közötti időszakban Budapest, Pestlőrinc (N47°26'; E19°11', 140gpm) feletti magaslégköri felszállások adatai képezik. A talajtól távolodva a főizobár szinteken a nyomás, hőmérséklet, a skaláris szélesebesség, 150 hPa-ig a relatív nedvesség adatai álltak rendelkezésre. A dolgozatban használt adatok a kiválasztott izobár szinteken a 12 GMT-kor mért havi átlagértékek (a Központi Meteorológiai Intézet Évkönyve, elektronikus adatbázisa).

Ez az adatsor már klimatológiai szempontból is olyan hosszúságú, amely következtetések levonására alkalmas. Az adatsor homogénnek tekinthető, bár ez időszakban a mérési technika változott, a magaslégköri mérések során szondaváltásra került sor, az adatok korrekciója, homogenizálása azonban megtörtént. 1978-tól folyamatosan az RKZ-22 típusú rádiószonda került alkalmazásra.

Az adatsor a naptevékenységi adatokat tekintve három naptevékenységi maximumot (1968, 1979, 1989) és három minimumot fed le (1964, 1976, 1986). (1., 2. ábra) A naptevékenység intenzitását tekintve az 1979 és 1989-es maximumok közel 1,5-szeresei az 1968-as intenzitásnak, az 1968-as érték közel fele az azt megelőző 1957-es maximumnak. A minimum értékek közel azonosak. A naptevékenységet kifejező mutatókat ( $F_{10,7}$  index) összevetve a galaktikus-kozmosz sugárzást kifejező értékekkel ellentétes változást tapasztalunk. A lineáris korrelációs együttható értéke  $r=-0,78$  (szignifikanciaszint: 99%).

A naptevékenységet kifejező mutatónak ( $F_{10,7}$  index) a geomágneses tevékenységet kifejező paraméterrel ( $A_p$  index) való kapcsolatát vizsgálva kisebb pozitív értéket kapunk ( $r=0,25$ , szignifikanciaszint 99%).

A geomágneses tevékenységet kifejező  $A_p$  indexek (1962-1994), valamint a galaktikus-kozmosz sugárzás mértékét kifejező paraméterek közötti kapcsolat gyenge, és negatív korrelációt mutat ( $r=-0,46$ , szignifikancia-szint 99%).

A naptevékenység hatásának bizonyítására a meteorológiai elemek változását az egyenlítői sztratoszféra kvázi – kétéves oszcilláció (QBO) jelenségének mindkét fázisában (nyugati, keleti szelek tartománya) elvégeztük. A vizsgált időszak, azaz a 33 év 396 hónapjának az eloszlását a QBO áramlás két fázisában az 1. sz. táblázat tartalmazza. Ismeretes, hogy a QBO az egyenlítői sztratoszféra átlagos szeleinek a periodicitását foglalja magában és az Egyenlítőre szimmetrikusan helyezkedik el. A naptevékenységgel kapcsolatban végzett eddigi kutatások azt mutatták, hogy a QBO fázisainak hatása magasabb földrajzi szélességeken is jelentkezik. (Quiroz, 1981; Plumb, 1984, Labitzke et al., 1992)

1. sz. táblázat

***A vizsgált hónapok megoszlása a QBO két fázisában***

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Ny	18	18	18	19	15	11	10	14	15	15	16	16
K	15	15	15	14	18	22	23	19	18	18	17	17

A dolgozatban a vizsgált meteorológiai elemek (az izobár szintek magassága, hőmérséklete, skaláris szélessége, a potenciálisan kihullható vízmennyiség), valamint a naptevékenység, galaktikus-kozmosz sugárzás, geomágneses tevékenység közti viszonyt vizsgáljuk lineáris korrelációs együtthatók segítségével. A vizsgált meteorológiai paraméterek, valamint a naptevékenység, a galaktikus-kozmosz sugárzás és a geomágneses tevékenység közti relációt (növekvő, csökkenő) a hozzájuk rendelt korrelációs együttható előjele jelzi. A szignifikanciaszintet a korrelációs együttható aláhúzásával jelöljük. Az egyszeres aláhúzás 95%-os, a kétszeres aláhúzás 99%-os szignifikancia-szintet jelöl.

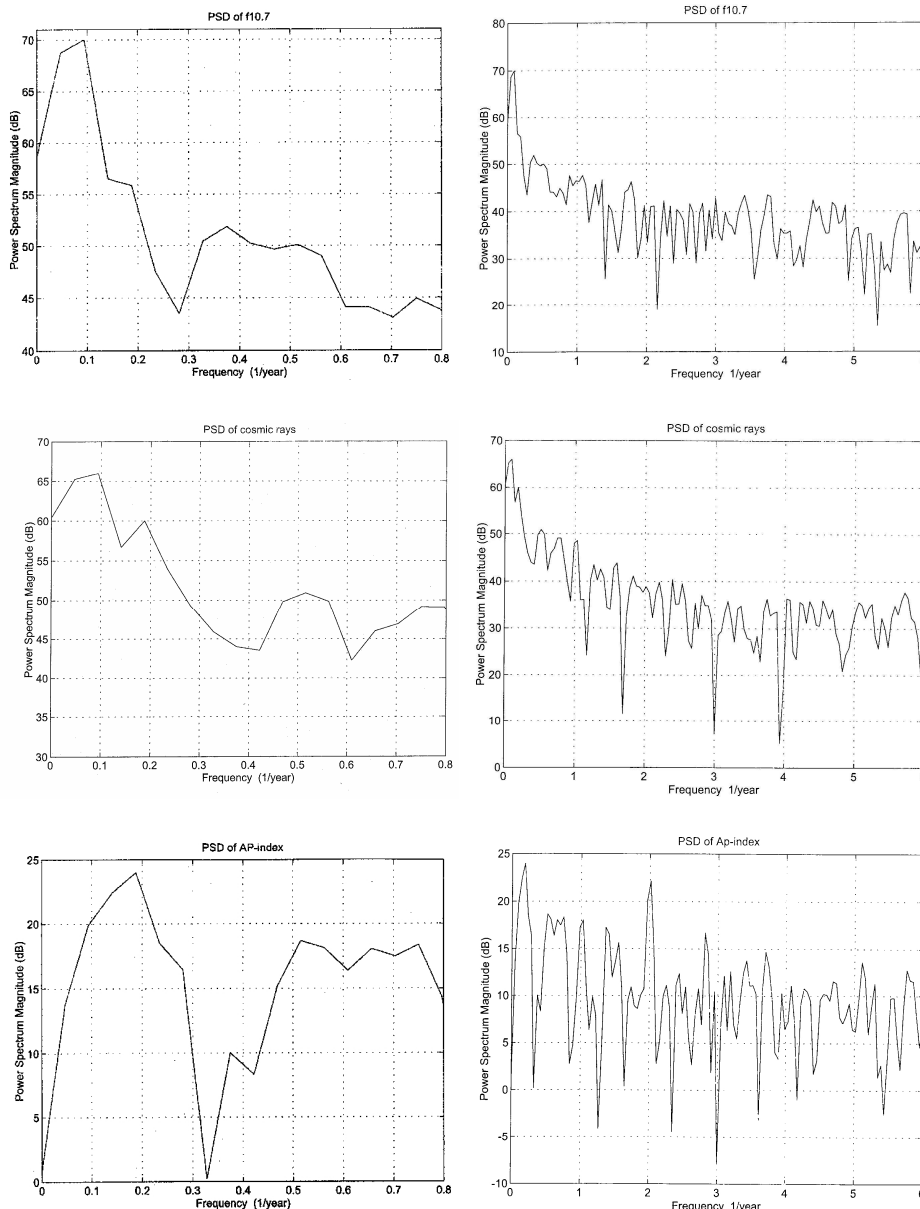
A periodicitások kimutatásához az adatok spektrális analízisét végeztük, amihez a gyors Fourier-transzformációt (FFT) választottuk ki az általánosan alkalmazott módszerek közül. A spektrum komponenseinek amplitúdóját dB-ben adtuk meg. Ennek az egységnek az előnye az amplitúdók közvetlen összehasonlíthatósága olyan esetekben



is, amikor az értékek között több nagyságrendnyi eltérés van. A csúcsok periódusidejét  $\text{év}^{-1}$  egységben adjuk meg. A 7. ábrán az  $F_{10,7}$  index, a galaktikus-kozmosz sugárzás, valamint a geomágneses tevékenység teljesítményspektruma látható. Az  $F_{10,7}$  index esetében domináns a 11 éves periodicitás, kismértékben gyengébben jelentkeznek a 22 éves periodicitás, jóval kisebb amplitudóval egy 7,1 éves, 5,3 éves, valamint 1,9 éves periódus.

A galaktikus-kozmosz sugárzás teljesítményspektrumában megjelenik a 22 éves, a 11 éves, a 7,1 éves, az 5,3 éves és az 1,9 éves periódus. Legnagyobb amplitudóval a 11 éves periodicitás.

Az Ap index teljesítményspektrumában az 5,3 éves, a 4,3 éves, a 2,6 éves, az 1,9 éves és az 1,3 éves periodicitás figyelhető meg. Legnagyobb amplitudó a naptevékenység félperiódusánál jelentkezik.



**7. ábra Az  $F_{10,7}$  index, a galaktikus-kozmosz sugárzás, valamint az Ap index spektrumanalízise dB egységekben. (baloldali ábráról minimum 1,25 éves periódus, a jobboldali ábráról minimum kéthónapos periódus is leolvasható)**

### **3.2. Az extraterresztrikus hatások érvényesülése az izobárszintek magasságára**

A vizsgálatok arra irányulnak, hogy egy adott légoszlop „p” nyomású szintjének a magassága változik-e a 11 éves napciklussal, illetve az azt tükröző  $F_{10,7}$  indexszel, a geomágneses tevékenységgel, a galaktikus-kozmosz sugárzással, azaz milyen hatással vannak ez utóbbiak változásai a troposzféra és a sztratoszféra izobárfelületeire. A nyomásfelület magasságának vizsgálata mellett azért döntöttünk, mert egy integrált meteorológiai paraméternek tekinthető, amellyel jellemezhető a légoszlopban lejátszódó fizikai folyamatok összessége. A magasságértékeket gpm-ben adjuk meg.

Feltételeztük, hogy a hatásmechanizmus döntőrészt a sztratoszférában jelentkezik, de a változások különböző mértékben a troposzférában is észlelhetők, azaz feltételeztük, hogy a sztratoszféra nyomásviszonyainak, izobárfelületek magasságviszonyainak alakulása az alsó troposzféra időjárására is hatással lehet.

K. Labnitzke és H. van Loon 1998-ban 30 hPa és 10 hPa-os szintek magasságát vizsgálta a 11 éves napfoltciklus függvényében. A vizsgálatokat az 1958-1974 közötti időszakra már ezt megelőzően elvégezték, de az az északi szélesség 10. fokától az északi pólusig terjedő területre korlátozódott. A Nemzeti Környezeti Előrejelző Központ (NCEP) és a Nemzeti Légkörkutató Központ (NCAR) felállításával lehetővé vált (Kalnay et al., 1996) az egész Földre kiterjedő vizsgálat is.

#### **3.2.1. Az izobárszintek magassága a troposzférában**

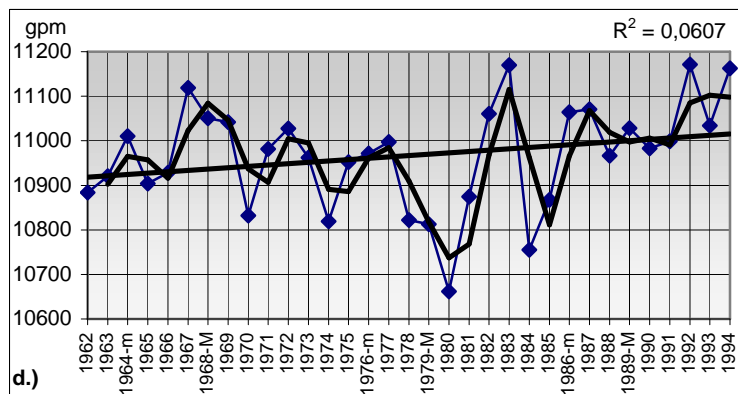
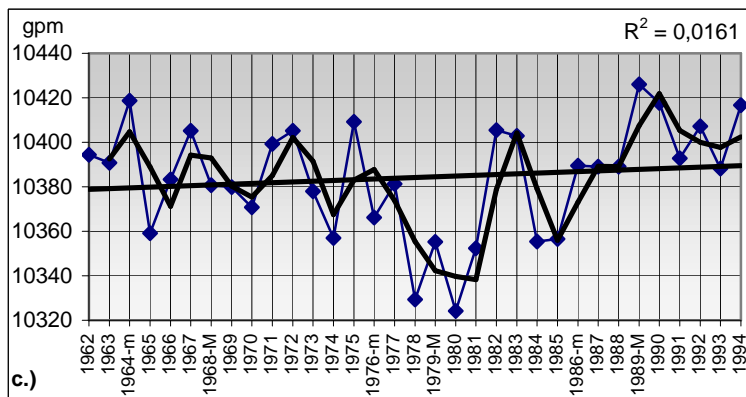
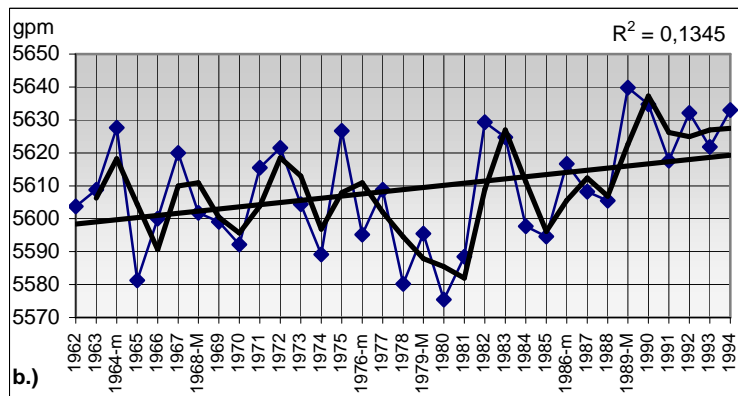
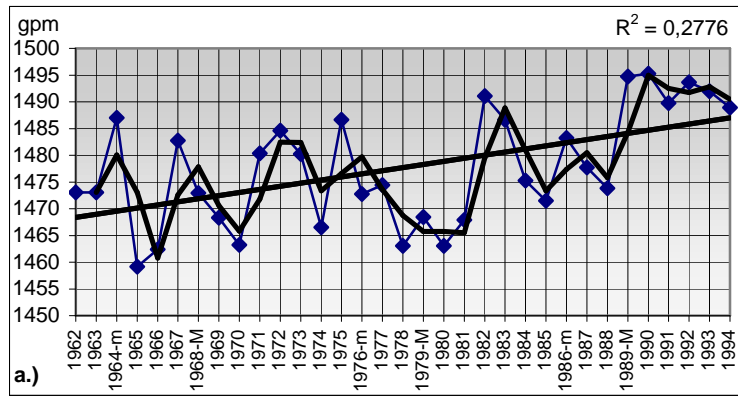
A jelen vizsgálat 1962-1994 évek közötti időszakot dolgozta fel egy helyre, a Budapest feletti légtérre vonatkozóan. A tropopauza átlagos nyomása 231 hPa, így a vizsgálatba bevont 850, 500, 250 hPa-os szint a troposzférában helyezkedik el. Az átlagos magasságok évszakos változásait tekintve a vizsgált szintek közül a 850 hPa kiegyenlített csekély változást mutat, nyári-őszi maximummal és téli minimummal. Hasonló jellegű a tropopauza magasságának évszakos változása, az alatta elhelyezkedő szintekhez viszonyítva azonban jelentősebb változékonysággal. (2. sz. táblázat) A további vizsgált szinteket a nyári maximumok, a téli minimumok és az átlagos változékonyság jellemzi.

***A vizsgált izobár szintek (850 hPa, 500 hPa, 250 hPa) és a tropopauza szintjének  
átlagos magasságai évszakonként, gpm-ben (1962-1994)***

<b>Évszak</b>	<b>850 hPa</b>	<b>500 hPa</b>	<b>250 hPa</b>	<b>Tropopauza szintje</b>
Tél	1452	5506	10195	10518
Tavaszi	1463	5588	10338	10653
Nyár	1502	5713	10577	11368
Ősz	1510	5698	10544	11696
Év	1478	5609	10384	10967

A vizsgált szintek magasságainak időszora a 8. a-d. ábrán láthatóak. A vizsgált szintek magasságának 1962-1994 közötti időszora a tropopauzáig hasonlóan változik, az említett időszakban mindegyikre a magasság növekedése a jellemző. A növekedő jelleg az idősor végén domináns, a geopotenciális magasságok abszolút maximumai ezen időszakban figyelhetők meg.

Az izobár szint magasságok közül a legnagyobb változékonyságot a tropopauza szintje, a legkisebbet a 850 hPa-os szint mutatja. Megfigyelhető az is, hogy a tropopauza magassága szoros korrelációt mutat (szignifikanciaszint: 99%) az alsó szintek magasságával,  $r(\text{tropopauza, 850 hPa}) = 0,83$ ;  $r(\text{tropopauza, 500 hPa}) = 0,90$ ;  $r(\text{tropopauza, 250 hPa}) = 0,90$ .



8. ábra A 850 hPa (a), az 500 hPa (b), a 250 hPa (c), a tropopauza (d) szint magasságának időszora (1962-1994)  
(vastagított görbe a kétéves mozgóátlag menete)

### 3.2.1.1. Az 500 hPa-os szint magassága

A troposzférikus hatások részletesebb vizsgálatára az 500 hPa-os szintet választottuk, ugyanis a troposféra középvonalában helyezkedik el és az évszakos változékonysága a vizsgált szinteken tapasztalt változékonyságokhoz viszonyítva átlagos mértékű. A szint már olyan magasságban fekszik, hogy a felszín közvetlen hatása nem érvényesül, de a csapadékképződés és a légköri képződmények szempontjából jelentőséggel bír.

Az 500 hPa-os szintmagasság évi átlagainak időszora növekedést mutat, amely azt jelenti, hogy a közel 5 km vastagságú légréteg tágul.

A szint magasságának a naptevékenységgel, azaz a  $F_{10,7}$  indexszel mutatott korrelációja gyenge és pozitív irányultságú a téli hónapokban, a nyári hónapokban a kapcsolat nem értékelhető. Értékelhetőbb eredményt mutat az 500 hPa-os szint magassága és a geomágneses tevékenység közötti korreláció. Megállapítható, hogy a geomágneses tevékenység hatása a szint magasságára jelentősebb mint a naptevékenység hatása. A galaktikus-kozmosz sugárzás és a szint magassága a január és a március hónapokban a szignifikáns érték körüli negatív korrelációt mutat. (3. sz. táblázat) Általában az izobárszint magassága és az  $F_{10,7}$  index, illetve a geomágneses tevékenység közötti korreláció előjele, az izobár szint magassága és a galaktikus-kozmosz sugárzás közötti korreláció előjelével ellentétes.

3.sz. táblázat

#### *Az 500 hPa-os szint magasságának*

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmosz sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

N=33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	0,29	0,27	0,26	-0,28	-0,23	-0,11	0,04	0,02	-0,04	-0,15	-0,04	-0,20
b)	<u>-0,33</u>	-0,12	-0,32	0,11	0,07	0,06	-0,09	-0,16	-0,10	0,08	-0,08	0,14
c)	<u>0,33</u>	0,17	<u>0,42</u>	<u>-0,35</u>	0,00	-0,06	-0,09	0,11	0,22	<u>-0,42</u>	0,26	0,20

A táblázatokban a 95%-os szignifikanciával rendelkező értékeket egy aláhúzással, a 99%-os szignifikanciával rendelkező értékeket kettős aláhúzással jelöljük.

A QBO fázisainak függvényében vizsgálva a kapcsolatot a nyugati fázisban áprilisban és szeptemberben (negatív), a keleti fázisban január és február hónapokban (pozitív) jelennek meg értékelhető korrelációs értékek az  $F_{10,7}$  index és a szint magassága között. (4. sz. táblázat) Mindkét fázisban egy-egy kivétellel a téli hónapok értékei pozitív előjelűek. A szint magasságának a galaktikus-kozmosz sugárzással, geomágneses tevékenységgel mutatott értékelhető kapcsolata szintén a keleti fázis téli hónapjaiban jelentkezik. Ezek általában nagyobb mértékűek, mint az  $F_{10,7}$  index és a szint magasságának kapcsolata. A szintmagasság és a naptevékenység között a nyugati fázisban a téli és a tavaszi átmenetkor szignifikáns korreláció figyelhető meg. A szint magasságának a galaktikus-kozmosz sugárzással jelentkező szignifikáns korrelációja a QBO fázistól függetlenül negatív. Itt is érvényes az a megállapítás, hogy az izobárszint magassága és az  $F_{10,7}$  index, valamint a geomágneses tevékenység közötti korreláció előjele általában ellentétes az izobárszint magassága és a galaktikus sugárzás közötti korreláció előjelével.

4.sz. táblázat

***Az 500 hPa-os szint magasságának***

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
  - b) galaktikus-kozmosz sugárzással
  - c) geomágneses tevékenységgel
- számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	0,17	0,18	0,42	<u>-0,43</u>	-0,22	-0,40	-0,07	0,30	-0,43	-0,24	0,20	-0,33
a)	K	<u>0,64</u>	0,45	0,16	0,02	-0,07	0,01	0,22	0,02	0,22	-0,09	-0,24	0,08
b)	NY	-0,10	0,24	<u>-0,50</u>	0,26	0,00	0,28	-0,09	-0,21	-0,06	0,14	-0,23	0,26
b)	K	<u>-0,51</u>	-0,35	-0,12	-0,04	0,10	-0,01	-0,07	-0,16	-0,19	0,03	0,08	-0,02
c)	NY	-0,04	<u>-0,44</u>	<u>0,49</u>	-0,31	-0,12	-0,17	-0,24	0,20	0,36	-0,32	0,43	0,11
c)	K	<u>0,74</u>	<u>0,49</u>	0,38	0,40	0,06	-0,09	-0,14	0,13	-0,14	<u>-0,45</u>	0,18	0,27

Valamennyi QBO fázisaiban végzett vizsgálatok adatszámait a fázis és a hónap függvényében az 1. sz. táblázat tartalmazza.

### 3.2.2. Izobárszintek magassága a sztratoszférában

A sztratoszférában a vizsgálatok viszonylag a tropopauzához közeli 150 hPa-os valamint a 30, 20, 10 hPa-os szintekre irányultak. A vizsgálatba bevont szintek az alsó, illetve középső sztratoszférában találhatóak, amelyek az ózonképződés szempontjából kiemelt jelentőséggel bírnak. (5. sz. táblázat)

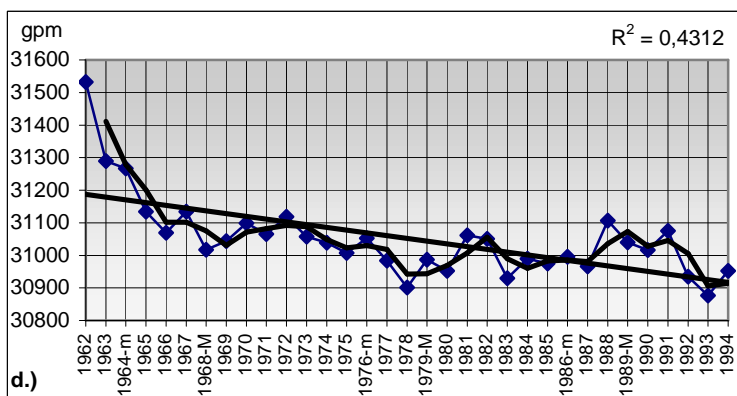
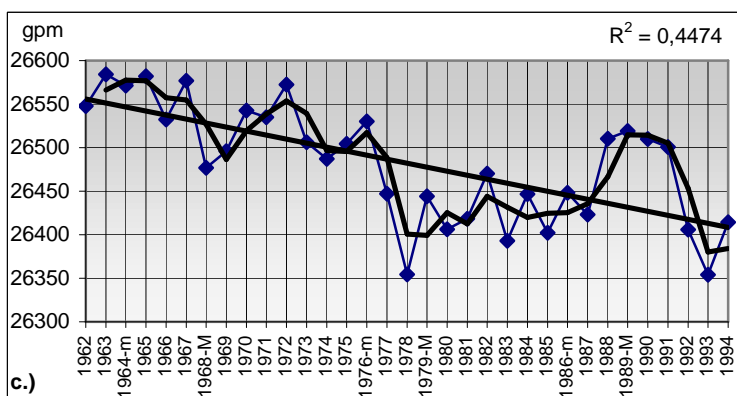
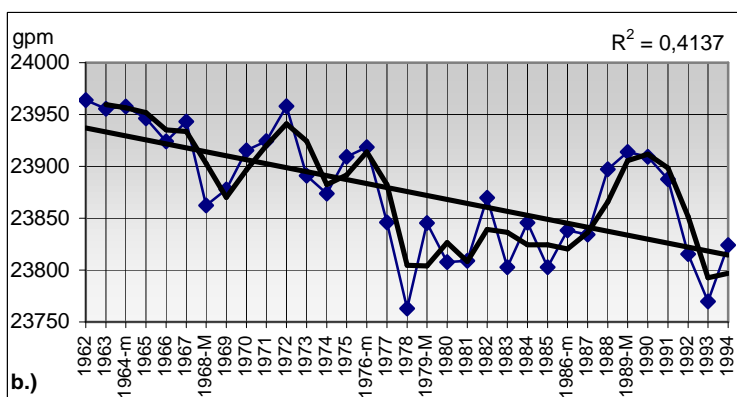
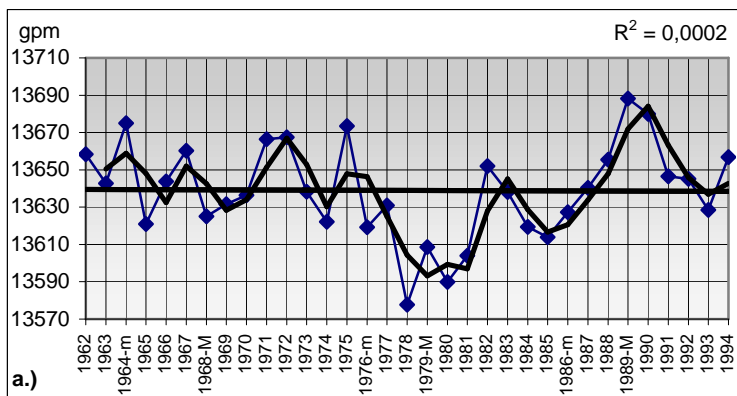
5. sz. táblázat

*A vizsgált izobár szintek (150 hPa, 30 hPa, 20 hPa, 10 hPa) átlagos magasságai évszakonként, gpm-ben*

<b>Évszak</b>	<b>150 hPa</b>	<b>30 hPa</b>	<b>20 hPa</b>	<b>10 hPa</b>
Tél	13418	23523	26068	30476
Tavaszi	13467	23716	26310	30823
Nyár	13870	24252	26925	31606
Ősz	13789	23990	26602	31159
Év	13639	23876	26482	31052

Az előzőekben látható volt, hogy a szintmagasságok trendje növekedést mutatott, mind a troposzféra, mind a tropopauza vizsgált szintjein.

A vizsgált szintek közül a sztratoszférában lévő 150 hPa-os szint az, ahol az éves idősorban a magasságok trendje nem nő. A további felette elhelyezkedő vizsgált szinteken 30 hPa, 20 hPa, 10 hPa-on a magasságok trendje csökkenést mutat, közepes erősséggel, 95%-os szignifikanciával. (9 a-d. ábrák) A csökkenés főként a tavaszi és a nyári évszakokban jelenik meg határozottan. (13., 15., 17. ábrák) Az izobár szintek évi átlagos magasságára vonatkozó adatsorok trendvonalának  $R^2$  értékei a 150 hPa-os szinttől kezdődően nőnek, a trendek legalább 95%-os szinten szignifikánsnak tekinthetők, ez egyúttal a változékonyság csökkenését is jelenti.

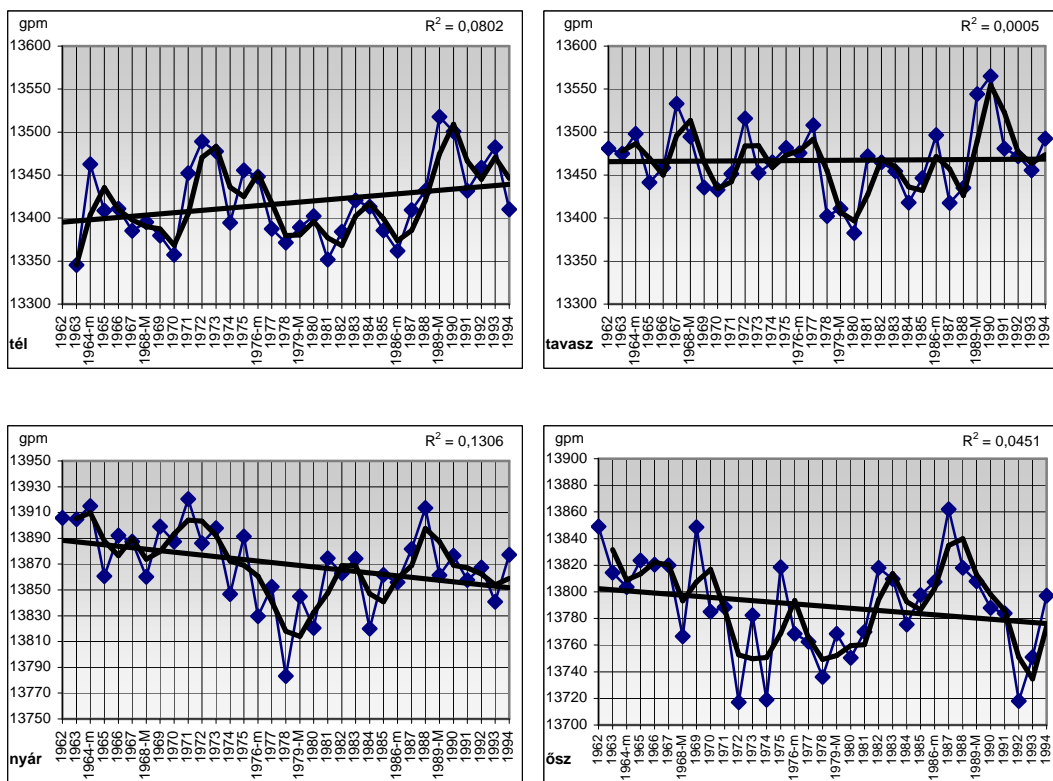


9. ábra A 150 hPa (a), a 30 hPa (b), a 20 hPa (c), a 10 hPa (d) szint magasságának idősora



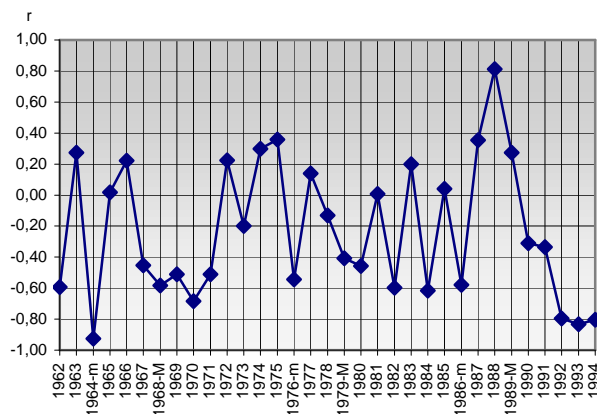
### 3.2.2.1. A 150 hPa-os szint magassága

A 150 hPa-os szint átlagos geopotenciális magassága 13639 gpm. Ez a szint az alsó sztratoszférában található. Az éves magasságtalagok idősorát tekintve e szinten az izobárszint magassága közel azonosnak tekinthető. (9.a. ábra) Az évszakonkénti vizsgálatnál a csökkenés a nyári, őszi évszakban 95 %-os szignifikanciával már tapasztalható.  $\Delta h = 2$  gpm/év. (10. ábra) Az ábrákból leolvasható, hogy a geopotenciális magasság szélsőértékei nem a naptevékenység minimuma és maximuma időszakában jelentkeznek.



10. ábra A 150 hPa-os szint magassága évszakonként

A 150 hPa-os szint magasságának és az  $F_{10,7}$  index korrelációinak éves átlaga  $r=-0,23$ . A 11. ábrán az idősből látható, hogy a minimális érték  $r=-0,93$ , a maximum érték  $r=0,81$ . A szintmagasság és a galaktikus-kozmikus sugárzás közötti korreláció éves átlaga  $r=0,19$ , ugyanez az érték a szintmagasság és a geomágneses tevékenység között  $r=-0,07$ .



11. ábra A 150 hPa-os szint magasságának és a F<sub>10,7</sub> index korrelációjának időszora (1962-1994)

A 150 hPa-os szint magasságának korrelációja az F<sub>10,7</sub> indexszel április és a május hónapokban mutat negatív korrelációjú gyenge kapcsolatot, míg a téli évszakban a korrelációk pozitív értékűek. (6. sz. táblázat) A szint magassága és a geomágneses tevékenység közötti kapcsolat a téli hónapokban erősebb mint a szint magasság és a naptevékenység esetében. A téli hónapok korrelációjának előjele pozitív, míg a nyári hónapoké általában negatív. A szint magassága és a galaktikus-kozmikus sugárzás erőssége közötti korreláció előjele - az előző szinten tapasztaltaknak megfelelően - ellentétes, a téli hónapokban negatív, nagysága közelítőleg azonos a naptevékenységnél tapasztalt értékkel. Az is feltűnő, hogy a galaktikus sugárzás és a szint magassága közötti korrelációk akkor nagyobb értékűek, amikor a korrelációs együtthatók a szintmagasság és az F<sub>10,7</sub> index vagy a geomágneses tevékenység közt is jelentősek.

6.sz. táblázat

*A 150 hPa-os szint magasságának*

- a) F<sub>10,7</sub> indexszel
- b) galaktikus-kozmikus sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

N=33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	0,24	0,23	0,27	-0,32	-0,32	-0,18	0,08	-0,04	-0,11	-0,13	-0,18	-0,08
b)	-0,27	-0,07	-0,32	0,13	0,18	0,14	-0,06	-0,04	-0,06	0,01	0,00	0,05
c)	<u>0,33</u>	0,09	<u>0,43</u>	-0,40	-0,06	-0,20	-0,04	-0,04	0,16	-0,32	0,11	0,24

A QBO két fázisa szerint végezve a vizsgálatot a szint magassága és az  $F_{10,7}$  index, vagy a geomágneses tevékenység között a korreláció a keleti áramlásnál a téli hónapokban pozitív, a szint magassága és a galaktikus-kozmosz sugárzás esetében ekkor negatív előjelű. A nyugati áramlásnál a szint magassága és a naptevékenység, vagy a geomágneses tevékenység esetében a szignifikáns kapcsolat negatív előjelű. Mindkét fázisban a jelentősebb kapcsolat télen, illetve tavasszal tapasztalható. Általában itt is ellentétes az izobárszint magassága és az  $F_{10,7}$  index, illetve a geomágneses tevékenység közötti korreláció előjele az izobárszint magassága és a galaktikus-kozmosz sugárzás közötti korreláció előjelével. (7. sz. táblázat)

7.sz. táblázat

*A 150 hPa-os szint magasságának*

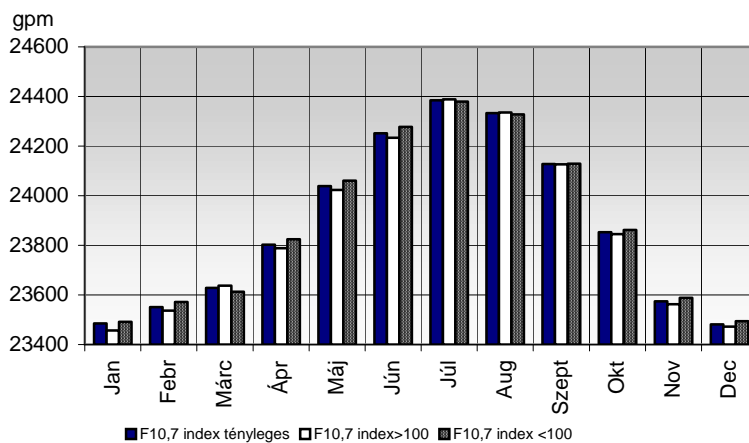
- a)  $F_{10,7}$  indexszel
  - b) galaktikus-kozmosz sugárzással
  - c) geomágneses tevékenységgel
- számított korrelációi a **QBO** mindkét fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	-0,08	0,07	0,33	<u>-0,52</u>	-0,39	-0,50	-0,22	-0,16	-0,42	-0,05	-0,25	-0,31
a)	K	<u>0,55</u>	0,39	0,21	-0,07	-0,24	0,01	0,21	0,06	0,16	-0,17	-0,28	0,15
b)	NY	0,03	<u>0,45</u>	-0,38	0,35	0,04	0,26	0,06	0,09	0,06	-0,03	0,08	0,12
b)	K	<u>-0,54</u>	-0,39	-0,26	-0,15	0,34	0,09	-0,12	-0,18	-0,23	0,03	0,11	-0,08
c)	NY	0,01	<u>-0,58</u>	0,37	-0,40	0,07	-0,34	<u>-0,59</u>	-0,31	0,21	-0,25	-0,32	0,11
c)	K	<u>0,76</u>	0,41	<u>0,51</u>	-0,42	-0,32	-0,20	0,05	0,14	-0,02	-0,38	0,08	0,36

### 3.2.2.2. A 30 hPa-os szint magassága

A naptevékenység hatásának kimutatása szándékával a 30 hPa-os szint magasságának havi átlagait két kategóriába soroltuk. A besorolás alapjául a hónapra jellemző  $F_{10,7}$  index szolgált. Az első kategóriába azok a hónapok kerültek, amikor az  $F_{10,7}$  index értéke  $\geq 100$ , a második kategóriába azok a hónapok kerültek, amikor  $F_{10,7}$  index értéke  $< 100$ . Az első kategória a naptevékenységi maximum időszakát, a második a minimum időszakát reprezentálja. A 12. ábra a tényleges magasságértékek, valamint a két kategória magasságértékeinek havi értékeit, az évi menetet mutatja. Megállapítható, hogy a naptevékenységi minimum és maximum időszakában a havi átlagok között szignifikáns különbség nem áll fenn. A szint magasságértékei általában a naptevékenységi minimum időszakában meghaladják a maximum időszakában megfigyelhető magasságértékeket. Kivétel július, augusztus hónapokban figyelhető meg, amikor a naptevékenységi maximum kategóriájába sorolt hónapok szintmagassága kismértékben meghaladják a naptevékenységi minimum értékeit. A további megállapítások a kategóriák elhagyásával történnek.

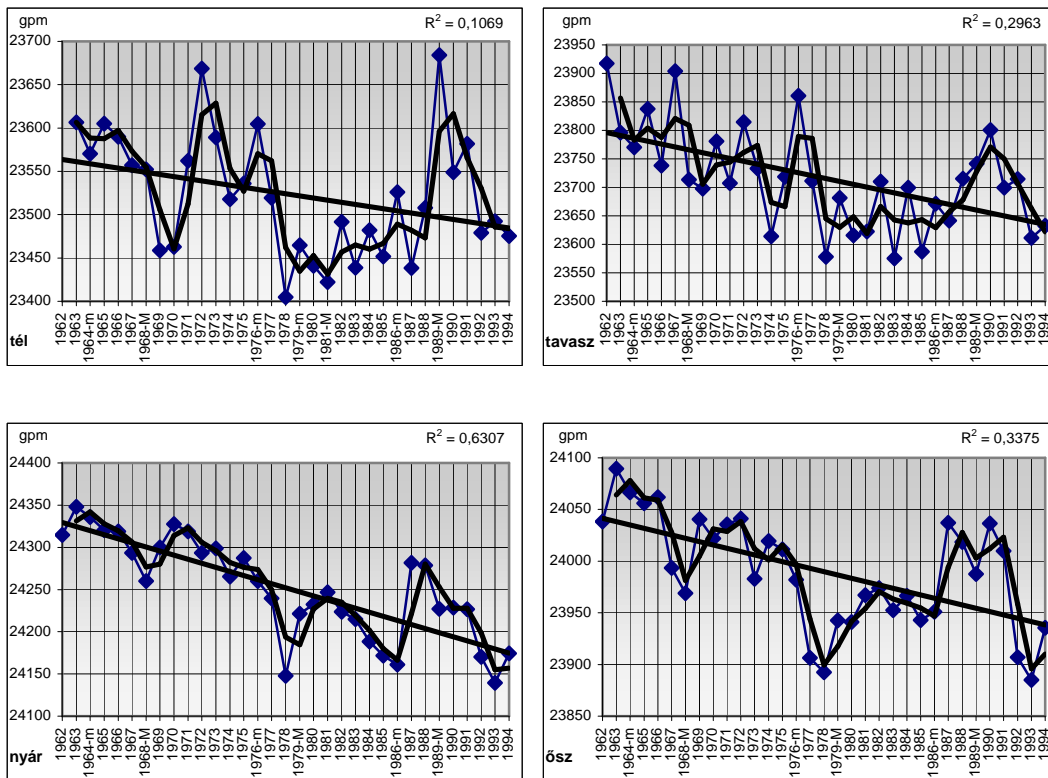
A 30 hPa-os izobár-szint átlagos magassága a vizsgált időszakban (23876 gpm). A havi átlagok az 12. ábrán láthatók.



12. ábra A 30 hPa-os szint magasságának havi értékei

A 12. ábra azt mutatja, hogy az évi változékonyság nagysága közel 1000 gpm. A 33 éves adatsor alapján a geopotenciális magasság trendje csökkenő tendenciát mutat. A lineáris trendvonalra vonatkozó korrelációs együttható  $R^2$  értéke 0,41. (9.b. ábra) A számított csökkenés mértéke 33 évre vonatkozóan télen 160 gpm, tavasszal 180 gpm, nyáron 150 gpm, ősszel 80 gpm. A trendvonalra vonatkozó  $R^2$  értéke a tél kivételével a kapcsolat szorosságát mutatja, 95 %-os szignifikancia szinten. (13. ábra)

Az évszakonkénti idősorokból itt is leolvasható, hogy a szint magasságának lokális szélsőértékei nemcsak a naptevékenység maximumok, illetve minimumok időszakában jelennek meg.



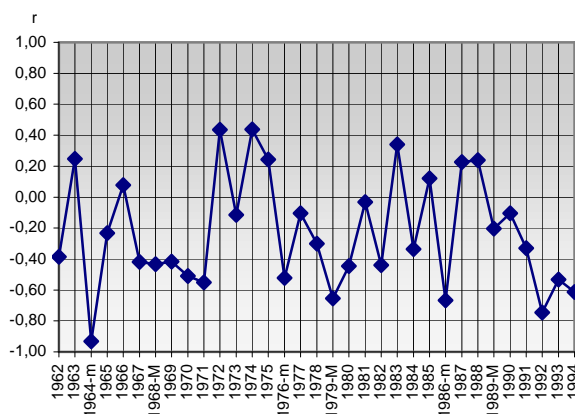
13. ábra A 30 hPa-os szint magasságának idősora évszakonként (1962-1994)

A 30 hPa-os szint és a tropopauza alatt található 250 hPa-os szint (magassága 10384 gpm) átlagos távolsága a 30 hPa-os szinttől 13492 gpm. A két szint magasságának változása közötti korreláció - függetlenül attól, hogy a tropopauza a szinteket elválasztja -  $r=0,89$  nagyon szoros, 99%-os szignifikanciával. A 30 hPa-os szint magasságának változása a troposzférában elhelyezkedő 500 hPa-os szint magasságának változásával szoros korrelációt mutat (szignifikancia szint 99%)  $r=0,86$ .

Közepes korreláció ( $r=0,63$ ) mutatkozik a 30 hPa-os és 850 hPa-os szint magassága között. Az éves átlagértékek közötti korrelációk a szintek közötti kapcsolatban jelentősen gyengébb korrelációt mutatnak.

A fentiek alapján feltételezhető, hogy a sztratoszférában található 30 hPa-os szint magasságának változása alapján következtetni lehet az alacsonyabban elhelyezkedő rétegek magasságának a változására. Ha tehát az extraterresztrikus tényezők hatását ki tudjuk mutatni a sztratoszférában, akkor az alsó rétegek változására is következtethetünk.

A 30 hPa-os szint magasságának a napfoltciklust jellemző 10,7 cm hosszúhullámú sugárzás értékeivel fennálló kapcsolatát K. Labitzke és H. van Loon (1998) vizsgálta az északi szélesség 45 fokánál, közelítőleg  $r=0,7$  korrelációs értéket talált 1968-1996 közötti időszakban (29 év), 99 %-os szignifikanciával. A jelen tanulmány, amelyben az 1962-1994 közötti időszakot vizsgáltuk, a Budapest felett mért adatok alapján, a 30 hPa-os szint magassága és az  $F_{10,7}$  index között jóval kisebb mértékű és ellentétes előjelű  $r=-0,23$  érték adódott. Az éves átlagértékeket tekintve a maximális értékek,  $r=0,43$ , a minimális érték  $r=-0,93$ . (14. ábra) A globális adatokból származtatott  $r$  értékeknek jelentős eltérése miatt megállapítható, hogy a regionális léptékű hatásmechanizmusok figyelembevétele szükséges. Ha a 30 hPa izobárszint magasságának hosszú időtartamú változása csökkenő tendenciát mutat (9.b. ábra), az  $F_{10,7}$  index pedig növekvő értéket (2. ábra), akkor a kettő közötti korreláció csak negatív lehet.



14. ábra A 30 hPa-os szint magasságának és a  $F_{10,7}$  index korrelációjának időszora (1962-1994)

A havi korrelációs értékekből a Budapest feletti felszállások eredményei alapján a 30 hPa-os szint magassága és az  $F_{10,7}$  index, a galaktikus-kozmosz sugárzás, a geomágneses tevékenység közötti korrelációt tekintve a geomágneses tevékenység

esetében a tavasz és nyár közötti átmenetre (április, május, június),  $F_{10,7}$  index esetében november hónapra értékelhető (95%-os szignifikancia szint) negatív korrelációs értékek adódnak, míg a többi hónapban ez nem figyelhető meg. (8. sz. táblázat) A szint magasságának a galaktikus-kozmosz sugárzással mutatott kapcsolata a 30 hPa-os szinten értékelhetetlen, a korreláció pozitív előjele azonban jelzi a galaktikus-kozmosz sugárzás hatásának irányultságát. A geomágneses tevékenység, illetve a naptevékenység és a szintmagasság közötti korrelációk változása azonos irányultságú, a geomágneses korrelációs tényező hatása azonban dominánsabbnak értékelhető.

8. sz. táblázat

**A 30 hPa-os szint magasságának**

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
  - b) galaktikus-kozmosz sugárzással
  - c) geomágneses tevékenységgel
- számított korrelációi (1962-1994)

N=33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	-0,06	0,10	0,06	-0,24	-0,23	-0,20	-0,07	0,01	-0,17	-0,10	<u>-0,33</u>	-0,04
b)	0,06	0,05	0,03	0,14	0,29	0,25	0,17	0,00	0,03	-0,01	0,29	0,04
c)	0,13	0,02	-0,12	<u>-0,44</u>	<u>-0,37</u>	<u>-0,33</u>	-0,17	-0,15	0,02	-0,06	-0,26	-0,04

1992-ben K. Labitzke és H. van Loon által végzett kutatások során megállapították, hogy az északi szélesség 15. fokáig (adatforrás 1992-ben erről a területről állt rendelkezésre) a 11 éves napfoltciklus hatásai különböző mértékben érvényesülnek, az Egyenlítő fölött fellépő sztratoszférikus szelek (QBO) két fázisában. A későbbiekben az adatbázis bővülésével kimutatható volt, hogy a QBO két fázisában napciklus a magasabb szélességeken is hatással van az ottani légköri folyamatokra. (K. Labitzke, H. van Loon, 2000)

A K. Labitzke és H. van Loon által végzett kutatások szerint az északi féltekén a téli és tavaszi hónapokban a 30 hPa-os szint magassága és az  $F_{10,7}$  index között jelentősebb a korreláció a QBO keleti fázisában, mint a nyugatiban. Kimutatták viszont azt is, hogy a nyugati fázisában az északi féltekén nyáron és ősszel nagyobb a korreláció, mint a keleti fázisban. Mindkét esetben a korreláció nagyobb a QBO figyelembe vételével, mint annak elhagyása esetén.

A Budapest feletti vizsgálatok az  $F_{10,7}$  index, és a geomágneses tevékenység esetén szintén megerősítik a keleti fázis április, májusi dominanciáját, míg a nyugati fázisban a korrelációk értékei -különösen a geomágneses tevékenységgel kapcsolatban- júniustól novemberig, de különösképpen augusztusig szignifikáns értékeket is elérhetnek. A keleti fázis domináns korrelációs együtthatói az  $F_{10,7}$  index esetében télen általában pozitívak, tavasszal negatívak, a geomágneses tevékenység esetében az utóbbiak szintén teljesülnek. A nyugati fázisban a naptevékenység és a magasság korrelációira az év minden szakaszában negatív korrelációs együtthatók adódnak. (9. sz. táblázat) A galaktikus-kozmosz sugárzás értékelhető korrelációi a fázistól függetlenül főként a téli és a tavaszi hónapokban figyelhetők meg az előző szinten tapasztaltaknak megfelelően.

9. sz. táblázat

*A 30 hPa-os szint magasságának*

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmosz sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel

számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	-0,17	-0,15	-0,06	-0,29	-0,29	-0,32	-0,21	-0,18	-0,30	-0,25	-0,25	-0,23
a)	K	0,05	0,35	0,35	-0,20	-0,16	-0,14	-0,01	0,18	-0,07	0,08	-0,36	0,10
b)	NY	0,33	<u>0,47</u>	0,13	0,25	0,29	0,21	0,30	0,15	-0,04	0,06	0,17	0,07
b)	K	-0,14	-0,26	-0,23	-0,01	0,30	0,28	0,10	-0,17	0,11	-0,12	0,40	0,01
c)	NY	-0,13	<u>-0,45</u>	-0,15	-0,35	0,01	<u>-0,55</u>	<u>-0,86</u>	-0,48	0,15	-0,32	-0,29	-0,22
c)	K	0,41	0,26	-0,12	<u>-0,57</u>	<u>-0,77</u>	-0,30	-0,04	0,10	-0,25	0,12	-0,24	0,13



### 3.2.2.3. A 20 hPa-os szint magassága

A vizsgált időszakban a 20 hPa-os szint átlagos magasságának a lineáris trendje csökkenő tendenciájú 95 %-os szignifikanciával. (9.c. ábra) A 20 hPa-os szint magasságának évi átlagos csökkenése 5 gpm/év, ez nagyobb, mint a 30 hPa-os szinten megfigyelhető átlagos évi csökkenés.

A 20 hPa-os szint átlagos magassága a téli hónapokban 26068 gpm, a tavaszi hónapokban 26310 gpm, a nyári hónapokban 26925 gpm, az őszi hónapokban 26602 gpm. Évszakonként a csökkenés mértéke jelentős tavasszal és nyáron, kisebb mértékű ősszel és télen. (15. ábra) A 20 hPa-os szintnek az évszakok szerinti magasságértékeit tekintve a tavaszi és a nyári változékonyság nagyobb, mint az őszi és a téli hónapokban.

A 20 hPa-os szint magassága és az  $F_{10,7}$  index éves átlagai között a lineáris korrelációra  $r = -0,24$  érték adódott. Az éves átlagértékeket tekintve a maximális értékek,  $r = 0,45$ , a minimális érték  $r = -0,93$ . (16. ábra)

A havi értékekből a 20 hPa-os nyomásfelület magasságának változása a naptevékenységgel április, május és november hónapokban mutat gyenge kapcsolatot, a korrelációs együttható előjele negatív. A kapcsolat szorossága a 30 hPa-os szinten tapasztalt értékekhez hasonló, az abszolút értékük szignifikánsan nem különböző. A szint magassága a geomágneses tevékenységgel áprilisban és májusban mutat szignifikáns kapcsolatot, negatív előjellel. A galaktikus-kozmosz sugárzásnak a szintmagassággal a korrelációja ugyanezen időszakban pozitív, bár nem szignifikáns, de az évi menetben a legnagyobb értékű. (10. sz. táblázat)

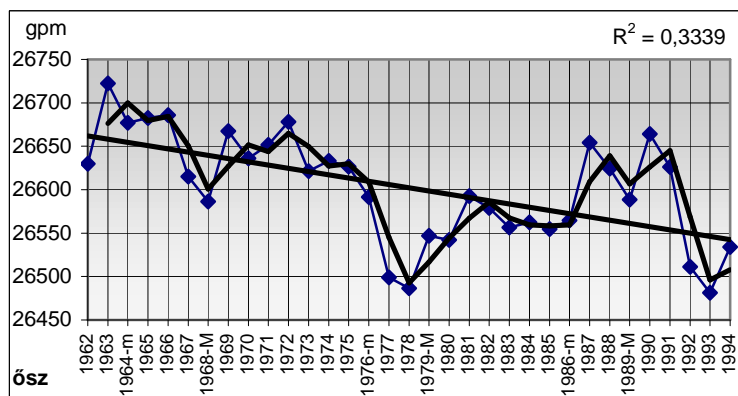
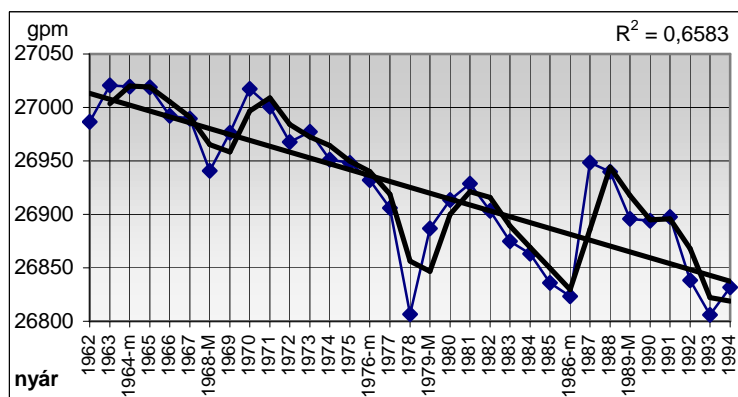
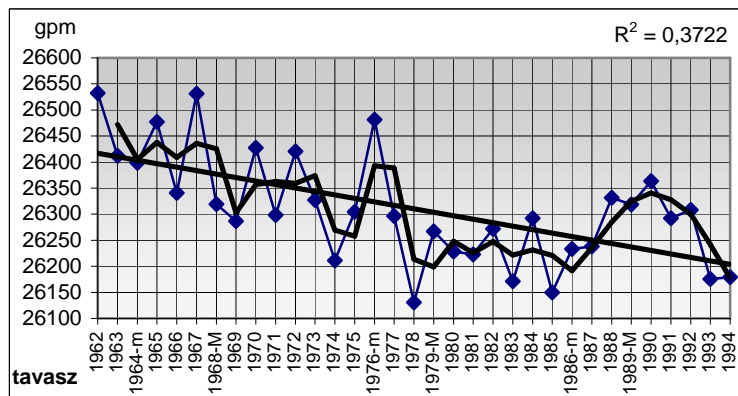
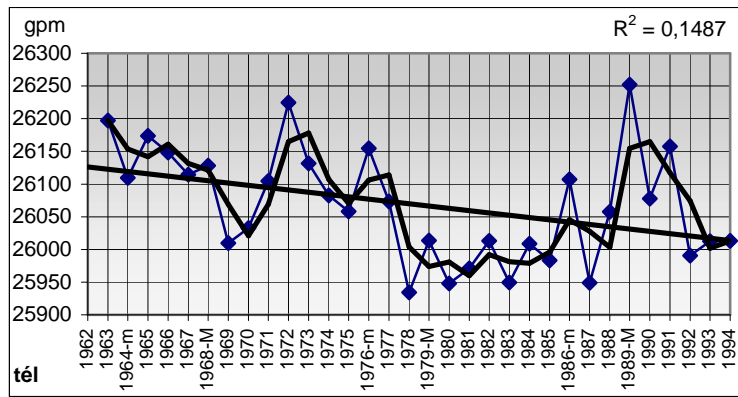
10. sz. táblázat

#### *A 20 hPa-os szint magasságának*

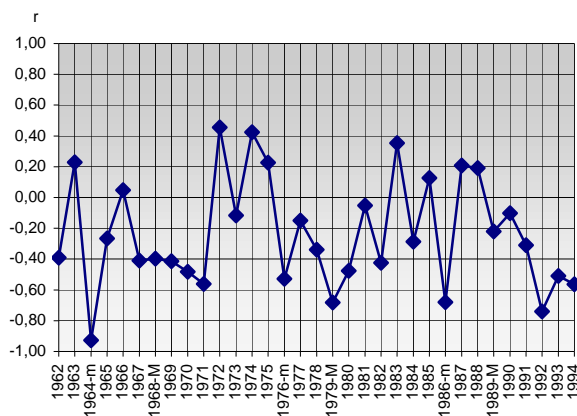
- $F_{10,7}$  indexszel
- galaktikus-kozmosz sugárzással
- geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

N=33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	-0,06	0,11	0,06	-0,26	-0,19	-0,17	-0,06	0,01	0,17	-0,06	<u>-0,33</u>	-0,04
b)	0,12	0,05	0,05	0,18	0,25	0,23	0,15	0,00	0,05	0,00	0,31	0,04
c)	0,09	0,04	-0,18	<u>-0,46</u>	<u>-0,33</u>	-0,32	-0,15	-0,15	0,04	-0,08	-0,27	-0,10



15. ábra A 20 hPa-os szint magasságának időszora évszakonként (1962-1994)



**16. ábra A 20 hPa-os szint magasságának és a  $F_{10,7}$  index korrelációjának időszora (1962-1994)**

A korreláció erősségének növekedését feltételezve kiterjesztettük a vizsgálatot a QBO két fázisa szerinti elemzésre is. Hasonló vizsgálatot globális méretekben 1964-1997 közötti időszakra K. Labitzke és H. van Loon is végzett. (K. Labitzke és H. van Loon, 2000)

A szint magassága és az  $F_{10,7}$  index között a QBO nyugati fázisában - a K. Labitzke és H. van Loon vizsgálati eredményivel megközelítőleg összhangban - júniustól decemberig főként negatív korrelációs értékeket kaptunk, amelyek értékelhetőbbek mint a QBO fázis figyelmen kívül hagyásával kapott értékek. (11. sz. táblázat) A 30 hPa-os szinten is ezek az értékek mind negatív korrelációt mutattak, a 20 hPa-on az e korrelációt kifejező értékek január és március közötti hónapok kivételével megközelítőleg azonos értékűek. A szint magassága és a geomágneses tevékenység közötti kapcsolat nyugati fázisban a nyári hónapokban erős összefüggést mutat. A nyugati fázis valamennyi korrelációs értéke a szintmagasság és a geomágneses tevékenység között negatív, míg szintmagasság és a galaktikus-kozmikus sugárzás között pozitív előjelű.

Nagyon gyenge, vagy értékelhetetlen negatív korreláció mutatkozik az  $F_{10,7}$  index és a 20 hPa-os szint magassága között a QBO keleti fázisában, a november hónap, valamint február és március hónapok kivételével. Jellemző, hogy több esetben bár nem szignifikáns, pozitív korreláció is megjelenik. A további két változó (galaktikus-kozmikus sugárzás, geomágneses tevékenység) és a 20 hPa-os szint magassága közötti korreláció a galaktikus kozmikus sugárzást tekintve elhanyagolható, még a geomágneses tevékenység esetén a QBO keleti fázisában pozitív értékek télen,

szignifikáns negatív értékek tavasszal, illetve nyáron figyelhetők meg. (95%, illetve 99%)

11.sz. táblázat

*A 20 hPa-os szint magasságának*

a)  $F_{10,7}$  indexszel

b) galaktikus-kozmosz sugárzással

c) geomágneses tevékenységgel

számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	0,10	-0,08	-0,04	-0,28	-0,25	-0,31	-0,21	-0,19	-0,28	-0,27	-0,19	-0,27
a)	K	-0,03	0,3	0,29	-0,25	-0,12	-0,09	0,0	0,2	-0,08	0,15	-0,41	0,13
b)	NY	0,37	<u>0,45</u>	0,15	0,25	0,31	0,23	0,29	0,14	-0,06	0,07	0,09	0,15
b)	K	-0,06	-0,22	-0,17	0,08	0,21	0,24	0,08	-0,16	0,16	-0,10	0,45	-0,05
c)	NY	-0,11	-0,31	-0,19	-0,34	0,02	<u>-0,61</u>	<u>-0,86</u>	-0,47	0,18	-0,28	-0,25	-0,34
c)	K	0,30	0,20	-0,22	<u>-0,61</u>	<u>-0,70</u>	-0,25	-0,02	0,09	-0,30	0,05	-0,27	0,15

### 3.2.2.4. A 10 hPa-os szint magassága

A 10 hPa-os szint magasság évi középértékeinek a trendje a vizsgált időszakban csökkenő tendenciát mutat; a csökkenés kismértékű 4 gpm/év. (9.d. ábra) A szint magasságának lineáris trendje az év minden szakában csökkenő tendenciájú. A csökkenés mértéke a tavaszi hónapokban a legnagyobb mértékű, míg legkisebb az őszi hónapokban. (17. ábra) A 10 hPa-os szint átlagos távolsága a tropopauzától 20054 gpm.

A 10 hPa-os szint magassága és az  $F_{10,7}$  index éves átlagai között a lineáris korreláció  $r = -0,25$  érték adódott. Az éves átlagértékeket tekintve a maximális értékek,  $r = 0,47$ , a minimális érték  $r = -0,94$ . (18. ábra)

A havi értékeket tekintve a 10 hPa-os szint magassága a naptevékenységgel értékelhető összefüggést nem mutat. Az is megállapítható, hogy a kapcsolat erőssége gyengébb, mint a 20 hPa vagy a 30 hPa-os szint esetében, azaz a naptevékenységből eredő változások a 10 hPa-os szinten kisebb mértékű hatásokat váltanak ki. (12. sz. táblázat) Ez a jelenség megfigyelhető a szint magasságának és geomágneses tevékenység korrelációinak havi értékeinél is. A 10 hPa-os szint magasságának és a galaktikus sugárzás korrelációinak havi értékei szignifikánsan nem különböznek a 30, illetve 20 hPa-os szint értékeitől.

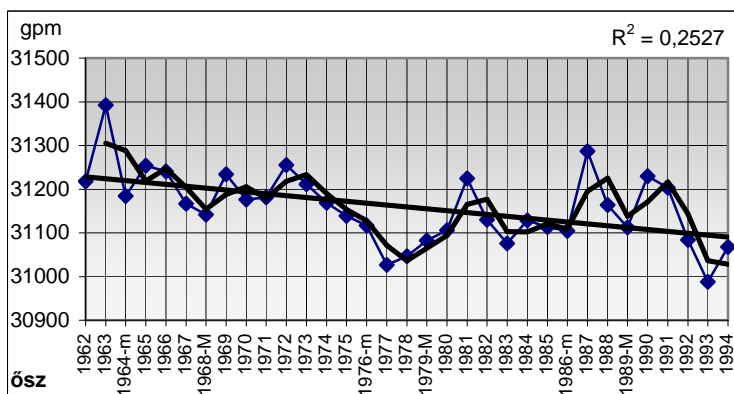
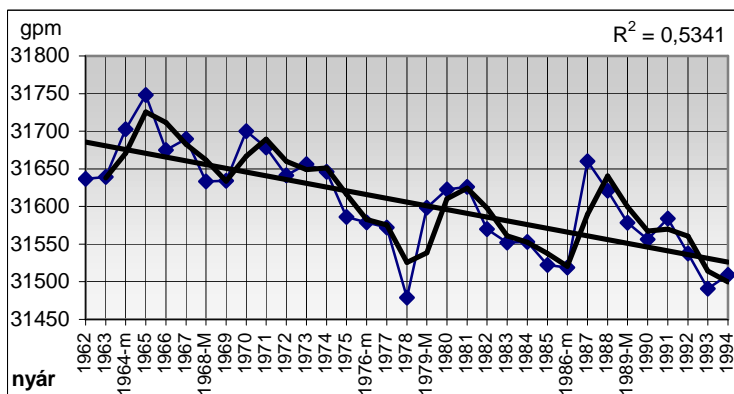
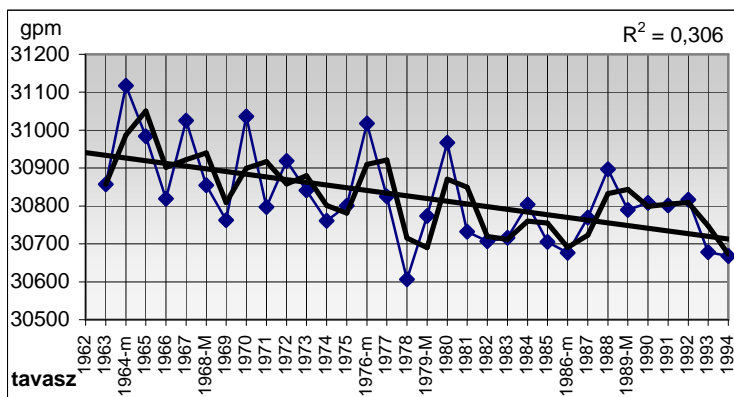
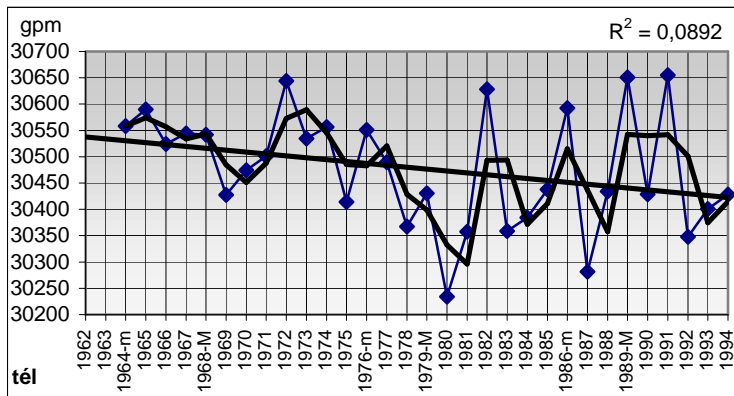
12. sz. táblázat

#### *A 10 hPa-os szint magasságának*

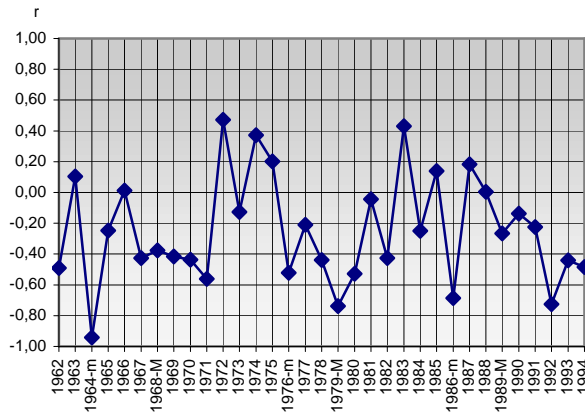
- a)  $F_{10,7}$  indexszel
  - b) galaktikus-kozmosz sugárzással
  - c) geomágneses tevékenységgel
- számított korrelációi (1962-1994)

N=33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	-0,08	0,08	0,15	-0,19	-0,08	-0,14	0,04	0,12	-0,05	0,04	-0,28	0,12
b)	0,13	0,02	0,05	0,25	0,21	0,23	0,11	0,01	0,00	-0,05	0,32	-0,14
c)	0,04	0,02	-0,18	<u>-0,51</u>	-0,27	-0,29	-0,10	-0,09	0,24	-0,01	-0,25	0,00



17. ábra A 10 hPa-os szint magasságának időszora évszakonként (1962-1994)



**18. ábra A 10 hPa-os szint magasságának és  $F_{10,7}$  index korrelációjának időszora (1962-1994)**

A QBO két fázisának megfelelő kategorizálást elvégezve a nyugati fázisban a júniusi, szeptemberi, decemberi hónapok mutatnak jelentősebb negatív korrelációt a 10 hPa-os szint magassága és az  $F_{10,7}$  index között. (13.sz. táblázat) Jóval jelentősebb korreláció jelentkezik a 10 hPa-os szint magassága és a geomágneses tevékenység között, főként a nyári hónapokban. Megfigyelhető az előző szinteken is a geomágneses tevékenység és a szintmagasság korrelációjánál, hogy a szeptember hónapban a nyugati fázisban pozitív, a keleti fázisban negatív érték jelenik meg. Ez ellentétes azzal a törvényszerűséggel, hogy a geomágneses tevékenység és a szintmagasság korrelációjának előjele megegyezik a naptevékenység és a szintmagasság korrelációjának előjével. Ez valószínűsíthetően a geomágneses tevékenység valamely zavarának tulajdonítható.

A QBO keleti fázisában a november és december hónapokban kaptunk jelentősebb korrelációt a szint magassága és az  $F_{10,7}$  index között. A számított korrelációs együtthatókból egyértelműen nem lehet a kapcsolat tendenciáját kimutatni (váltakozó irányultság). Jelentős és egyértelműen negatív a korreláció a szintmagasság és a geomágneses tevékenység között április és május hónapokban. A téli hónapokban ugyanezen korreláció értékei pozitívak, de nem szignifikánsak.

Megállapítható a 10 hPa-os szinten a QBO fázisainak változó dominanciája, és egyértelműen az, hogy a korrelációk nagyobb értékűek mindkét fázisban, mint a QBO hatás figyelmen kívül hagyása esetén.

**A 10 hPa-os szint magasságának**

- a)  $F_{10,7}$  indexszel,
- b) galaktikus-kozmosz sugárzással,
- c) geomágneses tevékenységgel

számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	-0,06	-0,18	0,08	-0,19	-0,19	-0,34	-0,18	-0,11	-0,28	-0,08	-0,08	-0,44
a)	K	-0,08	0,26	0,31	-0,22	0,05	-0,03	0,13	0,27	0,24	0,15	-0,36	<u>0,49</u>
b)	NY	0,25	0,32	0,16	0,30	0,30	0,28	0,26	0,19	-0,07	0,00	0,03	0,23
b)	K	0,04	-0,13	-0,17	0,23	0,13	0,21	0,04	-0,13	0,07	-0,11	<u>0,46</u>	-0,39
c)	NY	-0,15	-0,27	-0,18	-0,41	-0,06	<u>-0,66</u>	<u>-0,83</u>	-0,40	0,43	-0,15	-0,16	-0,23
c)	K	0,23	0,14	-0,21	<u>-0,62</u>	<u>-0,53</u>	-0,19	0,03	0,09	-0,43	0,08	-0,24	0,21

**3.2.3. Az extraterresztrikus tényezők hatását kifejező, az izobárszintek magasságára vonatkozó spektrumanalízis eredményei**

A vizsgált szinteken havi átlagokból kiszámítottuk a szint magassága és az  $F_{10,7}$  index közötti éves átlagos korrelációt. A korrelációs idősorok menete a sztratoszférában levő szinteken közel azonos. A görbék torzulása legnagyobb mértékben a tropopauza környezetében tapasztalható. (11., 14., 16., 18. ábra)

Amíg a korrelációs számítás a paraméterek közötti kapcsolat irányára -negatív, vagy pozitív - vonatkozóan ad felvilágosítást, addig a kapcsolat periodicitására vonatkozó információhoz a spektrumanalízis segítségével juthatunk.

A főizobár szintek magasságaival végzett spektrumanalízis eredményeiből arra a következtetésre jutottunk, hogy a számított korrelációkból levonható megállapítások megalapozottnak tekinthetők. A spektrumanalízis eredményei olyan jellemzőket jeleznek, amelyek a naptevékenység hatásának tudhatók be. A főizobár szintek magasságának, mint integrált meteorológiai paraméternek a teljesítményspektrumai jól összevethetők az  $F_{10,7}$ , az Ap indexek és a galaktikus-kozmosz sugárzás értékeinek teljesítményspektrumával.

Összevetve a 10 hPa, a 20 hPa, a 30 hPa, a 150 hPa, a tropopauza, 250 hPa, 500 hPa, 850 hPa magasságának teljesítményspektrumait, a tropopauza és a 10 hPa

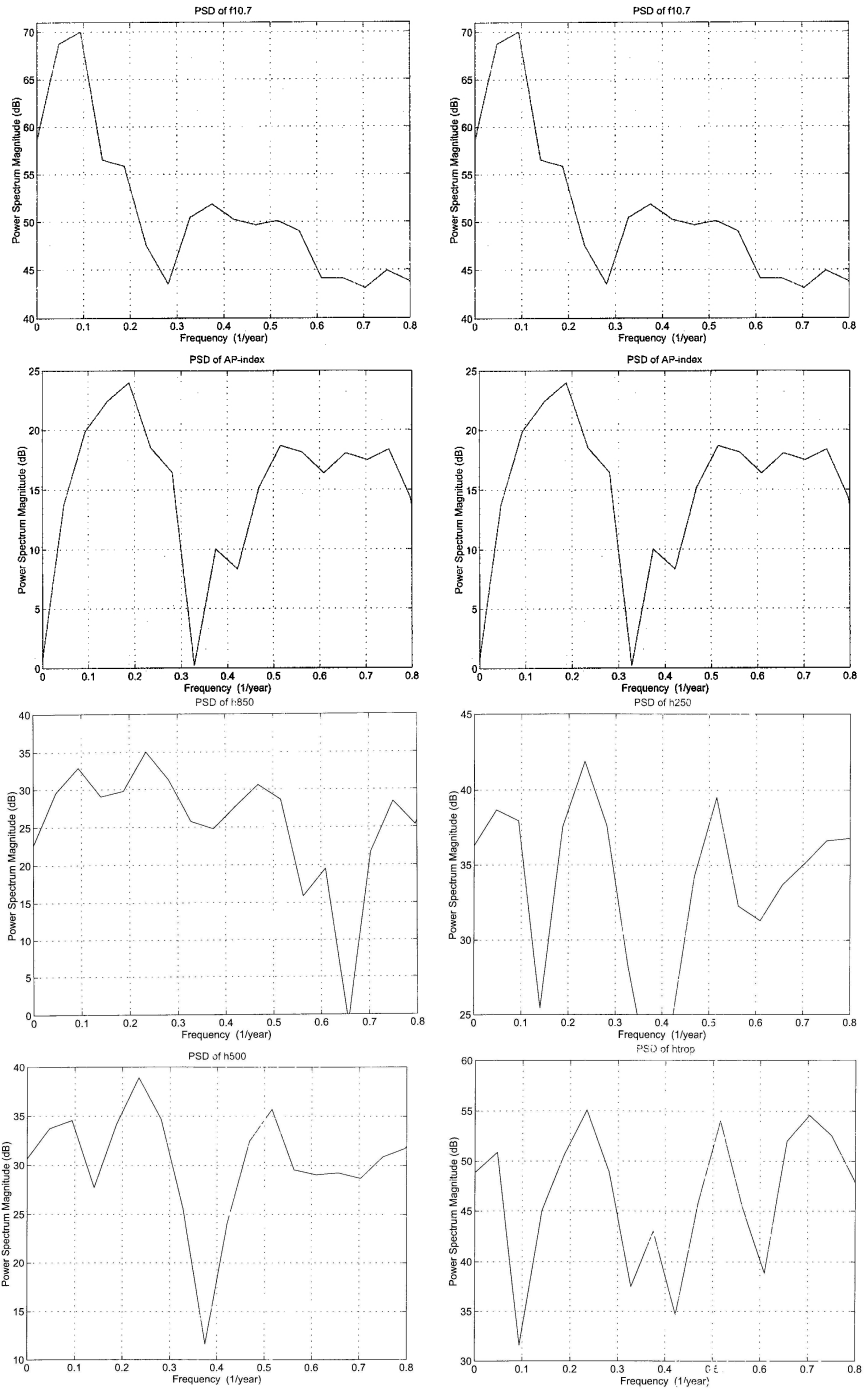


kivételével minden ábrán jól megfigyelhető a kvázi 11 évi napciklusnak megfelelő csúcs. (19.a-b. ábra)

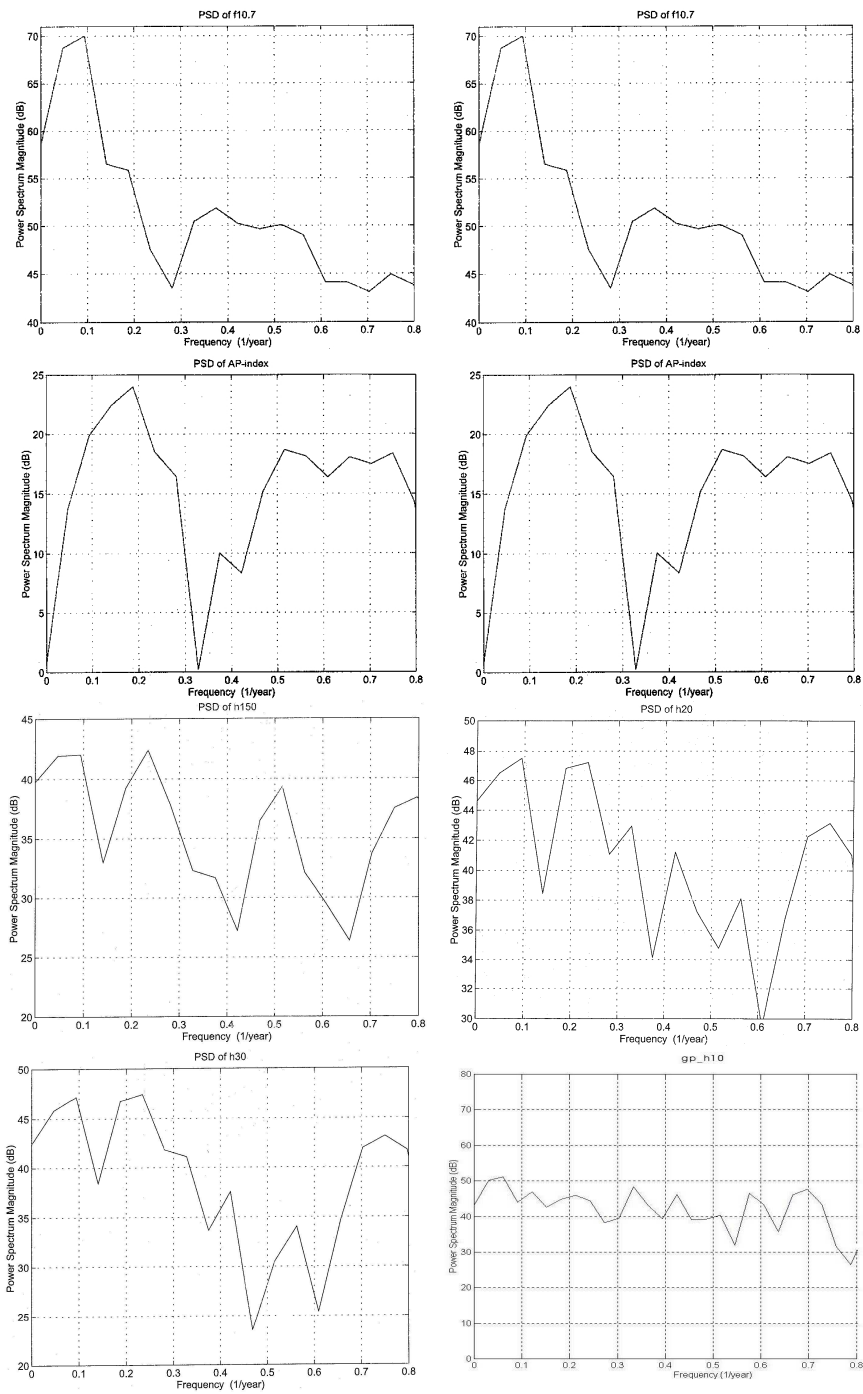
A 20 hPa-os szinten a legnagyobb a 11 éves napciklusnak megfelelő amplitúdó. (47,5dB) A felszín felé közeledve a csúcs 30 hPa-tól csökkenő tendenciát mutat és 850 hPa-nál már csak 33 dB. A 30 hPa-os szinttől a felszín felé haladva azonban nem a 11 éves naptevékenységnek megfelelő csúcs a legnagyobb a teljesítményspektrumban. Minden főizobár szinten jelentkezik a teljesítményspektrumban egy csúcs nyoma a 22 éves periódusnál is, ami tulajdonítható annak, hogy a Nap mágneses terének polaritása ismét ugyanaz lesz. (20. ábra) Ez a csúcs legnagyobb amplitudóval a 10 hPa-on és a tropopauza szintjén jelentkezik.

A 20 hPa és a 30 hPa-os szint magasságértékeiben megjelenő egy-egy csúcs szignifikánsan azonosítható a galaktikus-kozmosz sugárzás, valamint az Ap index 5,3 évnél ( $1/(0,189\text{év})$ ) megjelenő fő csúcsával. (7. és a 19.b. ábra) Valamennyi izobár szinten a magasság teljesítményspektrumában megjelenik egy szignifikáns csúcs 4,3 évnél is ( $1/(0,233\text{év})$ ). Ez a csúcs a magasságértékekben 30 hPa-tól lefelé abszolút maximumként figyelhető meg a szintektől függetlenül közel azonos amplitudóval. Ez szintén a geomágneses tevékenységgel függhet össze.

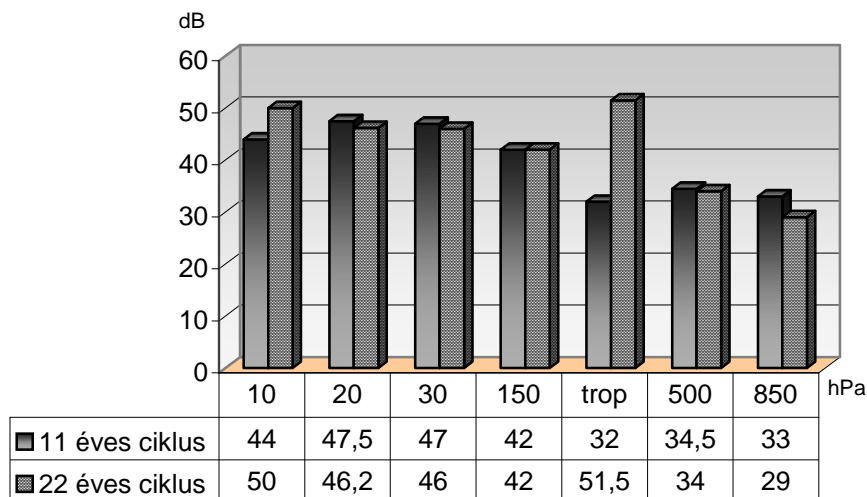
A 150 hPa-os izobárszinten (~14 km) a szintmagasság teljesítmény-spektruma jelentős csúcsot jelez a kvázi 11 éves napciklusnak megfelelő periódus körül, amely összhangban van az  $F_{10.7}$  teljesítményspektrum megfelelő csúcsával. A 150 hPa-os szint magasságának teljesítményspektruma egy másik szignifikáns csúcsot is jelez a 4,3 évnél, amely az Ap teljesítményspektrum fő csúcsával azonosítható. Mint ismeretes, a geomágneses tevékenység sokszor két maximumot mutat a napciklus alatt, egy a naptevékenységi maximum előtt, egy pedig után jelentkezik. Ez lehet az oka az Ap spektrumában az 5,3 és a 4,3 évnél megjelenő csúcsoknak. Figyelemre méltó, hogy a 3 évnél kisebb periódusok esetén az ezt jellemző csúcsok milyen jól tükröződnek a magasság-spektrumokban. Ez a kvázi kétéves hullám (QBO) hatására utalhat, amely jól ismert a középső légkör dinamikájából.



**19. a. ábra A szintmagasság spektrumanalízise a vizsgált izobár szinteken ( amplitúdó értékek dB-ben)**



19. b. ábra A szintmagasság spektrumanalízise a vizsgált izobár szinteken (amplitúdó értékek dB-ben)



**20. ábra A vizsgált szinteken a magassági értékek a 11 éves valamint a 22 éves ciklusának amplitúdói (trop=tropopauza)**

A 250 hPa-os (~10 km) izobárszint magasságának teljesítményspektruma hasonló a 150 hPa-os hőmérséklet spektrumához, a csúcsok közel azonos periódusoknál lépnek fel, de a spektrális sűrűség kisebb, mint a 150 hPa-os esetben (19. a. ábra). Az izobár szint magassága a nappciklus (22 éves, 11 éves) periodicitását jelző csúcsainak amplitúdója kisebb, a geomágneses tevékenység (~5.3 év) amplitúdója szinte azonos nagyságú mint a 150 hPa-os szinten. A nappciklus, a geomágneses tevékenység ciklusosságához tartozó izobárszint magasság amplitúdójának csökkenése megfigyelhető az 500 hPa-os (5,6 km) és a 850 hPa-os (1,5 km) szinteken is. A 850 hPa-os szinten azonban a fenti csúcsok már jelentősen csökkent amplitúdóval jelennek meg, amelyek nem emelkednek ki a háttérből olyan határozottan, mint ugyanezek a csúcsok a magasabb szinteken.

A tropopauza magasságának középértéke a 10967 gpm, amelyhez 234 hPa-os nyomásérték tartozik. E szint magasságának teljesítményspektrumára az a jellemző, hogy a nappciklus-függőséghez tartozó periódusnál egy minimum jelenik meg a spektrumban, azonban csúcs látható a 22 éves periódusidőnél, ami az az időtartam, amely alatt a Nap mágneses terének a polaritása ismét ugyanaz lesz, mint az egy nappciklust követő polaritásváltás előtt. (20. ábra)

### 3.2.4. A fejezet konklúziója

Az előzőekben ismertetett megállapítások azt mutatják, hogy az izobár szintek geopotenciális magassága és az extraterresztrikus tényezők közötti kapcsolat valószínűsíthető.

#### *a) Troposzféra*

A vizsgált időszakban(1962-1994) a naptevékenység, a geomágneses tevékenység trendje növekvő, a galaktikus-kozmosz sugárzás trendje csökkenő tendenciát mutatott. A troposzféra 500 hPa-os szintjén a geopotenciális magasság trendje szintén növekvő.

A geopotenciális magasságokból származtatott spektrálanalízis teljesítménygörbéi a geomágneses tevékenység ciklusánál (4,3 éves) határozottabban, azaz nagyobb amplitúdával jelennek meg, mint a naptevékenység 11 éves, vagy a 22 éves periódusainál.

A szintmagasságok és naptevékenység kapcsolatát kifejező korrelációs értékek a troposzférában a téli hónapokban pozitív, a tavaszi hónapokban negatív értékűek. Ezt a jelleget tükrözik nagyobb abszolút értékekkel, de változatlan előjellel a geomágneses tevékenység és izobár szintek magasságának kapcsolatát kifejező korrelációs értékek is.

A galaktikus-kozmosz sugárzás és a szintmagasságok kapcsolatáról az állítható, hogy a vizsgált szinten a korrelációs együtthatók előjele általában ellentétes, a naptevékenység és szintmagasság kapcsolatát mutató korrelációs érték előjelével.

Összefoglalva megállapítható, hogy az izobárszintek magasságára nagyobb hatást gyakorol a geomágneses tevékenység mint a naptevékenység.

A troposzférában a QBO hatása alapján értelmezett kategóriákat figyelembe véve, a szintmagasság és a naptevékenység kapcsolatát kifejező értékelhető korrelációk a nyugati fázisban tavaszi és nyári eleji időszakban negatívak, a keleti fázisban a téli időszakban pozitívak. A geomágneses tevékenység és a szintmagasság -főleg a keleti fázisban- a téli hónapokban mutat pozitív értékelhető korrelációt. Végeredményben mind a naptevékenység, mind a geomágneses tevékenység esetében a QBO keleti fázisában a téli korrelációk jelentősek, összhangban vannak az ismert vizsgálati eredményekkel. ( Labitzke et al., 2000)

#### *b) Sztratoszféra*

A sztratoszféra vizsgált 150 hPa-os szint magasságának trendje a troposzférában tapasztalt tendenciát tartva növekvő jellegű, azonban e szint felett csökkenő trendet mutat.

A spektrálanalízis eredményei alapján a naptevékenység 11 éves, a geomágneses tevékenység kb. 5,3 éves, valamint egy 4,3 éves ciklusa jól megfigyelhető a sztratoszféra izobárszintjeinek(150 hPa, 30 hPa, 20 hPa) magasságainál, közel azonos amplitudóval.

Az alsó sztratoszférában (150 hPa) az izobár szint szintmagassága, valamint a naptevékenység között értékelhető korrelációkat a tavaszi és nyár eleji hónapokban kapunk, negatív előjellel. A geomágneses tevékenység és az izobár szintek magassága közötti kapcsolatot kifejező korreláció a téli hónapokban pozitív, a tavaszi és nyár eleji hónapokban - abszolút értékben közel azonos erősséggel, mint a naptevékenység és az izobár szint magassága közötti korreláció- negatív előjellel jelentkezik.

A középsztratoszférában a 20 hPa-os, a 10 hPa-os szint magassága és a naptevékenység vagy a geomágneses tevékenység kapcsolatát kifejező korrelációs együtthatók értékei, az előző szintekhez hasonlóak, értékelhető korreláció közel ugyanazokban a hónapokban jelentkezik mint a 150 hPa-os szinten.

A QBO hatásának figyelembevételével a sztratoszférában a nyugati fázisban, nyáron a naptevékenység és szintmagasság kapcsolatát a negatív korreláció jellemzi. A geomágneses tevékenység kapcsolata a szintmagassággal szintén negatív, a nyári hónapok szignifikáns korrelációi már az erős fokozatot is elérik. A nyugati fázis őszen mind a naptevékenység, mind a geomágneses tevékenység és a szintmagasság korrelációi közelítőleg azonosak, szignifikáns értéket azonban nem mutatnak

A QBO keleti fázisában, a téli hónapokban értékelhető a naptevékenység és szintmagasság kapcsolata, ekkor pozitív korrelációk figyelhetők meg. A korrelációk előjelváltása, illetve változása jelentős november és december, valamint március és április hónapokban.

A keleti fázisban a geomágneses tevékenység és a szintmagasság értékelhető korrelációi a nyári hónapokban negatív, míg a téli hónapokban pozitív értékűek. A geomágneses tevékenység és szintmagasság korrelációi is követik a naptevékenységnél megfigyelhető a tavasz végi, illetve őszi eleji nagymértékű változásokat. A keleti fázis őszen a hasonló korrelációs értékek nagyfokú változékonysággal jelentkeznek. Ami a téli-tavaszi váltást illeti, nem feledkezhetünk meg a sztratoszférikus felmelegedések (Berlini effektus) hatásáról sem, továbbá arról, hogy a tavaszi és őszi változékonyság a télről a nyárra, illetve a nyárról a téli áramlási rendszerre történő átmenet időszaka.

A galaktikus-kozmoszi sugárzás és a szintmagasság kapcsolatát kifejező korrelációk a fázistól függetlenül ellentétes előjelűek a naptevékenység, valamint a

geomágneses tevékenység és szintmagasság kapcsolatát kifejező korrelációkkal. Értékelhető korrelációk a galaktikus-kozmosz sugárzás és a szintmagasság között főként télen a nyugati fázisban pozitív előjellel figyelhetők meg.

A fentiek alapján feltételezhető, hogy – a geopotenciális szintmagasság változását tekintve - a naptevékenység mellett a geomágneses tevékenység is hatással van térség időjárására, valamint a változékonyságát tekintve a térség éghajlatának változására.

Az eddigi kutatások eredményei (K. Labitzke, H. van Loon, 1998), valamint a kapott korrelációs együtthatók alapján valószínűsíthető, hogy a naptevékenység, a geomágneses tevékenység és a szintmagasság közötti kapcsolat az északi félteke közepes földrajzi szélességű zónájában ellentétesen változik az Északi-sarkon tapasztalható hasonló korrelációkhoz képest. Ez alól a közepes szélességeken kivétel az északi félteke tele, ha a QBO hatás nyugati irányultságú. Miután a naptevékenység és a galaktikus-kozmosz sugárzás hatásmechanizmusa ellentétes a galaktikus-kozmosz sugárzás és a geopotenciális szintmagasság közötti azonos irányultságú kapcsolat magyarázható.

A naptevékenység és az izobár szintek közötti kapcsolatot kifejező korrelációk (abszolút értékben) téli maximumai a felszínhez közelebb a troposzférában, illetve 150 hPa-os szinten, nyári maximumai magasabban, a 30 hPa-os szinten találhatók.

A galaktikus-kozmosz sugárzás korrelációkkal kifejezett maximális hatása, télen az 500 hPa-os, 150 hPa-os szinten, nyáron a sztratoszféra valamennyi vizsgált szintjén azonosan jelenik meg.

A naptevékenység erősebb hatása a tavaszi szakaszában jelenik meg, a geomágneses tevékenység erősebb hatása a tavaszi, nyár eleji időszakban figyelhető meg. A galaktikus-kozmosz sugárzás hatását a naptevékenység modulálja.

### 3.3. Az extraterresztrikus hatások érvényesülése az izobárszintek hőmérsékletére

A hőmérsékleti értékek objektív vizsgálata egyúttal megköveteli a légkör nyomgáz összetevői változásának, az úgynevezett üvegházhatású gázok, valamint az ózon koncentráció változásainak ismeretét. A vizsgált időszakban az úgynevezett üvegházhatású gázok koncentrációjának változása jelentős. Az üvegházhatásért, azaz a Föld által kisugárzott sugárzási energiának az alsó 10-15 km-es rétegben tartásáért elsősorban az erősen változó koncentrációjú vízgőz, a CO<sub>2</sub> és CH<sub>4</sub> a felelős. A CO<sub>2</sub> és a vízgőz – különböző mértékben – több elnyelési sávval rendelkezik, valójában a 3 µm-től 20 µm-ig terjedő tartományban közel 80 %-os mértékben elnyelik, illetve csökkentik a talaj és a talaj közeli légrétegek hosszuhullámú hőmérsékleti sugárzását. Csupán a 8,5–11 µm-nyi hullámhosszúságú sugárzás tud “megszökni” a troposzférából, ez közelítőleg 10 %-os veszteséget jelent.

A CO<sub>2</sub> légköri mennyisége globális mértékben az elmúlt időszakban jelentősen növekedett, sőt a növekedés egyre gyorsult, mértéke 1,45 %/év. (14.sz. táblázat)

14. sz. táblázat

#### *A légkör széndioxid koncentrációjának változása*

év	1750	1850	1900	1950	2000
ppm	275	288	300	330	370

A koncentráció-növekedés ingadozását elsősorban a mérsékelt övi területek idézik elő. (Haszpra, 2000)

Az üvegházhatású gázok közül az ózon (O<sub>3</sub>) az a gáz, amelynek közvetlen természeti és antropogén forrása nincs. Keletkezési mechanizmusa mind a troposzférában, mind a sztratoszférában más. (Bencze, 1991, Shindell et al., 2001) Ugyanúgy más a légköri folyamatokat befolyásoló szerepe, az életfolyamatokra kifejtett hatása is. Magyarország felett tízévenként 1,7 %-kal csökken az ózon koncentrációja. 2000. év márciusában a sztratoszférikus ózon mennyisége 10-12 %-kal volt kevesebb, mint az 1962-1976-os időszak átlaga.



### 3.3.1. Az izobárszintek hőmérséklete a troposzférában

A troposzféra hőmérsékletéről a vizsgált 33 év átlagértékei alapján a 15. táblázat nyújt áttekintő képet.

15. sz. táblázat

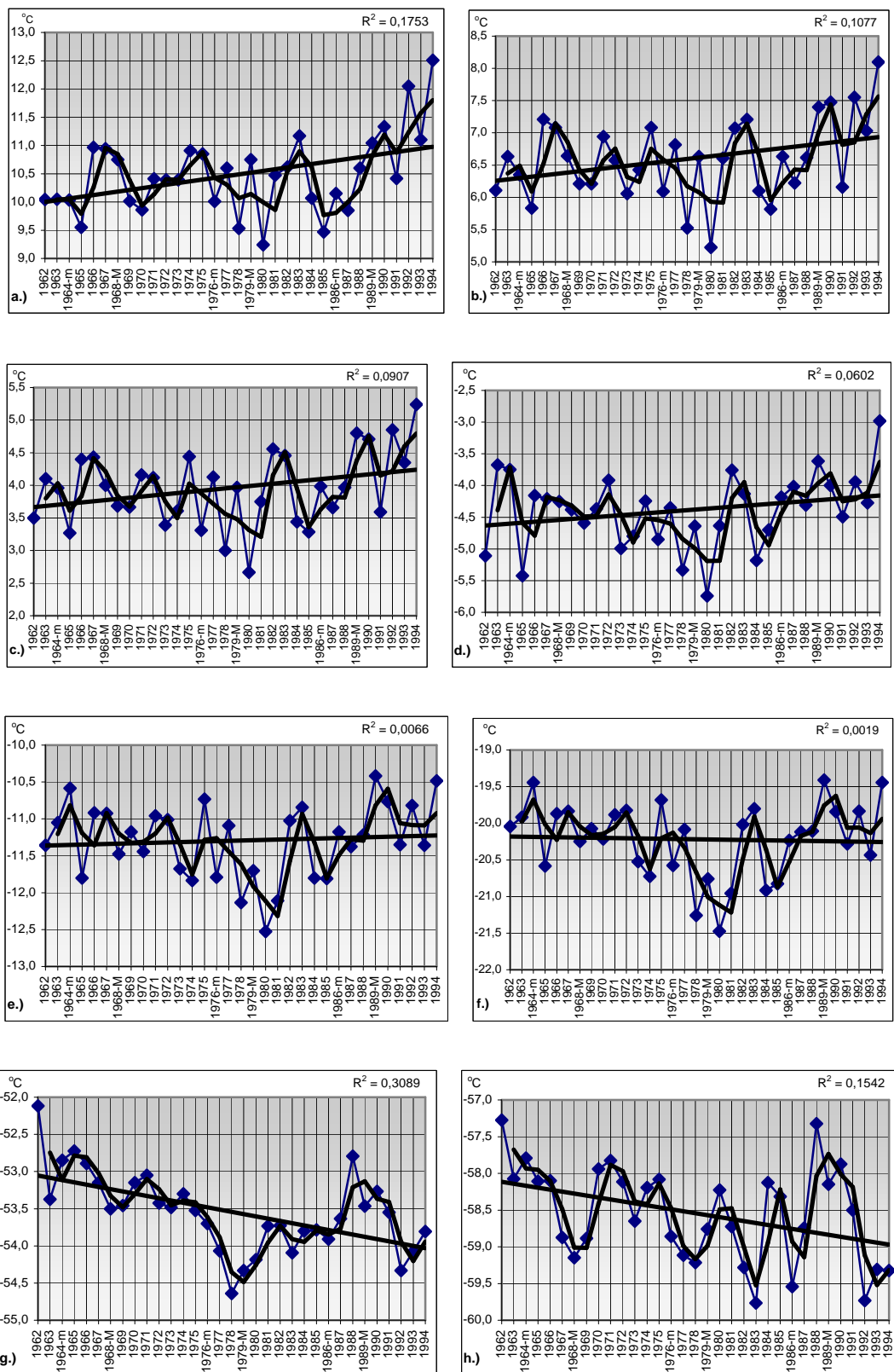
*A vizsgált izobár szintek (850 hPa, 500 hPa, 250 hPa) átlagos hőmérsékletei évszakonként °C-ban*

Évszak	850 hPa	500 hPa	250 hPa	Tropopauza 231 hPa
Tél	-2,2	-24,9	-56,4	-60,5
Tavaszi	0,6	-24,3	-55,9	-59,1
Nyár	10,2	-15,4	-50,5	-56,1
Ősz	7,1	-16,4	-51,4	-58,9
Év	4,0	-20,2	-53,5	-58,5

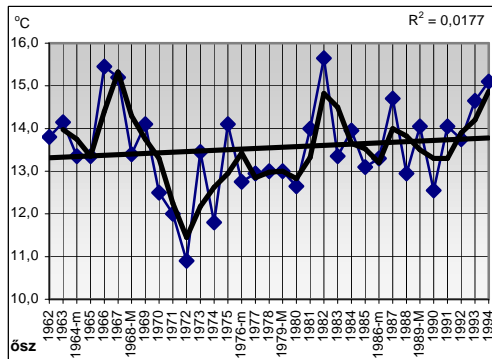
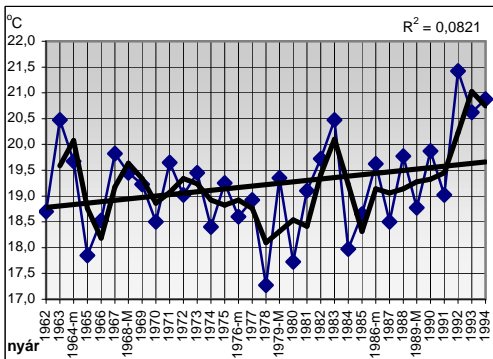
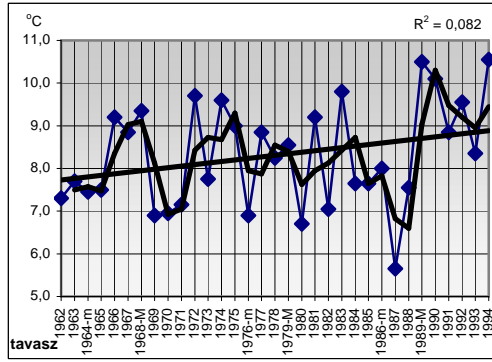
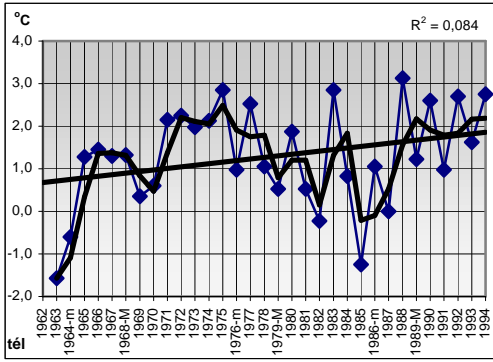
Az 1962 és 1994 közötti hőmérsékleti adatsorból előállított lineáris trendek a talajtól 500 hPa-ig, az évi átlagokat tekintve szignifikáns változást nem jeleznek. Az 500 hPa-os szintig a talaj szintjét is beleértve a hőmérséklet növekedése figyelhető meg. (23. ábra) A talajon és a 850 hPa-os szinten a hőmérsékleti trendek növekedést (850 hPa-on 1,2 °C/33 év) a téli hónapokban (november, december, január, február) mutatnak, nyáron (május, június, július, augusztus) (850 hPa-on 0,8 °C/33 év) kisebb mértékű növekedés figyelhető meg. Ez a téli évszak melegedését jelenti. (22-23. ábra) A hőmérsékleti értékek trendje a 33 éves adatsor alapján 500 hPa-tól felfelé az izobár szinteken szignifikáns csökkenést jelez. (21. ábra)

Az 500 hPa-os szint, választó szintnek tekinthető. Ez magyarázható azzal, hogy az 500 hPa-os szintig a légkör tömegének a háromnegyede, így az üvegházhatású gázok tömegének is a döntő része ebben a kb. 5500 m-es rétegben helyezkedik el.

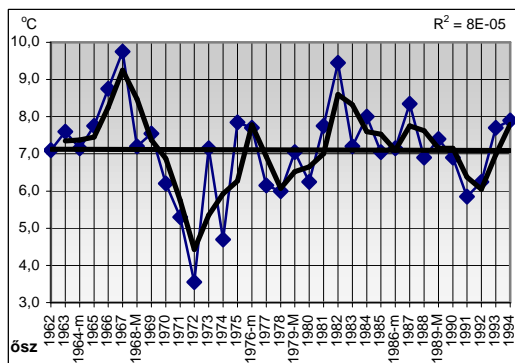
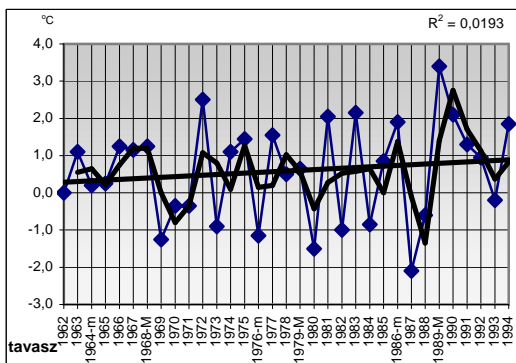
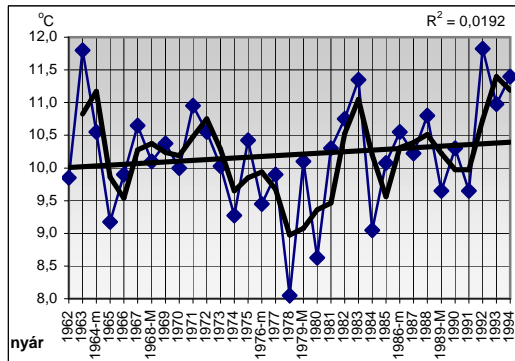
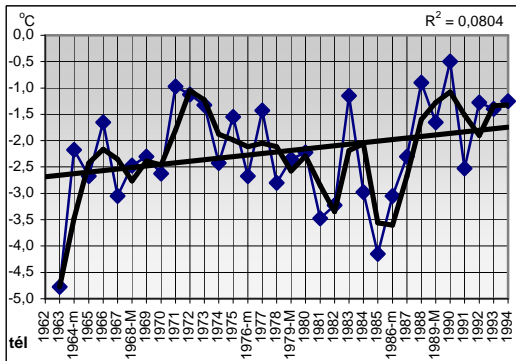
A tropopauzának blokkoló hatása van, a keveredés megszűnését is előidézi, így magyarázható, hogy a troposzféra hőmérsékletnek alakulásában a sztratoszféra zavarai nem vagy kevésbé, hanem a troposzféra sugárzási viszonyai, fizikai folyamatai szerepelnek meghatározó tényezőként.



21. ábra A talaj (a), 900 hPa (b), 850 hPa (c), 700 hPa (d), 600 hPa (e), 500 hPa (f), 250 hPa (g), tropopauza (h) szintek hőmérsékleti idősora (1962-1994)



22. ábra A talaj hőmérsékleti idősora évszakonként (1962-1994)



23. ábra A 850 hPa-os szint hőmérsékleti idősora évszakonként

A specifikus nedvességeket tekintve a talajon, a 850 hPa-os szinten a trendek a nedvesség csökkenését mutatják. A nyári nedvességcsökkenés mértéke jelentősen meghaladja a téli időszakét. Feltételezhető, hogy a vízgőz okozta üvegházhatás-csökkenés a CO<sub>2</sub> hőmérséklet növelő hatását jelentős mértékben tompítja.

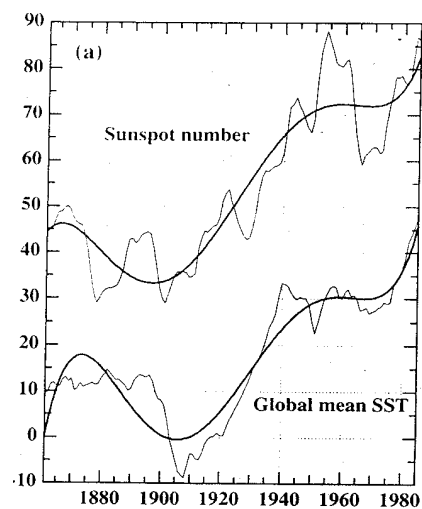
Miután az alsó szinteken a téli évszakban a hőmérsékleti értékek melegedést mutatnak, ezt tulajdoníthatjuk annak a ténynek is –regionális léptékben-, hogy a kismértékű vízgőzcsökkenésnek, és a fűtési szezon miatt a CO<sub>2</sub> koncentráció növekedésének az együttes hatása, azaz az eredője pozitívan hat a hőmérséklet növekedésre.

A 33 éves adatsorból levonhatjuk azt a következtetést, hogy a közepes földrajzi szélességeken a vízgőz csökkenő tendenciája, a CO<sub>2</sub> és a további üvegházhatású gázok növekedésének eredőjeként a troposzféra legalsó rétegében melegedés áll elő. Miután ez jelenleg még kismértékű, feltételezhető, hogy a globális felmelegedés kezdeti szakaszában vagyunk.

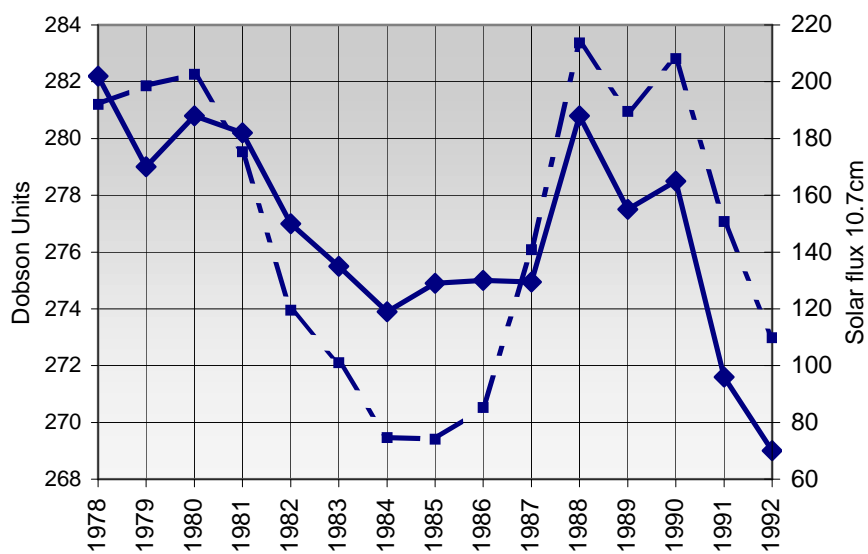
Feltételezhetjük, hogy a troposzféra alsó rétegében (5500 m), ahol az üvegházhatású gázok döntő része helyezkedik el a talajtól származó sugárzás folytán az alsó réteg jobban melegszik, mint a felette levő réteg. Azaz, az alsó réteg több sugárzást nyel el, így törvényszerű, hogy a felette levő réteg kevesebb sugárzási energiát kap, tehát kevésbé melegszik fel. A keveredés intenzitásának csökkenése a negatív hőmérsékleti gradiens abszolút értékének csökkenésével magyarázható. Az alsó troposzféra melegedése a felső troposzféra hűlése folytán a tropopauza magasságának kis mértékű növekedése megfigyelhető meg. Ezáltal növekszik annak a légoszlopnak a magassága is, ahol a keveredési folyamatok lejátszódnak, illetve az a térrész, ahol az üvegházhatású gázok akkumulálódhatnak. (8.d.ábra)

A troposzféra hőmérsékletével kapcsolatban megjegyzendő, hogy az utóbbi száz évben a naptevékenység is növekvő tendenciát mutat, amelyet a globális tengerszinti hőmérséklet is szorosan követ. (24. ábra)

K. Labitzke és H. van Loon (1995) vizsgálta a teljes ózontartalom és a naptevékenység kapcsolatát. Az északi és a déli szélesség 35. fokai közötti területre átlagolva a korrelációs együttható 0,71 adódott (99%-os szignifikanciával). (25. ábra) Vizsgálataik alapján megállapították, hogy ott, ahol az ózon legnagyobb mennyiségben található, ott korrelál legkevésbé jól a szoláris fluxussal.



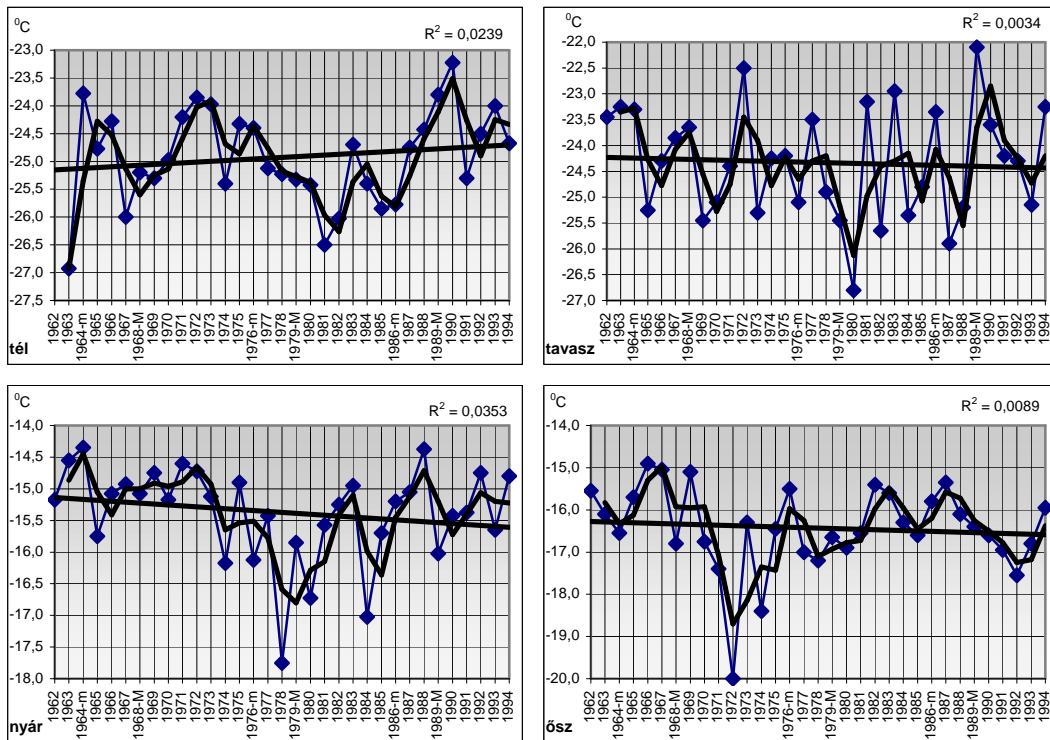
24. ábra Az óceánok felszíni hőmérsékletének és a naptevékenységnek változása 1880-1980 között (Reid, 2000)



25. ábra Az F10,7cm-es sugárzás és a teljes ózontartalom évi átlagának időszora az északi és déli félteke 35. szélességi körei közötti területre átlagolva (1978-1992), a folytonos vonal a teljes ózontartalom szaggatott vonal az  $F_{10,7}$  index (K. Labitke, H. van Loon (1995) nyomán)

### 3.3.1.1. Az 500 hPa-os szint hőmérséklete

A vizsgálat során a kiindulásánál itt is, mint az izobárszint magasságánál azzal a feltételezéssel élünk, hogy az extraterresztrikus hatások elsősorban a sztratoszférában figyelhetőek meg. A hatások troposzférikus vizsgálatára az 500 hPa-os szintet választottuk. Tettük ezt azért is, mert a troposféra hőmérsékleti sorának trendje e szinttől felfelé csökkenést mutat. Ezt már az évszakos trendek is jól mutatják. (26. ábra)



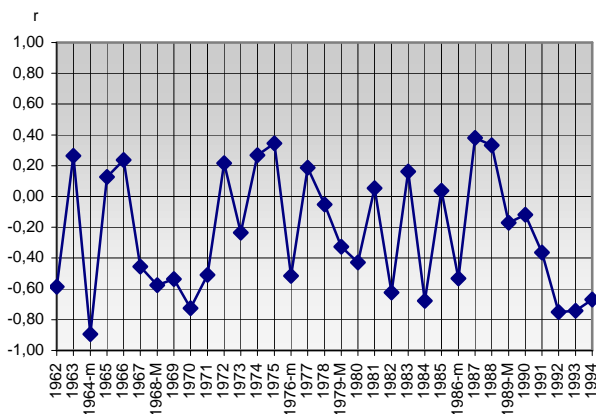
26. ábra Az 500 hPa-os szint hőmérsékletének idősora évszakonként (1962-1994)

Az évi átlagok vizsgálata alapján az 500 hPa-os szint hőmérsékletének és a naptevékenységet reprezentáló  $F_{10,7}$  index kapcsolatát kifejező korrelációs együttható értéke  $r=-0,24$ . A korrelációs együttható legnagyobb értéke  $r=0,38$ , a legkisebb értéke  $r=-0,89$ .

(27. ábra) A havi átlagok alapján az 500 hPa-os szint hőmérsékletének kapcsolata az  $F_{10,7}$  indexszel, márciustól májusig mutat értékelhető korrelációt. A korreláció értékei a téli hónapokban -januártól márciusig- pozitív, a tavaszi hónapok negatív kapcsolatot tükröznek. (16. sz. táblázat)

A geomágneses tevékenység és a szint hőmérséklete közötti korrelációk havonként hasonló eredményt tükröznek. A szint hőmérsékletének az extraterresztrikus

tényezőkkel jelentkező korrelációi, az izobár szintek magasságánál tapasztaltakhoz hasonlóak. Azaz, a szint hőmérsékletének korrelációja a geomágneses tevékenységgel ugyanolyan előjelű mint az  $F_{10,7}$  indexszel jelentkező korreláció. A szint hőmérsékletének a galaktikus sugárzás értékeivel mutatott korrelációja azonban az előzőekkel ellentétes előjelű. Értékelhető korrelációk gyakran mind a három tényezőnél együtt jelentkeznek.



27. ábra Az 500 hPa-os szint hőmérsékletének és az  $F_{10,7}$  index közötti évi átlagos korreláció időszora (1962-1994)

16. sz. táblázat

*Az 500 hPa-os szint hőmérsékletének*

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmos sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel számított korreláció (1962-1994)

N= 33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	0,27	0,15	<u>0,36</u>	<u>-0,40</u>	<u>-0,36</u>	-0,07	0,09	0,00	-0,18	-0,01	-0,26	-0,15
b)	-0,19	0,12	-0,31	<u>0,35</u>	0,26	0,07	0,00	-0,14	-0,05	-0,05	-0,03	0,21
c)	0,16	-0,06	<u>0,42</u>	<u>-0,37</u>	-0,06	-0,05	-0,02	0,03	0,22	<u>-0,35</u>	0,09	0,14

Az 500 hPa-os szint hőmérsékletek az  $F_{10,7}$  indexszel a QBO nyugati fázisában a tavasz végi és a nyár eleji hónapokban, valamint szeptemberben és decemberben mutatnak közepes, illetve gyenge negatív korrelációt, március hónapban a kapcsolat pozitív előjelű. (17. sz. táblázat) Ez utóbbi esetben, márciusban a szint hőmérséklete a galaktikus-kozmos sugárzással negatív szignifikáns kapcsolatot jelez. A galaktikus-kozmos sugárzásnak februárban és áprilisban jelentkező pozitív korrelációja a szint

hőmérsékletével, szintén szignifikáns. A geomágneses tevékenységnek és a szint hőmérsékletének a korrelációja a nyugati fázisban döntőrészt negatív, szeptember kivételével. Az 500 hPa-os szint hőmérséklet és az  $F_{10,7}$  index közötti korreláció a keleti fázisban télen (januári) pozitív és gyenge erősségű, május hónapban a kapcsolat már negatív előjelű. Az 500 hPa-os hőmérséklet és a geomágneses tevékenység között a keleti fázisban főként télen jelentkezik pozitív meghatározó erősségű korreláció, ellentétben a nyugati fázis azonos időszakú negatív, vagy 0-hoz közeli értékével. Mindkét fázisban megfigyelhető, hogy ha az  $F_{10,7}$  index és a szint hőmérséklet közötti korrelációs együttható negatív, a galaktikus-kozmosz sugárzás és a hőmérséklet közötti korreláció pozitív előjelű.

17. sz. táblázat

***A 500 hPa-os szint hőmérsékletének***

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmosz sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel

számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	0,00	0,07	0,41	<u>-0,67</u>	-0,33	<u>-0,57</u>	-0,20	0,03	-0,41	0,34	0,16	-0,45
a)	K	<u>0,53</u>	0,21	0,30	0,03	-0,38	0,08	0,15	0,03	0,02	-0,16	-0,35	0,15
b)	NY	0,09	<u>0,57</u>	<u>-0,65</u>	<u>0,56</u>	0,14	0,14	0,14	-0,05	0,00	-0,33	-0,27	0,39
b)	K	-0,44	-0,10	-0,36	0,03	0,41	0,04	-0,02	-0,24	-0,12	0,08	0,13	-0,03
c)	NY	-0,14	<u>-0,58</u>	0,29	-0,33	-0,03	-0,33	-0,53	-0,09	0,33	-0,20	0,15	0,06
c)	K	<u>0,55</u>	0,12	<u>0,56</u>	-0,42	-0,15	0,02	0,01	0,15	0,03	-0,40	0,07	0,20



### 3.3.2. Az izobárszintek hőmérséklete a sztratoszférában

Feltételezhető, hogy a sztratoszférában a hőmérséklet alakulásában már nem a troposféra zavarai, hanem a sugárzási viszonyok, a sztratosféra folyamatai játszanak szerepet.

Az előző pontban látható volt, hogy a troposféra 500 hPa-os szintjétől a hőmérséklet csökkenő trendet mutat, a csökkenés a sztratoszférában is megfigyelhető.

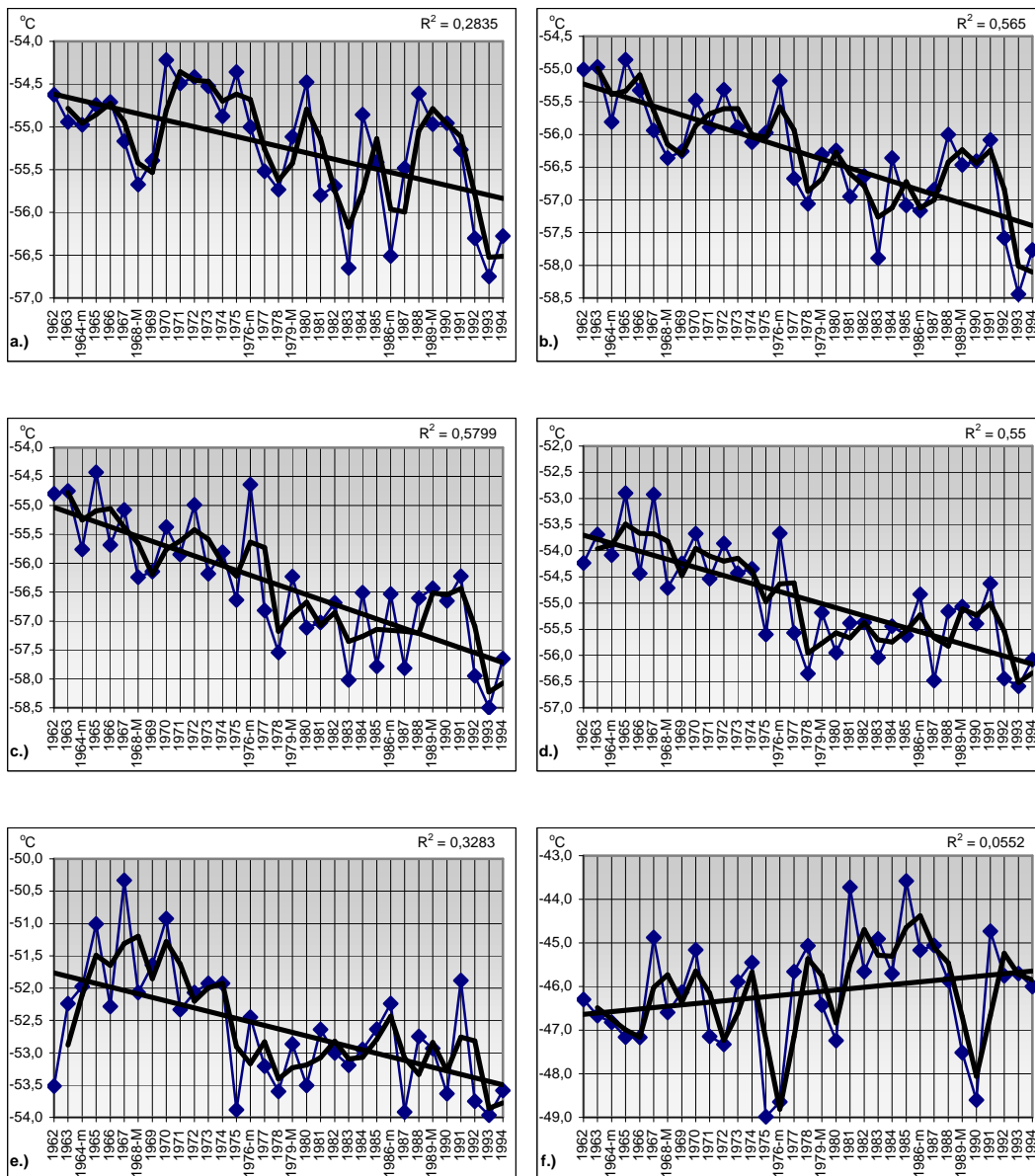
Sőt a hőmérsékletcsökkenés mértéke 50 hPa-os szintig fokozatosan nő minden évszakban, a növekedés mértéke az 50 és a 20 hPa-os szint között azonban már kisebb mértékű. A 10 hPa-os szint az a szint, ahol a hőmérsékleti trendek növekedést mutatnak, azaz a sztratosféra 30-31 km-es magassága már melegszik. (28. ábra) A vizsgált izobár szintek közül a 10 hPa-os szint a legmagasabb hőmérsékletű. (18. sz. táblázat)

18. sz. táblázat

*A vizsgált izobár szintek (150 hPa, 30 hPa, 20 hPa, 10 hPa)  
átlagos hőmérsékletei évszakonként °C-ban*

<b>Évszak</b>	<b>150 hPa</b>	<b>30 hPa</b>	<b>20 hPa</b>	<b>10 hPa</b>
Tél	-57,0	-59,8	-58,7	-53,9
Tavaszi	-54,1	-55,8	-53,8	-47,2
Nyár	-52,8	-49,8	-46,2	-38,9
Ősz	-57,5	-54,5	-51,9	-46,0
Év	-55,2	-54,9	-52,6	-46,1

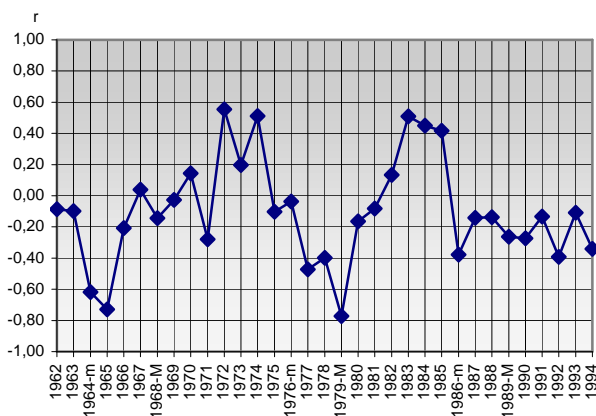
A sztratosféra hűlésének tényét az általános légkörzésből adódóan magyarázhatjuk azzal a ténnyel is, hogy a troposféra melegedésének hatására több hő jut fel a trópusokon a tropopauzát áttörő feláramlásokkal, ez viszont erősíti a sarkvidéket a tropopauzában körülölelő áramlásokat, vagyis a sarkvidéki téli örvény levegőjét elszigeteli az alacsony szélességek feletti levegőtől, így hűtő hatása érvényesül.



28. ábra A 150 hPa (a), 100 hPa (b), 50 hPa (c), 30 hPa (d), 20 hPa (e), 10 hPa (f) szintek hőmérsékleti időszora (1962-1994)

### 3.3.2.1. A 150 hPa-os szint hőmérséklete

A 150 hPa-os szint a tropopauza felett helyezkedik el. A 150 hPa-os szint hőmérséklete és az  $F_{10,7}$  index közötti korreláció átlagértéke  $r=-0,10$ . A korrelációs együttható maximális értéke  $r=0,56$ , minimális értéke  $r=-0,77$ .



29. ábra Az 150 hPa-os szint hőmérsékletének és az  $F_{10,7}$  index közötti évi átlagos korreláció időszora (1962-1994)

A 150 hPa-os szint hőmérséklete és az  $F_{10,7}$  index közötti korreláció a havi átlagokkal számolva a téli hónapokban december kivételével negatív, a nyári hónapokban pozitív. (19. táblázat) Az 500 hPa-on ennek ellentéte volt megfigyelhető.

Értékelhető, szignifikáns korreláció csak decemberben, pozitív előjellel figyelhető meg. A geomágneses tevékenység kapcsolata a szint hőmérsékletével október kivételével valamennyi hónapban negatív. A galaktikus-kozmikus sugárzás és a 150 hPa-os szint hőmérsékletének a korrelációja szignifikáns kapcsolatot nem mutat, azonban a tél végi hónapokban a korreláció pozitív.

19. sz. táblázat

#### *A 150 hPa-os szint hőmérsékletének*

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmikus sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

N= 33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	-0,25	-0,10	-0,06	0,11	0,25	0,01	0,02	0,03	0,13	0,00	-0,04	<u>0,38</u>
b)	0,32	0,21	0,23	-0,12	-0,13	0,07	0,03	0,13	-0,07	-0,01	0,06	-0,28
c)	-0,01	-0,05	-0,21	0,03	-0,12	-0,20	-0,01	-0,14	-0,20	<u>0,38</u>	-0,16	-0,08

A QBO nyugati és a keleti fázisában a 150 hPa-os szint hőmérséklete és az  $F_{10,7}$  index közötti korreláció nagysága kisebb, mint az 500 hPa-on volt. Míg az 500 hPa-on a nyugati fázisban a nyári hónapok korrelációi negatívak, addig a 150 hPa-on ezek pozitív értékek. A keleti fázisban a téli időszak január kivételével gyenge pozitív kapcsolatot mutat, a március hónap 95 %-os szignifikanciával. (20. sz. táblázat) A havi értékek mind a nyugati, mind a keleti fázisban a korreláció előjelét tekintve kisebb változékonyságot jeleznek. Ezt tükrözik a geomágneses tevékenység és a 150 hPa-os szint hőmérséklete közötti korrelációs együtthatók is. A galaktikus-kozmosz sugárzás és a színhőmérséklete közötti korreláció (abszolút értékben) a nyugati fázisban, a téli hónapokban jóval nagyobb, mint az  $F_{10,7}$  értéknek vagy a geomágneses tevékenységnek a szint hőmérsékletével számított korrelációja.

20. sz. táblázat

***A 150 hPa-os szint hőmérsékletének***

a)  $F_{10,7}$  indexszel

b) galaktikus-kozmosz sugárzással

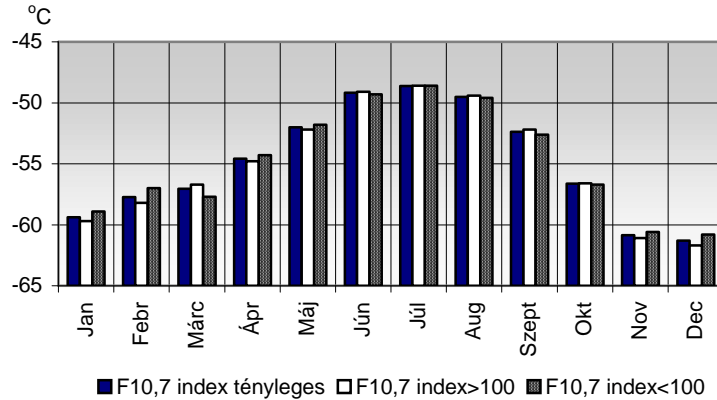
c) geomágneses tevékenységgel

számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	-0,11	-0,20	-0,37	0,13	0,38	0,17	0,09	-0,20	0,09	-0,35	-0,09	0,44
a)	K	-0,33	0,02	<u>0,48</u>	0,05	0,22	-0,03	0,02	0,12	0,13	0,15	0,18	0,31
b)	NY	<u>0,47</u>	<u>0,48</u>	<u>0,53</u>	-0,06	-0,06	-0,05	0,26	0,30	-0,02	0,10	-0,07	-0,36
b)	K	0,20	-0,02	-0,28	-0,19	-0,17	0,08	-0,13	0,00	-0,10	-0,08	-0,13	-0,19
c)	NY	0,26	-0,20	-0,36	-0,05	0,15	-0,16	-0,40	-0,42	-0,31	0,08	0,03	-0,12
c)	K	-0,26	0,01	-0,03	0,14	-0,27	-0,17	0,17	-0,01	-0,03	<u>0,50</u>	-0,14	-0,04

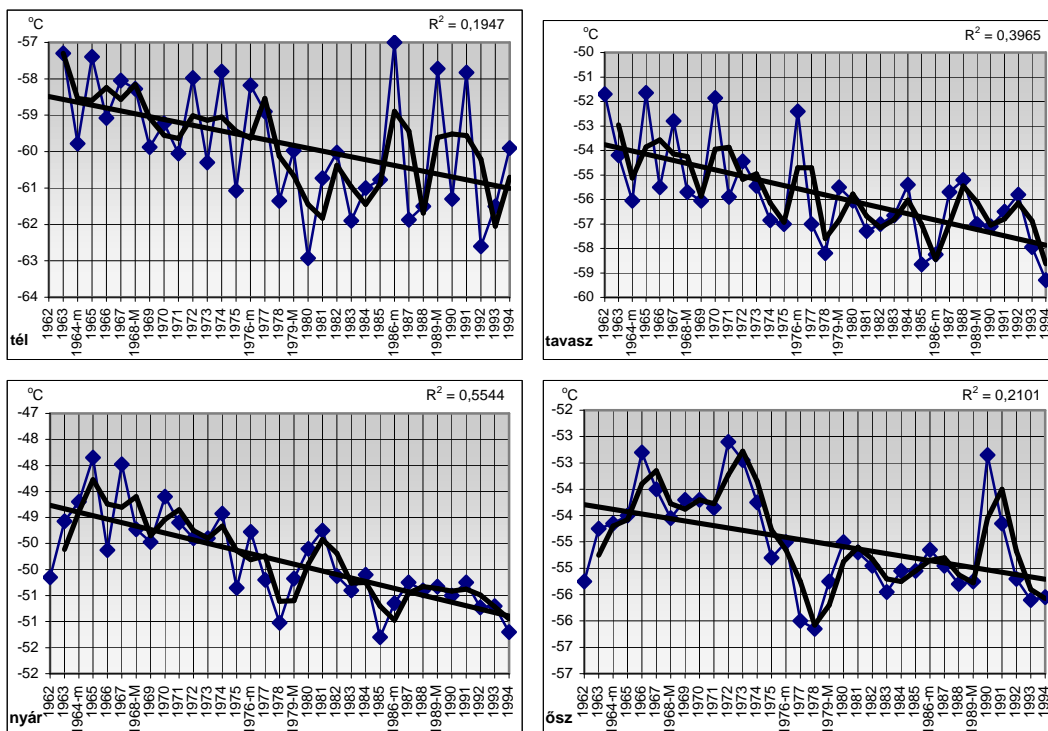
### 3.3.2.2. A 30 hPa-os szint hőmérséklete

A 30 hPa-os szint hőmérsékletének évi menete a vizsgált izobár szintek hőmérsékleti jellegét mutatja. (30. ábra)



30. ábra A 30 hPa-os szint hőmérsékletének havi értékei

A 3.2.2.2. pontban ismertetett kategorizálást elvégezve a hőmérsékleti értékekre is fenn áll az, hogy nincs szignifikáns eltérés a két kategória, azaz a naptevékenységi maximum és minimum időszakát jellemző 30 hPa-os szint hőmérsékletének évi menete között. Az ábrából is látható, a téli időszakra jellemző, hogy a naptevékenységi minimum időszakának hőmérséklete meghaladja a naptevékenységi maximum időszakának hőmérsékletét. A további megállapítások a kategorizálás elhagyásával történnek.

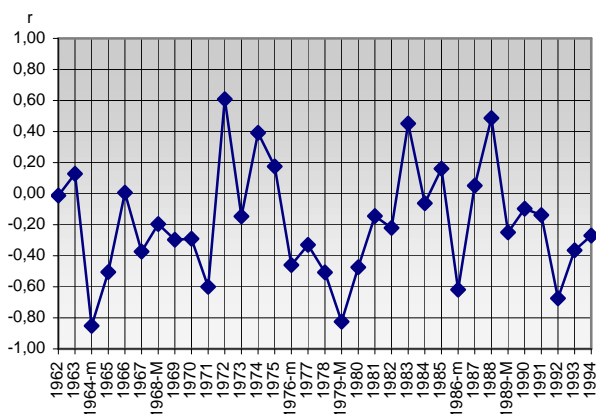


31. ábra A 30 hPa-os szint hőmérsékletének idősora évszakonként (1962-1994)

A 30 hPa-os szint hőmérséklete, amely átlagosan 10000 gpm-rel magasabban helyezkedik el, mint a 150 hPa-os szint, közelítőleg azonos menetet mutat a 150 hPa-os szint hőmérsékletével. A szint hőmérsékletének évi ingása 12 °C. A 30 hPa-os szint hőmérsékleti időszora (28.d., 31. ábra) nem ad egyértelmű választ arra, hogy a naptevékenység maximuma, illetve minimuma időszakában a hőmérséklet milyen irányba változik, növekszik, vagy csökken.

A 30 hPa-os szint hőmérsékletének az  $F_{10,7}$  indexszel való kapcsolatát H. van Loon és K. Labitzke is vizsgálta. Eredményeik alapján a 250 hPa és a 10 hPa közötti tartományban a kapcsolat legerősebb a 25 km-es magasság környezetében, az ózonréteg szintjén. Miután a vizsgálatokat kiterjesztették az egész Földre, azt tapasztalták, hogy a hőmérséklet és az  $F_{10,7}$  index közötti legjelentősebb korrelációk minden évszakban a Napot követik, az egyik féltékéről a másikra.

Az éves értékek alapján számított korrelációs együtthatók átlagértéke a 30 hPa-os szint hőmérséklete és az  $F_{10,7}$  index között  $r=-0,19$ . A legnagyobb érték  $r=0,61$ . A legkisebb érték  $r=-0,85$ . (32. ábra)



32. ábra Az 30 hPa-os szint hőmérsékletének és az  $F_{10,7}$  index közötti évi átlagos korreláció időszora (1962-1994)

A Budapest felett végzett mérések eredményei nem egyeznek a H. van Loon és K. Labitzke eredményeivel, ugyanis a 30 hPa-on mért hőmérsékleti értékek nem mutatnak értékelhető korrelációt az  $F_{10,7}$  indexszel. (39. sz. táblázat) A szint hőmérsékletének a galaktikus-kozmosz sugárzással kapott korrelációi havonként döntőrészt pozitívak, míg a geomágneses tevékenységgel számított korrelációk előjelei döntőrészt negatívak. Az egyváltozós korrelációk abszolút értékei 30 hPa-on kisebbek, mint troposzféra vizsgált szintjén.

**A 30 hPa-os szint hőmérsékletének**

- a)  $F_{10,7}$  indexszel  
 b) galaktikus-kozmosz sugárzással  
 c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

N= 33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	-0,17	0,01	0,01	-0,14	-0,12	-0,01	-0,07	0,11	-0,04	0,03	-0,25	-0,14
b)	0,23	0,06	0,12	0,17	0,22	0,10	0,19	-0,05	0,01	-0,02	<u>0,35</u>	0,11
c)	-0,06	0,06	-0,31	-0,32	-0,18	-0,18	-0,15	-0,17	-0,21	-0,01	-0,28	-0,26

Abban az esetben, ha a QBO két fázisa függvényében vizsgáljuk a korrelációk értékeit, nincs értékelhető korreláció a 30 hPa-os szint hőmérséklete és az  $F_{10,7}$  index között az egyik fázisban sem. Ugyanakkor, gyenge negatív kapcsolat figyelhető meg a geomágneses tevékenység és a 30 hPa-os szint hőmérséklete között a nyugati fázisban a június, július, augusztus, illetve december hónapokban. Júniusban a korreláció a 95%-os szignifikanciaszintet is eléri. (22. sz. táblázat) A galaktikus-kozmosz sugárzás és az  $F_{10,7}$  index között a korrelációk pozitív értéket vesznek fel, kivéve a tavaszi, illetve az őszi hónapokat.

22.sz. táblázat

**A 30 hPa-os szint hőmérsékletének**

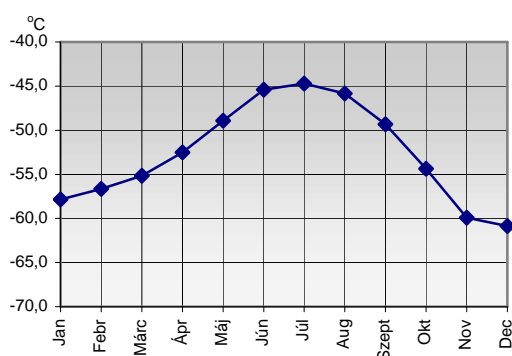
- a)  $F_{10,7}$  indexszel  
 b) galaktikus-kozmosz sugárzással  
 c) geomágneses tevékenységgel  
 számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	-0,01	-0,16	-0,09	-0,07	-0,19	-0,05	-0,13	0,13	0,20	-0,09	-0,19	-0,33
a)	K	-0,26	0,13	0,17	-0,21	-0,07	-0,01	-0,05	0,12	-0,22	0,13	-0,31	0,01
b)	NY	0,28	0,19	0,21	0,12	0,32	0,16	0,20	-0,12	-0,21	-0,07	0,29	0,26
b)	K	0,20	-0,01	-0,05	0,23	0,16	0,10	0,20	-0,03	0,28	0,02	0,44	0,00
c)	NY	-0,17	-0,11	-0,28	-0,14	0,02	<u>-0,57</u>	-0,55	-0,34	-0,21	0,03	-0,30	-0,40
c)	K	0,04	0,12	-0,38	<u>-0,50</u>	-0,37	-0,12	-0,13	-0,07	-0,28	0,00	-0,24	-0,07

A QBO keleti fázisában végzett vizsgálatok az  $F_{10,7}$  index és a 30 hPa-os szint hőmérséklete között nem mutatnak értékelhető összefüggést. (22. sz. táblázat) A geomágneses tevékenység és a 30 hPa-os szint hőmérséklete között a keleti fázisban április hónap mutat 95%-os szignifikancia-szinten negatív előjelű kapcsolatot. A galaktikus-kozmosz sugárzás és a szint hőmérséklete közötti korrelációk döntőrészt pozitívak, de nem értékelhetők.

### 3.3.2.3. A 20 hPa-os szint hőmérséklete

A havi átlaghőmérsékletek alapján a 20 hPa-os szint minden évszakban melegebb, mint a 30 hPa-os szint. Ez a körülmény a sztratoszférának ezen a szintjén az  $O_3$  sugárzás-elnyelő hatásával magyarázható. A 20 hPa-os szint hőmérsékletének évi ingása  $16\text{ }^\circ\text{C}$ , nagyobb változékonyságot mutat mint a 30 hPa-os szint változékonysága. (33. ábra)

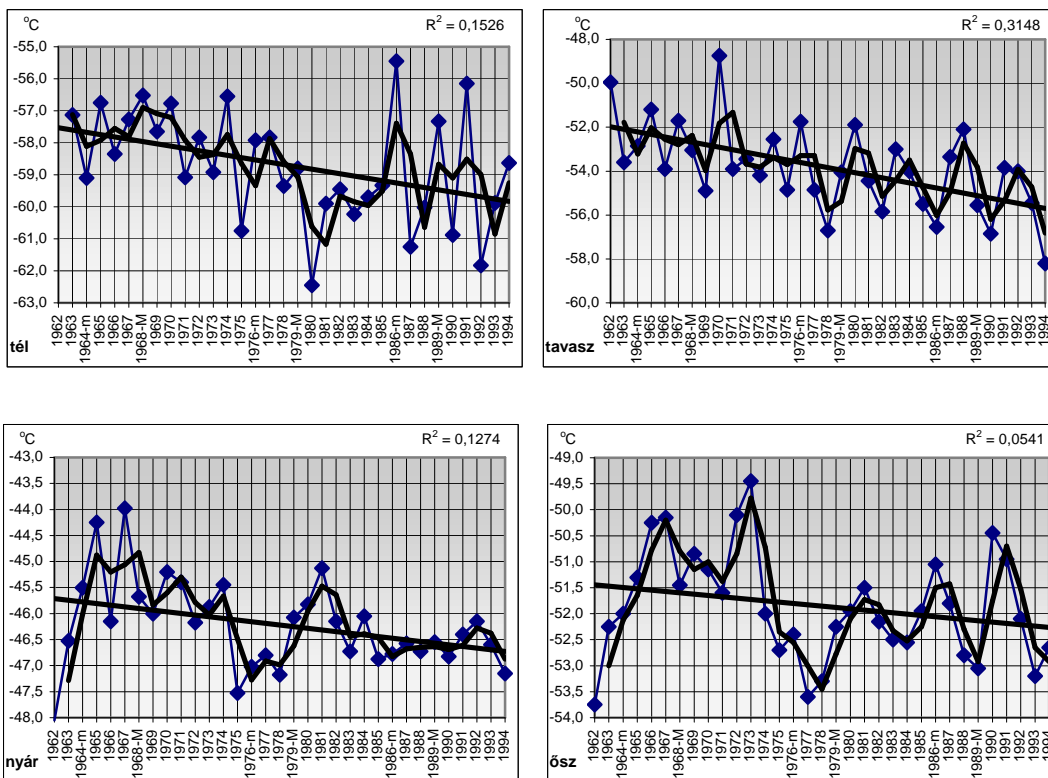


33. ábra A 20 hPa-os szint hőmérsékletének havi értékei

Az ózon hőmérsékletet növelő hatása azáltal is megmutatkozik, hogy a 30 hPa-os és a 20 hPa-os szinten a tavaszi évszak hőmérséklete kismértékben alacsonyabb, mint az őszi évszaké. A teljes  $O_3$  tartalom az északi hemiszférán tavaszi maximumot és őszi minimumot mutat. A tropopauza alatti szinteken viszont a tavaszi évszak átlaghőmérsékletei jelentősen kisebbek az őszi évszak átlag hőmérsékleteinél. A 20 hPa-os szint hőmérsékletének trendje a szint hőmérséklet csökkenését jelzi. (28.e. ábra).

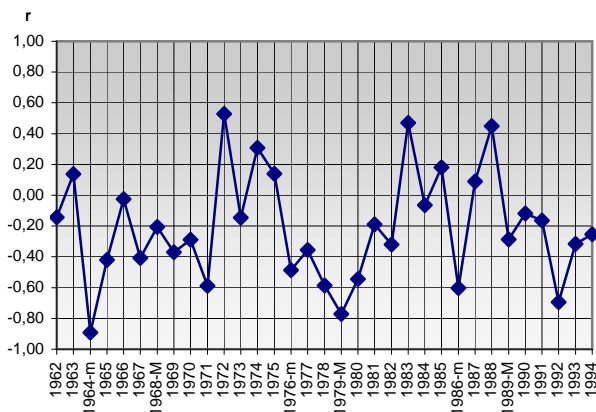
A 20 hPa-os szint hőmérsékletének vizsgálata során megállapítható, hogy a naptevékenység maximumánál és minimumánál a hőmérsékleti értékek lokális szélsőértékei egyértelműen nem mutathatók ki. Ez a jelleg az évszakok hőmérsékleti idősorait is jellemzi. (34. ábra)





34. ábra A 20 hPa-os szint hőmérsékletének időszora évszakonként (1962-1994)

A havi átlagokból számított  $F_{10,7}$  index és a 20 hPa-os szint hőmérséklete közötti évi átlagos korrelációs együttható változásai a 35. ábrán láthatóak. Az éves korrelációk átlaga  $r=-0,21$ , a legnagyobb érték  $r=0,53$ , a legkisebb érték  $r=-0,89$ .



35. ábra A 20 hPa-os szint hőmérsékletének és az  $F_{10,7}$  index közötti évi átlagos korreláció időszora (1962-1994)

A 20 hPa-os szint hőmérséklete és a naptevékenység között a havi értékek nem mutatnak értékelhető korrelációt. (23. sz. táblázat) Ugyanakkor a geomágneses tevékenység esetében a korreláció a tavaszi hónapokban szignifikáns értéket (95%) is elér. A 20 hPa-os szint hőmérséklete és a galaktikus-kozmikus sugárzás közötti korrelációk az átmeneti évszakokban negatívak, a többi hónapokban a 0-t közelítve pozitívak.

**A 20 hPa-os szint hőmérsékletének**

- a)  $F_{10,7}$  indexszel  
 b) galaktikus-kozmosz sugárzással  
 c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációja (1962-1994)

Adat= 33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	-0,13	0,09	0,00	-0,08	0,15	0,14	0,08	0,17	0,08	0,08	-0,23	-0,18
b)	0,22	0,04	0,05	-0,19	-0,03	-0,03	0,03	-0,04	0,00	-0,02	0,29	0,09
c)	-0,12	0,15	<u>-0,36</u>	-0,29	0,13	-0,11	-0,08	-0,07	-0,19	-0,07	-0,22	-0,20

Ha a 20 hPa-os szint hőmérsékletének a változását a QBO fázisai szerint vizsgáljuk, egyértelmű összefüggést itt sem állapíthatunk meg, vélhetően az ózon jelenléte miatt. (24. sz. táblázat) Az  $F_{10,7}$  index és a hőmérséklet közötti korreláció mind a nyugati, mind a keleti fázisban nagymértékű fluktuációt mutat. A geomágneses tevékenység és a hőmérséklet közötti korreláció a nyugati fázisban, a nyári hónapokban negatív és a szignifikáns értéket is eléri, illetve megközelíti. A galaktikus-kozmosz sugárzás és a szint hőmérséklete közötti korrelációk a nyugati fázisban döntőrészt pozitívak, a keleti fázisban több hónapban negatívak, de a szignifikáns értéket nem érik el.

24. sz. táblázat

**20 hPa-os szint hőmérsékletének**

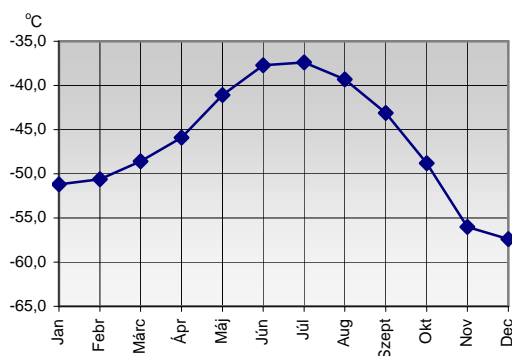
- a)  $F_{10,7}$  indexszel  
 b) galaktikus-kozmosz sugárzással  
 c) geomágneses tevékenységgel  
 számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	0,12	0,00	-0,10	-0,08	0,01	-0,05	-0,01	-0,03	0,15	0,05	-0,09	-0,52
a)	K	-0,30	0,16	0,18	-0,11	0,32	0,20	0,11	0,26	0,04	0,12	-0,31	0,04
b)	NY	0,18	0,13	0,09	0,15	0,19	0,15	-0,01	0,01	-0,11	-0,17	0,06	0,42
b)	K	0,25	-0,01	-0,03	0,25	-0,27	-0,09	0,06	-0,06	0,13	0,09	0,40	-0,14
c)	NY	-0,13	0,23	-0,39	-0,20	0,08	<u>-0,64</u>	-0,44	-0,15	-0,16	0,15	-0,16	-0,43
c)	K	-0,13	0,10	-0,38	-0,39	0,22	-0,01	-0,07	-0,02	-0,31	-0,13	-0,18	0,05

A 20 hPa-os szint hőmérsékleti viszonyaira vonatkozó eredmények nem egyeznek K. Labitzke és H. van Loon kutatásainak eredményeivel. Az eltérés felveti a naptevékenység és a hőmérsékleti viszonyok globális kezelésének létjogosultságát. A jelen vizsgálatból csak regionális vonatkozású eredmények származtathatók, amelyek az adott területet tekintve feltehetően reálisabb következtetések levonására alkalmasak, mint a globális szempontú vizsgálatból származtatott eredmények.

#### 3.3.2.4. A 10 hPa-os szint hőmérséklete

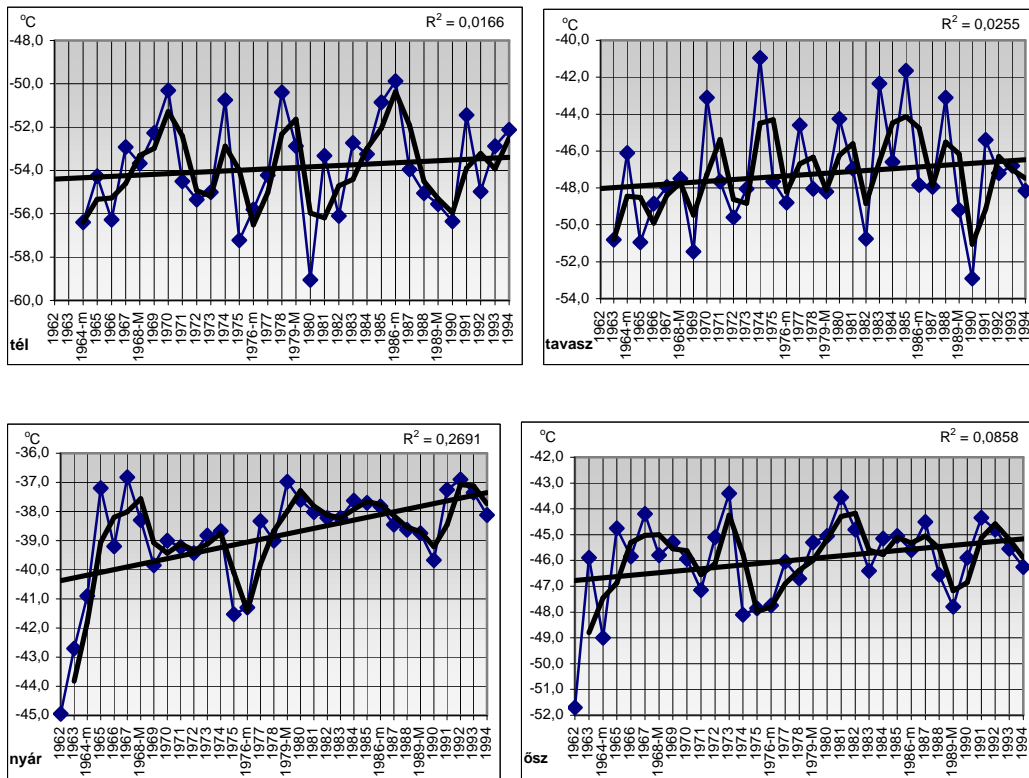
A 10 hPa-os szint évi középhőmérséklete  $-46,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb, mint a 20 hPa-os szint hőmérséklete, míg a magassága átlagosan 31021 gpm, azaz 4500 gpm-rel helyezkedik el magasabban, mint a 20 hPa-os szint. A 10 hPa-os szinten is az ózon hatására következtethetünk, ugyanis a januártól-júniusig terjedő időszak középhőmérséklete több mint  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb a júliusi - decemberi középhőmérsékletnél. A havi közép-hőmérsékletek ingadozása az év folyamán  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ez az érték meghaladja az alatta levő szinteken tapasztalt ingást. (36. ábra)



36. ábra A 10 hPa-os szint hőmérsékletének havi értékei

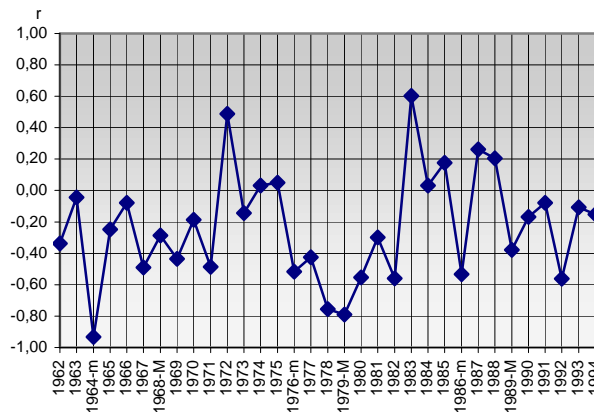
A 10 hPa-os szint hőmérséklete minden évszakban magasabb a 20 hPa-os szint hőmérsékleteinél. A két szint hőmérséklete közötti különbség a tavaszi és nyári hónapokban jelentősen nagyobb  $\Delta t = 7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mint az őszi és téli hónapokban (ősz  $\Delta t = 5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tél  $\Delta t = 4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

A 10 hPa-os szint évi középhőmérsékletének időszora az előző szintektől eltérően a szint melegedését jelzi. (28.f. ábra) A trendek alapján tavasszal, nyáron a legnagyobb mértékű a szint hőmérsékletének a növekedése, míg a téli és az őszi ettől a növekedéstől jelentősen elmarad, a hőmérséklet csak kis mértékben növekszik. (37. ábra)



37. ábra A 10 hPa-os szint hőmérsékleti időszora évszakonként

A 10 hPa-os szint hőmérséklete és az  $F_{10,7}$  index közötti korrelációk éves átlagai az előzőekben bemutatott szintekhez hasonlóak ( $r=-0,23$ ), a legnagyobb korrelációs érték  $r=0,60$ , a legkisebb  $r=-0,93$ . (38.ábra)



38. ábra A 10 hPa-os szint hőmérsékletének és az  $F_{10,7}$  index közötti évi átlagos korreláció időszora (1962-1994)

A 10 hPa-os szint hőmérséklete és az  $F_{10,7}$  index közötti gyenge korreláció pozitív előjelű a májustól októberig terjedő hónapokban, a téli és a tavaszi hónapokban negatív korrelációt mutatnak. Az előző szintektől eltérő eredményt az ózon jelenlétének tulajdoníthatjuk. Az ózon jelenléte a sugárzási folyamatokban “zavart” okozhat ugyanis,

míg 20 hPa-on, 30 hPa-on a nyári hónapokban is a 0-t közelítő korreláció volt a domináns, addig 10 hPa-on határozottan a pozitív korreláció érték a gyakori. (25. sz. táblázat) Ez azt is jelentheti, hogy a Nap és az ózon közötti kapcsolat nem közvetlenül sugárzáson alapuló, hanem a Nap által meghatározott –trópustól a sarkok felé-áramlástól is függ. A naptevékenységnél tapasztalt jelleg figyelhető meg a geomágneses tevékenység és a szint hőmérséklete között is májusban szignifikáns korrelációval. A galaktikus-kozmosz sugárzás és a hőmérséklet közötti korrelációk szintén nem szignifikánsak, azonban az előjelük ellentétes a szint hőmérséklet és az  $F_{10,7}$  index, valamint geomágneses tevékenység korrelációjával.

A korrelációs értékeket, ha összevetjük az 500 hPa-on ugyanezen módon számított értékekkel megállapítható, hogy szignifikánsan kisebb korrelációkat kapunk 10 hPa-on.

A 38. és a 25. ábra összehasonlításából az is megfigyelhető, hogy azokban az években, amikor az ózon a legnagyobb mennyiségű a korrelációk alacsony értékűek.

25. sz. táblázat

#### ***A 10 hPa-os szint hőmérsékletének***

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
  - b) galaktikus-kozmosz sugárzás
  - c) geomágneses tevékenységgel
- számított korrelációi (1962-1994)

N=33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	-0,13	0,08	-0,16	-0,05	0,30	0,28	0,18	0,19	0,26	0,17	-0,05	-0,13
b)	0,12	-0,16	-0,03	0,10	-0,21	-0,19	-0,12	-0,08	-0,12	-0,14	0,02	-0,02
c)	-0,20	0,07	-0,06	0,04	<u>0,47</u>	0,21	0,10	0,11	0,17	0,05	0,01	0,10

A kvázi-kétéves oszcilláció függvényében végzett vizsgálat eredménye a 10 hPa-os szint hőmérséklete és az  $F_{10,7}$  index között a korreláció nyugati fázis nyári hónapjaiban pozitív, míg decemberben a szignifikáns értéket is elérően negatív. (26.sz. táblázat) A nyugati fázisban a hőmérséklet és a geomágneses tevékenység korrelációinak az előjele gyakorta változik. A szint hőmérsékletének a galaktikus-kozmosz sugárzással mutatott kapcsolata döntőrészt negatív. Ez a 30 hPa-os és a 20 hPa-os szinten nem volt jellemző, különösen nem az 500 hPa-os szinten.

A kvázi-kétéves oszcilláció a keleti fázisában az  $F_{10,7}$  index és a 10 hPa-os szint hőmérséklete közötti korreláció előjele döntőrészt pozitív. Ezt tükrözi az is, hogy

geomágneses tevékenység és a szint hőmérséklete közötti kapcsolat is döntőrészt pozitív, a májusi hónap szignifikáns értékével. Ez a változékonyság, illetve az előző szintektől eltérő jelleg megjelenik az  $F_{10,7}$  index és a galaktikus-kozmosz sugárzás értékeinél is.

26. sz. táblázat

**10 hPa-os szint hőmérsékletének**

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmosz sugárzás
- c) geomágneses tevékenység

számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	0,08	0,01	-0,26	0,00	0,17	0,34	0,17	0,19	0,09	0,37	0,14	<u>-0,48</u>
a)	K	-0,36	0,10	-0,08	-0,10	0,38	0,27	0,17	0,19	0,36	0,01	-0,12	0,12
b)	NY	-0,12	-0,38	0,00	0,05	-0,03	-0,18	-0,26	-0,15	-0,27	-0,27	-0,09	0,38
b)	K	0,35	0,10	-0,01	0,15	-0,30	0,20	-0,06	-0,04	-0,06	0,00	0,00	-0,34
c)	NY	-0,02	0,37	-0,19	0,06	0,20	0,10	-0,07	0,38	0,61	0,41	0,08	-0,06
c)	K	-0,42	-0,17	0,10	0,02	<u>0,64</u>	0,22	0,07	0,00	-0,28	-0,11	0,10	0,27

A naptevékenység valószínűleg, olyan hatásmechanizmust vált ki az ózon áramlásában, hogy a naptevékenység növekedésekor az ózontartalom nő, ezáltal a hőmérsékletnövelő hatás érvényesül. A naptevékenység minimuma idején ez a hatás csökken. A naptevékenység növekedésével ugyanis csökken a galaktikus-kozmosz sugárzás intenzitása, ezzel együtt csökken az ózon bomlásához vezető NO produkció, tehát az ózon tartalom növekszik, és fordítva. A naptevékenység és a hőmérséklet közötti negatív korrelációt előidézhetheti az, hogy a téli hónapokban a naptevékenység növekedése által előidézett ózonnövekedéssel szemben a NO felhalmozódás akadályozza az ózonkoncentráció növekedését.

### 3.3.3. Az extraterresztrikus tényezők hatását kifejező, az izobárszintek hőmérsékletére vonatkozó spektrumanalízis eredményei

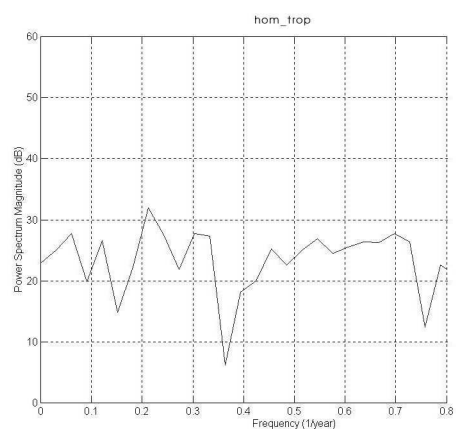
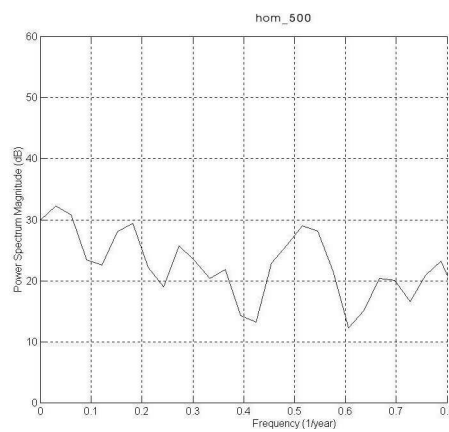
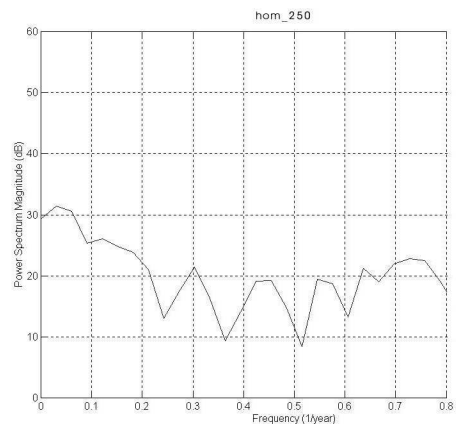
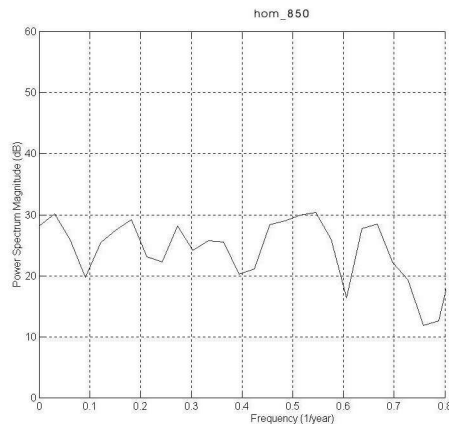
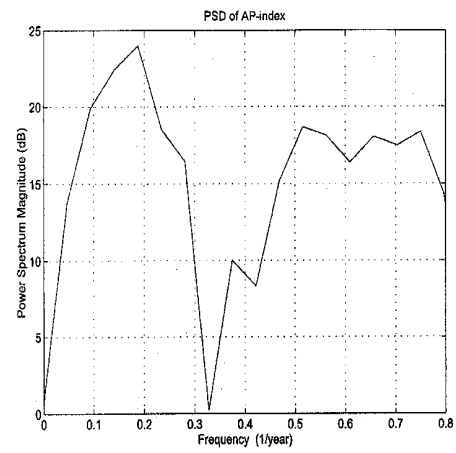
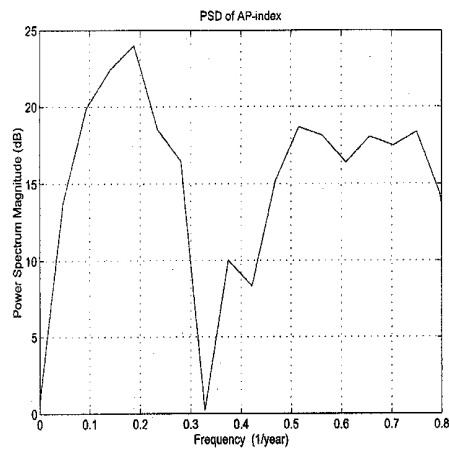
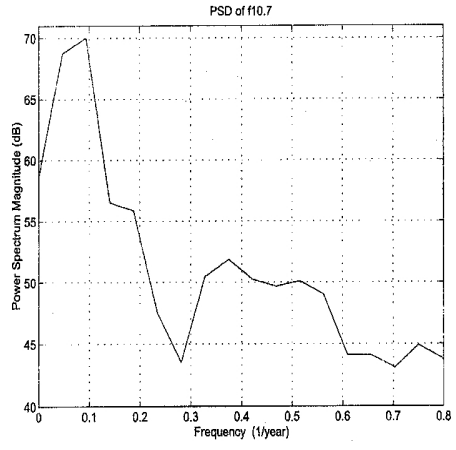
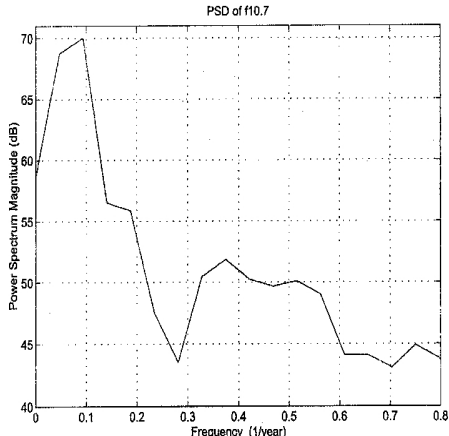
A naptevékenység és az izobár szintek hőmérséklete közötti vizsgálatok arra engednek következtetni, hogy a naptevékenység hatása a sztratoszférában a 10 hPa, a 20 hPa, valamint a 30 hPa szintek környezetében nagyon kis mértékű. A számított korrelációk különböző feltételek mellett alig mutatnak értékelhető kölcsönhatást. A troposzférában az 500 hPa-os szinten, sztratoszférában a 150 hPa-os szinten ez irányú összefüggések még felfedhetők. Az alkalmazott spektrumanalízis eredménye összhangban van a korrelációkból származtatható eredménnyel, azaz jelentős hatást tükröző hőmérsékleti teljesítményspektrumokat nem kapunk. (39. a-b. ábrák) A 27. sz. táblázat az azonosítható periódusokhoz tartozó spektrális teljesítmény értékeket tartalmazza izobár szintenként.

27. sz. táblázat

*A vizsgált izobárszinteken a hőmérséklet spektrumanalíziséből kapott amplitúdók dB-ben*

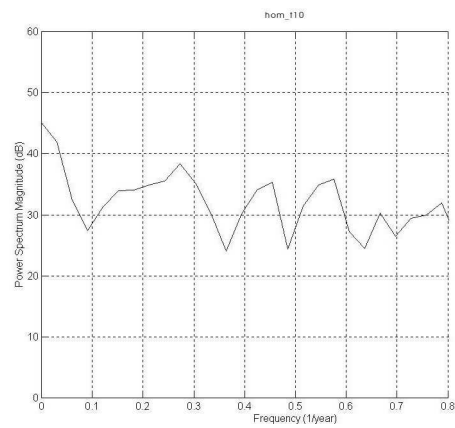
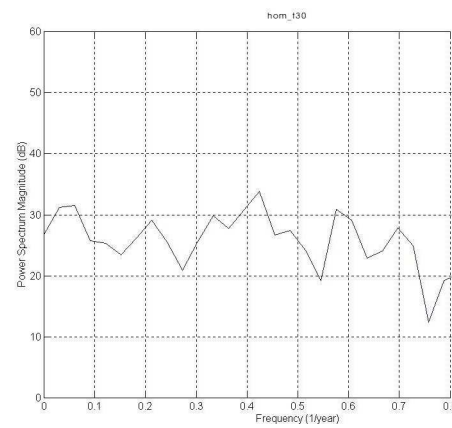
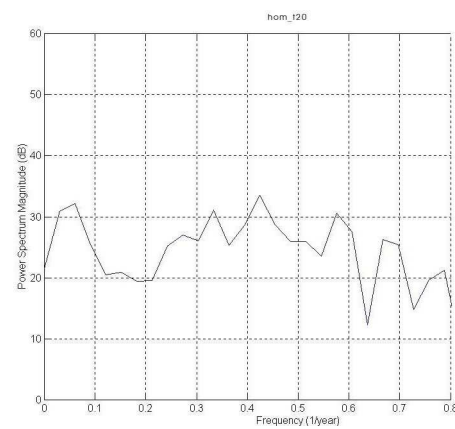
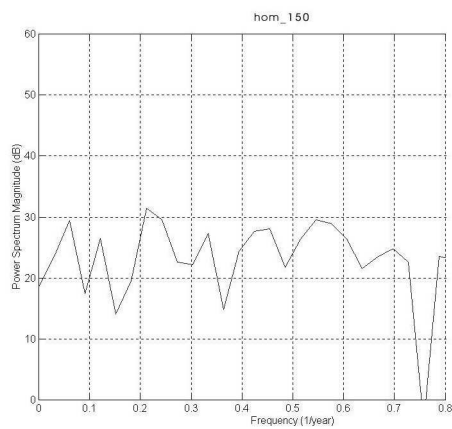
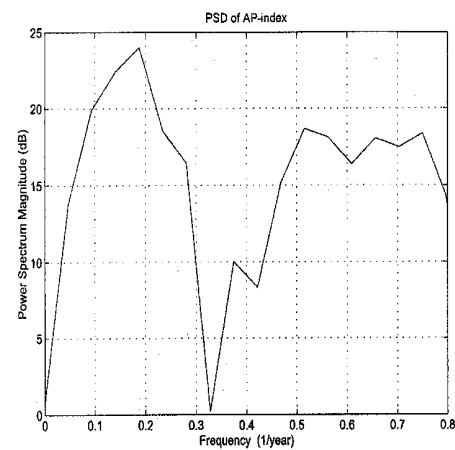
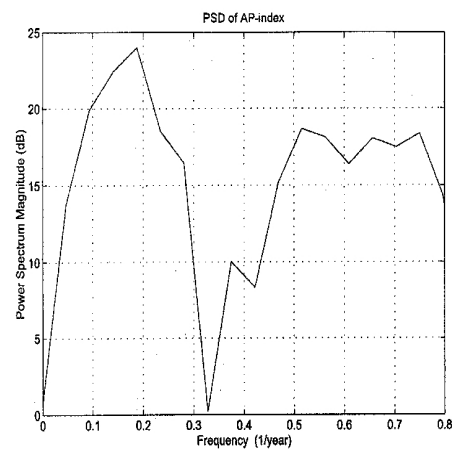
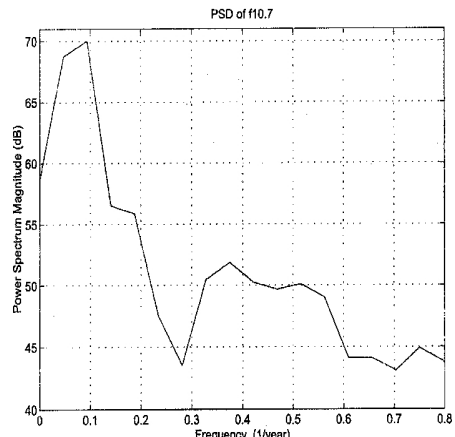
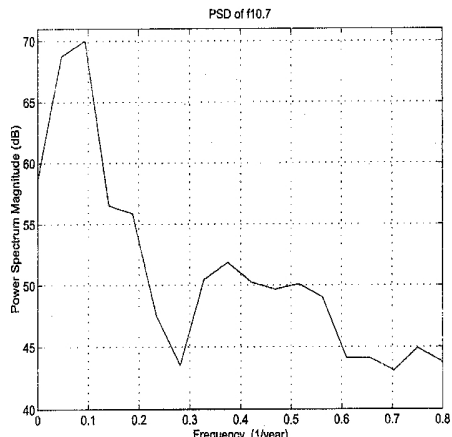
hPa/periódus	22 év - F <sub>10,7</sub>	11 év - F <sub>10,7</sub>	5,3 év - Ap	3,7 év - Ap	2,2 év - GCR	1,7 év - GCR
10	42	28	34	38	35	36
20	31	26	19	27	-	32
30	31	26	-	21	27	32
150	-	18	19	24	28	29
tropopauza	-	20	30	23	25	26
250	31	26	24	-	19	19
500	31	24	29	26	24	-

A hőmérséklet értékeknek a 22 éves periodicitása majdnem minden szinten jelentkezik. A 11 éves periodicitás már jóval gyengébben jelenik meg. Látható az is, hogy a vizsgált szinteken a naptevékenység 22 éves periódusa, a galaktikus-kozmosz sugárzás, a geomágneses tevékenység ciklusosságából adódó periodicitások közel azonos súllyal jelennek meg, amelyek jelentősebb hatást váltanak ki, mint a naptevékenység 11 éves periódusa. A geomágneses tevékenység spektrumában jelentkező a QBO-val valószínűsíthetően összefüggő 1,9 éves periodicitás az 500 hPa-os, és a 850 hPa-os szinten jelenik meg. A felettük levő szinteken e periodicitás nem észlelhető. Az is látható, hogy a hőmérsékleti teljesítmény-spektrumok értékei a Föld felszíne felé közeledve csökkenő tendenciájúak.



39. a. ábra A hőmérséklet spektrumanalízise a vizsgált izobár szinteken (amplitúdó dB-ben)





39. b. ábra A hőmérséklet spektrumanalízise a vizsgált izobár szinteken (amplitúdó dB-ben)

### 3.3.4. A fejezet konklúziója

Az izobár szintek hőmérséklete és az extraterresztrikus hatások kapcsolatát feltételezhetjük energetikai megfontolások alapján. A szintek hőmérsékletének valamint az extraterresztrikus hatásoknak a direkt kapcsolata több tényező együttes hatása miatt nehezen követhető.

#### *Troposzféra*

A troposzférikus magasságokban feltételezhetően kb. az 500 hPa-os szintig az izobár szintek hőmérséklete növekedő trendet mutat.

A szint hőmérséklet spektrumanalízise a periodicitást a geomágneses tevékenység 5,3 éves periódusánál jelzi.

Az extraterresztrikus tényezők és szint hőmérsékletek a troposzférában (500 hPa) hasonló korrelációkat mutatnak, mint az a geopotenciális magasságnál adódott. Azaz a troposzférabeli hőmérséklet és naptevékenység kapcsolatát kifejező korreláció a téli hónapokban pozitív, a tavaszi és a nyár eleji hónapokban negatív.

A troposzférában a QBO hatást figyelembe véve a naptevékenység és a szint hőmérséklete között, a nyugati fázisában a tavaszi és a nyár eleji időszakban értékelhető negatív korreláció figyelhető meg. A keleti fázisban pedig a téli hónapok mutatnak értékelhető pozitív irányú kapcsolatot.

A geomágneses tevékenység és a szint hőmérséklete között 500 hPa-on a nyugati fázisban egész évben a negatív korreláció a jellemző, értékelhető értékek a téli és a nyári időszakokban találhatóak. A keleti fázisban a téli pozitív korrelációk a dominánsak.

#### *Sztratoszféra*

A 250 hPa-os szinttől, - amely még a troposzférában található - a hőmérséklet idősora csökkenő trendet mutat egészen a 10 hPa-os szintig. A 10 hPa-os szint hőmérsékleti idősorának trendje már növekvő tendenciájú. A szint hőmérsékletek spektrumanalízise a naptevékenység 11 ciklusával nem mutat periodicitást, de a geomágneses tevékenység 5,3 éves periódusnál már ez megfigyelhető. A vizsgált alsó sztratoszféra 150 hPa-os szintjein az izobárszint hőmérséklete és a naptevékenység közötti kapcsolat főként nyáron pozitív, vagy a nullát közelítő érték, a 30 hPa-os szinten azonban döntőrészt negatív. A 20 hPa-os szint hőmérséklete és a naptevékenység közötti kapcsolat a hónapok többségében pozitív, bár szignifikánsnak nem tekinthető.

A 10 hPa-os szinten nyári évszakokban a naptevékenység és a szint hőmérséklete közötti korreláció pozitív.

A sztratoszféra 30 hPa-os, 20 hPa-os szintjének a hőmérséklete a geomágneses tevékenységgel az év minden szakában negatív korrelációt mutat. A 10 hPa-os szint hőmérsékletének - amelyeknek trendje is pozitív irányultságú – korrelációja a geomágneses tevékenységgel pozitív előjelű.

A QBO mindkét fázisban a 30 hPa-on és a 20 hPa-on a naptevékenység és a színhőmérséklet vagy a geomágneses tevékenység és a színhőmérséklet között szignifikáns kapcsolatot nem mutat a vizsgálat. A 10 hPa-os szinten a nyugati fázisban a nyáron pozitív korreláció figyelhető meg a naptevékenység és a szint hőmérséklete között, a keleti fázisban télen főként negatív, nyáron pozitív a korreláció előjele.

A 150 hPa-os szinttől a 10 hPa-os szintig a szint hőmérsékletének és a geomágneses tevékenységnek a korrelációja a QBO nyugati fázisában a nyári időszakban negatív előjellel domináns. A keleti fázisban 150 hPa-tól a 10 hPa-os szintig a téli korrelációk pozitív értékei határozottan nem jelennek meg. A 10 hPa-os szinten a nyugati és a keleti fázisban is a geomágneses tevékenység és a szint hőmérséklete közötti korrelációk az alsó sztratoszféra szintjeitől eltérőek, túlnyomórészt pozitívak.

A szint hőmérséklet és a galaktikus-kozmoszi sugárzás közötti korrelációt tekintve főként az alsó szintek (500 hPa, 150 hPa) a QBO nyugati fázisában mutatnak szignifikáns pozitív értékeket. A keleti fázisban értékelhető korrelációk a vizsgált szinteken nem figyelhetők meg. A korrelációk előjele általában ellenkező a naptevékenység vagy a geomágneses tevékenység és színhőmérsékletek között adódó korreláció előjelével.

Az előző fejezetben láttuk, hogy a geopotenciális magasságok és az extraterresztrikus tényezők közötti kapcsolat jól követhető. Adódik ez abból is, hogy a geopotenciális magasság egy közvetett paraméter, az izobár szintek magassága a légoszlopban lejátszódó fizikai folyamatok indikátora. A szint hőmérséklete a szintre jellemző közvetlen paraméter. Az utóbbival magyarázható, hogy a hőmérséklet és az extraterresztrikus tényezők közötti korrelációk főleg 30 hPa-on, 20 hPa-on, és a 10 hPa-on nem szignifikánsan, de eltérőek az alatta levő szintek hasonlóan értelmezett korrelációitól.

A sztratoszféra középső részén a színhőmérséklet és a naptevékenység közötti korrelációs értékek „eltérése” az ózon szerepének tulajdonítható. A geopotenciális

magasságnál is jellemző az ózon hatása, de miután a szintmagasság az egész légoszlopot jellemzi, nem okoz jelentős változást. A 20 hPa-os, de főként a 10 hPa-os szinten a nyugati és a keleti fázisban megjelenő pozitív korrelációk, a naptevékenység és az O<sub>3</sub> közötti kölcsönhatás hőmérsékletnövelő hatásának tulajdoníthatók. K. Labitzke és van Loon (1995) kimutatta, hogy különösen nyáron a naptevékenység és ózonmennyiség között pozitív kapcsolat van. Kimutatták, hogy a naptevékenység maximumakor a szubtrópusi övön belül keletkezett „többlet” ózon a sarkok irányába áramlik, ez a folyamat az ózon szint növekedését idézi elő az északi féltekén. Tehát a 47. szélességi kör környezetében is a naptevékenységgel az O<sub>3</sub> nő. E folyamat mellett a naptevékenység maximumakor az O<sub>3</sub> bomlását segítő folyamatok a galaktikus-kozmikus sugárzás csökkenésével lelassulnak. A két O<sub>3</sub> növelő hatás, illetve a lejátszódó folyamatok olyan jelentős változást eredményeznek, hogy a naptevékenység és a 10 hPa-os szint hőmérséklete között nyáron, a nyugati és a keleti fázisban is a korreláció pozitív előjelű lesz. Figyelembe véve a naptevékenység növekvő trendjét és ezzel a galaktikus kozmikus sugárzásnak a csökkenő tendenciáját, az NO koncentrációjának várhatóan ugyancsak csökkenő trendjét, feltételezhetjük, hogy ezek a folyamatok idézhetik elő a hőmérsékleti trend növekedését a 10 hPa-os szinten.

E magyarázat mellett itt is megismételhetjük, azaz célszerű figyelembe venni azokat a szempontokat, amelyeket az izobárszintek magasságával kapcsolatos fejezet lezárásánál említettünk, vagyis a sztratoszférikus felmelegedések (általában késő január, február hónapban, március elején), valamint a tavaszi és őszi áramlási rendszerváltozások az izobárszintek hőmérsékletére hatással vannak.

### 3.4. Az extraterresztrikus tényezők hatása az izobárszintek skaláris szélességére

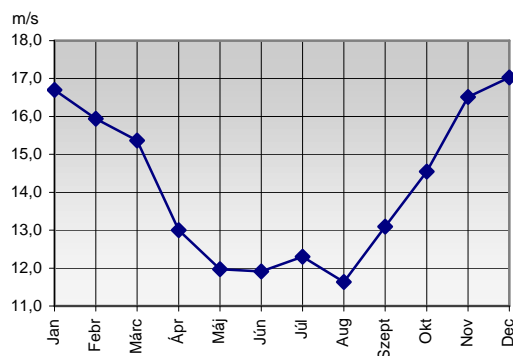
H. van Loon és K. Labitzke 1992-ben kimutatta, hogy az északi szélesség 15. fokától északra, télen a 11 éves napfoltciklus hatással van a sztratoszféra szélrendszerére. A későbbiekben bebizonyították, hogy a hatás az év minden részében és alacsonyabb szélességeken is érvényesül.

A vizsgálatok alapján a naptevékenység és a sztratoszférikus szél sebessége közötti korreláció az Egyenlítőnél mindig alacsonyabb, mint a trópusi és szubtrópusi régiókban. Az Egyenlítőnél a naptevékenység maximumainak és minimumainak idején a keleti szelek anomáliái jelentkeztek. Ennek alapján megállapították, hogy a Napnak tulajdonítható hatás modulálja a QBO szélrendszerét. Megállapítást nyert az is, hogy a naptevékenység és a sztratoszféra izobárszintjeinek skaláris szélessége közötti kölcsönhatás egész évben fennmarad, nem korlátozódik a téli hónapokra, amikor a QBO két fázisában a sarki sztratoszférikus hőmérséklet és az izobár szintek magassága, valamint  $F_{10,7}$  index közötti korreláció negatív.

#### 3.4.1. Szélviszonyok a troposzférában

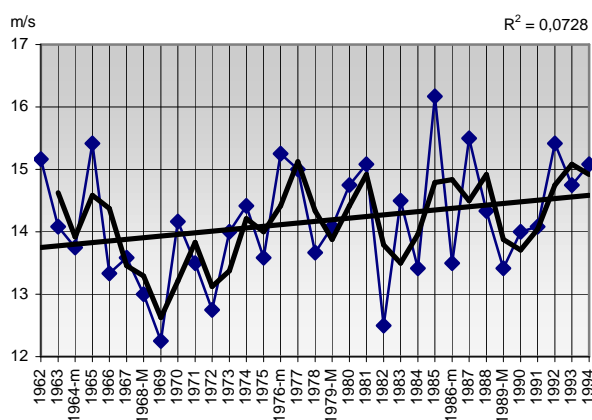
##### 3.4.1.1. Az 500 hPa-os szint skaláris szélessége

A vizsgált időszakban az 500 hPa-os szinten az átlagos skaláris szélesség 14,2 m/s. Az átlagos szélesség minimuma a nyári hónapokban mutatkozik és ezekben a hónapokban lényegesen nem változik. Az átlagos szélesség maximuma télen jelentkezik, a téli hónapok szélessége szintén megközelítőleg azonosnak tekinthető. Az éves átlagos ingás 5 m/s. A téli maximum és a nyári minimum közötti értékek a tavasz és ősz folyamán figyelhetők meg. (40. ábra)



40. ábra A skaláris szélesség évi menete az 500 hPa-os szinten

Az 500 hPa-os szint skaláris szélesség idősorának trendje növekvő tendenciát mutat. (41.ábra)



**41. ábra Az 500 hPa-os szint évi átlagos szélességének időszora (1962-1994)**

Az 500 hPa-os szint szélességének korrelációja az  $F_{10,7}$  indexszel az éves átlagok alapján pozitív  $r=0,13$ , a legnagyobb érték  $r=0,74$ , a legkisebb érték  $r=-0,39$ . A havi értékeket tekintve az 500 hPa-os szint szélességének korrelációja az  $F_{10,7}$  indexszel nem mutat értékelhető kapcsolatot, augusztus hónap kivételével. (28. sz. táblázat) Ez figyelhető meg a galaktikus-kozmos sugárzásnak és a geomágneses tevékenységnek a szélességgel számított korrelációinál is. A korrelációk előjelei az izobár szintek hőmérsékleteinél és a geopotenciális magasságainál megfigyelt jellegzetességekre utalnak.

28.sz. táblázat

***Az 500 hPa-os szint szélességének***

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmos sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

N= 33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	-0,17	-0,12	0,04	0,04	-0,03	-0,15	-0,05	<u>-0,41</u>	-0,17	0,13	0,07	-0,03
b)	0,06	-0,06	0,03	-0,09	0,01	0,06	-0,05	<u>0,37</u>	0,23	-0,12	0,14	0,13
c)	0,13	-0,08	-0,06	0,06	-0,02	0,19	0,23	-0,30	-0,22	<u>0,51</u>	<u>-0,39</u>	0,21

Az 500 hPa-os szint szélességének korrelációja az  $F_{10,7}$  indexszel a QBO nyugati fázisában február, március, november hónapban mutat értékelhető és

szignifikáns korrelációt. A kapcsolat előjelének váltakozásaiból arra lehet következtetni, hogy ezen a szinten a nyugati fázisban egyértelmű állásfoglalás kialakítására nincs lehetőség. (29.sz. táblázat)

Az 500 hPa-os szinten a keleti fázisban, a téli évszak szélsébségének kapcsolata az  $F_{10,7}$  indexszel januárban és februárban 95 %-os szignifikanciával pozitív, közepes kapcsolatot mutat. A téli időszak kivételével a keleti és a nyugati fázis között egyértelmű különbség nem mutatkozik. A tél kivételével hasonló következtetések vonhatók le a galaktikus-kozmosz sugárzás, a geomágneses tevékenység, valamint a szint 500 hPa-os szélsébsége közötti korrelációs tényezőkből. Eltérően az előző paramétereknél tapasztaltaktól a galaktikus-kozmosz sugárzás és a skaláris szélsébség közötti korrelációs együttható előjele azonos a naptevékenység és a skaláris szélsébség közötti korrelációs együttható előjelével.

29. sz. táblázat

***Az 500 hPa-os szint szélsébségének***

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmosz sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel

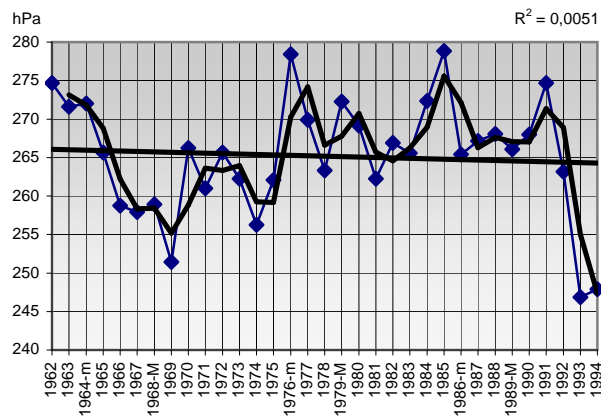
számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	-0,04	<u>-0,44</u>	<u>0,49</u>	-0,31	-0,12	-0,17	-0,24	0,20	0,36	-0,32	0,43	0,11
a)	K	<u>0,74</u>	<u>0,49</u>	0,38	-0,40	0,06	-0,09	-0,14	0,13	-0,14	<u>-0,45</u>	0,18	0,27
b)	NY	-0,14	<u>-0,58</u>	0,29	-0,33	-0,03	-0,33	-0,53	-0,09	0,33	-0,20	0,15	0,06
b)	K	<u>0,55</u>	0,12	<u>0,56</u>	-0,42	-0,15	0,02	0,01	0,15	0,03	-0,40	0,07	0,20
c)	NY	0,23	-0,04	-0,10	0,14	0,16	0,31	<u>0,72</u>	-0,12	-0,30	0,07	-0,45	0,07
c)	K	-0,09	-0,12	-0,05	-0,04	-0,11	0,18	0,18	-0,41	-0,08	<u>0,65</u>	-0,38	0,32

**3.4.1.2. A szélmaximum szintjének jellemzése**

A szélmaximum szintjéhez tartozó nyomás éves középértéke 265 hPa, trendje szignifikáns változást nem mutat. (42. ábra) A nyomásérték átlagok évszakonként: tél: 270 hPa, tavasz: 281 hPa, nyár: 259 hPa, ősz: 253 hPa. Az évszagos átlagokat tekintve a szélmaximum szintjének megfelelő nyomás, legnagyobb tavasszal és legkisebb ősszel.

A szélmaximumhoz tartozó izobárszinten a nyomás nagyobb, mint a tropopauza szintjének megfelelő nyomás, tehát a szélmaximum szintje a tropopauza alatt helyezkedik el. A tropopauza szintjén az átlagos nyomás 231 hPa. A tropopauza magasságához tartozó nyomás átlaga télen és tavasszal azonos 240 hPa, nyáron 223 hPa, és ősszel a legkisebb 212 hPa.



**42. ábra A szélmaximum szint évi átlagos nyomásának időszora (1962-1994)**

A szélmaximumhoz és a tropopauzához tartozó nyomás különbségének éves átlaga 34 hPa, télen 30 hPa, tavasszal 41 hPa, nyáron 36 hPa, ősszel: 41 hPa. A nyomáskülönbségek is a tavasz és az ősz változékonyságára utalnak.

A szélmaximum szintjének magasságát tekintve az évi átlag 10116 gpm. Évszakonkénti értékek alapján a szélmaximum a talajhoz a legközelebb tavasszal helyezkedik el 9617 gpm-re, legtávolabb ősszel van 10540 gpm-en, télen a távolsága 9852 gpm, nyáron 10414 gpm.

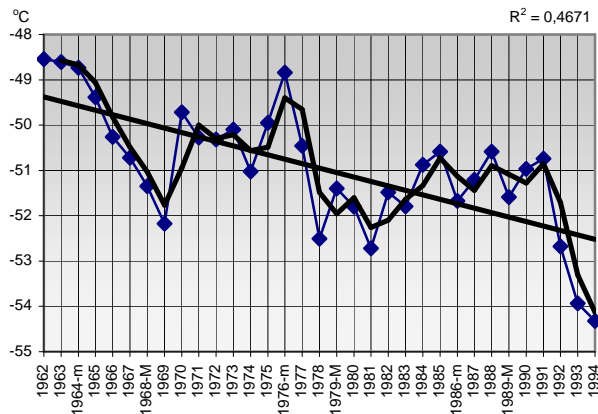
A szélmaximum szintjének, amely a tropopauza alatt helyezkedik el, a tropopauzától való átlagos távolsága 851 gpm. A tropopauzától mért átlagos távolsága ősszel a legnagyobb 1156 gpm, tavasszal 1036 gpm, nyáron 954 gpm és télen a legkisebb 666 gpm.

A szélmaximum szintjének évi átlaghőmérséklete:  $-50,9^{\circ}\text{C}$ , legmelegebb a nyár  $-48,1^{\circ}\text{C}$ , leghidegebb a tél  $-53,4^{\circ}\text{C}$ , a tavasz hőmérséklete  $-52,1^{\circ}\text{C}$ , az ősz hőmérséklete  $-50,6^{\circ}\text{C}$ . A szélmaximum szintjén a hőmérséklet magasabb, mint a tropopauza hőmérséklete, mivel az a tropopauza alatt helyezkedik el. Az éves átlagok alapján a szélmaximum szintje  $7,6^{\circ}\text{C}$ -kal melegebb.

Évszakos eloszlást tekintve a tél  $7,1^{\circ}\text{C}$ -kal, a tavasz  $7,0^{\circ}\text{C}$ -kal, a nyár  $8,0^{\circ}\text{C}$ -kal, az ősz  $8,3^{\circ}\text{C}$ -kal melegebb. A szélmaximum szintjén mért hőmérséklet trendje

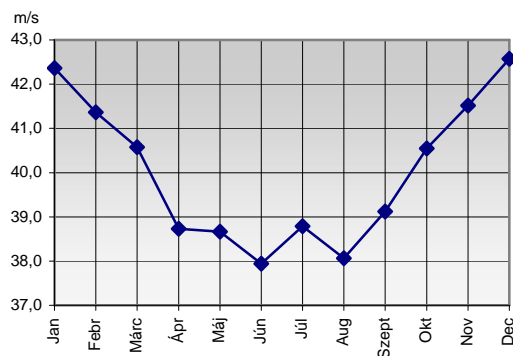


csökkenő tendenciát mutat. Ez a 95%-os szinten szignifikáns, a csökkenés legnagyobb mértékű nyáron, legkisebb tavasszal és ősszel. Az éves átlagokat tekintve a hőmérsékleti trend 3 °C-os hőmérsékletcsökkenést mutat, az 1962-1994-es időszakban. (43. ábra)



43. ábra A szél maximum szintjén az évi átlaghőmérséklet idősora

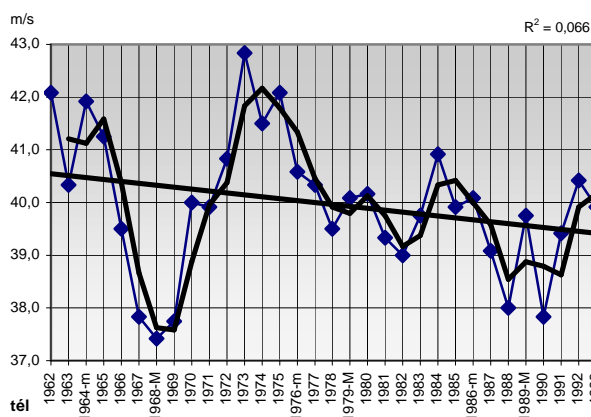
A szélmaximum szintjén a skaláris szélsébség évi átlaga 40 m/s, a tropopauza szintjén 21 m/s. A szélmaximum szintjén a szélsébség havi átlagai áprilistól szeptemberig 40 m/s alatti értékeket mutatnak. A szélsébség havi átlagai októbertől márciusig ezt az értéket meghaladják, a maximum decemberben és januárban jelentkezik. (44. ábra)



44. ábra A szélsébség évi menete a szélmaximum szintjén

A szélmaximum szintjének skaláris szélsébsége közepes mértékű korrelációt mutat a troposzféra izobár szintjeinek szélsébségével (500 hPa  $r=0,62$ , tropopauza szintje  $r=0,65$ ), valamint a sztratoszféra izobárszintjein mért 150 hPa-os ( $r=0,65$ ), a 30 hPa-os ( $r=0,48$ ), a 20 hPa-os ( $r=0,44$ ) és a 10 hPa-os ( $r=0,37$ ) szint szélsébségével. (szignifikancia szint 95%)

A szélmaximum szintjén a szélesebbesség idősorának trendje az 500 hPa-os szinttől eltérően már csökkenő tendenciájú. (45. ábra)



45. ábra A szél-maximum szintjén a skaláris szélesebbesség idősora (1962-1994)

A szélmaximum szint szélesebbességének korrelációja az  $F_{10,7}$  indexszel valamennyi hónapban negatív korrelációt mutat. Szignifikáns korreláció április, június, augusztus, szeptember, október hónapban jelentkezik. A kapcsolat erőssége meghaladja a szélesebbességnek a galaktikus-kozmosz sugárzással, és a geomágneses tevékenységgel adódó értékét bár az előbbi a tavaszi, nyári és őszi hónapokban is elér szignifikáns értéket. (30. sz. táblázat)

30. sz. táblázat

*A szélmaximum szint szélesebbességének*

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmosz sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

N=33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	<u>-0,40</u>	-0,21	-0,18	<u>-0,51</u>	-0,22	<u>-0,35</u>	-0,22	<u>-0,37</u>	<u>-0,44</u>	<u>-0,40</u>	-0,31	-0,21
b)	0,27	-0,01	<u>0,34</u>	<u>0,47</u>	0,32	0,32	0,20	<u>0,46</u>	<u>0,36</u>	0,18	0,26	0,22
c)	0,03	-0,02	-0,22	0,18	0,01	-0,28	0,18	-0,28	-0,09	<u>0,43</u>	-0,23	0,21

A szélmaximum szintjén a szélesebbesség és a naptevékenység korrelációi a QBO mindkét fázisában negatívak, mindkét fázisban nagyfokú változékonyságot mutatnak. Ennek megfelelően a galaktikus-kozmosz sugárzás korrelációi a szint szélesebbességével mindkét fázisban pozitívak és változékonnyak. A geomágneses tevékenység és a szint

szélsébségének kapcsolata nem mutat olyan meghatározó kapcsolatot, mint ahogy az, az előzőekben tárgyalt paramétereknél látható volt. (31.sz.táblázat)

31. sz. táblázat

### *A szélmaximum szint szélsébségének*

a)  $F_{10,7}$  indexszel

b) galaktikus-kozmosz sugárzással,

c) geomágneses tevékenységgel

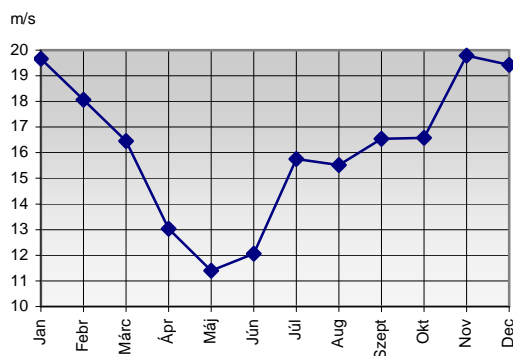
számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	-0,39	<u>-0,55</u>	0,11	<u>-0,59</u>	-0,19	-0,33	-0,25	-0,34	-0,33	<u>-0,58</u>	-0,10	-0,20
a)	K	<u>-0,59</u>	0,01	-0,46	-0,23	-0,34	-0,51	-0,31	<u>-0,70</u>	-0,37	-0,36	-0,34	-0,16
b)	NY	0,16	0,11	0,15	<u>0,49</u>	0,29	0,34	0,35	0,44	<u>0,48</u>	0,39	0,24	0,10
b)	K	0,42	-0,10	<u>0,58</u>	0,47	0,33	0,29	0,11	<u>0,48</u>	0,31	0,08	0,28	0,31
c)	NY	0,20	0,08	-0,20	0,26	0,05	-0,10	0,29	-0,25	-0,18	-0,09	-0,43	0,10
c)	K	-0,22	-0,11	-0,23	0,03	-0,03	-0,29	0,24	-0,31	0,08	<u>0,58</u>	-0,14	0,32

### 3.4.2. Szélviszonyok a sztratoszférában

#### 3.4.2.1. A 150 hPa-os szint szélviszonyai

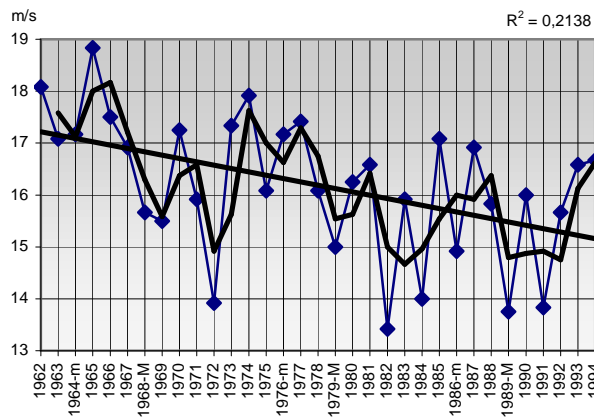
A 150 hPa-os szint átlagos szélsébsége 16,2 m/s. A skaláris szélsébség e szinten kisebb, mint a tropopauza, illetve a szélmaximum szintjén. Az évi menete a július-október közötti időszakban eltér a szélmaximum szintjének menetétől. (46. ábra)



46. ábra A 150 hPa-os szint szélsébségének évi menete

A 150 hPa-os szint szélsébségének trendje csökkenő tendenciájú, azaz hasonlóan változik, mint a szélmaximum szintjén megfigyelhető skaláris szélsébség,

de ellentétesen változik a troposzféra vizsgált szintjein (850 hPa, 500 hPa) megfigyelhető szélsőségek trendjével. (47. ábra)



47. ábra A 150 hPa-os szint évi átlagos szélsőségeinek időszora

Az  $F_{10,7}$  index és a 150 hPa-os szinten mért szélsőség korrelációja az év minden szakaszában negatív értéket mutat.

Augusztus és szeptember hónapokban a korreláció szignifikáns. (32. sz. táblázat) A galaktikus-kozmikus sugárzásnak a szint szélsőségeivel mutatott kapcsolata pozitív, a korrelációk maximumai augusztus és szeptember hónapokban megfigyelhetők meg.

A geomágneses tevékenység korrelációja a szélsőséggel éves szinten váltakozó előjelű. A szignifikáns korrelációjú értékek előjele azonban negatív.

32. sz. táblázat

**A 150 hPa-os szint szélsőségeinek**

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmikus sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

N= 33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	<u>-0,39</u>	-0,26	-0,21	-0,07	-0,20	-0,18	-0,20	<u>-0,41</u>	<u>-0,54</u>	-0,01	-0,08	-0,15
b)	0,20	0,15	0,13	0,17	0,13	0,01	0,12	<u>0,41</u>	<u>0,43</u>	0,01	0,21	0,32
c)	-0,11	-0,27	-0,26	-0,09	0,08	0,22	0,10	<u>-0,39</u>	-0,13	0,26	<u>-0,42</u>	0,09

A QBO két fázisában elvégzett vizsgálatok alapján az  $F_{10,7}$  index és a 150 hPa-os szint szélsősége közti kapcsolat a keleti fázisban domináns. A keleti fázisban a

korrelációs együtthatók negatív előjelűek, szignifikáns kapcsolat szeptember és január hónapokban, gyenge kapcsolat március, május és augusztus hónapokban jelentkezik. A nyugati fázisban szignifikáns kapcsolat nem mutatható ki. (33. sz. táblázat) Ennek megfelelően szignifikáns kapcsolat áll fenn a keleti fázisban a szint szélsősége és a galaktikus-kozmosz sugárzás között. A geomágneses tevékenység és a szint szélsőségeinek kapcsolata mindkét fázisban változó, szignifikáns korrelációkkal.

33. sz. táblázat

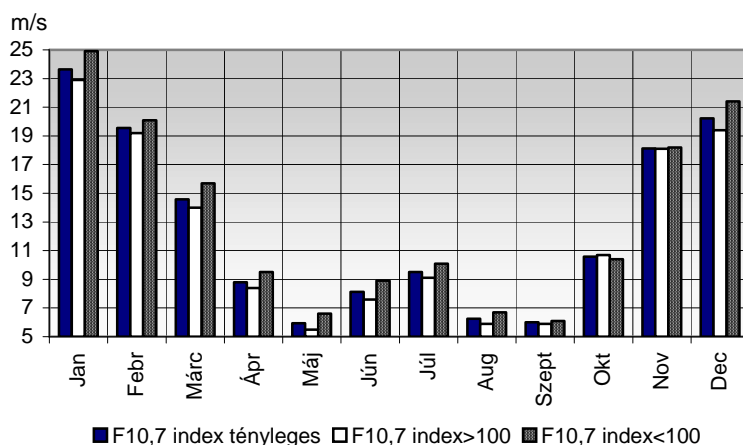
### A 150 hPa-os szint szélsőségeinek

- a)  $F_{10,7}$  indexszel  
 b) galaktikus-kozmosz sugárzással  
 d) geomágneses tevékenységgel  
 számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	-0,30	-0,41	0,01	-0,23	0,03	0,29	0,13	-0,40	-0,20	-0,10	0,02	-0,14
a)	K	<u>-0,65</u>	-0,14	-0,42	0,13	-0,42	-0,35	-0,27	<u>-0,44</u>	<u>-0,77</u>	0,03	-0,19	-0,19
b)	NY	0,00	0,14	-0,13	0,21	-0,28	-0,09	-0,11	0,37	0,32	0,16	0,31	0,42
b)	K	<u>0,60</u>	0,15	0,36	0,11	0,49	0,02	0,16	<u>0,44</u>	<u>0,54</u>	-0,10	0,21	0,27
c)	NY	0,07	0,06	-0,30	0,12	0,41	0,46	<u>0,86</u>	-0,35	-0,28	0,05	0,10	-0,09
c)	K	<u>-0,56</u>	-0,47	-0,24	-0,33	-0,25	0,23	0,06	-0,41	0,11	0,33	-0,33	0,31

### 3.4.2.2. A 30 hPa-os szint szélviszonyai

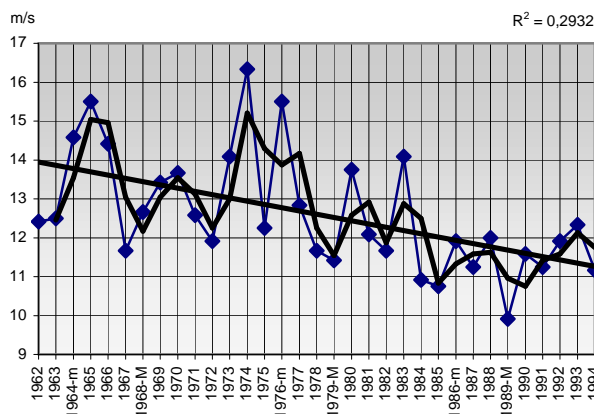
A 30 hPa-os szinten a szélsőségek évi menete hasonló jellegű, mint a szélmaximum szintjén, de jóval kisebb amplitúdóval. (48. sz. ábra)



48. ábra A 30 hPa-os szint szélsőségeinek évi menete

A 3.2.2.2. pontban ismertetett kategorizálást elvégezve a skalár szélességekre teljesül, decembertől júliusig 95%-os szignifikancia szinten, hogy a naptevékenységi minimum időszakának szélesség értékei meghaladják a naptevékenységi maximum időszakának szélesség értékeit. A további megállapítások a kategorizálás elhagyásával történnek.

A skaláris szélesség évi átlaga 12,6 m/s, télen 20,6 m/s, tavasszal 11,7 m/s, nyáron 7,5 m/s és ősszel 8,3 m/s. A 30 hPa-os szint skaláris szélessége a nyári hónapokban éri el minimumát, a szélesség nagysága 5-10 m/s között változik, ez közelítőleg 1/5-e a szélmaximum szintjén észlelt szélességnek. A 30 hPa-os szintre vonatkozó skaláris szélesség évi átlagának a trendje csökkenő tendenciát mutat. (49. ábra)



49. ábra A 30 hPa-os szint évi átlagos szélességének időszora (1962-1994)

A 30 hPa-os szinten észlelhető szélesség és az  $F_{10,7}$  index közötti korreláció negatív értékeket mutat. A szélesség nyári minimumához tartozó, a szignifikáns szintet is elérő korrelációs értékek (abszolút értékben) jóval nagyobbak, mint a téli hónapokban. (34. sz. táblázat) A szint szélességének a galaktikus-kozmikus sugárzással kimutatott korrelációja pozitív előjelű és a tavaszi, nyári hónapokban szignifikáns. Az így származtatott korrelációk meghaladják a szint szélességének a geomágneses tevékenységgel kapott korrelációit.

**A 30 hPa-os szint szélességének**

- a)  $F_{10,7}$  indexszel  
 b) galaktikus-kozmosz sugárzással  
 c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

N: 33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	0,05	-0,13	<u>-0,35</u>	-0,12	<u>-0,36</u>	-0,32	<u>-0,38</u>	<u>-0,42</u>	-0,23	-0,11	-0,03	-0,18
b)	-0,04	0,14	0,20	<u>0,36</u>	<u>0,36</u>	<u>0,44</u>	<u>0,33</u>	<u>0,41</u>	0,20	0,13	-0,07	0,16
c)	-0,02	-0,03	-0,20	<u>-0,35</u>	-0,18	<u>-0,34</u>	0,09	-0,30	-0,16	0,03	0,09	0,00

A QBO nyugati fázisában az  $F_{10,7}$  index és a 30 hPa-os szint szélessége között, a nyári hónapokban (a júliusi szignifikáns korrelációt kivéve) gyenge negatív korreláció figyelhető meg. A téli hónapokban a negatív korrelációk jelentéktelenek. (35. sz. táblázat)

**A 30 hPa-os szint szélességének**

- a)  $F_{10,7}$  indexszel  
 b) galaktikus-kozmosz sugárzással,  
 c) geomágneses tevékenységgel  
 számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

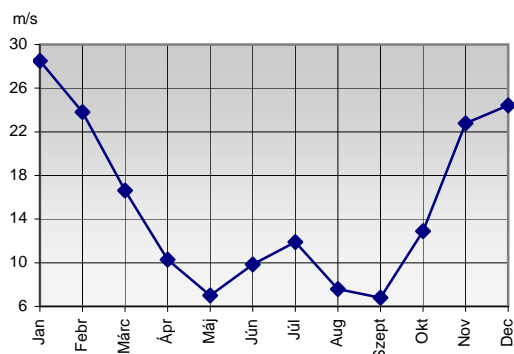
	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	0,00	0,03	-0,20	-0,09	-0,30	-0,38	<u>-0,65</u>	-0,39	-0,13	-0,19	0,04	-0,03
a)	K	0,07	-0,31	<u>-0,52</u>	-0,20	-0,41	-0,29	-0,30	<u>-0,43</u>	-0,32	-0,02	-0,10	-0,37
b)	NY	0,10	0,00	0,07	0,27	0,22	0,45	<u>0,75</u>	0,35	0,19	0,31	0,04	0,16
b)	K	-0,17	0,27	0,35	0,47	<u>0,47</u>	<u>0,44</u>	0,19	<u>0,45</u>	0,24	-0,10	-0,03	0,19
c)	NY	0,13	0,33	-0,28	-0,42	0,34	<u>-0,60</u>	<u>-0,65</u>	<u>-0,64</u>	-0,17	0,10	-0,37	-0,01
c)	K	-0,22	-0,29	-0,12	-0,28	<u>-0,63</u>	-0,28	0,23	-0,14	-0,09	0,05	0,24	0,02

A QBO keleti fázisában a negatív korrelációk a dominánsak. Az  $F_{10,7}$  index és a 30 hPa-os szinten mért szélesség között tavasszal és nyáron gyenge a korreláció, szignifikáns korreláció március és augusztus hónapban figyelhető meg. A téli hónapok fluktuációja nagy, csak a decemberi és a februári hónapok negatív korrelációi

értelmezhetőek. Mind a nyugati, mind a keleti fázisban a galaktikus-kozmosz sugárzás, a geomágneses tevékenység a szint szélességével nyáron mutat meghatározó kapcsolatot. Az év további szakaszaiban ez a határozott kapcsolat nem áll fenn.

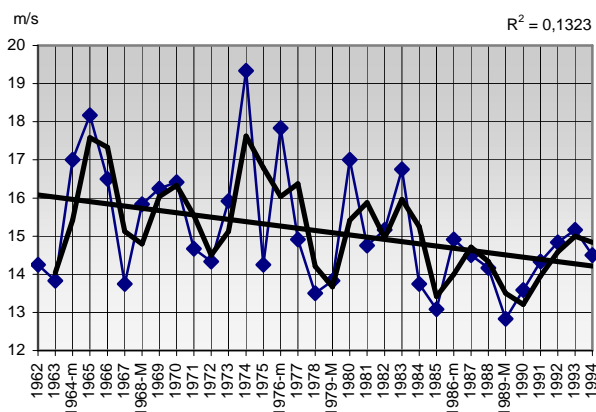
### 3.4.2.3. A 20 hPa-os szint széleviszonyai

A 20 hPa-os szinten a szélesség évi átlaga 15,1 m/s. A szélesség évi menete közelítőleg a 30 hPa-on mért értékek menetét követi. (50. sz. ábra)



50. ábra A 20 hPa-os szint szélességének évi menete

A téli hónapok átlagos szélessége közelítőleg 20 %-kal magasabb, mint a 30 hPa-os szinten észlelt sebessége. A 20 hPa-os szinten az évi átlagos szélesség időszora csökkenő tendenciát mutat. A szélesség évi átlagainak a trendje a vizsgált időszakban 2 m/s sebességcsökkenést mutat. (51. sz. ábra)



51. ábra A 20 hPa-os szint évi átlagos szélességének időszora (1962-1994)

A havi értékeket tekintve a 20 hPa-os szinten mért szélesség és a  $F_{10,7}$  index közötti korreláció - mint a 30 hPa-os szinten - negatív, a június, július és augusztus hónapok értékei esetenként szignifikáns összefüggésre utalnak. (36. sz. táblázat) A



szélsőség és a galaktikus-kozmosz sugárzás közötti korreláció hasonló nagyságú, de pozitív értéket mutat. A geomágneses tevékenységgel nem mutatkozik értékelhető korreláció.

36. sz. táblázat

**A 20 hPa-os szint szélsőségének**

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmosz sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

N: 33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	0,16	-0,13	<u>-0,33</u>	-0,04	-0,21	-0,31	<u>-0,38</u>	<u>-0,42</u>	-0,18	-0,14	0,04	-0,15
b)	-0,13	0,11	0,15	0,30	<u>0,36</u>	<u>0,42</u>	0,30	<u>0,41</u>	0,20	0,15	-0,16	0,05
c)	-0,07	-0,05	-0,13	-0,32	-0,18	-0,25	0,04	-0,25	-0,11	-0,01	0,10	0,07

A QBO nyugati fázisában az  $F_{10,7}$  index havi értékei negatív korrelációt mutatnak a 20 hPa-os szinthez tartozó szélsőséggel. Jelentősebb korrelációt a nyugati fázisban csak július és augusztus hónapokban tapasztaltunk. (37. sz. táblázat)

37. sz. táblázat

**A 20 hPa-os szint szélsőségének**

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmosz sugárzással,
- c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

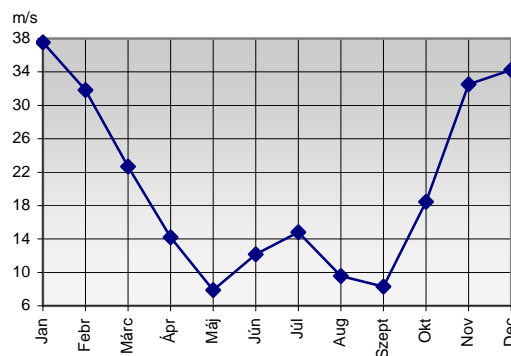
	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	Ny	0,18	-0,03	-0,13	0,05	-0,09	-0,39	<u>-0,60</u>	-0,43	-0,14	-0,19	0,03	0,05
a)	K	0,13	-0,24	0,37	-0,13	-0,32	-0,28	0,31	0,42	0,21	0,10	0,03	0,38
b)	Ny	-0,03	-0,07	0,03	0,23	0,14	0,49	<u>0,63</u>	0,41	0,16	0,30	-0,12	0,00
b)	K	-0,20	0,23	0,25	0,37	<u>0,51</u>	<u>0,41</u>	0,16	0,42	0,22	0,01	-0,14	0,14
c)	Ny	0,01	0,20	-0,25	<u>-0,46</u>	<u>-0,48</u>	-0,53	-0,50	<u>-0,65</u>	0,00	0,17	-0,30	0,17
c)	K	-0,15	-0,20	-0,06	-0,20	<u>-0,64</u>	-0,19	0,17	-0,07	-0,27	-0,03	0,21	-0,03

A keleti fázisban az  $F_{10,7}$  index és a szélsőség közötti korreláció február, április, május, június hónapokban negatív, míg a többi hónapban pozitív értéket mutat, ez utóbbiak szorosabb kapcsolatra utalnak.

A galaktikus-kozmosz sugárzás és a szint szélesség közötti korreláció a QBO mindkét fázisában a nyári időszakban pozitív és szignifikáns értéket is elér. A geomágneses tevékenység és a szint szélességének kapcsolatát kifejező korrelációs tényezők mindkét fázisban nyáron negatívak, de a nyugati fázis értékei szorosabb kapcsolatra utalnak.

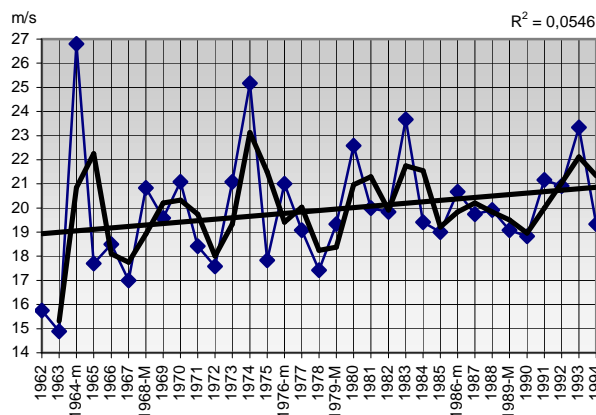
#### 3.4.2.4. A 10 hPa-os szint szélsőviszonyai

A 10 hPa-os szintre vonatkozó átlagos szélesség 20 m/s, a szélsőmaximum szintjének kivételével a vizsgált szintek közül a legnagyobb értékkel bír. A szintre vonatkozó szélesség évi menete hasonló a 30 hPa-os és a 20 hPa-os szinteken mért szélességek évi meneteivel. A téli hónapok értékei dominálnak, május és szeptember hónapban két minimum jelentkezik. A nyári hónapok közül júliusban legnagyobb a szélesség. A júliusi lokális maximum 15 m/s értéket ér el, míg az évi menetben a januári átlagsebesség 38 m/s. (52. ábra)



52. ábra A 10 hPa-os szint szélességének évi menete

A 10 hPa-os szinthez tartozó szélesség éves átlagaival képzett idősor trendje eltérően az eddigi szintektől már a szélesség növekvő tendenciáját tükrözi, hasonlóan a hőmérsékleti idősorhoz. (53. ábra)



53. ábra A 10 hPa-os szint évi átlagos szélességének idősora (1962-1994)

A 10 hPa-os szinten mért szélesség korrelációja az  $F_{10,7}$  indexszel július-augusztus hónapokban még a szignifikáns értéket is eléri. E hónapokban a korrelációs együttható negatív. (38. sz. táblázat) Ekkor a szinten a skaláris szélességnek minimuma van. A szélesség magas értékeinél, a téli hónapokban a korrelációs együtthatók pozitívak, a január hónap kivételével nem jelentősek. A 20 hPa-os szinthez hasonlóan, a szint skaláris szélessége mind a galaktikus sugárzással, mind a geomágneses tevékenységgel a nyári hónapokban mutat szignifikáns kapcsolatot. A három hatás közül a galaktikus-kozmosz sugárzás hatása a dominánsabb.

38. sz. táblázat

***A 10 hPa-os szint szélességének***

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmosz sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

N: 33 adat/hónap

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	<u>0,34</u>	-0,01	-0,22	-0,13	-0,22	-0,30	<u>-0,47</u>	<u>-0,43</u>	-0,01	0,08	0,19	0,01
b)	-0,21	0,01	0,09	0,23	<u>0,36</u>	<u>0,37</u>	<u>0,38</u>	<u>0,44</u>	-0,01	-0,02	<u>-0,34</u>	-0,01
c)	0,04	-0,06	-0,11	-0,28	-0,19	-0,23	-0,05	<u>-0,33</u>	0,03	0,07	0,26	0,17

A QBO nyugati fázisában az  $F_{10,7}$  index és a 10 hPa-os szint szélessége a nyári hónapokban (június, július, augusztus) jelentősebb negatív korrelációt mutat. (39. sz. táblázat) A további hónapokban a korreláció pozitív és gyenge, ezen értékek közül csak a januári hónap a kivétel.

A QBO keleti fázisában az  $F_{10,7}$  index és a 10 hPa-os szintre vonatkozó szélesség között negatív a korreláció, a júniusi és az augusztusi értékek utalnak jelentősebb kapcsolatra.

A galaktikus-kozmosz sugárzás és a geomágneses tevékenység, mindkét fázisban nyáron mutat meghatározó kapcsolatot a szint szélességével. A korrelációs értékek a fázistól függetlenül azonos előjelűek, és közel azonos értékűek. A QBO szerint számított korrelációk több esetben közel azonos (abszolút) értéket, kapcsolatot mutatnak, ha a három használt, extraterresztrikus tényező közül bármelyikkel végezzük a vizsgálatot.

**A 10 hPa-os szint szélsébségének**

- a)  $F_{10,7}$  indexszel  
 b) galaktikus-kozmosz sugárzással,  
 c) geomágneses tevékenységgel

számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

	fázis	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	NY	<u>0,44</u>	0,10	0,01	-0,08	-0,26	-0,44	<u>-0,71</u>	-0,44	-0,02	0,00	0,20	0,22
a)	K	0,27	-0,11	-0,34	-0,19	-0,18	-0,36	-0,30	<u>-0,44</u>	-0,02	0,00	0,19	0,20
b)	NY	-0,19	-0,09	-0,05	0,09	0,33	0,41	<u>0,66</u>	0,42	-0,15	0,12	-0,22	-0,10
b)	K	-0,22	0,07	0,23	0,45	0,38	0,38	0,26	<u>0,45</u>	0,11	-0,10	-0,39	0,04
c)	NY	-0,07	0,18	-0,01	-0,17	0,30	-0,38	-0,27	<u>-0,55</u>	0,45	0,26	-0,15	0,06
c)	K	0,11	-0,19	-0,21	-0,47	<u>-0,61</u>	-0,21	0,02	-0,16	-0,38	0,03	0,43	0,28

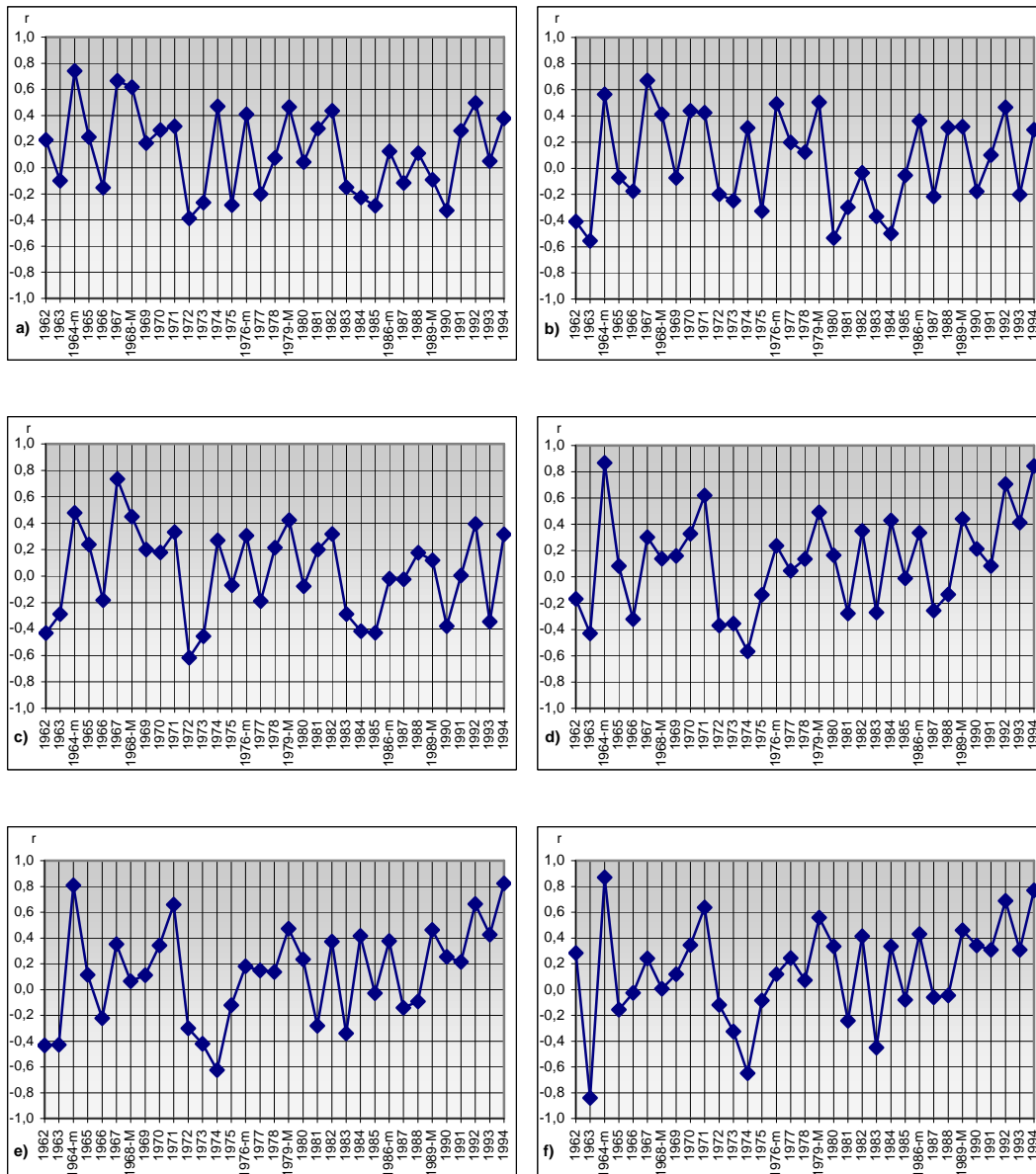
**3.4.3. Az extraterresztrikus tényezők hatását kifejező, az izobárszintek szélviszonyaira vonatkozó korrelációk idősorai, valamint a spektrumanalízis eredményei**

A különböző izobár szinteken (10 hPa, 20 hPa, 30 hPa) a szinthez tartozó szélsébség és a  $F_{10,7}$  index közötti korreláció menete közelítőleg megegyező (54.d.,e.,f. ábra). A szélmaximum szintjén a szélsébség és az  $F_{10,7}$  index közti korrelációk idősora viszont jelentősen eltér a 10 hPa-os, 20 hPa-os, 30 hPa-os szinten tapasztalható ugyanilyen korrelációk idősorától. (54. b. ábra) Az utóbbiaktól valamint a szélmaximum szintjének korrelációs idősorától eltérő az 500 hPa-os szint korrelációs idősorának a menete.

A szinteken észlelt szélsébségnek, az  $F_{10,7}$  indexszel, vagy a galaktikus-kozmosz sugárzással, vagy a geomágneses tevékenységgel számított egy változós korrelációs értékeinek abszolút értéke magasabb, mint azon értékek, amikor a szélsébség helyett a szinteken észlelt hőmérséklettel vagy a szintek geopotenciális magasságával számoltunk. A naptevékenységnek, azaz az  $F_{10,7}$  indexnek a szintek

szélességével számított korrelációja a sztratoszférában jelentősebb, illetve 10 hPa-os magasságig növekedést mutatott.

A sztratoszférában az  $F_{10,7}$  index és a szélesség kapcsolatát kifejező korreláció az év minden hónapjában negatív előjelű kapcsolatot jelez. A QBO két fázisában a kapcsolat erősségét kifejező együtthatók nyáron a nyugati fázisban jelentősebbek, mint a keletiben. Télen a két fázis között markáns különbség nem mutatható ki.



54. ábra Az észlelt szélesség és az  $F_{10,7}$  cm-es sugárzás korrelációjának időszora az 500 hPa (a), maximális szélesség (b), 150 hPa (c), 30 hPa (d), 20 hPa (e), 10 hPa (f) szinten (1962-1994)

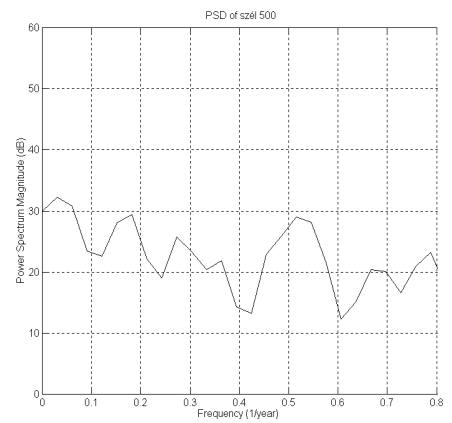
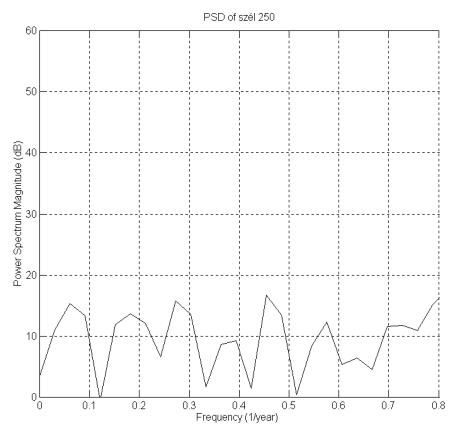
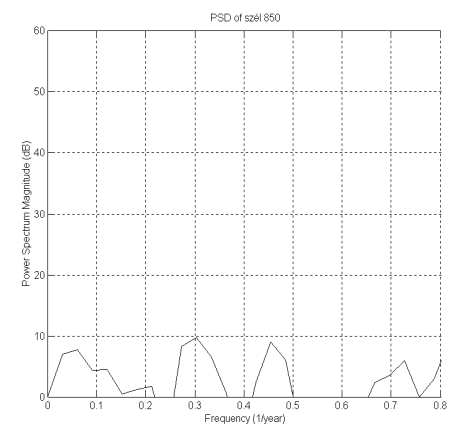
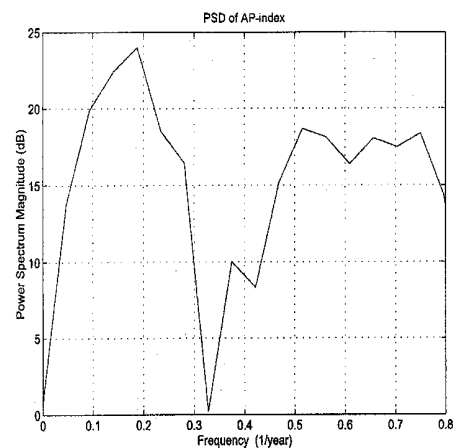
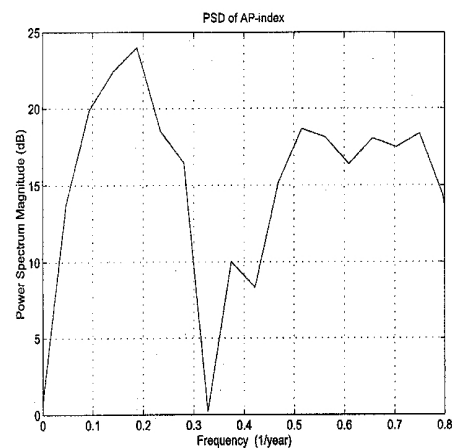
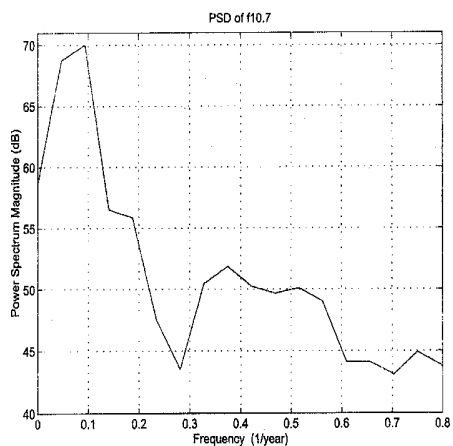
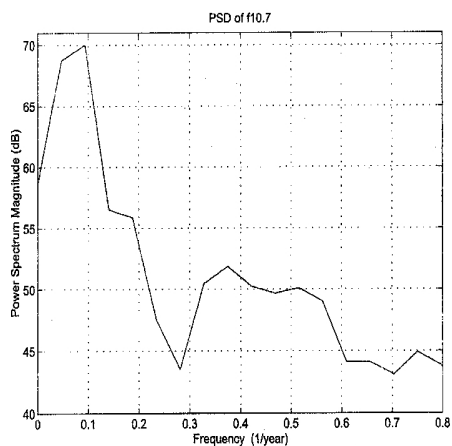
A szélerősségek spektrálanalíziseit tekintve a troposzférában a vizsgált 500 hPa-on, a legnagyobb amplitúdával a szélerősség 22 éves periódusa jelentkezik, a geomágneses tevékenység és a galaktikus-kozmikus sugárzás 5,3 éves ciklusa közel azonos amplitúdával jelenik meg. A QBO 1,9 éves periódusa az 500 hPa-os szélerősség értékeinél szintén kimutatható. (55. ábra) A 29. sz. táblázat az utóbbi megállapítást tükrözi, ahol látható, hogy az 500 hPa-os szinten a QBO figyelembevételével számított értékek nagyobbak, mint annak figyelmen kívül hagyásával nyert értékek.

A tropopauzához, a szélmaximum szintjéhez közeli 250 hPa-os szinten szélesebbésség teljesítményspektrumának amplitúdói viszonylag kis értékűek. Legnagyobb amplitúdó a QBO 2,2 éves periódusának feleltethető meg.

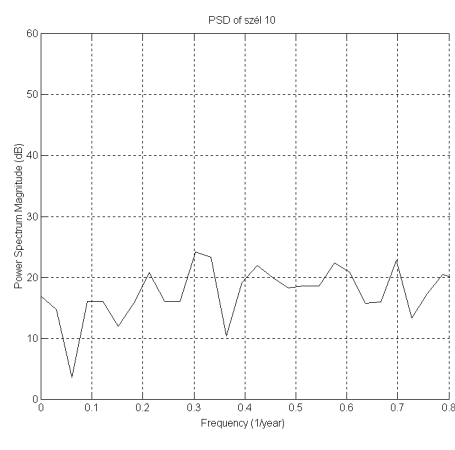
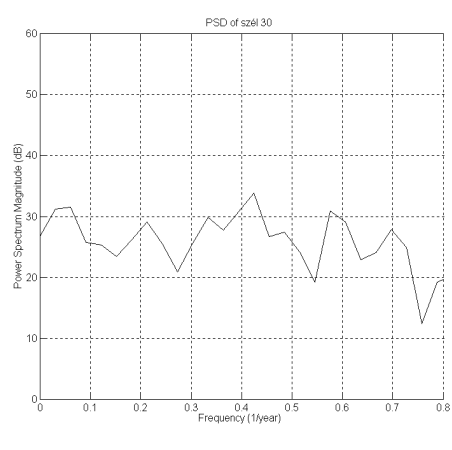
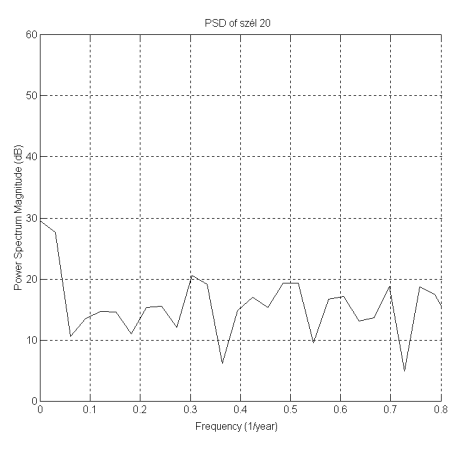
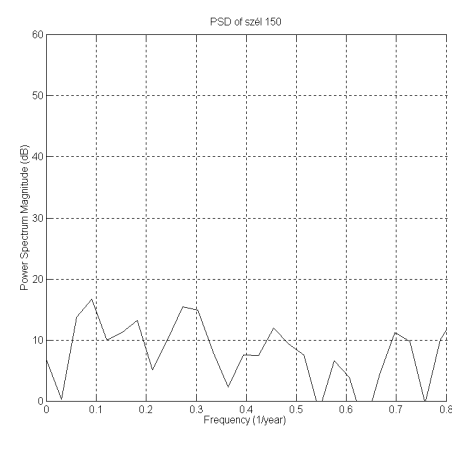
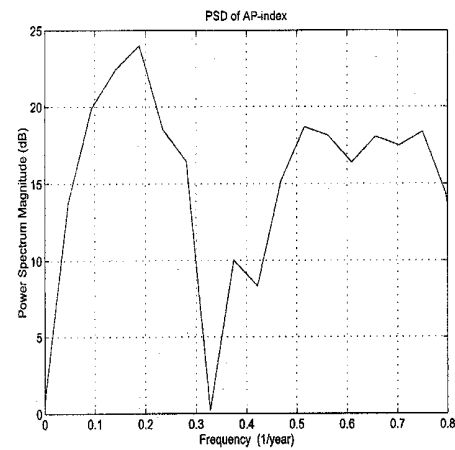
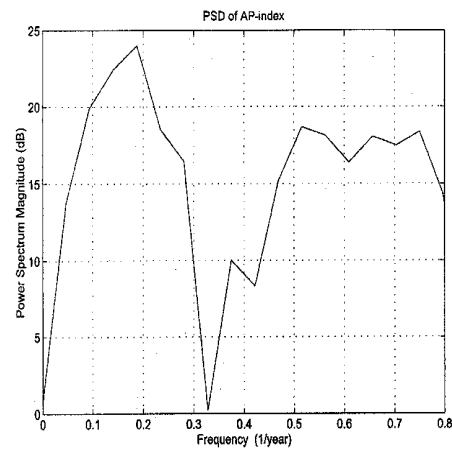
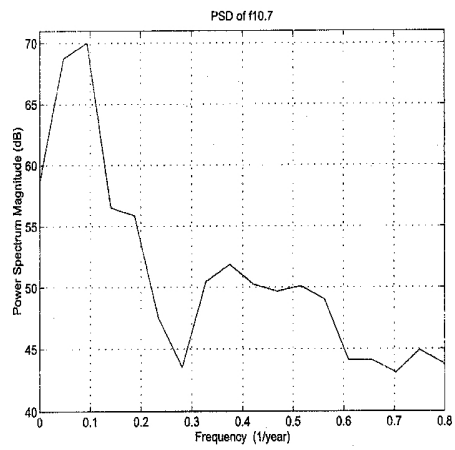
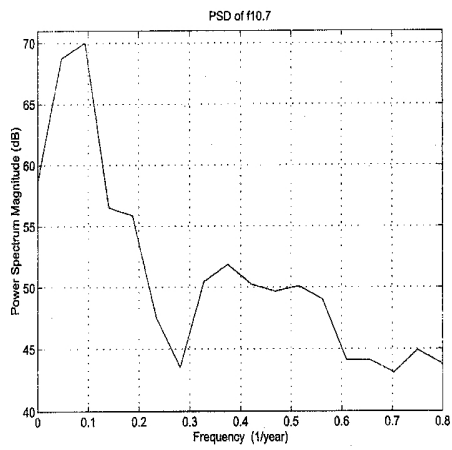
Az alsó sztratoszférában, a 150 hPa-os szinten a szélerősség teljesítményspektrumában a 11 éves periódus jelentkezik a legnagyobb amplitúdával. Ugyancsak megfigyelhető egy 5,3 éves periodicitást jelölő csúcs. A teljesítményspektrumban a 150 hPa-os szinten is megjelennek 1,5-2,5 éves periodicitást jelző csúcsok, amely a QBO hatását jelzik.

A 30 hPa-os szinten, a szélerősség teljesítmény-spektrumában fellelhető csúcsok jelentősen nagyobb amplitúdával, azaz teljesítményértékekkel jelennek meg, mint az alatta levő szinteken. A legnagyobb amplitúdával rendelkező csúcs 2,3 éves periodicitást mutat, de megjelennek a 22 éves periodicitást, a 4,7 éves, a 2,9 éves, az 1,9 éves periodicitást jelentő csúcsok is.

A 20 hPa-os, valamint a 10 hPa-os szinten a spektrálanalízis eredmény a 30 hPa-os szinthez hasonló, de a teljesítményértékek kb. 2/3 értékekkel jelennek meg. A 22 éves naptevékenységi periódus e két szinten is fellelhető. A 11 éves periódust jelző teljesítménycsúcs kisebb értékekkel szintén megjelenik. Ezekben a szinteken határozottan kivehető a szélesebbésségnek egy kb. 3 évenkénti periódusa, amely a QBO-nak tulajdonítható.



**55. a. ábra A szélesség spektrumanalízise a vizsgált izobár szinteken (amplitúdó dB-ben)**



55. b. ábra A szélesség spektrumanalízise a vizsgált izobár szinteken (amplitúdó dB-ben)



#### 3.4.4. A fejezet konklúziója

Feltételezve az extraterresztrikus tényezők hatását az időjárásra a szélviszonyok vizsgálata is indokoltnak tűnik.

A troposzféra szélviszonyai a Földön viszonylag jól ismertek. A szélviszonyok jellemzésére használt skaláris szélesség a vizsgált időszakban az alsó troposzférában növekvő trendet mutat.

A szélmaximum szintjétől az alsó sztratoszférában a 10 hPa-os szintig a skaláris szélesség trendje csökkenő, 10 hPa-os szinten már növekvő.

A szélesség trendjének a változása hasonló jelleget mutat, mint a szintek hőmérsékletének alakulása.

A spektrumanalízis 11 éves periodicitást, a skaláris szélesség értékeinek idősorában csak a 150 hPa-on jelenít meg, legnagyobb amplitudóval. A vizsgált szinteken az egyidejűleg jelentkező periodicitások főként a közel kétéves periódus időnél figyelhetők meg. Több szinten is megfigyelhető, feltehetőleg a galaktikus kozmikus sugárzásnak tulajdonítható 5,3 éves periodicitás.

A vizsgált szinteken főként a nyári hónapokban szignifikáns negatív korreláció a skaláris szélesség és a naptevékenység között. Hasonló kapcsolatot mutat a geomágneses tevékenység és szintek skaláris szélessége. A szinteken a skaláris szélesség és a galaktikus-kozmosz sugárzás közötti kapcsolat pozitív. A szignifikáns érték azonban akkor figyelhető meg, amikor a naptevékenység és a skaláris szélesség között is szignifikáns negatív érték adódik. Ezen jelenség összhangban van azon energetikai megfontolásokkal, hogy a galaktikus-kozmosz sugárzás modulálja a szélerősséget.

A QBO hatásának figyelembevételével a troposzférában a keleti fázis téli hónapjai mutatnak erősebb kapcsolatot, ekkor a korrelációs együttható pozitív előjelű.

A sztratoszférában, a 150 hPa-on a keleti fázisban a szint szélessége és a naptevékenység között negatív korrelációk a dominánsak, különösen a nyári és az őszi átmenet hónapjaiban. A nyugati fázisban a nyári korrelációk pozitívak, de nem értékelhetők.

A középső sztratoszférában a nyugati fázisban, a nyári hónapokban a szint szélessége és a naptevékenység közötti korrelációk már negatívak. A keleti fázisban a hasonló korrelációk a nyári hónapokban szintén negatívak, de abszolút értékben alatta

maradnak a nyugati fázis értékeinek. A keleti fázis őszenek és telének hasonló korrelációi a 0-t közelítően pozitívak.

A QBO mindkét fázisában a szint szélerősségének és a galaktikus-kozmosz sugárzásnak a korrelációja pozitív, a nyugati fázis értékei különösen nyáron erős fokozatúak. A geomágneses tevékenység és a szintek szélerősségének kapcsolatát reprezentáló korrelációs együtthatók előjele azonos, a szintek szélerősségét és a naptevékenység kapcsolatát kifejező korrelációs együtthatókkal. A két fázis korrelációi jelentősen nem különböznek, de a nyugati fázis negatív értékei határozottabb kapcsolatra utalnak. Megfigyelhető, hogy az extraterresztrikus tényezők és a szinteken mért skaláris szélesség korrelációi a középső sztratoszférában felfelé haladva mind markánsabban jelennek meg mint az a hőmérséklet, vagy az izobár szint geopotenciális magasságánál tapasztalható volt.

### 3.5. Az extraterresztrikus tényezők hatása a potenciálisan kihullható vízmennyiségre

Az 1962-1994 közötti magaslégköri felszállások eredményeként a nedvességi paraméterek 200 hPa-ig állnak rendelkezésre. A nedvességi karakterisztikák egyik reprezentánsa a potenciálisan kihullható vízmennyiség.

A légkörben rendelkezésre álló potenciálisan kihullható vízmennyiség egy alapvető légtömeg-tulajdonság. Az elmúlt időszakban végzett kutatások ugyanis azt bizonyítják, hogy e karakterisztika szinoptikus elemzése nagy segítséget nyújthat a csapadékot okozó képződmények felderítéséhez, elemzéséhez. A potenciálisan kihullható vízmennyiséget, mint paramétert főleg csapadék-előrejelzési és hidrometeorológiai módszerek, modellek kidolgozásánál használják fel. (Bodolainé,1975; Bodolainé, 1976; Cseh,1985)

Miután feltételezhető, hogy a légkörnek a naptevékenységi folyamatok változásával összefüggő energia nyeresége a csapadékképződés folyamatában is érvényesülhet, a nedvességi karakterisztikák változása a naptevékenységgel is összefüggésben lehet.

A potenciálisan kihullható vízmennyiségen az egységnyi légoszlopban levő vízgőz mennyiségét értjük. Tekintsünk egy  $z$  magasságú egységnyi alapterületű

$$W_z = \int_0^z \rho_v dz$$

légoszlopot, amelyben a levegő sűrűsége  $\rho_w$ ,  $W_z$  a kihullható vízmennyiség, ahol  $z$  a légoszlop magasságára utal.

A hidrosztatikai alapegyenletből

$$dz = -\frac{1}{\rho g} dp$$

így

$$W_{p_1}^{p_2} = -\frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} \frac{\rho_v}{\rho} dp$$

a  $\frac{\rho_v}{\rho} = s$  helyettesítést alkalmazva,

$$W_{p_1}^{p_2} = -\frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} s dp$$

ahol

- $p_1$  a légoszlop alján levő nyomás
- $p_2$  a légoszlop tetején lévő nyomás
- $g$  a nehézségi gyorsulás
- $s$  a specifikus nedvesség

Az adatok megfelelő mértékegységben történő behelyettesítésével a kihullható víz mennyisége g-ban adódik, amely átszámítható mm-re.

A légkör felső határáig a kihullható vízmennyiség  $W_p$  (a  $W_p$  jelölés az irodalomban általánosan elfogadott az angol *precipitable water* terminológiából)

$$(p_1 = p_0, \quad p_2 = 0) \quad W_{p_0} = -\frac{1}{g} \int_{p_0}^0 s dp$$

Gyakran a potenciálisan kihullható vízmennyiség meghatározására a teljes légoszlopra (a légoszlop tetején  $p = 0$ )

$$W_{p_0}^0 = 3,8 \cdot e_0^{2/3}$$

empirikus formulát használják, ahol  $e_0$  a talaj menti gőznyomás értékét jelenti.

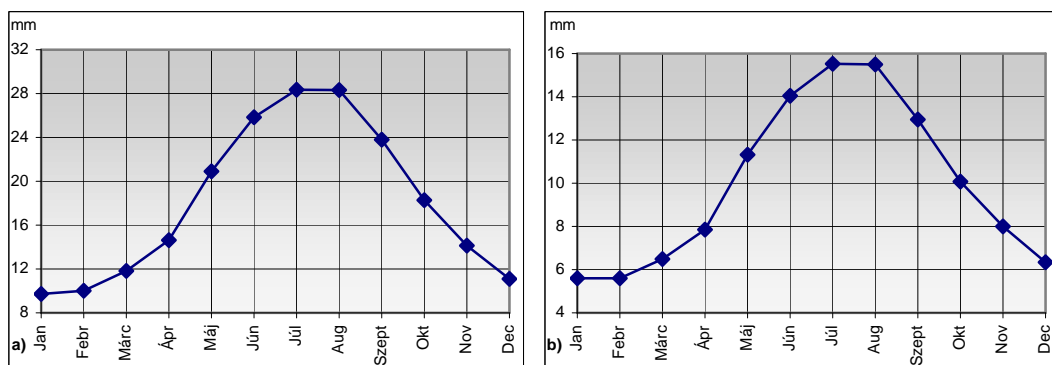
Az eddigi vizsgálatokból kitűnt, hogy a potenciálisan kihullható vízmennyiség, úgy mint a vízgőzmennyiség évi menete a talajon és a troposzférában párhuzamosan változik a hőmérséklettel. (Cseh, 1981) Az évi minimum januárra és februárra, a maximum július és augusztusra esik. A legnagyobb változékonyság a nyári és az őszi hónapokban figyelhető meg. Ez megfelel annak a ténynek, hogy a Kárpát-medencében a csapadék és a párolgás fő maximuma május és július közé, illetve a másodmaximum október, november hónapra esik. A téli hónapokban az ingadozás mértéke jelentősen kisebb, mert a légkör vízkészletének pótlása a csapadék és párolgás évi menetének minimuma miatt csökken.

A potenciálisan kihullható vízmennyiség vizsgálatokor a légoszlopot 4 rétegre osztottuk, 100%-nak a 200 hPa és a talaj közötti légoszlop kihullható vízmennyiségét tekintettük. Megállapítható, hogy a talaj és a 850 hPa-os szint közötti légoszlop tartalmazza a kihullható vízmennyiség 44,8%-át. (40. sz. táblázat)

*A potenciálisan kihullható vízmennyiség évi átlagainak magasság szerinti eloszlása  
(Budapest, 1962-1994)*

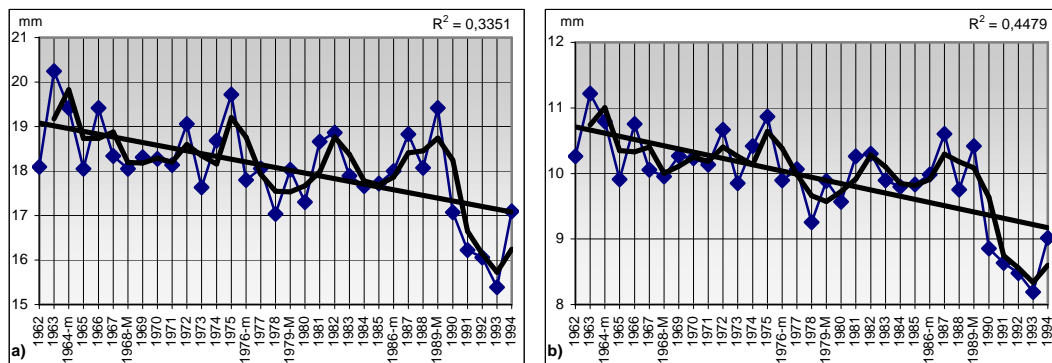
Réteg	Talaj-850 hPa	850-700 hPa	700-500 hPa	500-200 hPa	Talaj-200 hPa
mm	7,76	5,48	3,27	0,82	17,33
%	44,8	31,6	18,9	4,7	100

A potenciálisan kihullható vízmennyiségek évi menete az 56. ábrán látható. Az évi ingás a talaj és a 200 hPa-os szint közötti légoszlopban 18,7 mm, a 850–200 hPa-os szintek közötti légoszlopban 10,1 mm.



**56. ábra** A potenciálisan kihullható vízmennyiség havi értékei a talaj és 200 hPa (a), 850 hPa és 200 hPa (b) között

A két légoszlopban az évi átlagok idősorából megállapítható, hogy a kihullható vízmennyiség trendje csökkenő tendenciájú. (57.a-b. ábra) A trendvonalak alapján a csökkenés mértéke megegyezőnek tekinthető.



**57. ábra** A potenciálisan kihullható vízmennyiség idősora a talaj és a 200 hPa-os szint között (a), a 850 hPa-os és a 200 hPa-os szint között (b) (1962-1994)

Az  $F_{10,7}$  index és a potenciálisan kihullható vízmennyiség közötti korreláció, negatív, áprilisban és májusban láthatunk szignifikáns kapcsolatot, abszolút értékben a legnagyobb érték ,46. (41. sz. táblázat) Megfigyelhető, hogy a vizsgált két légoszlopban az  $F_{10,7}$  index és a kihullható vízmennyiség közötti korrelációs együtthatók szignifikáns különbséget nem mutatnak.

41. sz. táblázat

***A potenciálisan kihullható vízmennyiségnek***

a)  $F_{10,7}$  indexszel

b) galaktikus-kozmosz sugárzással

c) geomágneses tevékenységgel számított korrelációi (1962-1994)

	hPa	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	talaj-200	-0,09	-0,05	0,27	<u>-0,46</u>	<u>-0,33</u>	-0,03	0,02	0,00	-0,02	-0,11	-0,15	-0,08
a)	850-200	-0,17	-0,14	0,19	<u>-0,44</u>	<u>-0,34</u>	-0,07	0,01	-0,07	-0,10	-0,11	-0,19	-0,12
b)	talaj-200	0,06	0,26	-0,26	<u>0,50</u>	<u>0,39</u>	0,14	0,05	-0,08	0,01	-0,06	0,05	0,15
b)	850-200	0,17	<u>0,35</u>	-0,21	<u>0,56</u>	<u>0,34</u>	0,17	0,06	-0,01	0,09	-0,04	0,08	0,16
c)	talaj-200	0,08	-0,26	0,22	<u>-0,40</u>	-0,16	-0,32	0,11	0,07	0,17	-0,16	-0,27	-0,05
c)	850-200	-0,08	<u>-0,33</u>	0,15	<u>-0,38</u>	-0,20	<u>-0,34</u>	0,13	0,00	0,14	-0,15	-0,29	-0,11

A potenciálisan kihullható vízmennyiség és az  $F_{10,7}$  index, illetve a galaktikus-kozmosz, vagy a geomágneses tevékenység közötti korrelációk kismértékben térnek el egymástól, azzal a különbséggel, hogy a galaktikus-kozmosz sugárzás esetén - a naptevékenység és a galaktikus-kozmosz sugárzás ellentétes változása miatt - a korreláció pozitív előjelű. A galaktikus-kozmosz sugárzás korrelációs értékei mutatnak legerősebb kapcsolatot, ezt követi kis eltéréssel a naptevékenység és a geomágneses tevékenység hatása.

A potenciálisan kihullható vízmennyiségnek, mint nedvességi karakterisztikának jellege alapján feltételezhető, hogy a potenciálisan kihullható vízmennyiségre a kvázi-kétéves oszcilláció hatással lehet.

A QBO nyugati fázisában a potenciálisan kihullható vízmennyiség és az  $F_{10,7}$  index között március, április és július hónapokban a korreláció szignifikáns értéket ér el, a többi hónapban ez egészen a zérusig terjed. (42. sz. táblázat) A március pozitív korrelációt mutat, április és július negatívot. Áprilistól a negatív korreláció csökken, és július kivételével decemberig csökkenő tendenciájú. A galaktikus-kozmosz sugárzás kapcsolata a kihullható vízmennyiséggel meghaladja az  $F_{10,7}$  index hatását. Ez a tavaszi

hónapokban szignifikáns kapcsolatban is megnyilvánul. A geomágneses tevékenység és a kihullható mennyiség közötti korrelációs együtthatók az előzőekben bemutatott korrelációs érték alatt maradnak.

A keleti fázisban jóval gyengébb az  $F_{10,7}$  index és a kihullható vízmennyiség közötti korreláció, mint a nyugati fázisban. A korreláció a nyár kivételével negatív. A keleti fázisban a kihullható vízmennyiség kapcsolata a galaktikus-kozmosz sugárzással, valamint a geomágneses tevékenységgel is kisebb mértékű, mint a nyugati fázisban.

42. sz. táblázat

***A potenciálisan kihullható vízmennyiségnek (talaj-200hPa)***

- a)  $F_{10,7}$  indexszel
- b) galaktikus-kozmosz sugárzással
- c) geomágneses tevékenységgel

számított korrelációi a **QBO mindkét** fázisában (1962-1994)

		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	Ny	-0,18	0,00	<u>0,51</u>	<u>-0,61</u>	-0,43	-0,30	<u>-0,59</u>	-0,24	-0,27	0,00	-0,03	-0,08
a)	K	-0,04	-0,06	0,05	-0,11	-0,24	0,13	0,18	0,17	0,20	-0,15	-0,22	-0,05
b)	Ny	0,15	<u>0,44</u>	<u>-0,53</u>	<u>0,77</u>	<u>0,47</u>	0,13	<u>0,62</u>	0,02	0,04	-0,13	-0,14	0,03
b)	K	-0,01	0,17	0,00	-0,06	0,28	0,15	-0,08	-0,17	-0,03	-0,05	0,16	0,21
c)	Ny	-0,13	-0,33	-0,05	<u>-0,45</u>	0,04	-0,32	-0,12	-0,14	0,23	-0,23	-0,40	0,02
c)	K	0,34	-0,29	0,44	-0,30	-0,35	-0,36	0,13	0,21	0,05	-0,07	-0,19	-0,16

A QBO két fázisa figyelembevételével vizsgálva a potenciálisan kihullható vízmennyiség havi átlagait, a mindkét légoszlopban a nyugati illetve a keleti fázisban a kihullható vízmennyiségek között szignifikáns különbség nem fedezhető fel, ugyanakkor az előző táblázatban látható volt, hogy a kihullható vízmennyiség és az extraterresztrikus tényezők közötti korrelációk a nyugati fázisban jelentősebbek. ( 43. sz. és a 42. sz. táblázat)

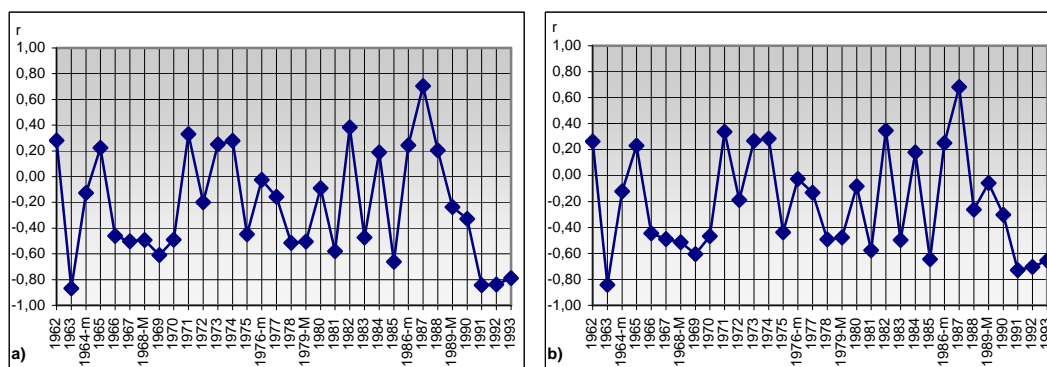
*A potenciálisan kihullható vízmennyiségnek*

- a) havi átlagai a talaj-200hPa között  
 b) havi átlagai a 850 hPa-200 hPa között

a QBO mindkét fázisában (1962-1994)

		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a)	Ny	9,5	9,6	11,9	14,5	21,3	25,9	28,2	28,5	23,7	18,8	14,3	12,4
a)	K	10,0	10,5	11,8	14,7	20,6	25,8	28,4	28,1	23,9	17,8	13,9	10,8
b)	Ny	5,5	5,4	6,6	7,7	11,5	14,1	15,4	15,7	12,9	10,4	8,1	6,6
b)	K	5,8	5,8	6,4	8,0	11,2	14,0	15,6	15,4	13,0	9,8	7,9	6,2

A potenciálisan kihullható vízmennyiség és az  $F_{10,7}$  cm-es index évi korrelációinak időszora a két légoszlopban hasonló. (58. ábra) Az  $F_{10,7}$  index és a kihullható vízmennyiség értékei nagyrészt negatív korrelációt mutatnak, ez azt jelenti, hogy a naptevékenység változásával a potenciálisan kihullható vízmennyiség ellentétesen változik, kivételt képeznek a naptevékenység maximumát megelőző vagy követő évek, amikor a korrelációs együttható pozitív értékű.



58. ábra A potenciálisan kihullható vízmennyiség és az  $F_{10,7}$  cm-es index korrelációja talaj-200hPa (a), 850-200 hPa (b) légoszlopban (1962-1994)

Spektrálanalízissel a kihullható vízmennyiség teljesítményspektrumát vizsgálva az extraterresztrikus hatások érvényesülését lehet megerősíteni. Ha a napciklus periodicitásához tartozó csúcs nagyságát összevetjük a spektrum több éves és féléves változásait reprezentáló csúcsok amplitúdójával, egészen a két hónapos periódusig elmenve, akkor a naptevékenység hatásának a megjelenése megállapítható. (59. ábra) Az 59. ábrán látható, hogy a spektrum további jellemzője az 5,3 évnél (galaktikus



kozmosz-sugárzás) a 4,3 évnél (geomágneses tevékenység), a 2,7 és 1,5 évnél levő csúcsok.

A kihullható vízmennyiséggel kapcsolatban a havi átlagok alapján a 44.sz. táblázat mutatja, hogy negatív korreláció van a kihullható vízmennyiség, valamint a naptevékenység vagy a geomágneses tevékenység között. Az előbbi 95 %-os szignifikancia-szinttel, míg az utóbbi 99 %-os szignifikancia-szinttel. A kihullható vízmennyiség és a galaktikus-kozmosz sugárzás (GCR) közötti korrelációt is meghatároztuk, eredményül 95 %-os szignifikancia-szinttel, pozitív korrelációt kaptunk. (44. sz. táblázat)

44. sz. táblázat

A kihullható vízmennyiség értékek és a naptevékenység, geomágneses tevékenység és a galaktikus kozmosz sugárzás közötti korreláció különböző magasságtartományokban

magasságtartomány (hPa)	<b>F<sub>10.7</sub></b>	<b>Ap</b>	<b>GCR</b>
850-200 (1,5-12 km)	-0,30	-0,38	0,31
700-200 (3-12 km)	-0,38 95 %	-0,46 99 %	0,42 95 %
talaj-200 (0-12 km)	-0,21	-0,30	0,22

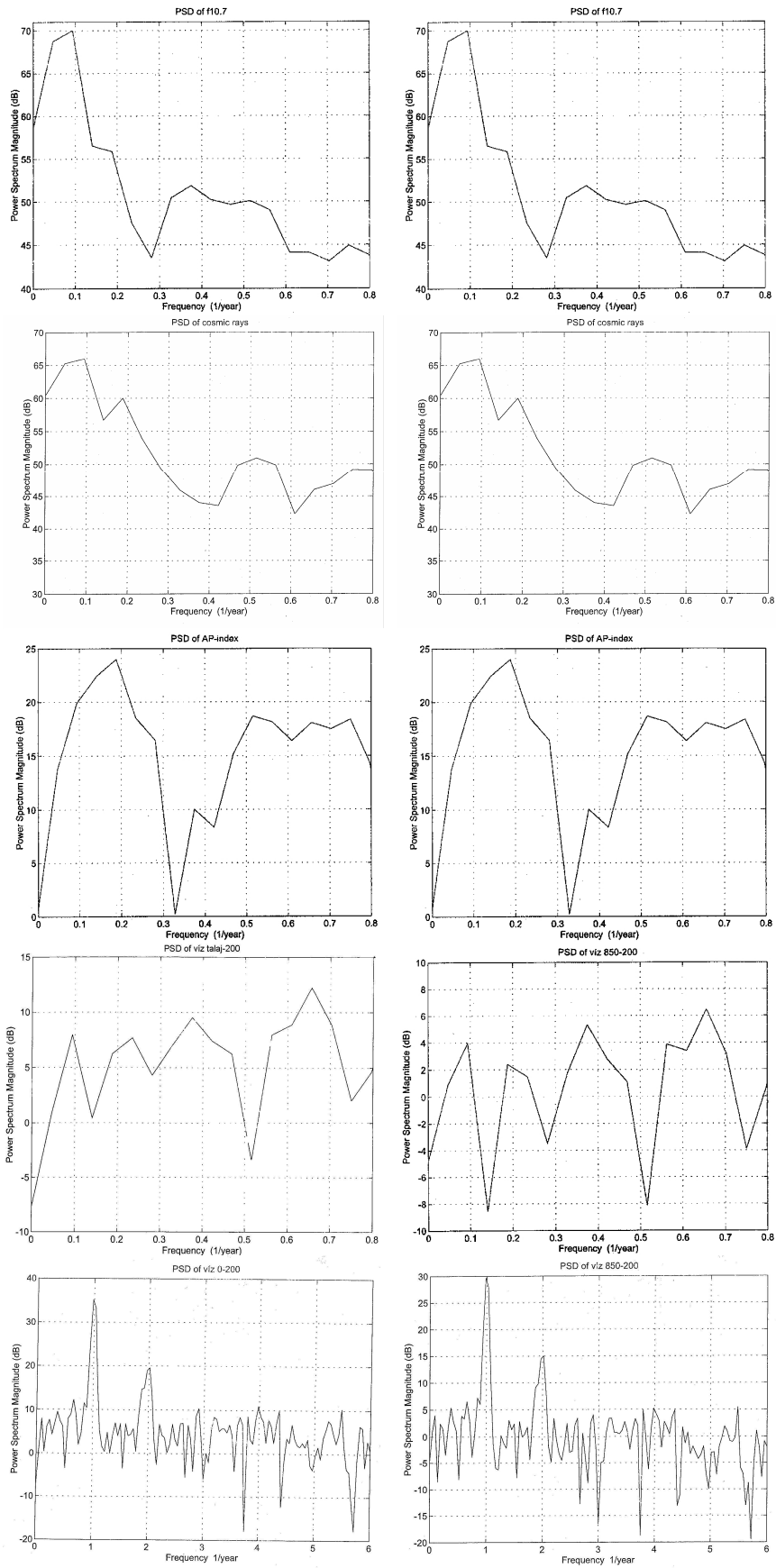
Megfigyelhető, hogy a korreláció erősödik, ahogy közeledünk ahhoz a régióhoz, ahol egybeesik a felhőképződés magasságtartománya, valamint az a magasságtartomány, ahol a kozmosz sugárfluxus, a troposzférában felfelé haladva a másodlagos galaktikus sugárzás maximuma felé tart. Ez utóbbi maximum 15 km-es magasságban alakul ki. (Bencze et al., 1983) Így a kihullható csapadék és a galaktikus-kozmosz sugárzás közötti összefüggést nem csak a két mennyiség közötti szignifikáns korreláció jelzi, hanem a magasságtartománynak a felhőképződés régiójáig történő leszűkítésével növekvő korreláció is. Amint ismeretes, a galaktikus-kozmosz sugárzás fluxusa a növekvő naptevékenységgel párhuzamosan csökken, amit ezen mennyiségek korrelációs együtthatójának ellentétes előjele is mutat. A galaktikus-kozmosz sugarak fluxusának csökkenése összefüggésben van a bolygóközi mágneses mezőnek irregularitásai miatt bekövetkező szóródással, és a szóródás mértéke a naptevékenység erősödésével párhuzamosan nő. Ezt a gondolatsort követve a megnőtt naptevékenység következménye a csökkent galaktikus-kozmosz sugárzásfluxus és a csökkent ionizáció

a troposzférában és sztratoszférában. Tinsley-nek (1991) a naptevékenység és az időjárás közti összefüggésre vonatkozó elgondolása szerint ez az elektromosan töltött kondenzációs magok koncentrációjának csökkenését eredményezi, amelyek sokkal hatékonyabbak, figyelembe véve a túlhűlt vízcseppeknek a felhők felső részében végbemenő nukleációját. Ennek eredményeképpen a kihullható víz mennyiségnek növekedni kellene, hisz a felhő- és csapadékképződés hatékonysága csökkent. Az egyszerűsített elméleti modellek, megfontolások szerint a naptevékenységnek és a kihullható vízmennyiségnek azonos irányban, a galaktikus-kozmosz sugárzásnak és a kihullható vízmennyiségnek fordított arányosság szerint kellene változni. A vizsgálat eredménye, mind a trendek, mind a korrelációs együtthatók alapján, ezzel ellentétes eredményt hozott. Azaz a naptevékenység és a kihullható vízmennyiség között fordított, a galaktikus-kozmosz sugárzás és a kihullható vízmennyiség között azonos irányú változást állapított meg. Magyarázatul a bonyolult hatásmechanizmusok és visszacsatolási folyamatok együttese szolgálhat.

Svensmark és társai (1997,1998) a galaktikus-kozmosz sugárzás és a borultság viszonyát vizsgálták. Megállapították, hogy az alacsony szintű felhők tartományában ( $h < 3,2$  km,  $p > 680$  hPa) a galaktikus-kozmosz sugárzás és a felhőképződés, illetve a borultság azonos irányban változik. A középmagas ( $3,2 \text{ km} < h < 6,5$  km,  $680 \text{ hPa} > p > 440$  hPa) felhők tartományában, és a magas szintű ( $h > 6,5$  km,  $p < 440$  hPa) felhők tartományában a felhőképződés, illetve a borultság a galaktikus-kozmosz sugárzással fordított irányú változást mutat.

Feltételezhetjük, hogy a naptevékenység intenzitásának növekedése miatt a galaktikus-kozmosz sugárzás fluxusa csökken, ezért a borultság 3 km feletti réteget tekintve nő. A borultság és a párolgás fordított kapcsolatát tényként tekintve, a kihullható vízmennyiség a párolgás hiánya miatt csökken.

A kihullható vízmennyiség és a galaktikus-kozmosz sugárzás-fluxus közötti szignifikáns pozitív korrelációt magyarázhatja ez a folyamat. Ezzel a ténnyel magyarázható, hogy a kihullható vízmennyiség, valamint a naptevékenység és a geomágneses tevékenység közötti negatív korreláció a légkör kiszáradását eredményezi a megnövekedett naptevékenység és geomágneses tevékenység esetén. Ezt támasztja alá az utóbbi három napciklus alatt a potenciálisan kihullható vízmennyiség csökkenő trendje (57. ábra), miközben a naptevékenység (havi középértékek alapján) növekvő tendenciát mutat. (2. ábra)



59. ábra A potenciálisan kihullható vízmennyiség spektrumanalízise a vizsgált léoszlopban (amplitúdó dB-ben)

## ÖSSZEGZÉS

Az extraterresztrikus tényezők egy-egy időjárási elemre gyakorolt hatásait lokális környezetben, Budapest felett láthattuk az előző fejezetekben. Az 1962-1994 közötti mérések alapján a bemutatásra került elemek változásainak nyomon követésével közelebb juthatunk az időjárást befolyásoló energiák becsléséhez. Ugyanis a naptevékenység, a galaktikus-kozmosz sugárzás, a geomágneses tevékenység hatásmechanizmusa olyan folyamatban realizálódik, amely során a légkörbe jutó energia valamely hatás során felerősödik. A lehetséges hatásmechanizmust Tinsley B. A. több tanulmányban ismertette. (Tinsley et al., 1984, 1989, 1991, 1993, 1994, 1996 a.,b.,c., 1997)

A vizsgálat során a Kárpát-medence felett történő magaslégköri mérésekkel négy meteorológiai paraméter elemzésére került sor. Az eljárás az extraterresztrikus hatások függvényében a meteorológiai paraméterek változásaira irányult. A kiválasztott négy paraméter közül a hőmérséklet és a skaláris szélesség közvetlen meteorológiai paraméter, míg az izobárszint geopotenciális magassága, valamint a potenciálisan kihullható vízmennyiség közvetett paraméternek tekinthető. Az izobárszint geopotenciális magassága a légköri folyamatoknak komplex indikátora, míg a potenciálisan kihullható vízmennyiség a vízgőzmennyiség közvetett paramétere. Ez utóbbi mennyiségből következtethetünk a csapadékképződés légköri energetikai folyamatainak nagyságára.

A vizsgálatok eredményeiből megállapítható, hogy a vizsgált izobár szintek geopotenciális magasságát 850 hPa-tól 10 hPa-ig a naptevékenység hatása befolyásolja. A vizsgált időszakban az izobár szintek magassága 150 hPa-ig növekvő, majd 150 hPa-tól a vizsgált 10 hPa-os szintig csökkenő trendet mutat. E változásokból a troposzféra felmelegedésére, a sztratoszféra hűlésére is következtethetünk. A naptevékenység és a geopotenciális magasság közötti kapcsolatot kifejező korrelációs együtthatók éves átlagai negatívak, a 10 hPa-os szint felé haladva abszolút értékük kis mértékben nő. A naptevékenység és a geopotenciális magasság közötti havi átlagos korrelációs értékeket tekintve a troposzférában a kapcsolatot a téli hónapokban pozitív korreláció jelzi, a nyári hónapokban az előjel változó. A sztratoszférában a negatív korrelációk dominálnak.

A sztratoszférában a QBO két fázisában vizsgálva a naptevékenység és az izobárszint magasságának a kapcsolatát a nyugati fázisban a negatív korreláció, míg a keleti fázisban főként télen a pozitív korreláció jellemző.

Az éves átlagok alapján az  $F_{10,7}$  index és a geopotenciális magasság korrelációinak időszora a 30 hPa, 20 hPa, 10 hPa-os szinten megközelítőleg azonos. A geopotenciális magasság és a galaktikus-kozmosz sugárzás kapcsolatára vonatkozóan valamennyi szinten történt vizsgálat, amely a naptevékenységgel megállapított változás ellentétét mutatja, azaz általában ha a geopotenciális magasságnak a naptevékenységgel mutatott korrelációja pozitív, akkor a galaktikus-kozmosz sugárzásnak a geopotenciális magassággal mutatott korrelációja negatív, vagy fordítva. Ez az eredmény összhangban van a naptevékenységnek a galaktikus-kozmosz sugárzásra gyakorolt hatásával.

A geomágneses tevékenység az izobárszint magasságára a naptevékenységgel azonos jellegű hatást vált ki, a korrelációs együtthatók a sztratoszférában a naptevékenység hatását kifejező korrelációs együtthatókat gyakran meghaladják.

A QBO hatásának figyelembevételével a naptevékenység és a geopotenciális szintmagasság között a nyugati fázisban jelentősen nagyobb a korreláció, mint a QBO figyelmen kívül hagyása esetén.

A vizsgálat során kapott korrelációs értékek, sőt azok előjelei eltérnek a K. Labitzke és H. van Loon megállapításától, akik közel ugyanilyen hosszúságú adatsoron, globális méretekben, abszolút értékben nagyobb, pozitív korrelációs együtthatókat mutattak ki. A vizsgálatok eredményeinek összevetéséből levonhatjuk azt a következtetést is, hogy a vizsgálatok elvégzése regionális léptékben is indokolt.

A spektrumanalízis is arra enged következtetni, hogy a naptevékenységnek a geopotenciális szintmagasságára gyakorolt hatása fennáll. Az ezt jelző 22 éves periodicitás minden szinten, a 11 éves periodicitás a tropopauza szint és a 10 hPa-os szint kivételével megjelenik. A spektrumanalízis grafikonjaiból határozottan leolvasható a geomágneses tevékenység hatása is az izobár szintek magasságára.

A 10 hPa-os szint geopotenciális magasságának értékei a sztratoszféra vizsgált szintjein tapasztalt értékekhez képest nagyobb változékonyságot mutatnak. Ez következhet a mérések során fellépő hibákból, de tulajdonítható a vizsgált szinten lejátszódó folyamatok hatásának, miután feltételezhetően a szintet tartalmazó magasságtartományban található az ózonkoncentráció maximuma. A vizsgálatok során a 10 hPa-os szinten szignifikáns korreláció nem adódott a naptevékenység és az izobár

szintek magasságára vonatkozóan, mint ahogyan szignifikáns korrelációt nem figyelhetünk meg a 10 hPa-os izobárszint hőmérséklete és naptevékenység között sem.

A hőmérsékleti trendeket vizsgálva az 500 hPa-os szintig a hőmérséklet csökkenő mértékben, növekvő trendet mutat. Az 500 hPa-os szinten a trend változása elhanyagolható. Ebből a troposzféra 5,5 km-es magasságáig melegedésre következtethetünk. Az 500 hPa-os szint feletti hőmérsékleti trendek csökkenő tendenciájúak. Ez a csökkenés a 10 hPa-os szinten már nem tapasztalható, ahol a hőmérsékleti trend ismételt növekedést mutat. Azaz a troposzféra felső, és a sztratoszféra alsó rétegei feltehetően hűlnek.

A naptevékenység és az izobár szintek hőmérséklete közötti kapcsolatot kifejező korrelációs együtthatók negatívak, nagyságuk nem éri el az izobár szintek magasságának vizsgálatánál tapasztalt értékeket. A havonkénti értékekből arra következtethetünk, hogy a troposzférában a naptevékenység és az izobárszint hőmérséklete között kimutatható korreláció nagyobb, mint a sztratoszférában. A 10 hPa-os, és a 20 hPa-os szinten a naptevékenység és a szint hőmérséklete közötti havi átlagos korrelációs együtthatók nagyrészt pozitív előjelűek.

Míg a QBO két fázisában a felszínhez közeli magasságokban a korrelációs értékek jelentősen nagyobbak, mint a QBO hatás figyelembevétele nélkül, a 20 hPa, 10 hPa-os szinten a QBO figyelembevétele, csak kismértékben eredményez nagyobb korreláció kifejező értékeket. A naptevékenység és az izobárszint hőmérsékletét kifejező korrelációs együtthatók értékeinél a sztratoszférában a geomágneses tevékenység hatása erősebbnek tűnik.

A galaktikus-kozmosz sugárzásnak a hőmérséklettel kifejezett kapcsolata ellentétes a hőmérsékletnek a naptevékenységgel, vagy a geomágneses tevékenységgel kimutatott kapcsolatához képest.

A 10 hPa-os szinten mindkét fázisban a szint hőmérséklet és a naptevékenység között a havi korrelációs együtthatók főként pozitívak, a szint hőmérséklete pedig a sztratoszférára jellemzően magasabb az alatta, a sztratoszférában levő szintek hőmérsékleténél. Valószínűsíthetően a korrelációknál levő eltérés, azaz az együtthatók pozitív előjelűek, az ózon hatásának tulajdonítható. Vélhetően az ózon okozza a hőmérsékleti értékek nagymértékű változékonyságát, az extrateresztikus tényezőkkel fennálló kapcsolatának gyengeségét.

A spektrumanalízis eredményeiből valamennyi szinten a hőmérséklet 22 éves periódusára következtethetünk, ugyanakkor a 11 éves periódus nem mutatható ki. Egyes

szinteken a 22 éves periódus spektrálsűrűségénél nagyobbak a geomágneses tevékenység okozta periódusok amplitúdói.

H. van Loon és K. Labitzke a sztratoszféra szélrendszerét vizsgálta a naptevékenység függvényében. Az eredményekből azt a következtetést vonták le, hogy a naptevékenység hatása az izobárszinteken mért skaláris szélességre az év minden szakában az alacsonyabb szélességekben is érvényesül. A vizsgált izobárszinteken a skaláris szélesség trendje a szélmaximum szintjéig (265 hPa) növekvő trendet mutat. A vizsgált sztratoszféra tartományban a trend már csökkenő, azonban a hőmérséklethez hasonlóan a 10 hPa-os szinten ismételen növekvő tendenciájú. A szélességnek a naptevékenységgel mutatott korrelációja éves átlagok alapján pozitív, míg a havi átlagos korrelációk negatív értékeket mutatnak.

A havi átlagok alapján a sztratoszférában a naptevékenység és a skaláris szélesség közötti korrelációk a nyári hónapokban szignifikáns (95%) negatív értékeket mutatnak. A troposzférában, illetve a szélmaximum szintjén is a nyári hónapokban határozott szignifikáns negatív korrelációkat figyelhetünk meg.

A QBO mindkét fázisában, a sztratoszférában a szélesség és a naptevékenység kapcsolatát kifejező havi átlagos korrelációk negatívak, míg a keleti fázisban, különösen a téli hónapokban, a pozitív értékek is megjelennek. A nyugati fázishoz tartozó korrelációk nagyobbak a keleti fázisban tapasztalt értékeknél. A troposzférában a nyugati fázis dominanciája nem figyelhető meg. A troposzférában a keleti fázis téli hónapjaiban a pozitív korrelációk a dominánsak, abszolút értékben meghaladják a nyugati fázisban jelentkező negatív korrelációt.

A spektrálanalízis által kimutatható periodicitásoknál a spektrális sűrűség kisebb, mint az a geopotenciális magasságnál és a hőmérsékletnél tapasztalható volt. A 22 éves periódus a szélesség spektrumában a troposzférában minden szinten felfedezhető, a 11 éves periódus a teljesítményspektrumban csak a 150 hPa és a 10 hPa szinteken jelentkezik.

A potenciálisan kihullható vízmennyiség, mint közvetett nedvességi paraméter a vizsgált időszakban csökkenő tendenciát mutat. A kihullható vízmennyiség idősora megközelítően azt tükrözi, hogy a naptevékenységi maximumok idején a kihullható vízmennyiség lokális minimumot, naptevékenységi minimumok környezetében maximumot mutat.

A potenciálisan kihullható vízmennyiség és a naptevékenység között az évi átlagok alapján negatív korreláció együttható adódik. A korrelációk idősora csak kis

mértékben tér el, ha a vizsgálatot a teljes légoszlopra, illetve 850 hPa és 200 hPa közötti légoszlopra vonatkoztatjuk.

A galaktikus-kozmosz sugárzás és a potenciálisan kihullható vízmennyiség közötti korreláció a nyári hónapokban pozitív, a korrelációs együttható előjele ellentétes a naptevékenység és a kihullható vízmennyiség korrelációjának előjelével. A geomágneses tevékenység a potenciálisan kihullható vízmennyiségre közel ugyanakkora hatást gyakorol, mint a naptevékenység a potenciálisan kihullható vízmennyiségre. A galaktikus-kozmosz sugárzás hatása a potenciálisan kihullható vízmennyiségre kismértékben erősebb, mint a naptevékenység vagy a geomágneses tevékenység hatása.

A potenciálisan kihullható vízmennyiség vizsgálata QBO függvényében azt mutatja, hogy a nyugati fázisban a naptevékenységgel mutatott kapcsolat negatív, február és március kivételével, a nyári hónapok korrelációs együtthatói közepes nagyságúak, közülük néhány a 95%-os szinten szignifikáns. A téli hónapok korrelációs együtthatói alacsonyak. A keleti fázisban a kihullható vízmennyiség és a naptevékenység korrelációs együtthatói nagymértékű változékonyságot tükröznek, a korrelációk váltakozó előjelűek és nem jelentősek. A potenciálisan kihullható vízmennyiség a naptevékenységgel a QBO nyugati fázisában határozott kapcsolatot mutat, míg a keleti fázisban ez nem áll fenn. Ugyanakkor a kihullható vízmennyiség tényleges értékei a nyugati és a keleti fázisban nem mutatnak szignifikáns különbséget. A QBO hatásának vizsgálatánál az is megfigyelhető volt, hogy a nyugati fázisban a galaktikus-kozmosz sugárzás hatásának a dominanciája a kihullható vízmennyiségre jelentősebb, mint a geomágneses tényezőé, illetve a naptevékenységé.

A spektrálanalízis a kihullható vízmennyiségnek az extraterresztrikus hatásokkal történő kapcsolatát bizonyítja. Mindkét légoszlopban határozott csúcs jelentkezik a naptevékenység 11 éves periódusánál. Azonban a spektrálsűrűség jelentősen kisebb mint a geopotenciális magasságoknál, a hőmérsékletnél, a spektrális szélességnél hasonló vizsgálat során tapasztalt értéknél. A periodicitást bizonyító amplitúdók a talaj és 200 hPa közötti légoszlopban nagyobbak, mint a 850 és a 200 hPa közötti légoszlopban, ha a kihullható vízmennyiség spektrumának változásait összehasonlítjuk mindkét légoszlopban.

A vizsgált négy időjárási elem és az extraterresztrikus tényezők kapcsolatára az előző fejezetben végzett vizsgálatok eredményei bizonyítékkal szolgálhatnak.



A kapott eredmények energetikai oldalról magyarázhatóak. Ez azonban csak a három extraterresztrikus tényező együttes hatásmechanizmusának feltételezésével történhet.

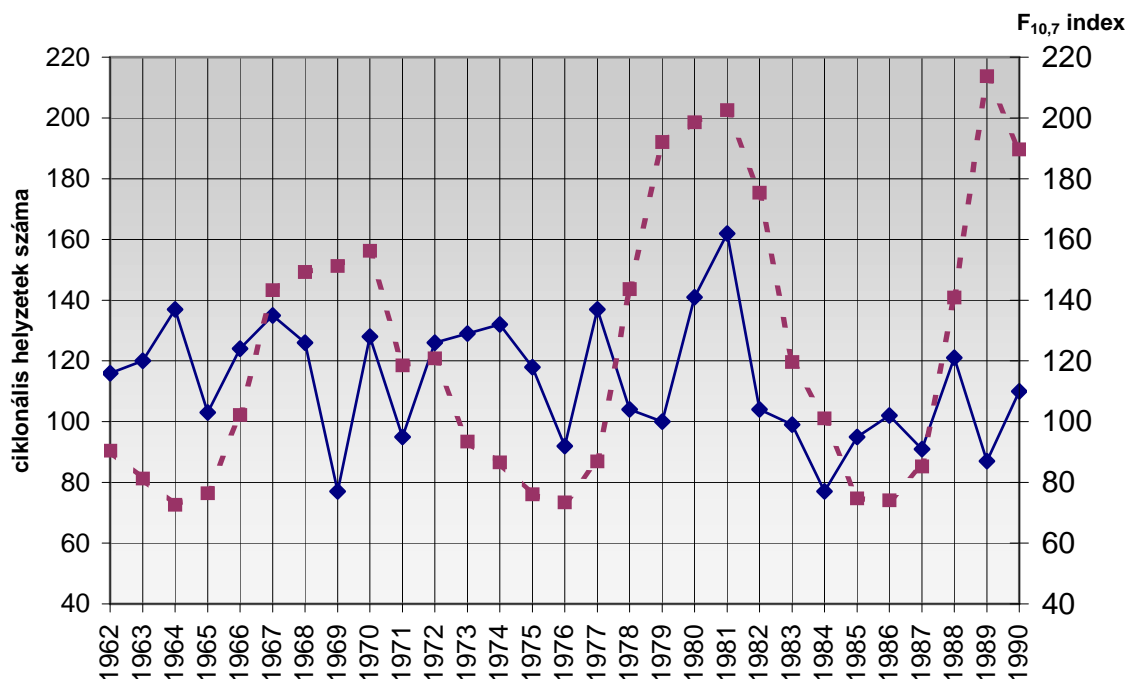
A négy meteorológiai paraméter változásai az extraterresztrikus hatások függvényében egymásnak nem ellentmondóak, koherens megállapításokat eredményeznek.

A leegyszerűsített hatásmechanizmusok figyelembevételével korlátozott eredmények várhatók, mert a sztratoszférikus ózon valamint az oszcillációs hatás a folyamatokat torzítja. Az oszcillációs hatás a sztratoszférában - keleti fázisban - dinamikus létrehozott ingadozást mutat, míg ez a nyugati fázisban nem jelenik meg. Azaz a QBO és a naptevékenység egymást erősíti a keleti fázis téli éveiben, de ez a hatás nem jellemzi a nyugati éveket. Ez utóbbi tulajdonítható annak, hogy a QBO nyugati fázisának éveiben a megfigyelés időszaka alatt a téli sarki légörvény nem működött. (K. Labitzke, H. van Loon, 2000)

Shea és társai (1992) rámutattak arra, hogy az Északi-sark telén, a QBO keleti fázisában a naptevékenységnek a sztratoszférikus izobárok magasságaival és hőmérsékleteivel kapott korrelációi (negatív), a naptevékenységnek az alacsonyabb szélességi körökön található azonos izobár magasságokkal és hőmérsékletekkel kapott korrelációi (pozitív) fordított előjelűek. Az eredmények is mutatják, hogy a napciklus legerősebben hat az északi féltekén a tél késői szakaszában (március-május). A sztratoszférikus ózon meridionális áramlása, valamint a sugárzási folyamatok mechanizmusa a középső sztratoszférában olyan hatásokat idéz elő, amely a meteorológiai elem változásának trendjét, az extraterresztrikus tényezők hatását torzítja, módosítja. (10 hPa - izobár szintek hőmérséklete)

A nagytérségű folyamatokról a Hess-Brezowsky-féle makroszinoptikus helyzetek száma megfelelő tájékoztatást ad. A helyzetek száma, illetve sorozata pedig áttekinthető képet ad a térség cirkulációs állapotáról. A naptevékenység hatását jól reprezentálja a ciklontevékenység alakulása a megfigyelés ideje alatt. A 60. ábrán látható, hogy a ciklonális helyzetek száma (folytonos vonal) a naptevékenységi minimumok környezetében, azaz a naptevékenység intenzitásának a csökkenésével növekszik. A naptevékenységi maximum időszakában viszont a ciklonális helyzetek száma kismértékben csökken. Ez az eredmény egy lokális pontban történt vizsgálat alapján is összhangban van a Wilcox és társai (1973, 1974), Tinsley (1991) által megállapított törvényszerűségekkel. (6. ábra, 60. ábra) A 6. ábrán ugyanis az látható, hogy QBO nyugati fázisában az adott térségben a viharok száma és a napfoltszám fordítottan

változik. Az ábrán közölt eredmények egyúttal erősítik a potenciálisan kihullható vízmennyiségnek a naptevékenységgel kimutatott kapcsolatát is.



**60. ábra A ciklonális helyzetek száma (folytonos) és a naptevékenységet kifejező F<sub>10,7</sub> index (szaggatott) kapcsolata (1962-1990)**

Az elvégzett vizsgálatból arra a következtetésre juthatunk, hogy az éghajlati változékonyság előidézőjeként az extraterresztrikus hatásokat is célszerű figyelembe venni.

Az extraterresztrikus hatások globális vizsgálatától a kapott eredmények markánsan különböznek, így a regionális hatások vizsgálata is indokoltnak tűnik. Ezen eredmények azt valószínűsítik, hogy a regionális éghajlati forgatókönyvek készítése során az extraterresztrikus tényezők hatását nem célszerű figyelmen kívül hagyni.

Miután a sztratoszférikus változások hatása valamilyen mértékben a troposzférában is nyomon követhető, arra a következtetésre is juthatunk, hogy a troposzférában történő folyamatok előrejelzéséhez a sztratoszféra változásának ismerete előnyt jelenthet.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A dolgozat szerzője köszönetét fejezi ki dr. Bencze Pál c. egyetemi tanár úrnak a dolgozat készítése során nyújtott segítő tevékenységéért, tanácsaiért, a problémák megoldásaival összefüggő légkörfizikai folyamatok rendszerszerű kezelésének ösztönzéséért.

Köszönöm dr. Mészáros Ernő akadémikus úrnak az e témakörben megkezdett tudományos tevékenység segítségét és szakmai támogatását.

Köszönöm az Országos Meteorológiai Szolgálat szíves hozzájárulását, hogy a dolgozat célkitűzésinek bizonyításához a szükséges magaslégköri adatokat rendelkezésemre bocsátották.

Továbbá köszönöm mindazoknak a segítségét, akik a dolgozat készítéséhez, illetve a tudományos fokozat megszerzésének lehetőségéhez bármely formában hozzájárultak, hozzásegítettek.

Sopron, 2004. április

## IRODALOMJEGYZÉK

- Allen, H. J., (1982): Some commonly used magnetic activity indices: their derivation, meaning and use. In: Joselyn, J. (Ed.), Proceedings of the Workshop on Satellite Drag. (also on the web site at [www.ngde.noaa.gov./stp](http://www.ngde.noaa.gov./stp)).
- Allen, H.J., Feymann, J. (1979): Review of selected geomagnetic activity indices. In: Donnelly R.F. (ed.), Solar-terrestrial predictions. Proceedings. Vol. 2. Working Group Reports and Reviews, pp. 385-398.
- Balachandran, N., K., Rind, D., Lonergan, P., Shindell, D.T. (1999): Effects of solar cycle variability on the lower stratosphere and the troposphere. *J. Geophys. Res.*, 104, 27321-27339
- Bauer, S. J. (1957): A possible troposphere-ionosphere relationship. *J. Geophys. Res.*, 62, 425-430.
- Bauer, S. J. (1958): Correlations between tropospheric and ionospheric parameters. *Geofisica pura e applicata* 40, 235-240.
- Bencze P., Major Gy., Mészáros E. (1983): Fizikai meteorológia. Akadémiai Kiadó.
- Bencze P. (1991): Az ózon koncentrációjának kialakulása a középső légkörben. *Időjárás* 95, 77-93.
- Bencze P. (2000): Naptevékenység és időjárás, MMT XVIII: Vándorgyűlésen elhangzott előadás, Sopron 2000. aug. 24-25. Megjelent: CD-n.
- Bodolainé Jakus E. (1975): Kritikus csapadékmennyiségek előrejelzése a Duna és Tisza vízgyűjtő területére, OVH részére benyújtott tudományos jelentés, Budapest
- Bodolainé Jakus E. (1976): Mennyiségi csapadékelőrejelzés a Duna és Tisza vízgyűjtő területére a csapadékot létrehozó folyamatok találkozási modellek alapján, OVH részére benyújtott tudományos jelentés, Budapest
- Beynon, W. J. G. Brown, G. M. (1951): Geophysical and meteorological changes in the period January-April 1949. *Nature* 167, 1012.
- Beynon, W.J.G., Winstanley, E.H., 1969. Geomagnetic disturbance and the troposphere. *Nature* 22, 200.
- Coffey, H.E., Erwin, E. H. (2000): When do the geomagnetic aa and Ap indices disagree? *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 63, 551-556.
- Czelnai R., Götz G., Iványi Zs. (1983): Bevezetés a meteorológiába II. Kézirat. Tankönyvkiadó.
- Cseh S. (1981): A potenciálisan kihullható vízmennyiség Budapest fölött. *Időjárás* 85, 95-102.
- Cseh S. (1985): Éghajlati jellemzők az emelési kondenzáció szintjén Budapest fölött. *Időjárás* 89, 219-227.
- Cseh S., Bencze P. (2003): Solar activity and precipitable water. *Megjelenés alatt.*
- Cseh S., Bencze P. (2004): Long-term variations of temperature, wind and precipitable water in the troposphere and lower stratosphere. *Megjelenés alatt.*
- Götz G., Rákóczi F. (1981): A dinamikus meteorológia alapjai. Tankönyvkiadó.
- Haszpra L. (2000): A légköri CO<sub>2</sub> méréseinek újabb eredményei, *Magyar Tudomány* 45, 207-216.
- Junge, C. E. (1963): Air chemistry and radioactivity. Academic Press, New York, London.
- Kalnay, E., Kanmitsu, R., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Reynolds, R., Jenne, R., Joseph, J. (1996): The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Am. Meteor. Soc.* 77, 437-471.

- Kirkland, M. W., Tinsley, B.A., Hocksema, J. T. (1996): Are stratospheric aerosols the missing link between tropospheric vorticity and Earth transits of the heliospheric current sheet. *J. Geophys. Res.*, 101, 29 689-
- Labitzke, K., van Loon, H. (1992): On the association between the QBO and the extratropical stratosphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 54, 1453-1463.
- Labitzke, K., van Loon, H. (1995) Total ozone and the 11-yr sunspot cycle. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 59, 9-19.
- Labitzke, K., van Loon, H. (1998): The signal of the 11-year solar cycle in the global stratosphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 61, 53-61.
- Labitzke, K., van Loon, H. (2000): The QBO effect on the solar signal in the global stratosphere in the winter of the Northern Hemisphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 62, 621-628.
- Labitzke, K., Soukharev, B. (2001): The 11-year solar cycle, the Sun's rotation, and the middle stratosphere in winter. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 63, 1931-1939.
- London, J., Ruff, I., Tick, L. J. (1959): The relationship between geomagnetic variations and the circulation at 100 Mb. *J. Geophys. Res.*, 64, 1827-1833.
- Macdonald, N. J., Roberts, W.O. (1960): Further evidence of a solar corpuscular influence on large-scale circulation at 300 Mb. *J. Geophys. Res.*, 65, 529-534.
- Macdonald, N.J., Knecht, R. W. (1961): A statistical study of lower atmospheric-ionospheric coupling. *J. Geophys. Res.*, 66, 3187-3190.
- Markson, R., Muir, M. (1980): Solar wind control of the Earth's electric field. *Science* 206, 979.
- Mészáros E. (1977): *A levegőkémia alapjai Akadémiai Kiadó, Budapest*
- Nookester, V. R. (1967): An apparent response of 100-millibar winds to increase in geomagnetic activity. *J. Geophys. Res.*, 72.
- Ness, N. F. (1967) Observation of the interaction of the solar wind with the geomagnetic field during quiet conditions. In *Solar-Terrestrial physics* (eds.: J. W. King and W. S. Newman), Academic Press, London
- Quiroz, R. S. (1981): Period modulation of the stratospheric quasi-biennial oscillation. *Monthly Weather Review* 109, 665-674.
- Plumb, R. A. (1984): The quasi-biennial oscillation. In: *Dynamics of the Middle Atmosphere* (eds. J. R. Holton and T. Matsuno). Terra, Tokyo, 217-251.
- Pruppacher, H., R., Klett, J. D. (1997): *Microphysics of cloud and precipitation*. 2<sup>nd</sup> edition Kluwer.
- Reid, G. C. (2000): Solar variability and the earth's climate: introduction and overview. *Space Science Reviews* 94. 1-11.
- Roberts, W. O., Olson, R. H. (1973): Geomagnetic storms and winter-time 300 mb trough development in the North Pacific-North America area. *J. Atmos. Science*, 30, 135.
- Shapiro, R. (1956): Further evidence of a solar-weather effect. *J. Meteorol.* 13, 335-340.
- Shapiro, R. (1959): A comparison of the response of the North American and European surface pressure distributions to large geomagnetic disturbances. *J. Meteorol.* 16, 569-572.
- Shea, D.J., van Loon, H., Labitzke, K. (1992): Point correlations of geopotential height and temperature at 30 mb and between 500 mb and 30 mb. NCAR, Boulder, Colorado, NCAR/TN-368+STR, 6pp. and 285 map pages.

- Shindell, D.T., Schmidt, G.A.S., Miller, R. L. Rind, D. (2001): Northern hemispheric winter climate response to greenhouse gas, ozone, solar and volcanic forcing. *J. Geophys. Res.*, 106, 7193-7210.
- Svensmark, H., (1998): Influence of cosmic rays on Earth's climate. *Phys. Rev. Lett.* 81, 5027-5030.
- Svensmark, H., Friis-Christensen, E. (1997): Variations of cosmic ray flux and global cloud coverage - a missing link in solar-climate relationships. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 59, 1225-1232.
- Tinsley, B. A., Brown, G. M., Scherrer, P. H. (1989): Solar variability influences on weather and climate: possible connections through cosmic ray fluxes and storm intensification. *J. Geophys. Res.*, 94, 14783-14792.
- Tinsley, B. A. (1991): Interpretation of short-term solar variability effects in the troposphere. *J. Geomag. Geoelectr.* 43, 775-783.
- Tinsley, B. A., Heelis, R. A. (1993): Correlations of atmospheric dynamics with solar activity: evidence for a connection via the solar wind, atmospheric electricity and cloud microphysics. *J. Geophys. Res.*, 98, 10375-10384.
- Tinsley, B. A., Hocksema, J. T., Baker, D. N. (1994): Stratospheric volcanic aerosols and changes in air-earth current density at solar wind magnetic sector boundaries as conditions for the Wilcox tropospheric vorticity effect. *J. Geophys. Res.*, 99, 16805-16813.
- Tinsley, B. A. (1996a): Evidence for cloud-climate interactions due to atmospheric electricity effects on ice nucleation. *Proc. 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Clouds and Precipitation.*
- Tinsley, B. A. (1996b): Solar wind modulation of the global electric circuit and apparent effects on cloud microphysics, latent heat release and tropospheric dynamics. *J. Geomag. Geoelectr.* 48, 165.
- Tinsley, B. A. (1996c): Correlations of atmospheric dynamics with solar wind-induced changes of air-earth current density into cloud top. *J. Geophys. Res.*, 101, 29701-29714.
- Tinsley, B. A., Beard, K. V. (1997): Links between variations in solar activity, atmospheric conductivity and clouds: an informal workshop. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 78(4), 1-3.
- Todd, M. C., Kniveton, D. R. (2001): Changes in cloud cover associated with Forbush decreases of galactic cosmic rays. *J. Geophys. Res.*, 106, 3231-32041.
- Wasserfall, K. F. (1941): Comparison of long period variations in magnetic elements and air-temperature. *Terr. Mag.*, 46, 417-430.
- Wilcox, J. M., Scherrer, P. H., Svalgaard, L., Roberts, W. O., Olson, R. H. (1973): Solar magnetic structure: Influence on stratospheric circulation. *Science* 180, 185.
- Wilcox, J. M., Scherrer, P. H., Svalgaard, L., Roberts, W. O., Olson, R. H., Jenne, R. L. (1974): Influence of solar magnetic structure on terrestrial atmospheric vorticity. *J. Atmos. Sci.*, 31, 581.
- Woodbridge, D. D., Macdonald, N. J., Pohrte, T. W. (1959): An apparent relationship between geomagnetic disturbances and changes in atmospheric circulation at 300 millibars. *J. Geophys. Res.* 64, 331-341.