

### 3. TÁVKAPCSOLATOK REGIONÁLIS HATÁSAI

A távkapcsolat-analízis során a földrajzilag egymástól távol lévő régiók közötti statisztikai összefüggéseket tárjuk fel. Ebben a fejezetben az éghajlati távkapcsolatok vizsgálata mellett a nagy-térségű légköri jelenségek regionális hatásait elemezzük. Elsőként az ENSO fázisok EOF-módusait elemezzük két mérsékelt övi szektorban, majd az előző fejezetben ismertetett MCP osztályok gyakoriság-eloszlásának ENSO fázistól való függését vizsgáljuk meg. Végül az oszcillációs jellegű éghajlati jelenségek (ENSO, NAO), valamint az MCP típusokat jellemző regionális következményeket tekintjük át.

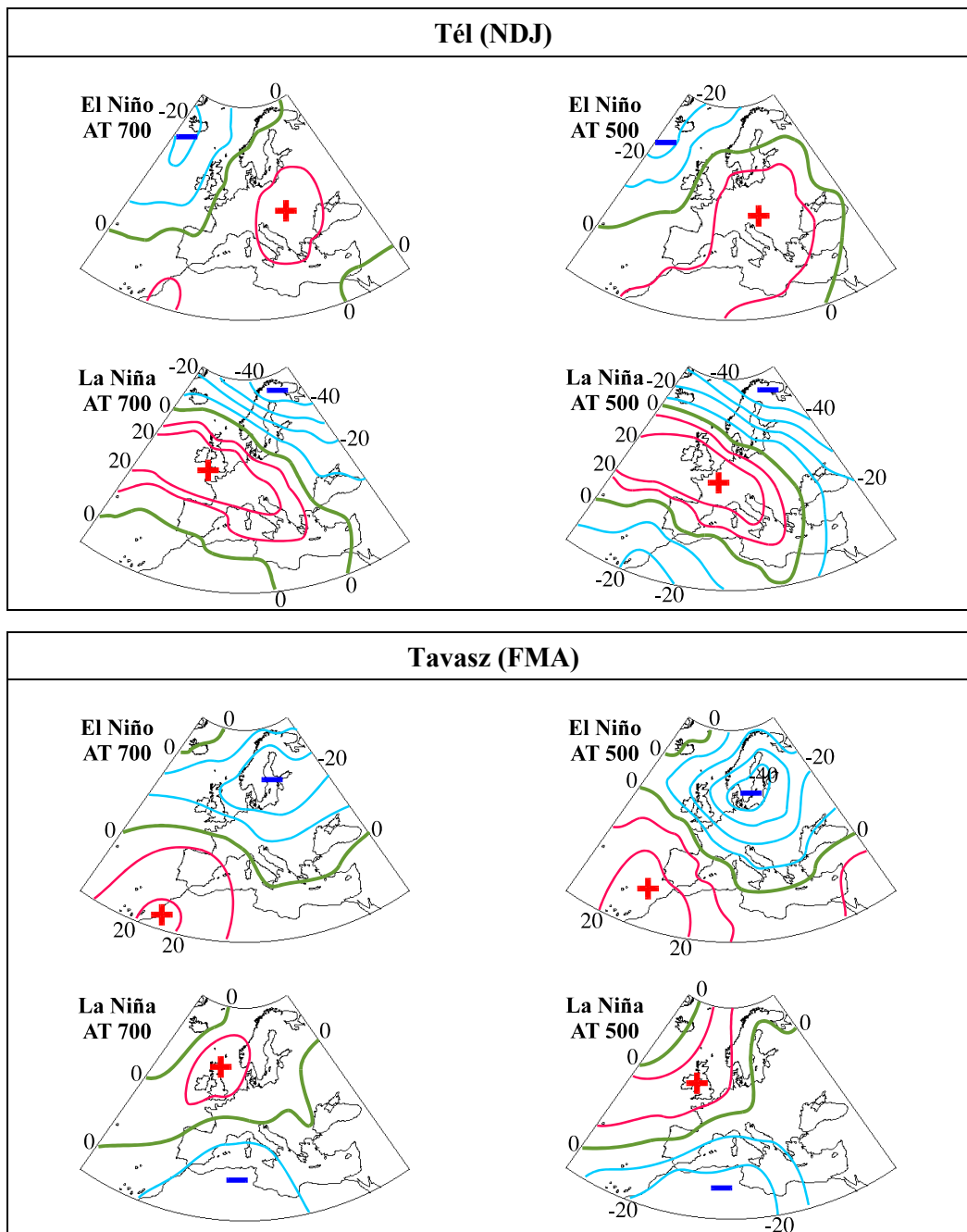
#### 3.1. Az ENSO és a makrocirkulációs típusok kapcsolata

Az ENSO fázisokhoz tartozó nagy-térségű cirkulációs és hőmérsékleti viszonyok megismeréséhez különböző matematikai statisztikai eszközöket használunk fel. Sor kerül az éghajlati anomáliák feltérképezésére, s a mezősorok EOF-analízisére, melyek eredményeit a következő két alfejezetben tárgyaljuk. Majd ezt követi a 3.1.3. alfejezetben az MCP osztályok gyakorisági eloszlásának vizsgálata, mely az ENSO fázistól való függést adja meg.

##### 3.1.1. A nagy-térségű cirkuláció anomáliáinak elemzése

Vizsgálatainkat a Csendes-óceán centrumú ENSO jelenség Atlanti-Európai térségben ható távkapcsolatainak részletes elemzésével kezdjük. Elsőként a **2-3. táblázat** szerint elkülönített El Niño és La Niña időszakok cirkulációs és hőmérsékleti anomáliamezőinek összehasonlítására kerül sor (*Bartholy & Pongrácz, 1998b*), az itt bemutatott anomáliamezők a neutrális fázistól való eltérést adják meg. A nagyszámú anomália-térkép segítségével az ENSO különböző időszakaihoz kötődő távkapcsolati folyamatok lefolyása elemezhető, valamint segítségével a fázisonkénti cirkulációs sajátosságok geopotenciálszintenkénti változékonyságáról alkothatunk képet. A fő geopotenciálszintek közül az AT 700-as és az AT 500-as átlagos magassági anomáliamezőket vetjük össze El Niño és La Niña idején a **3-1. ábrán**. Az ENSO-jelenségek legintenzívebb szakaszában (november-december-január) illetve a késleltetési idő figyelembevételével az azt követő három hónapos időszakban (február-március-április) jelentős eltérések figyelhetők meg az átlagos anomáliamezőkben. A pontonkénti t-próbák (*Dévényi & Gulyás, 1988*) alapján a teljes terület több mint kétharmadán 0,05-ös

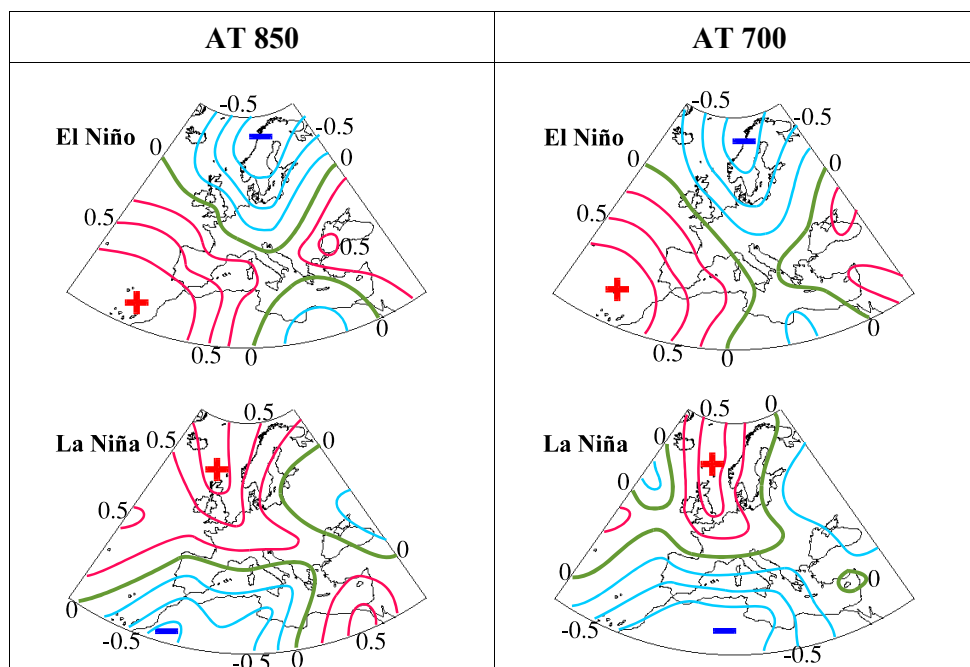
szinten szignifikánsak az El Niño illetve La Niña időszakok anomáliái között megfigyelt eltérések. A téli évszakban La Niña fázis alatt lépnek fel nagyobb anomáliák, míg tavasszal El Niño idején.



**3-1. ábra:** A 700 és 500 hPa-os geopotenciálszintek átlagos magassági anomália-mezői [gdm] télen és tavasszal a különböző ENSO-fázisok idején (1962 – 1994)

Az Atlanti-Európai térséget ábrázoló anomália-térképekből kitűnik, hogy az egyes ENSO fázisok idején jelentősebb különbségeket tapasztalhatunk a tavaszi időszakban, mint télen. Az északi vidékek felett (Skandinávia-i központtal) az átlagosnál alacsonyabb geopotenciális magasságok fordulnak elő az El Niño fázisok alkalmával, míg La Niña idején nagyobb magasságokat észlelhetünk (ekkor inkább a Brit-szigetek felett helyezkedik el az anomália-központ).

Hasonlóan jelentős különbségeket kapunk, ha a napi magassági hőmérsékletek El Niño, La Niña és neutrális fázisba eső mezőiből készített anomália-térképeket vetjük össze (Pongrácz & Bartholy, 1998a). Példaként a **3-2. ábrán** bemutatjuk a 850 hPa-os és a 700 hPa-os geopotenciálszintek átlagos hőmérsékleti anomália-mezőit a szélső ENSO-fázisok idején, február-március-április hónapokra.



**3-2. ábra:** A 850 és 700 hPa-os geopotenciálszintek átlagos hőmérsékleti anomália-mezői [°C] az ENSO-fázisok idején, február-március-április hónapokra (1962 – 1994)

Az ábrán a negyedfokkonként kihúzott izotermák kiemelik az El Niño és La Niña időszakok eltérő hőmérsékleti anomáliáit. El Niño idején Skandinávia felett negatív hőmérsékleti anomáliákat tapasztalunk a neutrális fázishoz viszonyítva, s az Ibériai-félsziget valamint a Fekete-tenger vidéke fölött pedig pozitívakat. La Niña idején viszont az északi területek magassági hőmérsékletei nagyobbak, s a Mediterrán-térség hűvösebb a neutrális

viszonyokhoz képest. A szembetűnő különbségek alátámasztják azt a hipotézist, hogy a két ENSO-fázis között a hőmérsékleti mezőben jelentős eltérések mutathatók ki az Atlanti-Európai térségben. A teljes területet reprezentáló 63 rácspont mintegy 70-75%-ában a pontonkénti t-próbával 0,05-ös szinten szignifikánsan eltérő hőmérsékleti anomáliák jelennek meg mind a téli, mind a tavaszi hónapok idején.

### 3.1.2. A nagy-térségű cirkuláció EOF-vizsgálata

Az északi félteke közepes földrajzi szélességein kiválasztott régiókban ENSO fázisonkénti EOF-analízist végeztünk (*Bartholy & Pongrácz, 1999; Pongrácz, 1999; Pongrácz & Bartholy, 2000b*). Az EOF-analízis során az empirikus ortogonális függvények segítségével a legnagyobb változékonyságú állapotok jeleníthetők meg (*von Storch & Navarra, 1995*). A matematikai statisztikai eljárással az adott mező  $\mathbf{R}$  korrelációs mátrixára vonatkozó sajátérték-egyenletet oldjuk meg:

$$\mathbf{R} \cdot \mathbf{E} = \mathbf{\Lambda} \cdot \mathbf{E},$$

ahol az  $\mathbf{E}$  mátrix oszlopai tartalmazzák az  $\mathbf{R}$  mátrix  $\mathbf{e}_i$  sajátvektorait, melyek ortonormált rendszert alkotnak. A  $\mathbf{\Lambda}$  mátrix diagonális elemei a  $\lambda_i$  sajátértékek, a többi mátrixelem pedig 0. Az  $\mathbf{R}$  korrelációs mátrix az  $\mathbf{S}$  kovariancia mátrixból adódik (*Dévényi & Gulyás, 1988*), melyet a mezősor tartalmazó  $\mathbf{X}$  mátrixból kapunk (az  $\mathbf{X}$  mátrix oszlopaiban az 1 napos időlépcsőnként megadott rácsponti értékek találhatók):

$$\mathbf{S} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{X}^T,$$

Az eljárás során kapott  $\mathbf{e}_i$  sajátvektorok alkotják az adott  $\lambda_i$  sajátértékhez tartozó EOF módus-mezőket. A  $\lambda_i$  sajátértékek pedig azt adják meg, hogy az adott módusok milyen mértékben járulnak hozzá a mezősor teljes változékonyságához. A sajátértékek csökkenő sorrendben következnek egymás után, vagyis az  $\mathbf{e}_1$  sajátvektor (az 1. EOF-módus) mutatja meg a mezősor legnagyobb változékonyságú térbeli szerkezetét, az  $\mathbf{e}_2$  sajátvektor (a 2. EOF-módus) a következő legnagyobbat, és így tovább. Az EOF-módusokon belül a legnagyobb pozitív és negatív értékkel rendelkező területek jelölik ki az adott mező ún. akciócentrumait.

Megjegyezzük, hogy az  $\mathbf{R}$  korrelációs mátrix helyett szokás az  $\mathbf{S}$  kovariancia mátrixra EOF-módusokat számolni, ekkor viszont a nagyobb szórással rendelkező rácspontokat nagyobb súllyal veszik figyelembe a kapott sajátvektorok (*Wilks, 1995*). Ebben a dolgozatban a fent ismertetett módon az  $\mathbf{R}$  mátrixokból kiindulva határoztuk meg a rendel-

kezésre álló geopotenciálszintek magassági és hőmérsékleti mezősorainak (ld. 2.1. alfejezet) EOF-módusait, melyek tehát már dimenzió nélküli térbeli szerkezeteket reprezentálnak.

Az Atlanti-Európai térség 63 rácspontot tartalmazó magassági és hőmérsékleti mezősorainak 2-4. EOF-módusaiban markáns eltérések mutathatók ki az egyes ENSO fázisok idején (Pongrácz & Bartholy, 2000b). Az akciócentrumok földrajzi elhelyezkedése jelentősen különbözik El Niño és La Niña időszakokban, sokszor ellentétes elrendeződés figyelhető meg (Pongrácz, 1997). Ezek a módusok egyenként mintegy 12-23 %-ban járulnak hozzá az adott mezők teljes változékonyságához (**3-1.** és **3-2. táblázat**). Az első 6 illetve 9 módus képviseli a teljes variancia kb. 80%-át, illetve kb. 90%-át. Az egyes fázisokra jellemző 1. EOF-módusok nem mutatnak jelentősebb eltéréseket (**3-3.** és **3-4. ábra**).

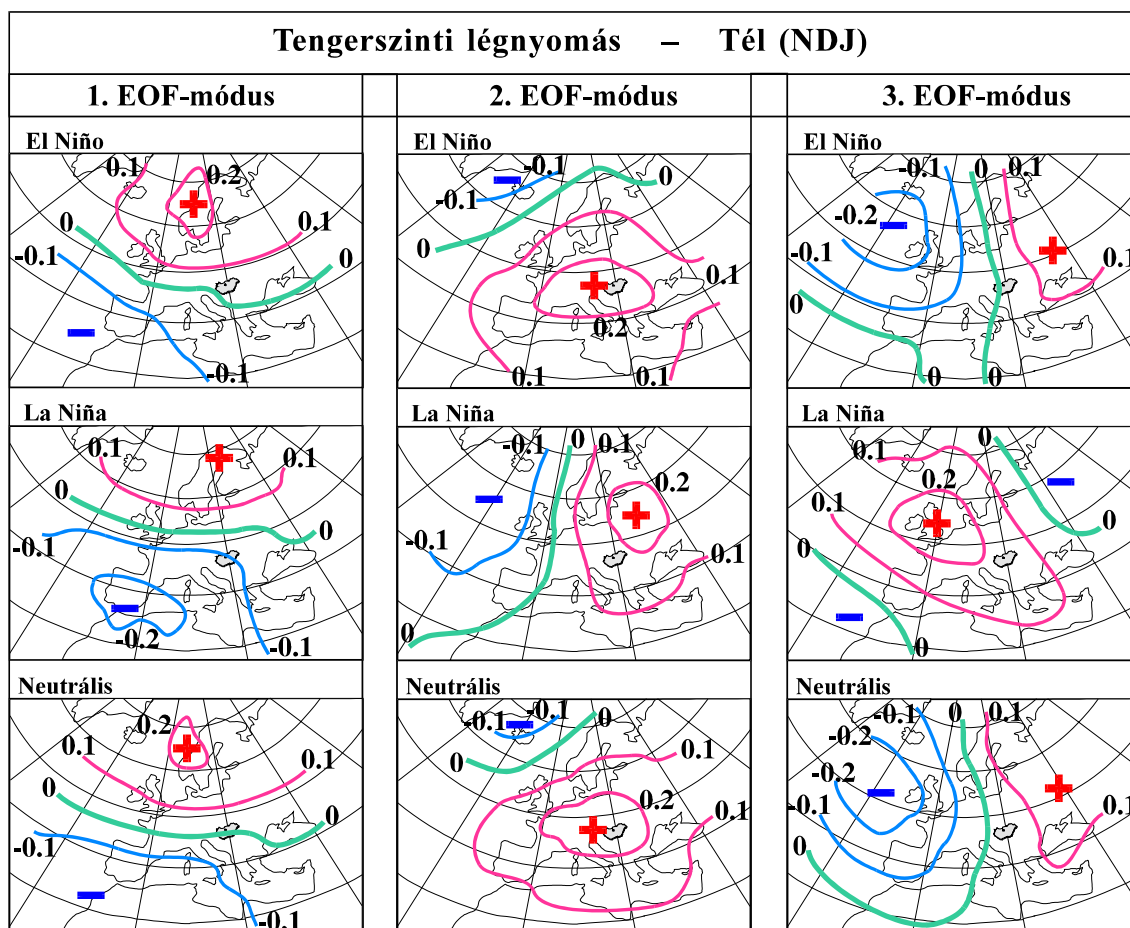
**3-1. táblázat:** El Niño(E), La Niña (A) illetve neutrális (N) fázisban az EOF-módusok hozzájárulása a mezősorok teljes változékonyságához november-december-január hónapokra.

Geopotenciálszintek	1. EOF módus (%)			2. EOF módus (%)			3. EOF módus (%)			Az első 6 módus (%)			Az első 9 módus (%)		
	E	A	N	E	A	N	E	A	N	E	A	N	E	A	N
Tengerszinti légnyomás	24	23	24	23	18	19	13	17	14	81	80	80	90	89	89
850 hPa	24	22	26	21	19	18	13	18	13	82	81	81	91	90	90
700 hPa	24	21	24	18	19	18	14	17	13	81	80	80	91	90	90
500 hPa	23	21	22	16	16	17	14	16	12	78	77	78	89	88	89

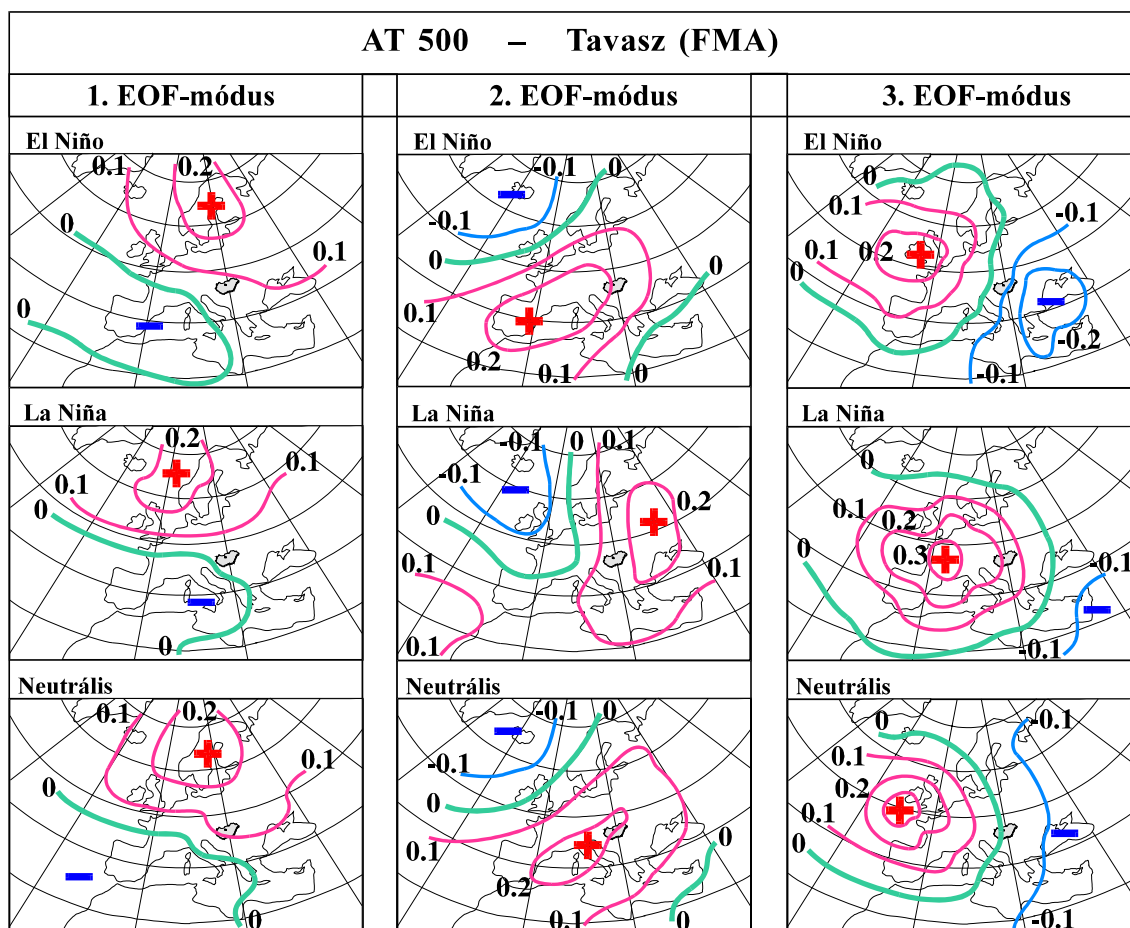
**3-2. táblázat:** El Niño(E), La Niña (A) illetve neutrális (N) fázisban az EOF-módusok hozzájárulása a mezősorok teljes változékonyságához február-március-április hónapokra.

Geopotenciálszintek	1. EOF módus (%)			2. EOF módus (%)			3. EOF módus (%)			Az első 6 módus (%)			Az első 9 módus (%)		
	E	A	N	E	A	N	E	A	N	E	A	N	E	A	N
Tengerszinti légnyomás	24	24	25	19	22	22	13	13	13	78	79	80	87	88	89
850 hPa	24	24	26	19	20	19	12	14	13	79	80	80	89	90	89
700 hPa	22	23	25	18	17	17	13	15	12	78	80	79	89	90	89
500 hPa	21	21	23	16	17	16	13	13	12	75	77	77	87	88	88

A cirkulációs viszonyok akciócentrumainak elrendeződését a különböző ENSO-fázisokban a **3-3. ábra** illusztrálja, ahol a tengerszinti légnyomás 1., 2. és 3. EOF-módusát láthatjuk a téli hónapokban.

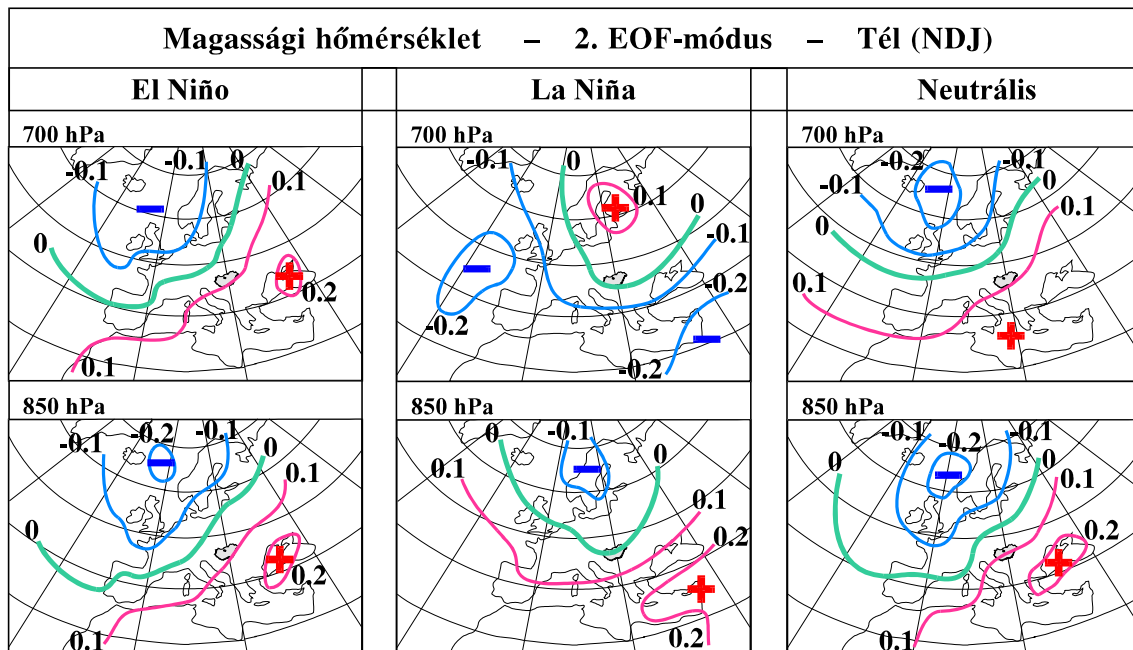


3-3. ábra: A tengerszinti légnyomás EOF-módus mezői különböző ENSO-fázisok idején, november-december-január hónapokra (1955 – 1994)

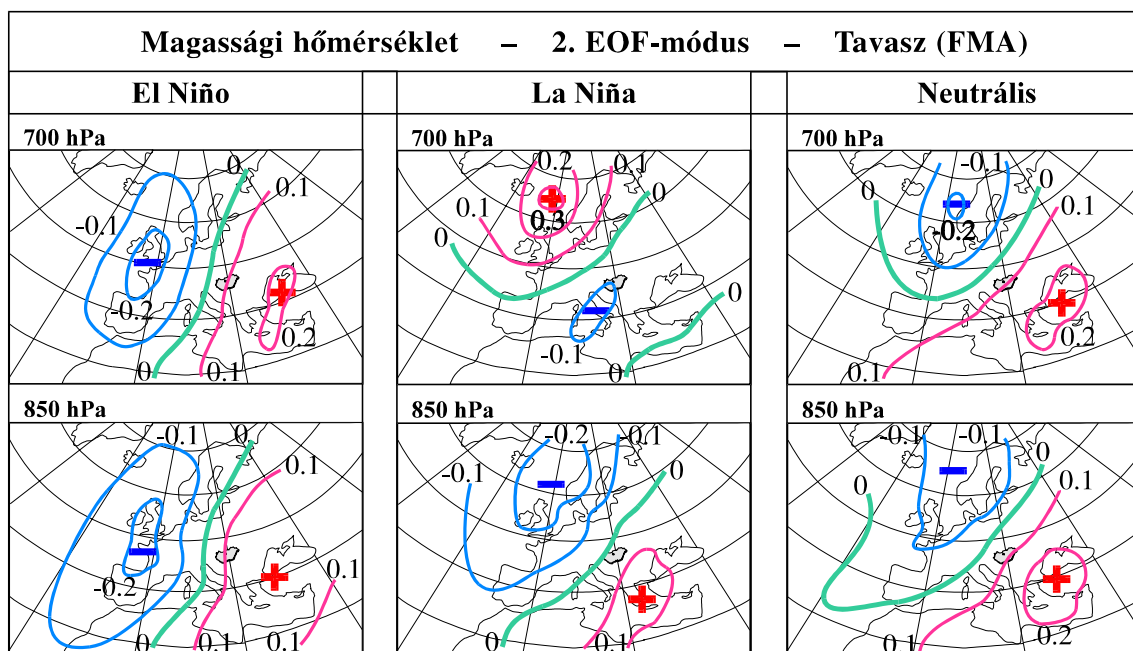


3-4. ábra: Az AT 500 geopotenciális szint EOF-módus mezői különböző ENSO-fázisok idején, február-március-április hónapokra (1955 – 1994)





3-5. ábra: Az AT 850 és AT 700-as magassági hőmérséklet 2. EOF-módus mezői különböző ENSO-fázisok idején, november-december-január hónapokra (1962 – 1994)



3-6. ábra: Az AT 850 és AT 700-as magassági hőmérséklet 2. EOF-módus mezői különböző ENSO-fázisok idején, február-március-április hónapokra (1962 – 1994)

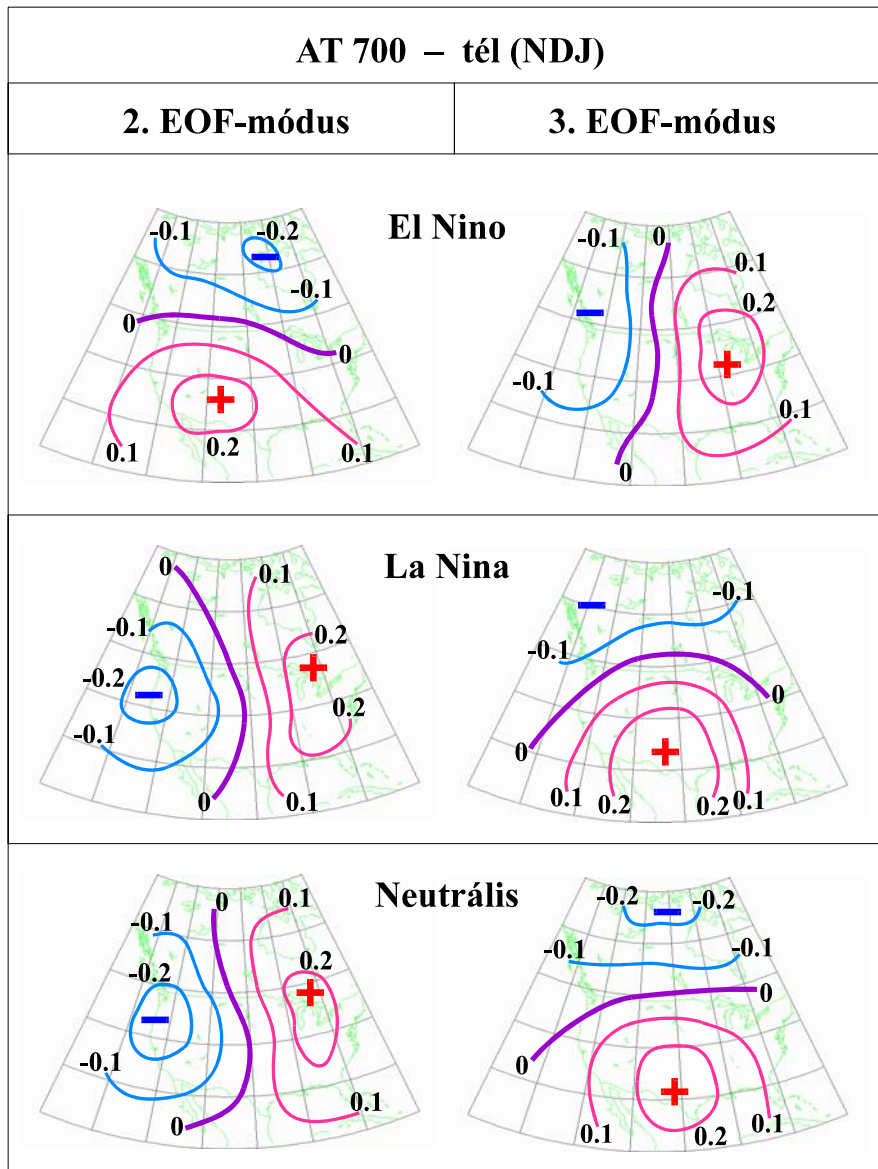
A térképekről kitűnik, hogy főként a La Niña periódusok idején tapasztalhatunk lényeges eltéréseket a 2. és 3. EOF-módusok esetén. Az 1. EOF-módusok zonális jellegűek, s csupán a nagyobb módusokban jelenik meg a meridionalitás. A magasabb geopotenciális szintek közül az AT 500 tavaszi EOF-módusait hasonlíthatjuk össze a **3-4. ábrán**. Elsősorban a La Niña fázis 2. EOF-módusa különül el a másik két fázistól a pozitív akciócentrum keleti elhelyezkedésével. Az El Niño fázisban pedig a pozitív előjelű akcióterületek megnövekedését láthatjuk.

A 850 hPa-os és 700 hPa-os geopotenciális szintek magassági hőmérsékleti mezőinek 2. EOF-módusait hasonlíthatjuk össze a téli időszakban a **3-5. ábrán**, illetve tavasszal a **3-6. ábrán**. A 700 hPa-os hőmérsékleti módusokra is igaz, hogy elsősorban a La Niña fázisok alkalmával tapasztalhatunk gyökeresen eltérő szerkezetet. Az El Niño és a neutrális fázis között jelentősebb a különbség a tavaszi hónapokban.

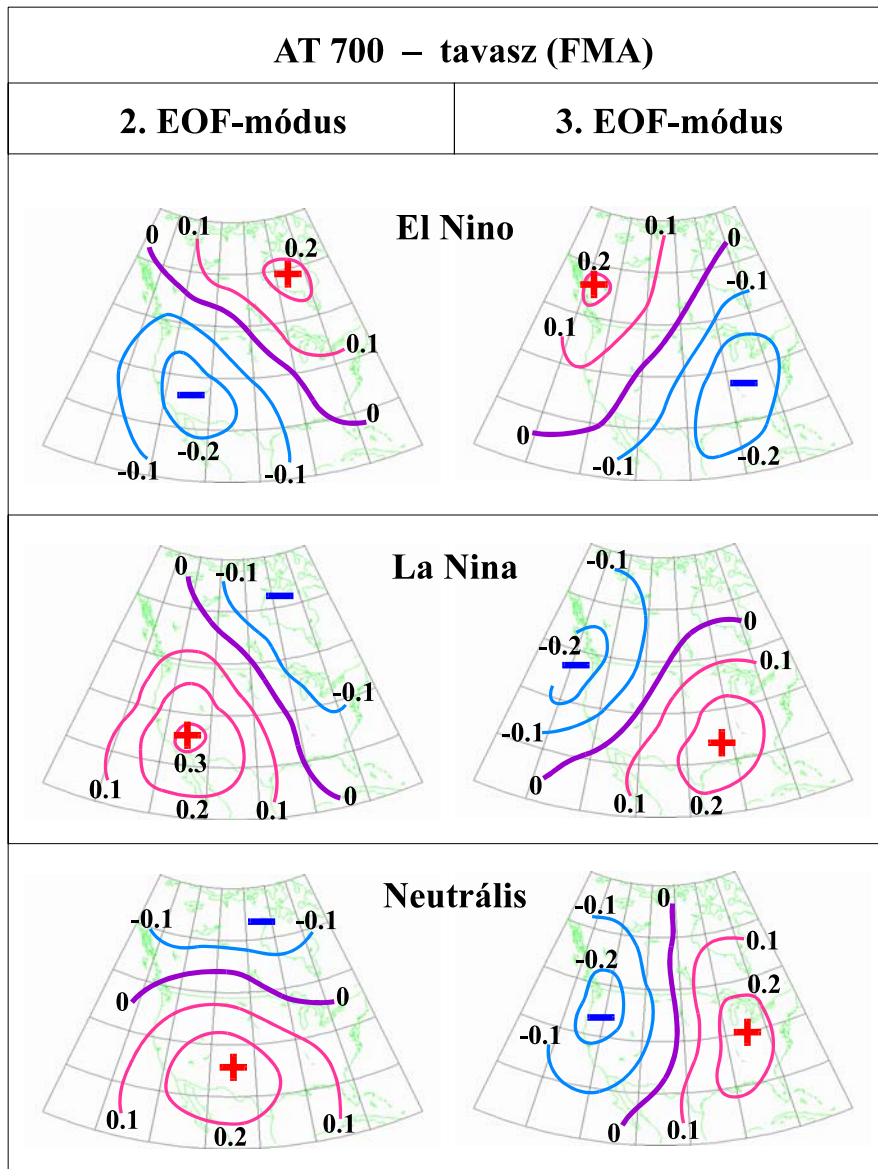
Az Észak-Amerikát tartalmazó 49 rácspontból álló terület is szerepelt vizsgálatainkban (*Pongrácz, 1997*). Hasonlóan az Atlanti-Európai térséghez az 1. módusokban jelentős eltérés nem észlelhető a különböző ENSO-fázisok idején. A **3-7. és a 3-8. ábra** a 700 hPa-os geopotenciális szint 2. és 3. EOF-módusait mutatja be a téli illetve a tavaszi hónapokra. A regionális mező teljes változékonyságához a 2. módusok mintegy 18 %-ban, a 3. módusok pedig 14-16%-ban járulnak hozzá. Általában kisebb különbségeket láthatunk a La Niña és a neutrális fázis között, viszont az El Niño fázis minden esetben markáns eltéréseket mutat ezekhez viszonyítva.

A téli időszakban (**3-7. ábra**) az El Niño események 2. módusa zonális jellegű izovonal szerkezettel, míg a 3. módus meridionálisan elhelyezkedő Ny-i és K-i akciócentrumokkal jellemezhető. Ezzel ellentétesen a La Niña és a neutrális szakaszok izovonalai a 2. módusban meridionális jellegűek, s a 3. módusban zonális szerkezetűek.

A tavaszi hónapokban (**3-8. ábra**) a La Niña fázisban is jelentősebb változást látunk az akciócentrumok helyzetében a neutrális fázissal összevetve. A 2. módus esetén ÉK-i és DNy-i akciócentrumok jelennek meg mind El Niño, mind La Niña fázisban (a helyük felcserélődik), míg neutrális fázisban az izovonalak zonális jellegűek. A 3. módusban az akciócentrumok ÉNy-i és DK-i irányban találhatók ellentétes elhelyezkedéssel El Niño és La Niña időszakokban. A neutrális fázis izovonalai viszont meridionális szerkezetűek, Ny-i és K-i akciócentrumok alakulnak ki.



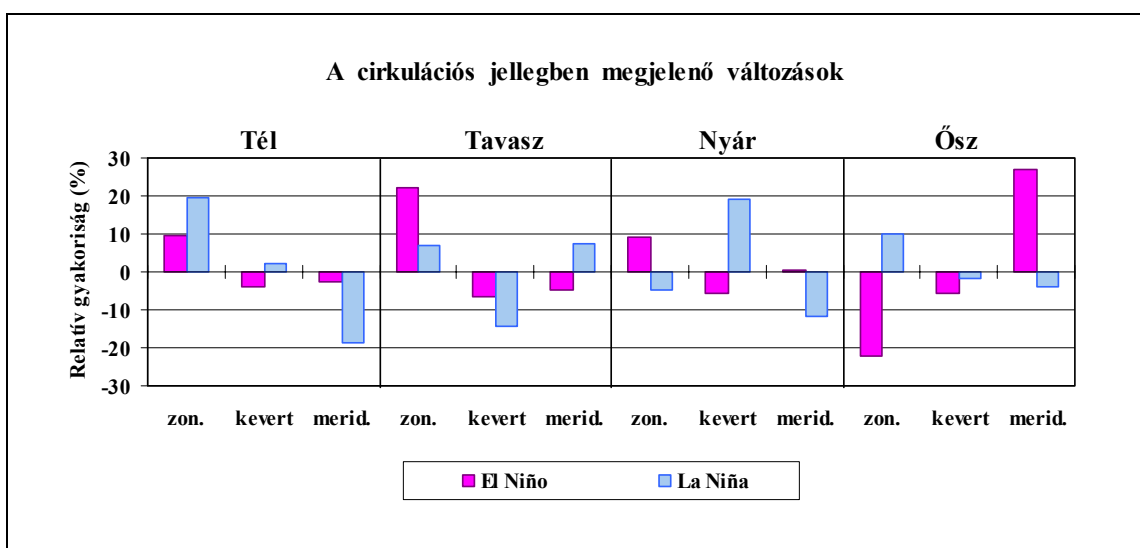
**3-7. ábra:** Az AT 700-as geopotenciális szint EOF-módus mezői különböző ENSO-fázisok idején, november-december-január hónapokra (1962 – 1994)



**3-8. ábra:** Az AT 700-as geopotenciális szint EOF-módus mezői különböző ENSO-fázisok idején, február-március-április hónapokra (1962 – 1994)

### 3.1.3. A makrocirkulációs típusok gyakorisági eloszlásainak vizsgálata

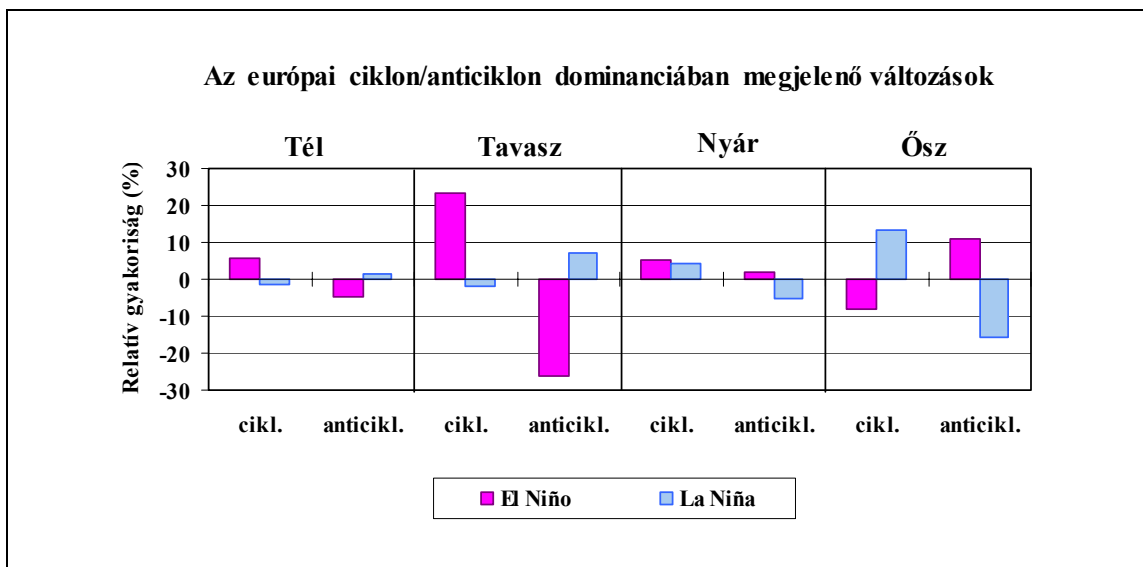
A regionális cirkulációs viszonyok elemzését célzó további vizsgálatokhoz a Hess-Brezowsky-féle makrocirkulációs típusok illetve a kifejezetten Magyarországra fókuszáló Péczely-féle makroszinoptikus helyzetek több évtizedes kódsorozatát használtuk fel (ld. 2.1. alfejezet). Az elemzések során meghatároztuk a **2-3. táblázatban** közölt lista alapján a különböző ENSO-fázisok alkalmával jellemző havi MCP relatív gyakoriságokat, majd megvizsgáltuk, hogy hogyan hat az El Niño illetve a La Niña fázis az egyes MCP osztályok előfordulására (Bartholy & Pongrácz, 1998b; Pongrácz & Bartholy, 1998a; 2000b).



**3-9. ábra:** El Niño és La Niña időszakokban tapasztalható évszakos változások a cirkulációs jelleg szerinti MCP osztályok havi relatív gyakoriságában (1955-2001).

Elsőként a zonális, meridionális és kevert cirkulációs jelleget kiemelve az Atlanti-Európai térség áramlási viszonyaiban a különböző ENSO fázisok idején megjelenő módosulásokat tekintettük át. Vizsgálataink során évszakonként összehasonlítottuk az El Niño illetve La Niña időszakokban az egyes MCP típusoknak a neutrális fázishoz viszonyított havi gyakoriság-változásait (**3-9. ábra**). Jól látható, hogy El Niño események alkalmával a zonális áramlás intenzitása csupán ősszel csökken (22%-kal), a másik három évszakban növekszik, leginkább tavasszal (22%-kal). A meridionális áramlású helyzetek gyakorisága legnagyobb mértékben ősszel növekszik meg (27%-kal) a neutrális fázishoz képest. La Niña időszakokban a zonális és a meridionális áramlások gyakorisága ellentétesen változott a téli hónapok során: a zonális helyzetek előfordulása 20%-kal gyakoribb, a meridionálisoké

viszont 20%-kal ritkább. További jelentős eltérést figyelhetünk meg a nyári La Niña időszakokban: a kevert típusok gyakorisága nőtt meg 20%-kal. A kiemelt eltérések a  $\chi^2$ -próba alapján 0,05-ös szinten szignifikánsak.

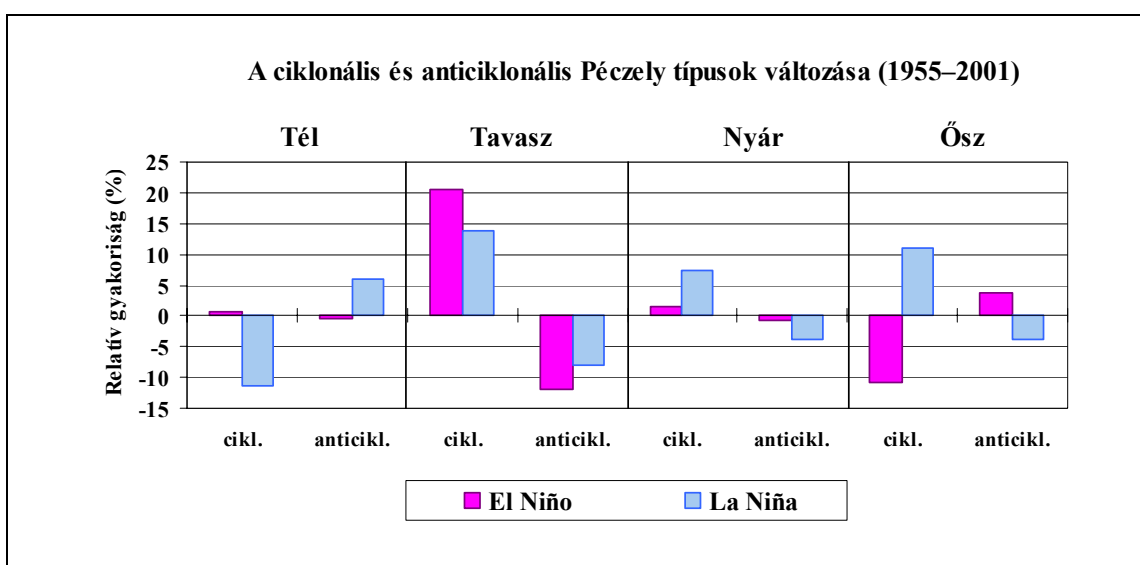


**3-10. ábra:** El Niño és La Niña időszakokban tapasztalható évszakai változások a ciklon/anticiklon dominancia szerinti MCP osztályok havi relatív gyakoriságában (1955-2001).

A továbbiakban arra a kérdésre keresünk választ, hogy hogyan alakulnak a ciklonális illetve anticiklonális MCP típusok ENSO-fázisonkénti havi gyakoriságai. A ciklon/anticiklon dominancia évszakai módosulásait a **3-10. ábrán** foglaltunk össze. A legjelentősebb ( $\chi^2$ -próba alapján 0,05-ös szinten) szignifikáns változások a tavaszi hónapokban jellemzőek El Niño időszakokban. A grafikonról leolvasható, hogy az utóbbi félévszázad adatai alapján tavasszal 23%-kal nőtt a ciklonális és 26%-kal csökkent az anticiklonális makrocirkulációs helyzetek előfordulása. La Niña epizódok alkalmával az őszi évszakban tapasztalhatunk 13%-os növekedést illetve 16%-os csökkenést a ciklonális illetve anticiklonális cirkulációs típusok gyakoriságában. Valamivel kisebb, ezzel ellentétes változások jellemzik az El Niño eseményeket ősszel (8%-kal ritkább illetve 11%-kal gyakoribb előfordulás). A téli és nyári módosulások 6%-nál alacsonyabbak és 0,05-ös szinten nem szignifikánsak.

Az Atlanti-Európai térségen belül a Kárpát-medencét fokozottan figyelembe vevő Péczely-féle makroszinoptikus helyzetek ciklonális és anticiklonális jellegű típusainak havi gyakoriságaiban megjelenő módosulást láthatjuk a négy évszakra vonatkozóan a **3-11. ábrán**

El Niño illetve La Niña fázis idején. El Niño esetén az átmeneti évszakokban tapasztalhatunk lényeges eltérést (mintegy 11-21%-ban) a neutrális állapothoz képest: a ciklonális jellegű makrocirkulációs helyzetek 0,05-ös szinten szignifikánsan gyakoribb előfordulásával kell számolnunk az El Niño fázisú tavaszokon, viszont ritkábban alakulnak ki az őszi időszakban. Az alapvetően anticiklonális helyzetek éppen ellentétesen viselkednek az El Niño események idején. La Niña fázisú években télen kisebb a ciklonális MCP típusok gyakorisága a neutrális fázishoz viszonyítva (12%-kal), míg a másik három évszakban a ciklonális helyzetek gyakoribbak (mintegy 7-15%-kal). Ezzel ellentétes, valamivel kisebb mértékű módosulások jellemzik az anticiklonális jellegű MCP osztályt.

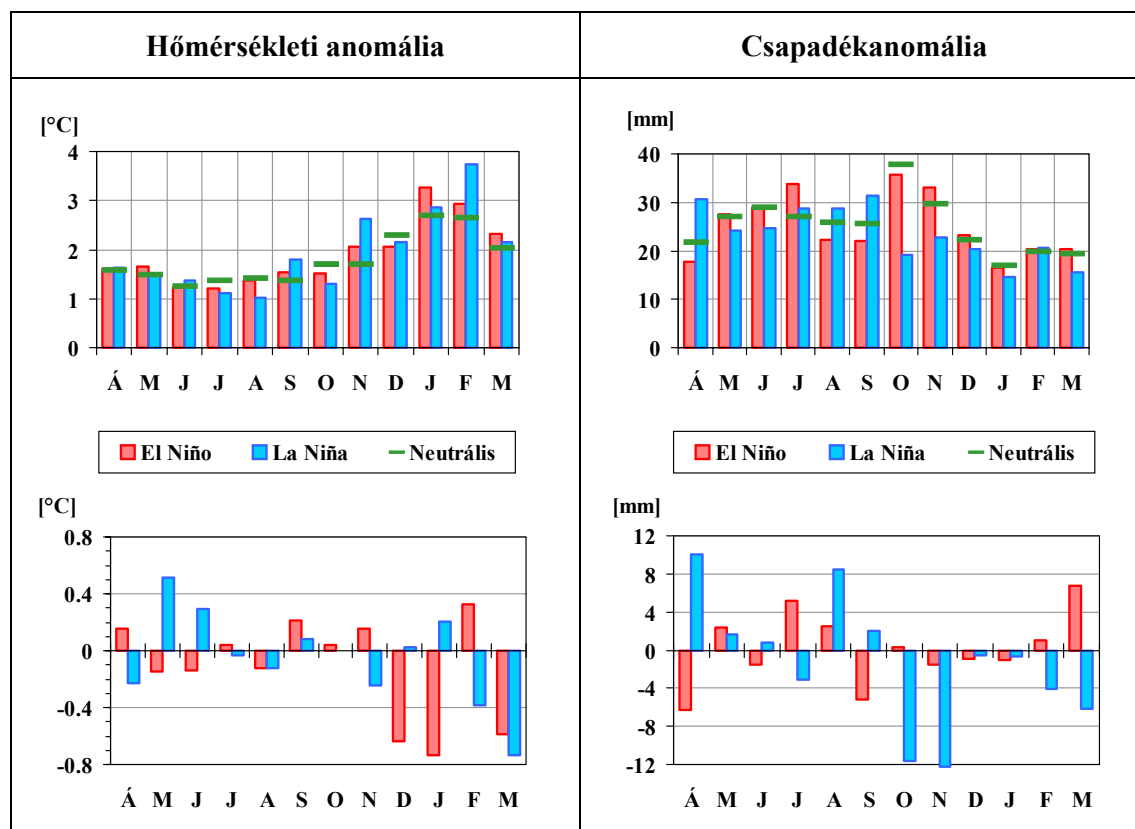


**3-11. ábra:** A ciklonális és anticiklonális Péczy-féle makroszinoptikus helyzetek havi előfordulásának változásai El Niño és La Niña időszakokban (1955–2001).

Összefoglalóan tehát elmondhatjuk, hogy a közepes földrajzi szélességek cirkulációs viszonyaiban számottevő eltérés figyelhető meg a különböző ENSO fázisok idején. A fentiekben bemutatott ábrákon mind a geopotenciális mezők magassági és hőmérsékleti adatsorára vonatkozó elemzésből, mind az ismertetett MCP osztályok gyakorisági eloszlásainak vizsgálatából arra a következtetésre juthatunk, hogy régióinkban az ENSO távkapcsolata észlelhetően jelen van.

### 3.2. Az ENSO hatása a regionális éghajlati paraméterekre

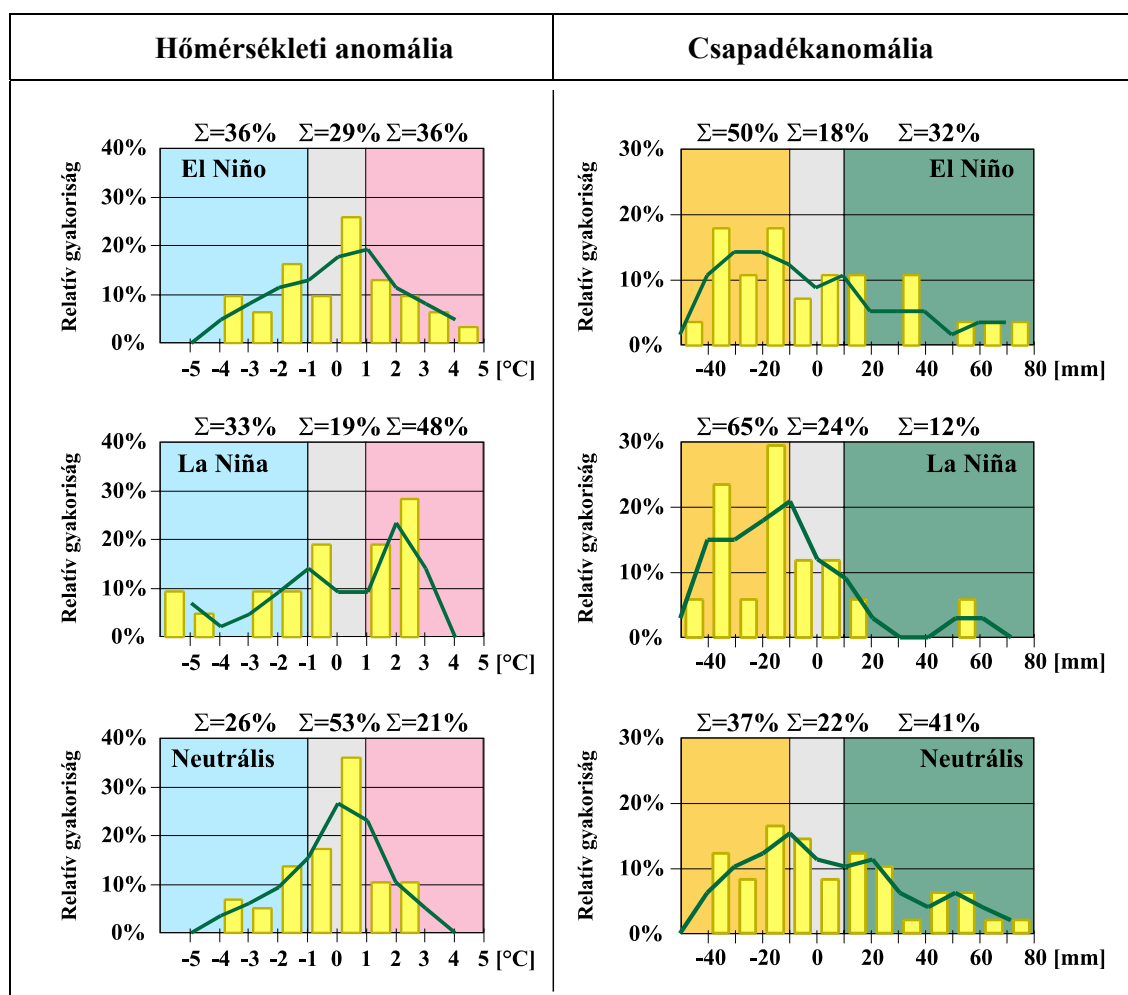
Ebben az alfejezetben Magyarország havi hőmérsékleti- és csapadékanomália idősoraiiban megjelenő módosulásokat elemezzük a XX. század egyes ENSO fázisaiban (Pongrácz & Bartholy, 2000b). Meghatároztuk a havi klímaanomáliák neutrális fázishoz viszonyított éves menetét a **2-3. táblázat**ban ismertetett El Niño és La Niña események alkalmával. A **3-13. ábra** alsó részén láthatjuk, hogy az El Niño évekhez a jelentősen hidegebb december, január és március kapcsolódik, valamint az enyhébb február. A csapadékviszonyokat tekintve kiemelendő a júliusi és márciusi többlet, s a szárazabb április. A múlt századi La Niña időszakok jellemzője a hidegebb február/március, s a melegebb május/június. Az október/november sokkal szárazabb, míg április és augusztus jóval csapadékosabb volt La Niña években. A téli hónapok hőmérsékleti anomáliáinak szórása mintegy duplája a nyári időszakban megfigyelhető szórásnak (**3-13. ábra** felső része). A csapadékanomáliák szórásában megjelenő éves menet ezzel ellentétesen alakul: télen láthatjuk a legkisebb havi szórásokat.



**3-13. ábra:** Hazánk klímaparaméterek havi eltéréseiből számított átlagos anomália (lent) és az anomália szórásának (fent) évi menete El Niño és La Niña fázis idején.



Vizsgálataink részeként elkészítettük, s összehasonlítottuk a havi hőmérsékleti- és csapadékanomáliák empirikus valószínűségi eloszlását a különböző ENSO fázisokra (Pongrácz & Bartholy, 2000b). Ezek közül példaként a novemberi anomáliák különböző ENSO fázisokhoz tartozó hisztogramjait hasonlítja össze a **3-14. ábra**. A **3-13. ábráról** leolvasható, hogy ennek a hónapnak nincs kitüntetett szerepe, a hőmérsékleti anomáliák meglehetősen kicsik, szórásuk viszont nagy. Az átlagos csapadékanomáliákat tekintve a La Niña fázishoz jelentős eltérés társul, El Niño időszakban viszont 0,05-ös szinten nem szignifikáns a neutrális fázistól vett eltérés, a csapadékanomáliák szórása viszonylag magas.

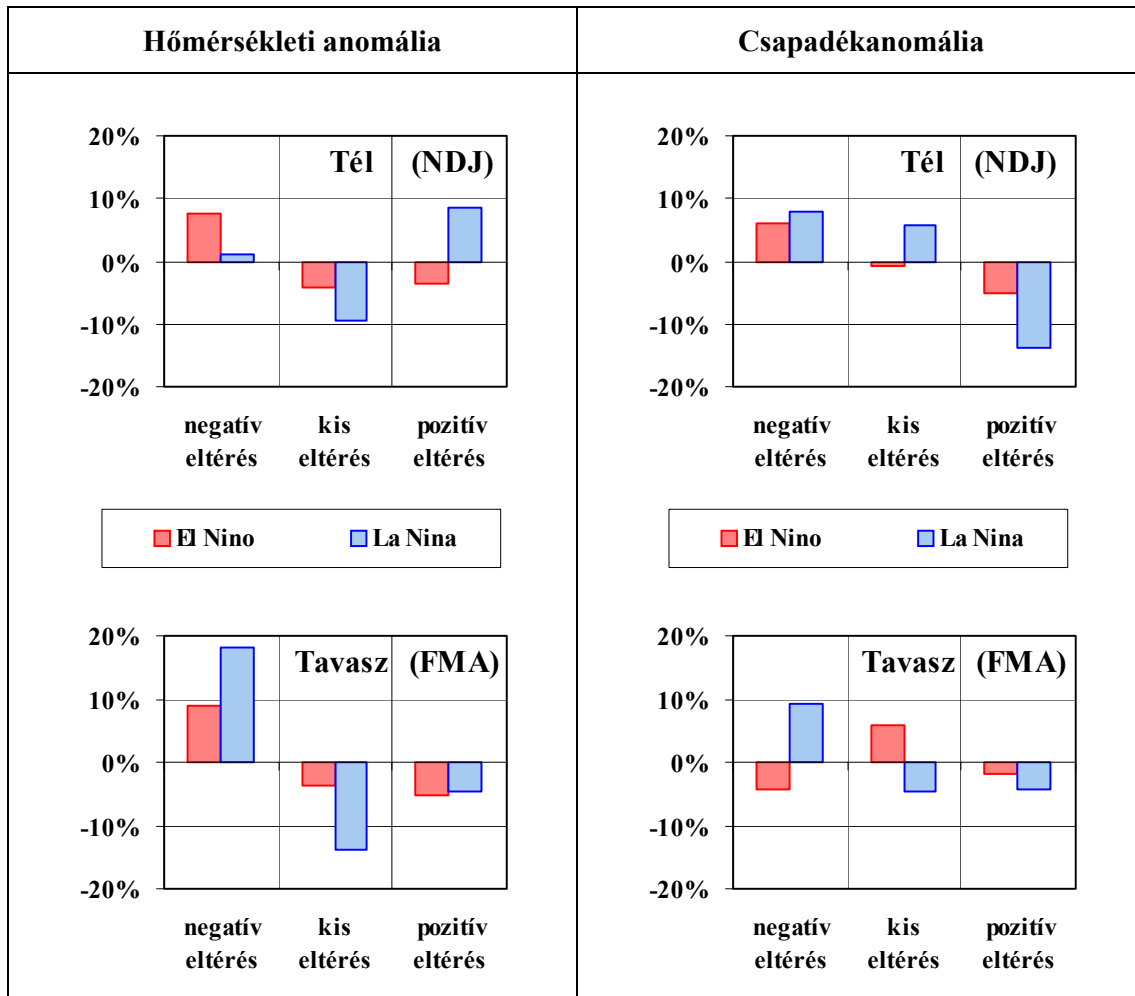


**3-14. ábra:** A novemberi klímaanomáliák empirikus eloszlásai az egyes ENSO fázisok idején.

(A hisztogramokra illesztett simítást mutatja a folytonos vonal.)

Novemberben a neutrális fázisban leginkább 0 körüli kis hőmérsékleti anomáliák fordulnak elő, míg El Niño eseményekkor jobban szétterül az eloszlás, nagyobb mértékű eltéréseket tapasztalunk. A La Niña fázisok közepes mértékű pozitív hőmérsékleti anomáliákkal, valamint erős negatív ( $-4^{\circ}\text{C}$ -nál nagyobb) anomáliákkal jellemezhetők novemberben.

A csapadékanomáliák aszimmetrikus eloszlása mind a három ENSO fázisban megmutatkozik, de míg a neutrális fázisban összességében a pozitív anomáliák vannak túlsúlyban (41%-ban), addig főként La Niña események idején megnövekszik a jelentősen csapadékszegény időszakok gyakorisága (együttesen 65%-os a részarányuk). Az El Niño események is leginkább negatív csapadékanomáliákkal jellemezhetők (összességében a vizsgált időintervallum mintegy felében fordultak elő), néha viszont jelentős csapadéktöbblet mutatkozik novemberben.



**3-15. ábra:** A klímaanomáliák havi eltéréseiben megjelenő módosulások télen (fent) és tavasszal (lent) El Niño és La Niña fázis idején a neutrális állapottal összevetve.

A XX. századi Kárpát-medencebeli havi középhőmérsékletek és csapadékösszegek hisztogramjait egyszerűsített formában is elkészítettük három kategóriára leszűkítve, hogy a neutrális fázistól vett domináns eltéréseket kiemeljük. A **3-15. ábrán** a téli és tavaszi hónapokat összevonva a kapott eredményeket foglaljuk össze.

A hőmérsékleti anomáliák esetén az átlagosnál jóval hidegebb vagy melegebb hónapok jellemezték Magyarországot az El Niño és a La Niña események idején. Az El Niño időszakokban nagyobb hidegek fordultak elő télen és tavasszal egyaránt, La Niña alkalmával viszont télen gyakoribbak voltak az enyhébb hónapok. A csapadékmennyiség szempontjából szárazabb teleket tapasztalhattunk El Niño és La Niña idején, a tavasz elsősorban La Niña

eseményekkor tért el a szokásostól: csapadékszegényebb hónapok fordultak elő a neutrális fázissal összehasonlítva.

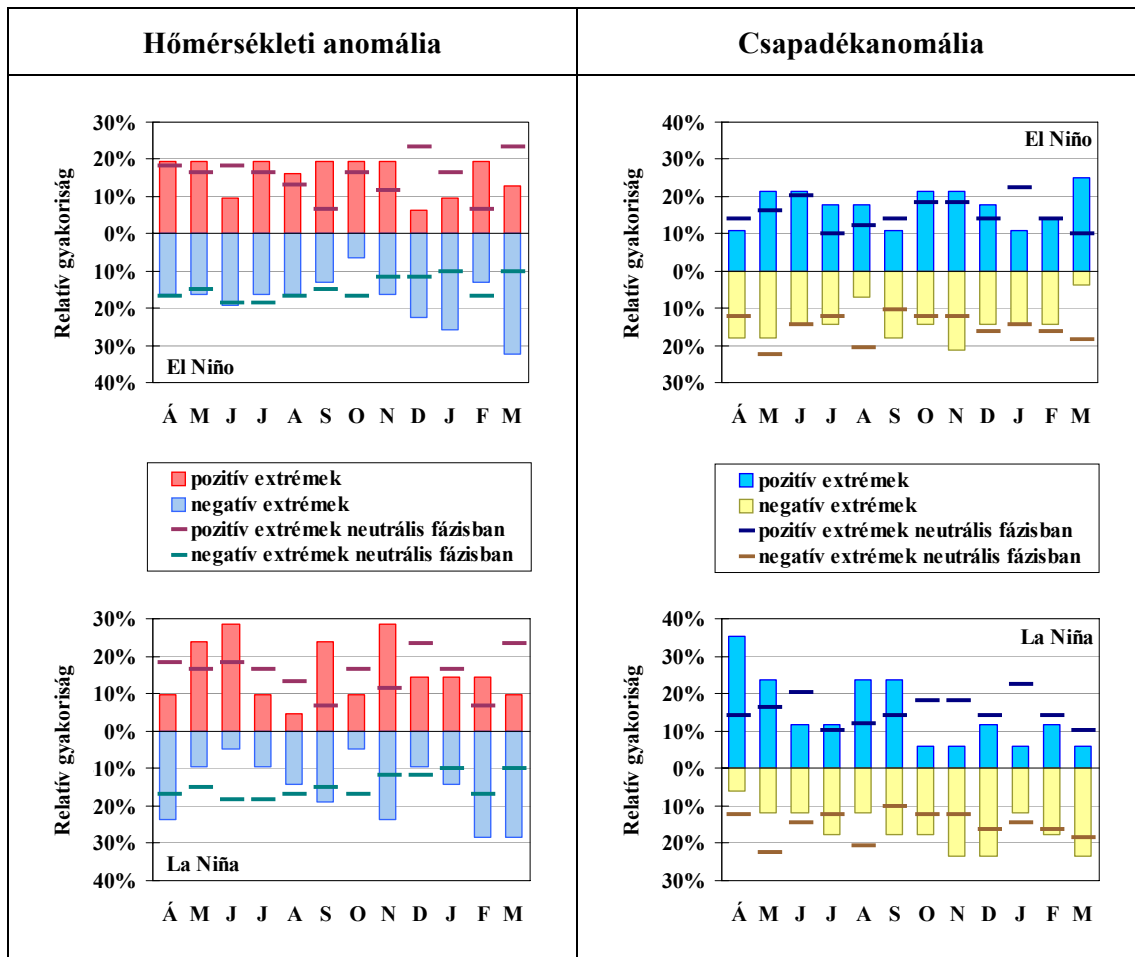
A szélsőséges klímaanomáliák éves menetére vonatkozó vizsgálatunkban szintén a XX. századi hőmérsékleti- és csapadékidősorokat elemeztük. A teljes évet tekintve a szélsőségesnek vett hónapok relatív gyakoriságai a különböző ENSO fázisokban a **3-3. táblázat**ban láthatók.

**3-3. táblázat:** A szélsőségesen pozitív illetve negatív hőmérsékleti- és csapadékanomáliák részaránya az egyes ENSO fázisokban

Klíma-anomália	ENSO fázis	[- $\sigma$ ; $\sigma$ ]-os intervallumon kívül eső anomáliák aránya		[-1.5 $\sigma$ ; 1.5 $\sigma$ ]-os intervallumon kívül eső anomáliák aránya	
		+	-	+	-
Hőmérséklet	El Niño	15.9 %	17.7 %	6.2 %	9.1 %
	La Niña	15.9 %	15.9 %	6.8 %	6.8 %
	Neutrális	15.7 %	14.7 %	5.8 %	6.9 %
Csapadék	El Niño	17.6 %	14.3 %	8.9 %	3.6 %
	La Niña	14.7 %	16.2 %	9.8 %	3.9 %
	Neutrális	15.5 %	15.1 %	8.8 %	3.4 %

Elsőként a szórásértéket ( $\sigma$  illetve  $-\sigma$ ) tekintettük az extrém anomáliákat kijelölő küszöbszámnak, ekkor a pozitív illetve negatív anomáliák egyaránt mintegy 14-18%-os arányban fordultak elő.

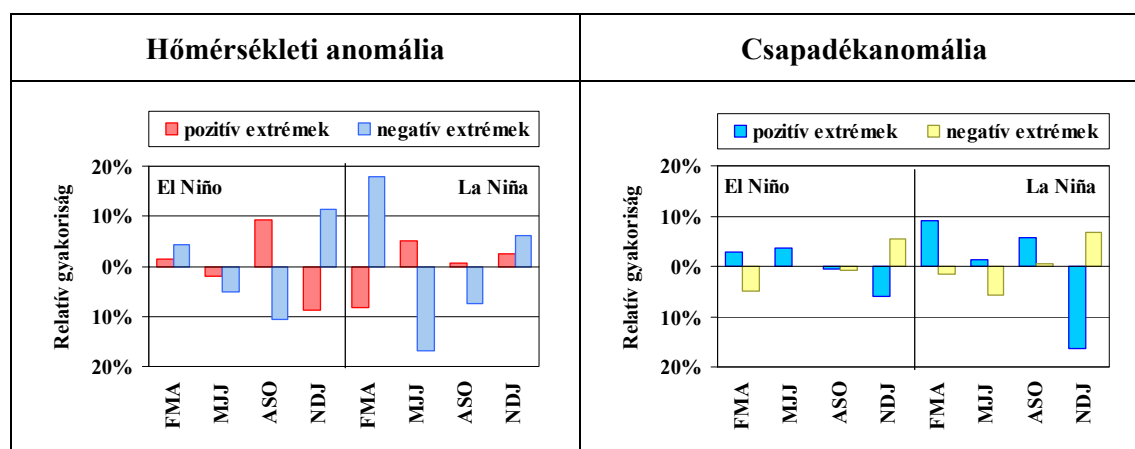
A szélsőséges anomáliák havi bontású éves menetét a **3-16. ábra** hasonlítja össze a három ENSO fázisra vonatkozóan. El Niño években gyakoribbak a szeptemberi, februári rendkívül meleg időszakok, s a téli félévben a szokatlanul zord hőmérsékletű hónapok. A neutrális fázishoz viszonyítva ritkábbak a decemberi és márciusi szélsőségesen pozitív anomáliával jellemezhető időszakok, továbbá októberben a negatív hőmérsékleti extrémek előfordulása. Ennél erősebb módosulás jellemzi a La Niña éveket. Főként a szeptemberi és novemberi pozitív anomáliák gyakoriságának megnövekedése, s a márciusi csökkenés szembetűnő. A grafikonok szintén nagy mértékű gyakoriságbeli növekedést mutatnak a novemberi, februári, s márciusi erős hidegek esetén. A negatív hőmérsékleti anomáliák előfordulása mintegy a harmadára csökkent La Niña idején június és október hónapokban.



**3-16. ábra:** Az extrém klímaanomáliák  $[-\sigma; \sigma]$ -os intervallumot alapul véve) éves eloszlása különböző ENSO fázisok idején (1901-2000).

A szélsőséges csapadékanomáliák szempontjából El Niño idején a januári pozitív extrémek, s az augusztusi, márciusi negatív szélsőségek gyakoriságának jelentős csökkenését emelhetjük ki, valamint márciusban a rendkívüli csapadékok előfordulásának növekedését, s a szeptemberben, novemberben gyakoribbá váló rendkívüli szárazságokat. La Niña alatt jelentős gyakoriságbeli növekedést figyelhetünk meg az áprilisi és augusztusi pozitív extrémek esetén, s az őszi hónapokban (főként novemberben) a negatív szélsőségek esetén. A neutrális fázisú évekhez viszonyítva nagy mértékben csökkent a gyakorisága a júniusi, októberi, novemberi, s januári pozitív csapadékanomáliájú extrémeknek, valamint a májusi, augusztusi szélsőségesen száraz időszakoknak.

A neutrális fázishoz viszonyítva az extrém anomáliák évszakonkénti havi relatív gyakoriságában tapasztalható eltéréseket a **3-17. ábra** mutatja be. El Niño években elsősorban a téli hőmérsékleti- és csapadékanomáliák negatív szélsőségek irányába történő eltolódása emelhető ki, valamint az őszi hónapokban a rendkívülien meleg gyakoribbá válása és a szélsőségesen hideg ritkább előfordulása (egyaránt mintegy 10%-kal a neutrális időszakhoz viszonyítva). A La Niña évekhez kapcsolódóan a negatív hőmérsékleti anomáliák gyakoriságának tavaszi növekedése (18%-kal) és nyári csökkenése (17%-kal) jelentős, továbbá a rendkívül csapadékos téli hónapok 16%-kal ritkább előfordulása.



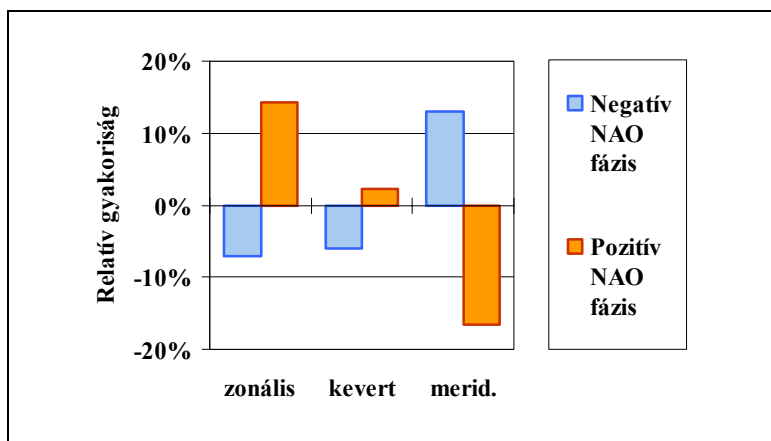
**3-17. ábra:** Az extrém klímaanomáliák évszakos eloszlásának módosulása El Niño illetve La Niña fázisok idején a neutrális időszakokkal összevetve (1901-2000).

Vizsgálatainkban kitértünk arra a lehetőségre is, ha a szórás másfélszeresét tekintjük az extrém kategóriákat meghatározó határértéknek (Pongrácz & Bartholy, 2000b). Ekkor az idősor mintegy 6-10%-a sorolható a szélsőségek közé, kivéve a negatív csapadékanomáliákat: az aszimmetrikus eloszlás miatt csupán a teljes adatsor 3-4%-át kategorizálhatjuk szélsőséges eseménynek (ld. **3-3. táblázat**).

### 3.3. A NAO és a makrocirkulációs típusok kapcsolata

Munkánk során elemeztük az Észak-Atlanti Oszcilláció kontinentális skálán érvényesülő hatásait (Pongrácz & Bartholy, 2001). A XX. századi havi bontású idősorok alapján vizsgáltuk az Atlanti-Európai régió makrocirkulációs viszonyaiban tapasztalható módosulásokat, melyek a NAO pozitív illetve negatív fázisához kapcsolódva figyelhetők meg. Ennél a

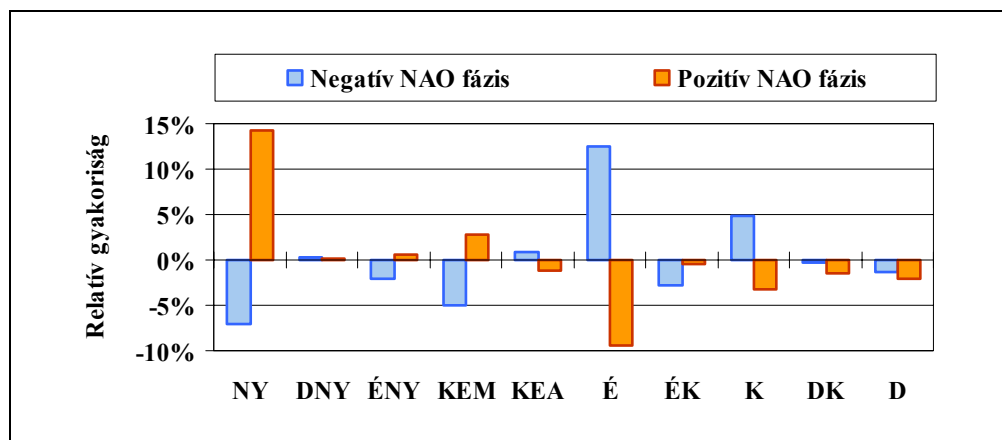
vizsgálati sornál a NAO jelenséget a 2.3. alfejezetben bemutatott légnyomási adatokból származtatott indexértékkel (*Lutherbacher et al., 1999*) jellemeztük. A negatív illetve pozitív NAO fázisú hónapokat az index idősor alsó illetve felső decilisével jelöltük ki, azaz összesen 120-120 hónap tartozik mindkét csoportba.



**3-18. ábra:** A cirkulációs jelleg szerinti MCP osztályok eloszlásában megjelenő változások különböző NAO fázisok idején a neutrális időszakhoz viszonyítva (1901-2000).

A **3-18. ábrán** láthatjuk az egyes MCP osztályok havi eloszlásában a különböző NAO fázisokra jellemző változásokat, melyeket a neutrális időszakhoz viszonyítva határoztunk meg. A zonális MCP típusok relatív gyakorisága 14%-kal magasabb, a meridionális MCP típusoké viszont mintegy 17%-kal alacsonyabb a NAO pozitív fázisú időszakában, mint neutrális állapotban. Ezzel ellentétes módosulásokat figyelhetünk meg a negatív NAO fázisban – a zonális és kevert MCP típusok együttesen mintegy 13%-kal ritkábban fordultak elő a XX. században, a meridionális MCP-k viszont 13%-kal gyakoribbak voltak.

Az áramlási főirányokat tekintve elsősorban a nyugatias és az északias helyzetek előfordulásában figyeltünk meg jelentős mértékű eltérést a neutrális időszakokhoz viszonyítva. Mintegy 14%-kal gyakrabban uralkodott nyugati áramlású MCP pozitív NAO fázis alkalmával, s ekkor 9%-kal ritkább volt az északi áramlás. Ezzel éppen ellentétesen alakultak a havi relatív gyakoriságok a NAO negatív fázisában: a nyugatias helyzetek 7%-kal ritkábbak, az északias helyzetek viszont 13%-kal gyakoribbak voltak (**3-19. ábra**).



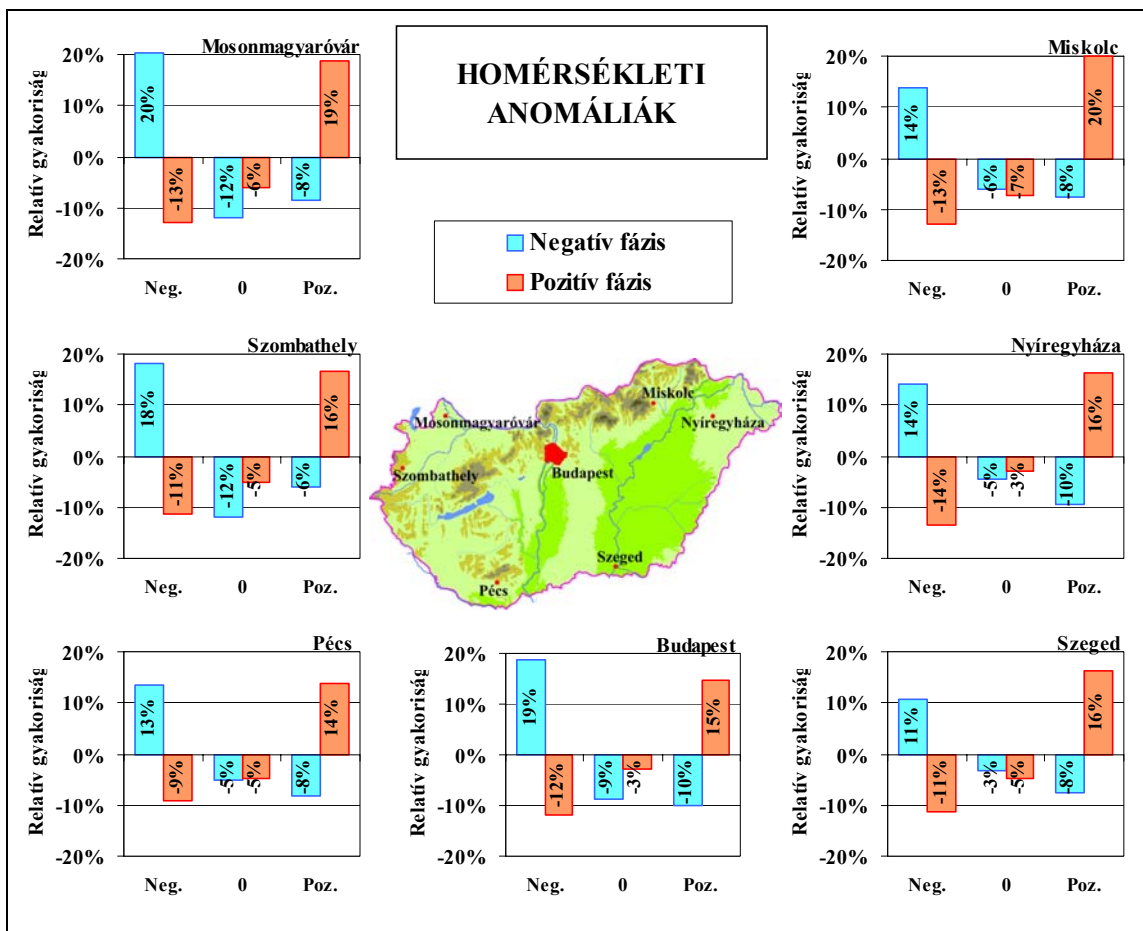
**3-19. ábra:** Az áramlási főirányok szerinti MCP osztályok eloszlásában megjelenő változások különböző NAO fázisok idején a neutrális időszakhoz viszonyítva (1901-2000).

A ciklonális illetve anticiklonális jellegű makrocirkulációs helyzetek gyakoriságában nem tapasztaltunk számottevő módosulást a NAO fázishoz kapcsolódva (csupán 1-2%-nyi az eltérés mértéke).

### 3.4. A NAO hatása a regionális klímára

Vizsgálataink során elemeztük a NAO különböző fázisai idején a meteorológiai állomások XX. századi havi hőmérsékleti illetve csapadék idősorok anomáliáinak eloszlását (Pongrácz & Bartholy, 2001). A **3-20. ábrán** a hőmérsékletanomáliákra vonatkozó három kategóriás gyakorisági vizsgálatot foglaljuk össze, majd hasonlóan a **3-21. ábrán** a csapadék-anomáliák elemzésének eredményeit mutatjuk be.



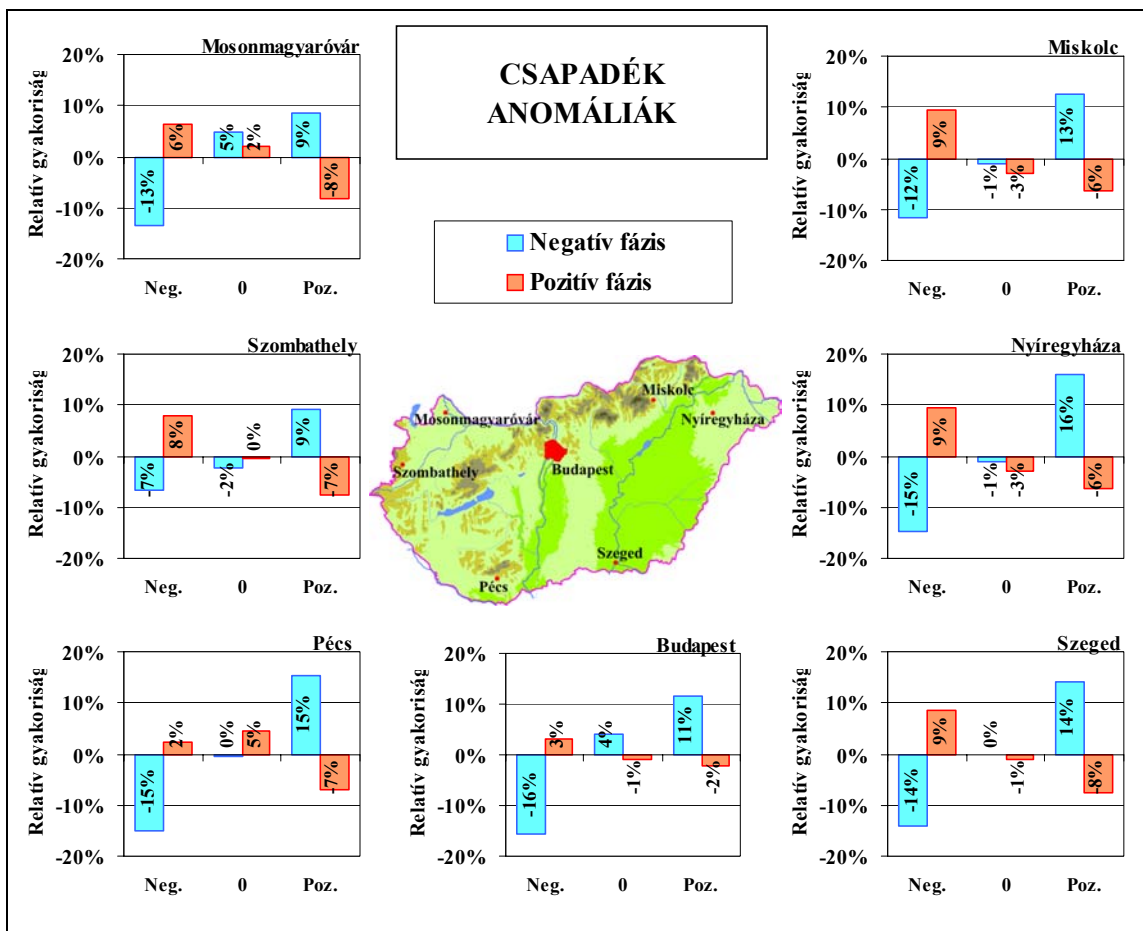


**3-20. ábra:** A hőmérsékleti anomáliák eloszlásában megjelenő módosulások különböző NAO fázisok idején a neutrális időszakhoz viszonyítva (1901-2000).

Neg. = nagy ( $-1^{\circ}\text{C}$ -nál nagyobb) negatív anomáliák

0 = kis eltérések ( $-1^{\circ}\text{C}$  és  $+1^{\circ}\text{C}$  közé eső anomáliák)

Poz. = nagy ( $+1^{\circ}\text{C}$ -nál nagyobb) pozitív anomáliák



**3-21. ábra:** A csapadékanomáliák eloszlásában megjelenő módosulások különböző NAO fázisok idején a neutrális időszakhoz viszonyítva (1901-2000).

Neg. = nagy (-10mm-nél nagyobb) negatív anomáliák

0 = kis eltérések (-10 mm és +10 mm közé eső anomáliák)

Poz. = nagy (+10 mm-nél nagyobb) pozitív anomáliák

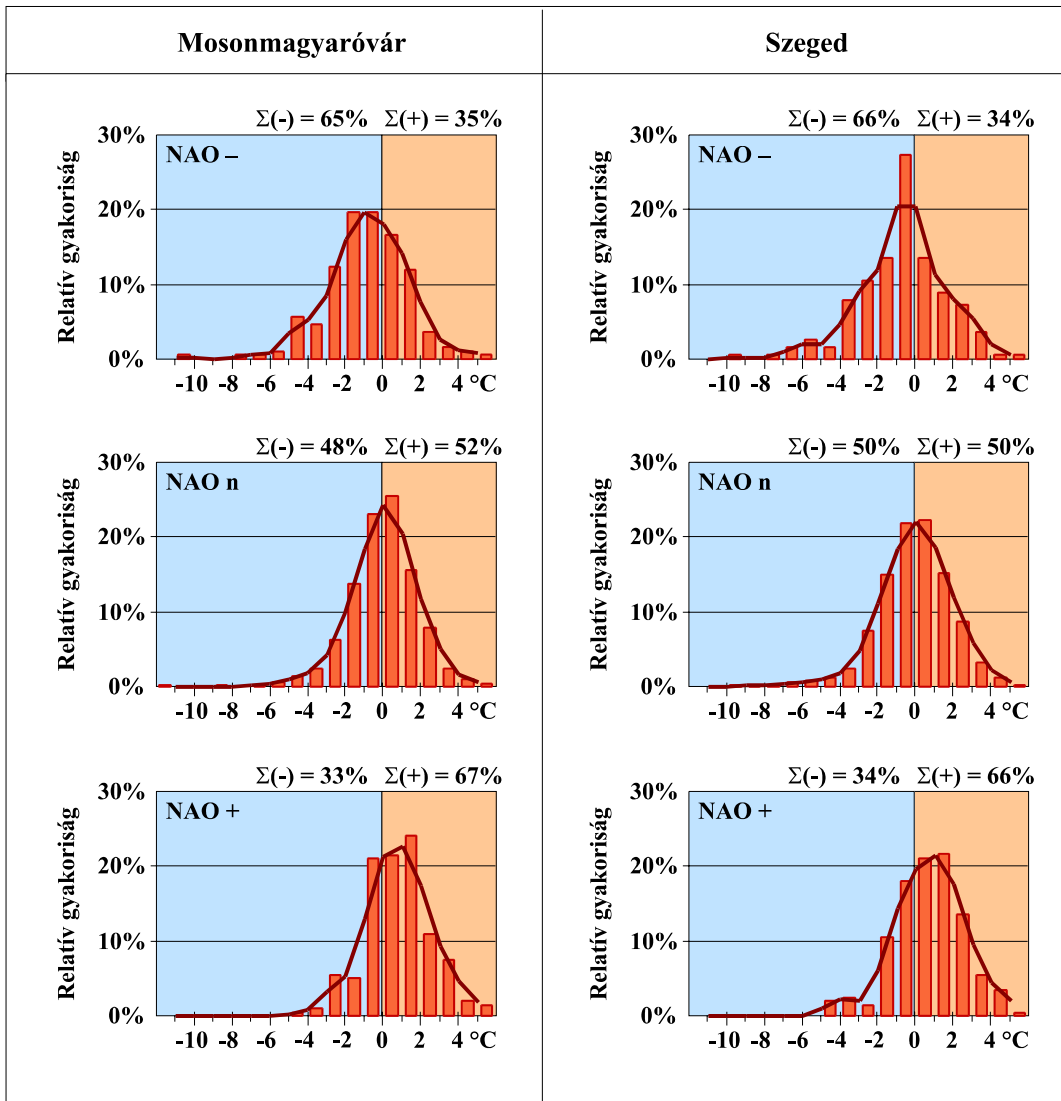
A hőmérséklet esetén (**3-20. ábra**) a neutrális fázishoz viszonyítva minden állomáson kisebb az átlaghoz közeli értékek részaránya (mintegy 3-12%-kal). A rendkívül hideg és a szokatlanul meleg hónapok relatív gyakorisága viszont mintegy 10-20%-kal (ellentétes irányban) tér el a negatív és a pozitív NAO fázisú időszakokban. A negatív NAO fázis idején lényegesen gyakoribbak az erős hidegek, a pozitív fázisban pedig a szélsőségesen magas átlaghőmérsékletű hónapok.

A csapadékanomáliák eloszlásában is jelentős mértékű eltérések figyelhetők meg a neutrális fázishoz viszonyítva. A **3-21. ábráról** leolvasható, hogy a negatív NAO fázis idején a rendkívül csapadékos hónapok gyakoribbak (9-16%-kal), a száraz időszakok viszont ritkábbak (7-16%-kal), mint a neutrális fázisban. Ezzel ellentétes, s valamivel kisebb módosulásokkal jellemezhetjük a pozitív NAO fázist. Az alföldi meteorológiai állomásokon 6-10%-os az eltérés mértéke.

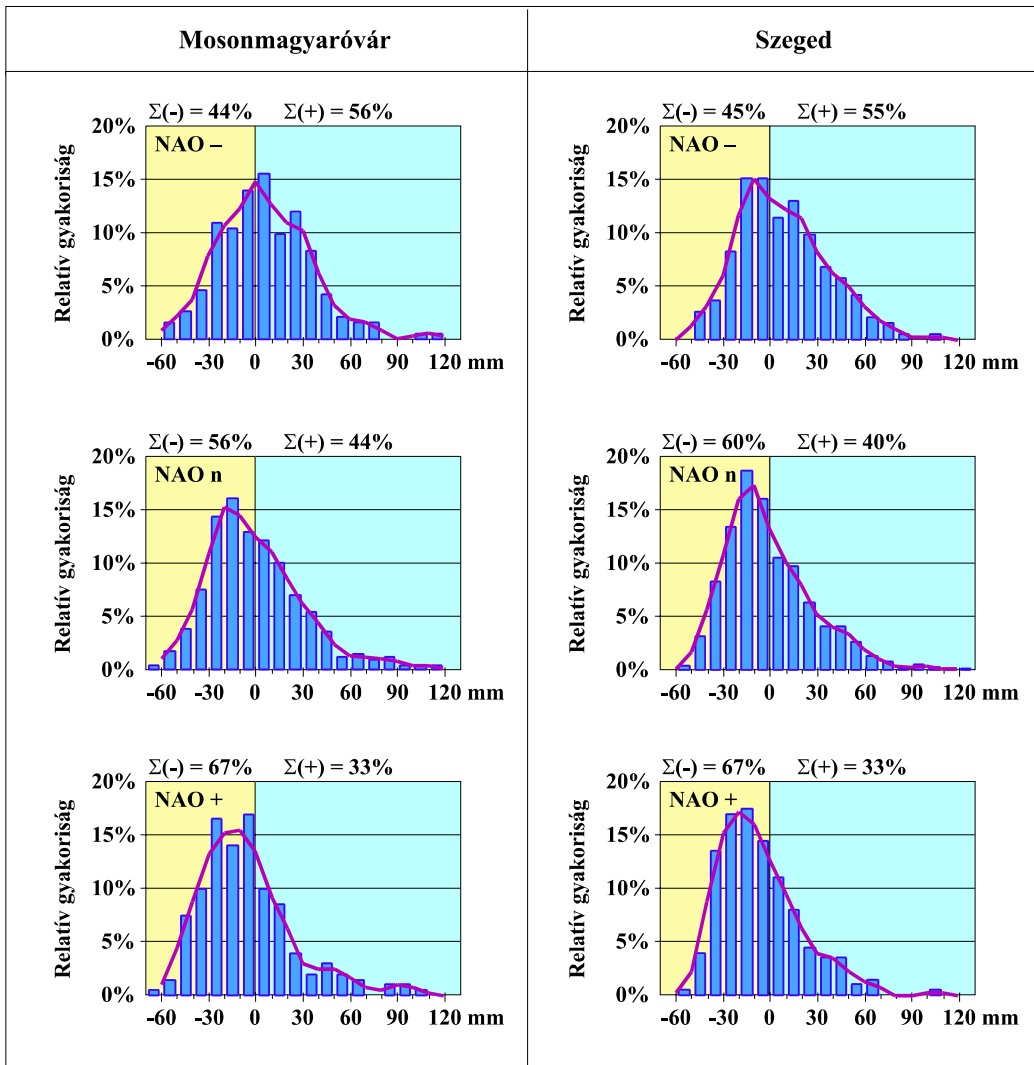
A következő vizsgálatunkban összehasonlítottuk a különböző NAO fázisokban a havi középhőmérséklet és a havi csapadékösszeg idősorainak gyakorisági eloszlásait. Az évi menet kiszűrése érdekében ebben az esetben is az anomália idősorokat használtuk fel.

A **3-22. ábrán** láthatjuk két meteorológiai állomás hőmérsékleti anomáliáiban megjelenő eloszlásbeli különbségeket. A neutrális NAO fázis idején szimmetrikus az eloszlás, s a medián az átlagos érték közvetlen közelében található. Jelentős eltolódást figyelhetünk meg a pozitív NAO fázis idején az átlagosnál melegebb hónapok irányába (a pozitív anomáliák összesen kb. 61-66%-os arányban jelentkeztek), s a negatív fázis időszakában pedig a megszokottnál alacsonyabb középhőmérsékletű hónapok gyakorisága növekszik meg (előfordulásuk mintegy 65-70%-os). A többi állomás idősorait is hasonló módon elemeztük, s ábráztuk az eloszlásokat; az eredményekből kitűnik, hogy hazánkban jelentős területi különbségek nem lépnek fel.

A havi csapadékanomáliák múlt századbeli eloszlását a **3-23. ábra** hasonlítja össze a három fázisra vonatkozóan. A negatív NAO fázis idején a csapadékos hónapok vannak túlsúlyban (mintegy 54-60%-ban), ennél is nagyobb mértékű eltolódást tapasztaltunk az átlagosnál szárazabb irányban pozitív NAO fázis alatt (a negatív anomáliák összaránya kb. 65-70%-os). A hőmérsékleti anomáliákhoz hasonlóan a csapadékanomáliák is kis területi változékonyságot mutatnak az országon belül.



**3-22. ábra:** A hőmérsékleti anomáliák hisztogramja a különböző NAO fázisok idején (1901-2000).



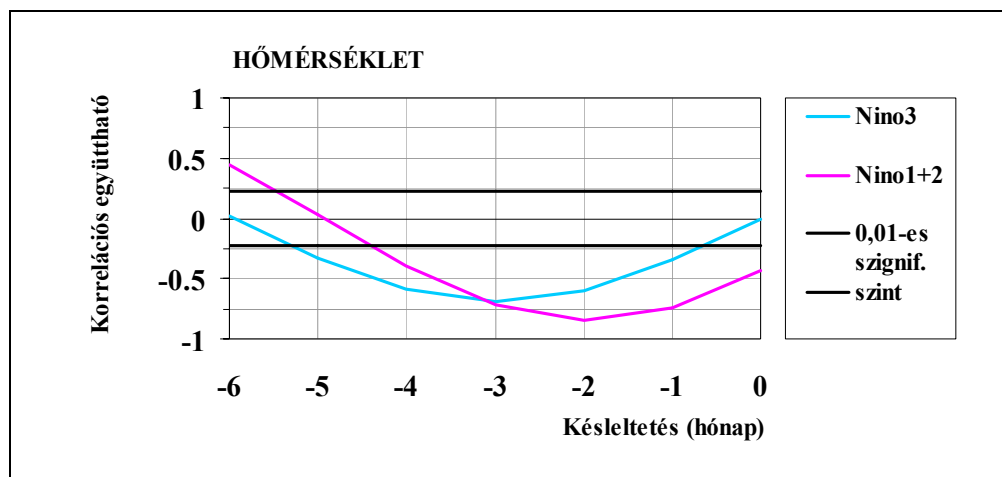
3-23. ábra: A csapadékanomáliák hisztogramja a különböző NAO fázisok idején (1901-2000).

A fenti kutatási eredményeket összefoglalva arra a következtetésre juthatunk, hogy a pozitív NAO fázis időszakához Magyarországon melegebb és szárazabb éghajlati anomáliák társulnak, a negatív fázis ellenben hűvösebb és csapadékosabb időjárást eredményez.

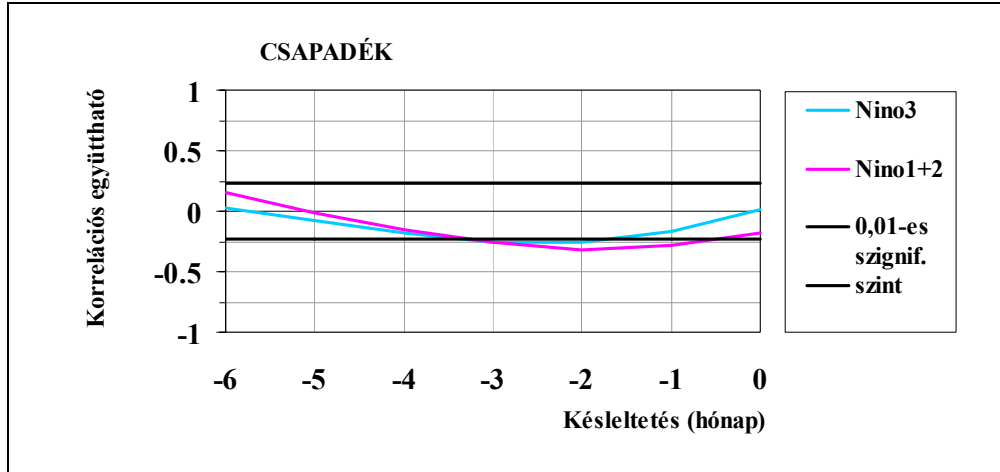
### 3.5. ENSO-NAO együttes hatása a regionális klímára

A kétféle oszcillációs jelenség együttes hatását a regionális klíma idősorai és az éghajlati oszcillációkat jellemző tengerfelszín-hőmérsékleten (SST) alapuló index adatsor közötti korrelációk segítségével vizsgáltuk (Pongrácz & Bartholy, 2000b; 2001). Hasonló tárgyú elemzéseket végzett a hazai hőmérsékleti idősorokra Matyasovszky (2003).

Elsőként a hőmérsékleti és csapadék-idősorokat összevetettük a **2-4. ábrán** már bemutatott különböző nevezetes Niño régiók (Niño1+2 – a Dél-Amerikai kontinens nyugati partvidéke mellett elhelyezkedő terület, 0°-10°D, 80°Ny-90°Ny; Niño3 – az 5°D-5°É, 90°Ny-150°Ny földrajzi szélességű és hosszúságú terület) területi SST értékeivel. A **3-24. ábra** alapján hazánk hőmérséklete mintegy 2-3 hónapos késéssel, s ellentétes előjellel követi az ENSO-t jellemző Niño területek SST-jében megjelenő változásokat. A legszorosabb kapcsolatot mutató korrelációs együttható értéke -0,84, s ez 0,01-es szinten szignifikáns.

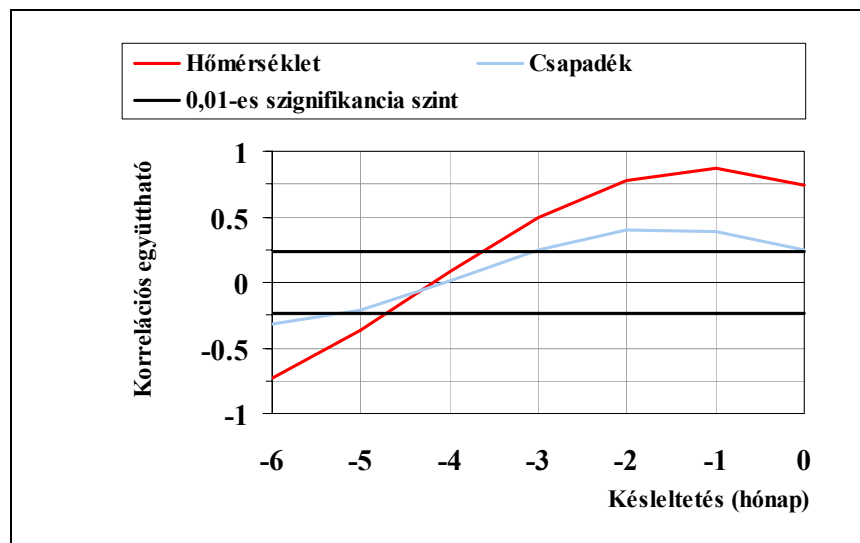


**3-24. ábra:** Az SST-alapú ENSO indexek és Magyarország hőmérsékleti idősora közötti statisztikus távkapcsolat (1950-99).



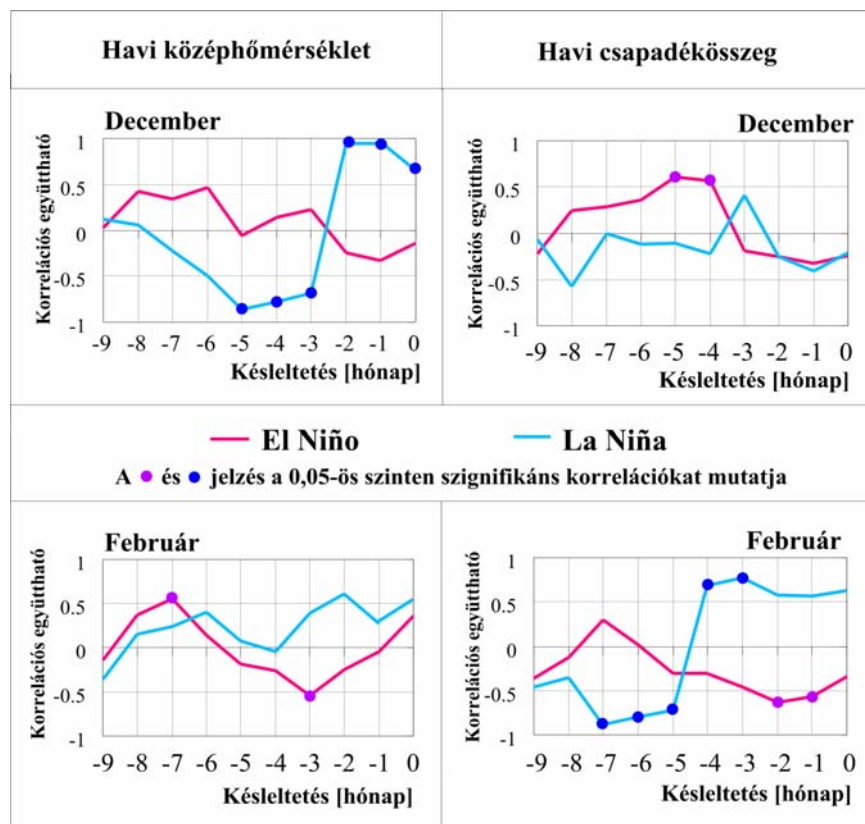
**3-25. ábra:** Az SST-alapú ENSO indexek és Magyarország csapadékidősora közötti statisztikus távkapcsolat (1950-99).

Alig értékelhetően kicsi, s 0,01-es szinten általában nem szignifikáns korrelációs távkapcsolat áll fenn a hazai csapadék-idősor és az SST adatsorok között. A **3-25. ábrán** a hőmérséklethez hasonló görbéket figyelhetünk meg a csapadék esetén, viszont jóval gyengébb az ezúttal is ellentétes jellegű korrelációs kapcsolat erőssége (csupán -0,32 a 0,01-es szinten szignifikáns korrelációs együttható értéke).



**3-26. ábra:** A NAO kulcsrégióiban mért területi tengerfelszínhőmérsékletek közötti különbség és Magyarország éghajlati idősorai közötti statisztikus távkapcsolat (1950-99).

A NAO kulcsrégiókra vonatkozóan a **3-26. ábra** mutatja be a különböző időbeli késleltetés esetén érvényes éghajlati távkapcsolat erősségét hazánk klímáparamétereivel összevetve. A NAO jelenség földrajzi közelsége miatt az időbeli eltolódás csupán 1-2 hónapos, s mind a hőmérséklet, mind a csapadék esetén nagyobb korrelációs együtthatókkal jellemezhetjük a statisztikai kapcsolatot ( $r = 0,87$  illetve  $r = 0,40$  a maximális korrelációs együttható), mint az ENSO jelenség esetén.



**3-27. ábra:** Korrelációs kapcsolat a NAO-t jellemző SST-index és a regionális klímáparaméterek között El Niño és La Niña időszakokban (1950-99).

Az együttes hatás elemzéséhez a regionális klímáparaméterek idősorait hónapoként kiválasztva vizsgáltuk (Pongrácz & Bartholy, 1998b; 2000b). A **3-27. ábra** illusztrálja két kiválasztott hónapban a NAO-t jellemző SST-index és hazánk éghajlati paramétere közötti korrelációs kapcsolatot El Niño és La Niña időszakokban, melyeket a **2-3. táblázatban** jelöltünk ki. A grafikonokról leolvasható, hogy a legnagyobb korrelációs együtthatók 1-3 hónapos késéssel jelentkeznek, ám ezek nem minden esetben szignifikánsak 0,05-ös szinten. La Niña idején általában erősebb kapcsolat jellemző, mint El Niño eseményekkor.



A decemberi középhőmérsékletben valamint a februári csapadékösszegben rendkívül erős 0,05-ös szinten szignifikáns korrelációt tapasztalunk La Niña alkalmával, mely 3-5 hónap időbeli késleltetéssel hirtelen előjelet vált.

Összefoglalva az ebben a fejezetben bemutatott eredményeket, az Atlanti-Európai régióban a nagytérségű cirkuláció közvetlen befolyása mellett az éghajlati rendszerben zajló oszcillációs jelenségek – az ENSO és a NAO – távhatása is számottevően érzékelhető.

Az Atlanti-Európai térség anomália-mezőinek elemzése alapján a tavaszi hónapokban az északi vidékek felett (Skandinávia-i központtal) az átlagosnál alacsonyabb geopotenciális magasságok fordulnak elő az El Niño fázisok idején, míg La Niña időszakokban nagyobb magasságokat észlelhetünk. A hőmérsékleti anomália El Niño idején Skandinávia felett negatív a neutrális fázishoz viszonyítva, s az Ibériai-félsziget valamint a Fekete-tenger vidéke fölött pozitív. La Niña idején viszont az északi területek magassági hőmérsékletei nagyobbak, s a Mediterrán-térség hűvösebb a neutrális viszonyokhoz képest

Az Atlanti-Európai térség geopotenciálszintjeinek magasságmezőire meghatározott 1. EOF-módusok zonális jellegűek, s csupán a nagyobb módusokban jelenik meg a meridionalitás. A különböző geopotenciálszintek magassági és hőmérsékleti mezőire számított 2-4. EOF-módusokban akciócentrumok földrajzi elhelyezkedése jelentősen különbözik El Niño és La Niña időszakokban.

A tavaszi hónapokban El Niño fázisok idején az uralkodóan ciklonális jellegű MCP típusok 20-25%-kal gyakrabban fordulnak elő, mint a neutrális fázisban – míg az anticiklonális jellegű MCP típusok mintegy 12-27%-kal ritkábban jelennek meg az Atlanti-Európai térségben.

A NAO jelenség regionális hatása elsősorban a zonalitás megváltozásában jelentkezik, a pozitív NAO fázis idején a zonális MCP típusok relatív gyakorisága növekszik meg jelentős mértékben, míg negatív NAO fázis alatt a meridionális jellegű MCP típusoké. Az áramlási főirányokat tekintve a pozitív fázis idején a nyugati áramlással jellemezhető MCP típusok megnövekedett arányát figyeltük meg, a negatív fázis alatt viszont az északi áramlású MCP típusok előfordulásában tapasztalhatunk jelentős növekedést. A múlt századi hazai hőmérsékleti és csapadékidősorok elemzése azt mutatja, hogy a neutrális NAO időszakhoz viszonyítva negatív NAO fázis idején lényegesen gyakoribbak az erős hidegek

illetve a rendkívül csapadékos hónapok, a pozitív fázis alatt pedig a szélsőségesen magas átlaghőmérsékletű hónapok illetve a száraz időszakok.

A távkapcsolat korrelációs vizsgálata arra az eredményre vezetett, hogy hazánk hőmérséklete mintegy 2-3 hónapos késéssel, s ellentétes előjellel követi az ENSO-t jellemző trópusi Csendes-óceán-i területek tengerfelszín-hőmérsékletében megjelenő változásokat. A legszorosabb kapcsolatot mutató korrelációs együttható értéke -0,84. A hazai csapadékidősor és az SST adatsorok között viszont nem áll fenn szignifikáns korrelációs távkapcsolat. A NAO jelenség földrajzi közelsége miatt az időbeli eltolódás csupán 1-2 hónapos, s mind a hőmérséklet, mind a csapadék esetén nagyobb korrelációs együtthatókkal jellemezhetjük a statisztikai kapcsolatot, mint az ENSO jelenség esetén.

Az itt bemutatott éghajlati távkapcsolati hatásokat felhasználva a következő fejezetben a hagyományos matematikai statisztikai és az új fejlesztésű fuzzy-szabályokból felépített modellek felhasználásával szimulált klímparaméterek idősorait vetjük össze egymással, illetve a tényleges mért értékekkel.