

CIKLONPÁLYÁK ÉS FRONTOK GYAKORISÁGVÁLTOZÁSA AZ ELMÚLT 50 ÉVBEN AZ EURÓPAI TÉRSÉGBEN⁷

BARTHOLY JUDIT⁸ – PONGRÁCZ RITA – PATTANTYÚS-ÁBRAHÁM
MARGIT – PÁTKAI ZSOLT

FREQUENCY CHANGES OF CYCLONES AND FRONTS IN THE LAST FIFTY YEARS IN THE EUROPEAN REGION

Abstract: Changes in large-scale circulation patterns over the North-Atlantic-European region are presented and analyzed for the 20th century. First, changes in decadal frequency of Hess-Brezowsky macrocirculation patterns (MCP) are evaluated between 1881 and 2000. Frequency of several MCP types increased or decreased considerably during these 120 years, which may be explained by large scale changes in circulation characteristics, e.g. by cyclone activity changes in the different regions. Therefore, cyclone center identification and cyclone tracks and intensity analysis have been accomplished on the base of the European Centre for Medium-range Weather Forecast (ECMWF) reanalysis datasets (ERA-40) on a 2.5° horizontal resolution grid for the period between 1957 and 2002. Results suggest that both the number of midlatitude cyclones and the cyclone activity increased considerably in the North-Atlantic-European region, especially, in the northwestern part of domain. Finally, significant frontal events (e.g. frontal precipitation and temperature changes) are also analyzed, i.e., how often and how intense they occurred in the last few decades, whether or not any trend may be detected in the Carpathian Basin.

BEVEZETÉS

A trópusok és a sarkvidékek közötti energia- és nedvességszállítás számottevő részéért a mérsékeltövi ciklonok a felelősek. Ezért a közepes földrajzi szélességeken a ciklonok gyakoriságában és intenzitásában jelentkező bármely változásnak jelentős regionális hatása lehet. Ennek vizsgálata történhet például a makrocirkulációs típusok gyakoriságának elemzésével. Egy másik közelítés, amikor a beazonosított mérsékeltövi ciklonok gyakoriságát és pályájának paramétereit elemezzük. Elsőként *van Beber, W. J.* (1891) és *Klein, W.* (1957) végeztek ciklonpálya elemzést szubjektív vizsgálati módszerek alkalmazásával. Az utóbbi évtizedekben a számítógépek segítségével már lehetővé vált a ciklonok objektív módon történő vizsgálata is (*Hodges, K. I.* 1994). Cikkünkben elsőként az európai makrocirkulációs helyzetek gyakoriság-változásait elemezzük a 20. századra vonatkozó-

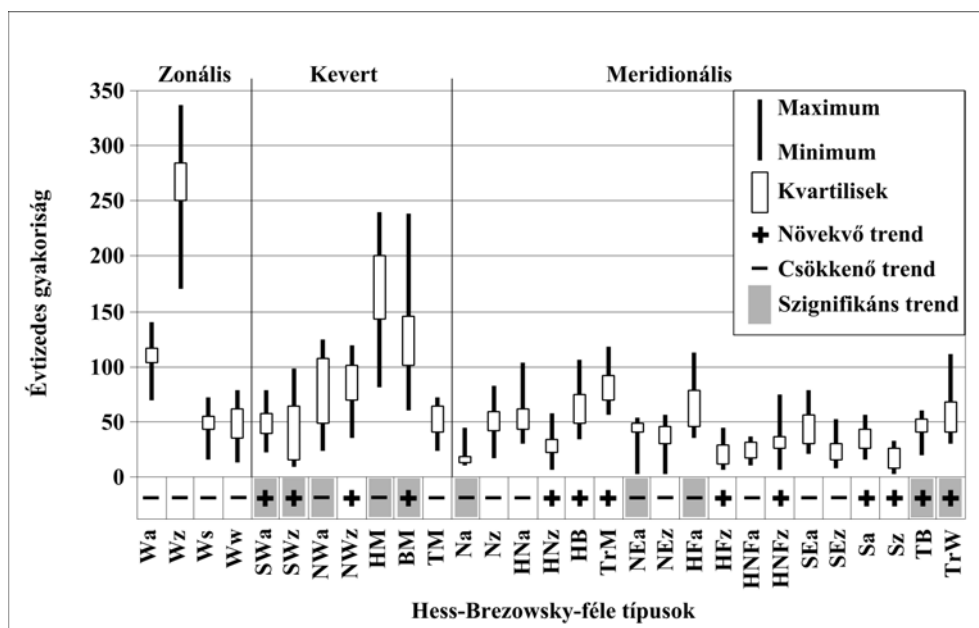
⁷ Kutatásainkat az OTKA T-038423, T-034867, T-049824 számú pályázatait, az NKFP-3A/0006/2002, az NKFP-3A/0082/2004 és az NKFP-6/079/2005 pályázatok támogatták. További segítséget nyújtott az EU 5. keretprogram EVK2-CT-2002/00163 számú projektje. Az ERA-40 adatbázist az Európai Középtávú Időjárás-Előrejelző Központ (ECMWF) állította össze és bocsátotta rendelkezésünkre.

⁸ Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék. 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A. E-mail: bari@ludens.elte.hu

an. Majd az Atlanti-Európai térség ciklonpályáinak, s a ciklonok intenzitásának változásait vizsgáljuk az Európai Középtávú Időjárás Előrejelző Központ (ECMWF) ERA-40 adatbázisa alapján. Végül a Kárpát-medencén átvonuló időjárási frontok gyakoriságát és intenzitását, valamint a hozzájuk kapcsolódó csapadék mennyiségét elemezzük.

A MAKROCIRKULÁCIÓS TÍPUSOK GYAKORISÁGVÁLTOZÁSA A 20. SZÁZADBAN

A nagytérségű cirkuláció elemzéséhez a **Hess, P. – Brezowsky, H.**-féle (1977) makrocirkulációs típusok rendszerét használtuk fel. A napi felbontású Hess-Brezowsky (HB) kódokat a Német Meteorológiai Szolgálat *“Die Grosswetterlagen Europas”* című kiadványa közli. Vizsgálatainkhoz a kódsorozat 1881-2000 időszakra vonatkozó sorát használtuk. A HB makrocirkulációs típusok évtizedes gyakoriságainak trendelemzése során meghatároztuk a 120 évre vonatkozó trendegyütthatókat, s megvizsgáltuk azok szignifikanciáját.



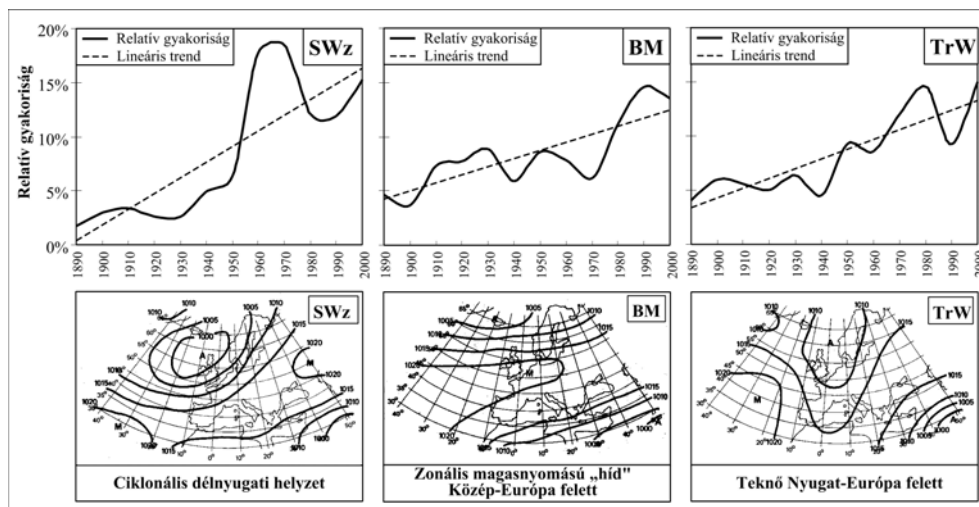
1. ábra A Hess-Brezowsky-féle makrocirkulációs típusok évtizedes gyakoriságeloszlása, 1881-2000

Figure 1 Decadal frequency distribution of Hess-Brezowsky macrocirculation types, 1881-2000

Az 1. ábrán Box-Whisker diagramokon ábrázoltuk a gyakoriságváltozásnak statisztikai mérőszámait. Az ábra kis téglalapjainak alsó és felső éle

rendre az alsó és a felső kvartilist jelölik. A téglalapokból kiinduló függőleges vonalak végpontjai pedig a 120 év alatt előfordult legmagasabb és legalacsonyabb évtizedes gyakorisági értékeket mutatják. A maximális és minimális gyakoriság közötti nagy különbség az adott makrocirkulációs típus jelentős változékonyságát emeli ki, míg a kvartilisek közötti nagyobb eltérés utal a gyakoriság jelentős megváltozására. A legkisebb négyzetek módszerével illesztett lineáris trendek előjele a vízszintes tengelynél látható, s külön bejelöltük szürke színezéssel a 0,95-ös szinten szignifikáns trendegyütthatókat.

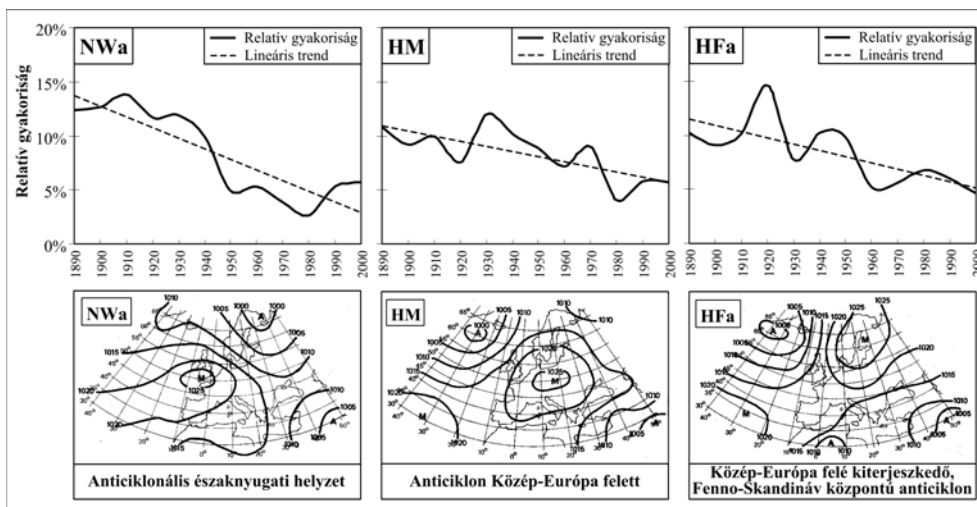
Eredményeink azt mutatják, hogy számos makrocirkulációs típus gyakorisága jelentős mértékben megváltozott. Ezek közül példaként három növekvő és három csökkenő tendenciájú Hess-Brezowsky-féle makroszinoptikus helyzetet mutatunk be részletesebben a 2. illetve a 3. ábrán. Az évtizedenkénti gyakoriságok változását ábrázoló grafikonok alatt az adott makrocirkulációs típusra jellemző tengerszinti légnyomásmezőket illusztráltuk. A 20. század során szignifikáns pozitív trendet figyelhetünk meg a *Ciklonális délnyugati helyzet* (SWz), a *Zonális magasnyomású „híd” Közép-Európa felett* (BM) és a *Teknő Nyugat-Európa felett* (TrW) típusok esetén (2. ábra). Ezzel ellentétben, szignifikáns negatív trendet detektáltunk az *Anticiklonális északnyugati helyzet* (NwA), az *Anticiklon Közép-Európa felett* (HM) és a *Közép-Európa felé kiterjeszkedő, Fenno-Skandináv középpontú anticiklon* (HFa) típusok gyakoriságváltozásaiban (3. ábra).



2. ábra Növekvő gyakoriságú Hess-Brezowsky-féle makrocirkulációs típusok (1881-2000). Az illesztett lineáris trend meghatározása a legkisebb négyzetek módszerével történt. Az alsó térképeken a típushoz tartozó jellemző tengerszintre átszámított nyomási mező látható

Figure 2 Selected Hess-Brezowsky MCP types with increasing decadal frequency distribution (1881-2000). The linear trend is fitted using the least square method.

Maps represent the typical sea level pressure patterns



3. ábra Csökkenő gyakoriságú Hess-Brezowsky-féle makrocirkulációs típusok (1881-2000). Az illesztett lineáris trend meghatározása a legkisebb négyzetek módszerével történt. Az alsó térképeken a típushoz tartozó jellemző tengerszintre átszámított nyomási mező látható

Figure 3 Selected Hess-Brezowsky MCP types with decreasing decadal frequency distribution (1881-2000). The linear trend is fitted using the least square method. Maps represent the typical sea level pressure patterns

A kapott eredmények értékelésekor figyelembe kell vennünk, hogy a makrocirkulációs helyzetek Hess-Brezowsky-féle osztályozása túlságosan szubjektív. Ezt próbáltuk meg kiküszöbölni a mérsékeltövi ciklonok azonosításához, illetve a pályájuk követéséhez felhasznált objektív algoritmusokkal.

EURÓPAI CIKLONPÁLYÁK AZONOSÍTÁSA ÉS ELEMZÉSE

Az északi féltekén a mérsékeltövi ciklonok és frontrendszerük alapvető szerepet játszanak a helyi időjárás kialakításában. Például Európában a téli csapadék kétharmad részéért átlagosan csupán 15 ciklon felelős (*Fraedrich, K. – Bach, R. – Noujokat, G.* 1986). Ez is kiemeli, hogy mennyire lényeges és aktuális a ciklonpályák lehetséges eltolódásainak, illetve a ciklonok intenzitás-változásának vizsgálata.

Adatok

Vizsgálataink során az Európai Középtávú Időjárás-Előrejelző Központ (ECMWF) ERA-40 reanalízis adatbázisát (<http://www.ecmwf.int/research/era>) használtuk fel. Az adatbázist földfelszíni és műholdas mérések alapján állították össze, s az 1957. szeptember 1-től 2002. augusztus 31-ig terjedő időszakot öleli fel

(**Kallberg, P. et al.** 2004). Az ERA-40 adatbázis számos meteorológiai paramétert tartalmaz 6 órás időbeli felbontásban. A felszíntől mintegy 65 km-es magasságig 60 vertikális szintet foglal magában, és ezek mindegyikére 1,25°-os horizontális rácshálózatot alkalmaz (**Gibson, J. K. et al.** 1997). A cikkünkben bemutatott elemzésekhez az Internetről szabadon letölthető négy fő geopotenciálszint (500 hPa, 700 hPa, 850 hPa és 1000 hPa) magassági és hőmérsékleti értékeinek, valamint tengerszinti légnyomásértékek 2,5°×2,5°-os horizontális felbontású mezősorait használtuk fel. A hemiszférikus mezőkből leválasztottuk az általunk vizsgált Atlanti-Európai térség (30°-75°É és 45°Ny-40°K által közrezárt terület) adatait, mely összesen 19×35=665 rácspontot tartalmaz.

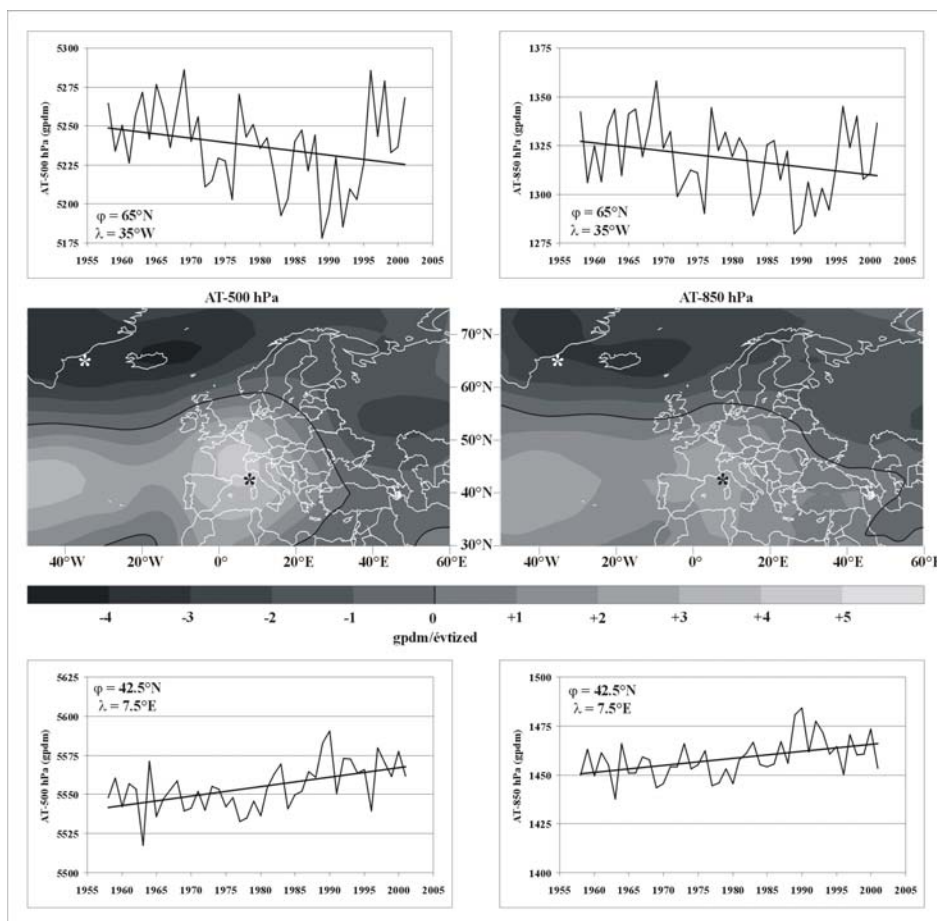
Eredmények

A geopotenciálszintek magassági mezőiben bekövetkezett strukturális változások vizsgálatához elsőként a leíró statisztikai paramétereket ábrázoltuk és elemeztük az elmúlt 45 évre (**Bartholy, J. et al.** 2005b, **Pongrácz R. et al.** 2006). Részletes trendelemzést végeztünk mindenegyedű rácspontra. Az éves átlagos magassági értékekre illesztett lineáris trendegyütthatók mezőit mutatjuk be a 4. ábrán a troposzféra középső, illetve egy alsóbb szintjére. Az 500 hPa-os és a 850 hPa-os geopotenciálszinteket reprezentáló térképeken zonális jellegű térbeli szerkezetet figyelhetünk meg. Pozitív trendegyütthatók jellemzik az északi területeket, melyek maximuma Grönland/Izland térségére esik. A délebbi területek legnagyobb negatív tendenciája viszont két helyhez köthető: az egyik a Földközi-tenger térségében, míg a másik az Atlanti-óceán fölött található. A térképeken fehér, illetve fekete csillaggal jelöltük meg a maximális, illetve a minimális trendegyüttható-értékkel jellemezhető északi és déli régió egy-egy rácspontját, amelyre vonatkozóan a 4. ábra szintenként bemutatja az éves átlagos geopotenciális magassági értékek idősorait és az ezekre illesztett lineáris trendet. A térképek fölött található a kiválasztott északi rácspont (65°É, 35°Ny) trendelemzése, míg a térképek alatt a déli rácsponté (42,5°É, 7,5°K). Jól látható, hogy az északi rácspont esetén jóval nagyobb évek közötti változékonyságot figyelhetünk meg, mint a déli rácspontnál. Mindkét szinten a két bemutatott rácspontban 0,95-ös szinten szignifikáns lineáris trendet detektáltunk (a szignifikancia vizsgálatot a statisztikai t-próbával végeztük).

A globális reanalízis adatbázisok segítségével lehetőség nyílik a mérsékelt-övi ciklon-középpontok objektív módon történő azonosítására és a ciklonok pályájának ugyancsak objektív követésére. Ilyen objektív algoritmust dolgozott ki például **Serreze, M. C.** (1995) és **Serreze, M. C. – Carse, F. – Barry, R.** (1997), akik a tengerszinti légnyomás gradiens értékeit használták fel arra, hogy az északi sarkvidék körüli ciklonokat tanulmányozzák 1973-1992 közötti tavaszi és téli időszakokban.

A mérsékelt-övi ciklonok intenzitásának komplex jellemzésére egy paramétert vezettünk be. Az úgynevezett Ciklon Aktivitási Indexet (CAI) **Zhang, X. et al.** (2004) definiálta, az alábbiak szerint: (1) vesszük a ciklonközéppont tengerszinti nyomási értékének, és ugyanazon rácspont éven belüli megfelelő időpontra vonat-

kozó 45 éves tengersizinti nyomásértékei zonális átlagának különbségét abszolút értékben – amennyiben az adott rácspont felett nem található ciklon, akkor azt nullának vesszük; (2) ezt minden időpontra és rácspontra elvégezzük; (3) havonként és rácspontonként összegezzük az (1)-(2) lépésben számítottakat, s így kapjuk meg a CAI értékeket.



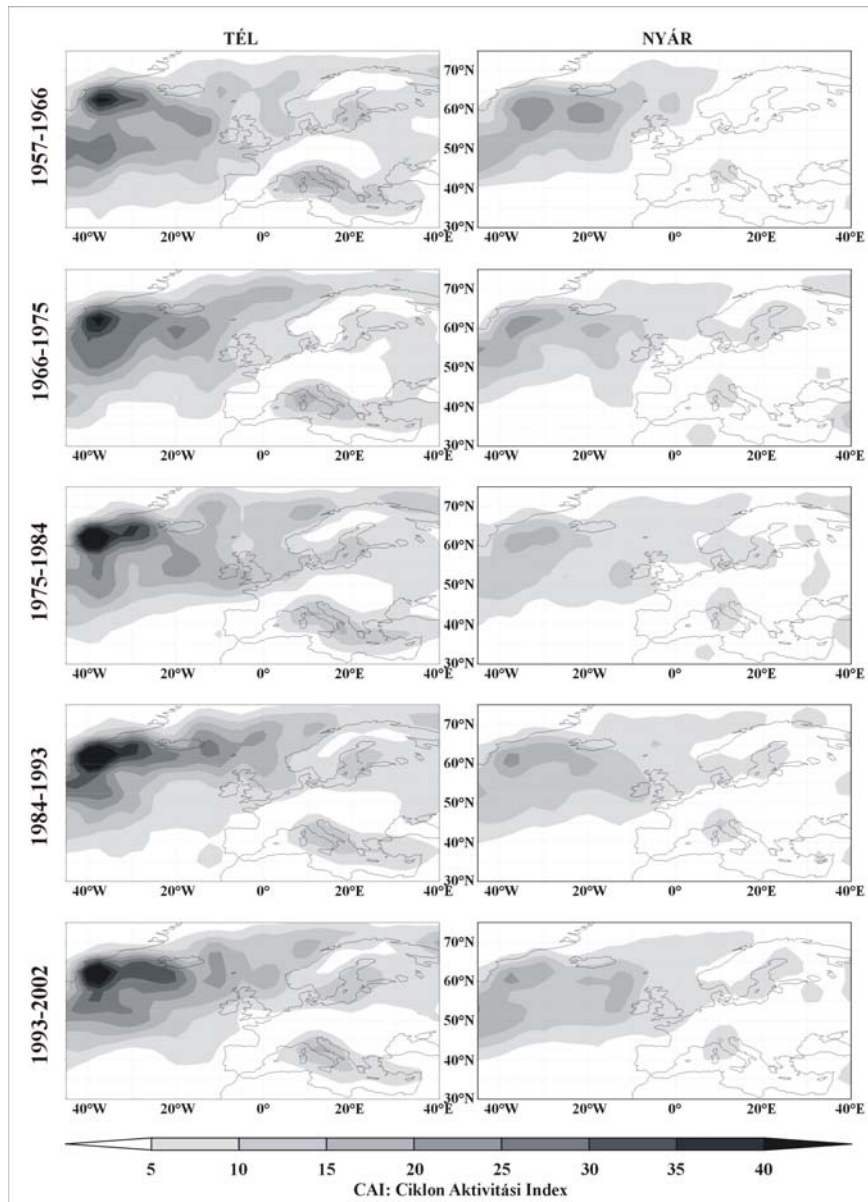
4. ábra Az AT500 (balra) és az AT850 (jobbra) geopotenciálszintek trendelemzése. A grafikonok a két kiválasztott rácspont (fent: 65°É 35°Ny, illetve lent: 42,5°É 7,5°K) éves átlagos magassági értékeinek lineáris trendjét mutatják.

Az illesztett lineáris trendek 0,95-s szinten szignifikánsak a t-próba alapján
 Figure 4 Tendency analysis of AT500 (left) and AT850 (right) geopotential height levels. Detailed linear trends are shown for two selected gridpoints (65°N 35°W and 42.5°N 7.5°E) above and below the map of the trend coefficients, respectively.

The fitted linear trends are significant at 0.95 level on the base of the statistical t-test

Az 5. ábra térkép-sorozatán mutatjuk be a téli és nyári évszakra átlagolt CAI értékeket a teljes 45 éven belüli öt egyenlő hosszúságú részidőszakra. Előzetes várakozásainknak megfelelően a CAI jól tükrözi a ciklonok fő vonulási útvonálát. A

nagyobb CAI értékek télen jelennek meg mind az öt részidőszakban. A legmagasabb ciklon aktivitási indexű terület mindkét évszakban Grönland és Izland között található, ennél jóval alacsonyabb értékek jellemzik a Genovai-öböl környékét.

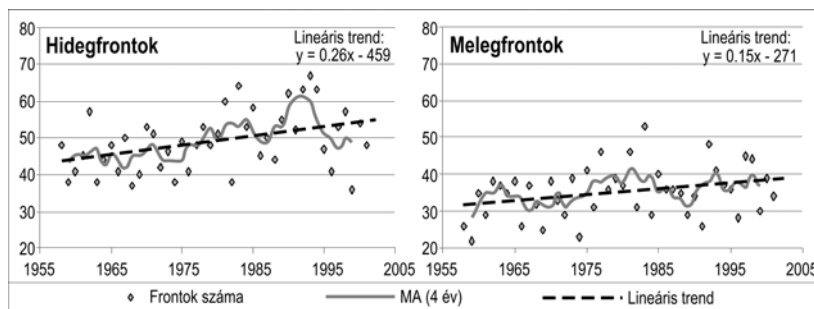


5. ábra Évszakos CAI értékek évtizedes változása az Atlanti-Európai térségben télen (DJF) és nyáron (JJA)

Figure 5 Decadal changes of seasonal CAI values in the Atlantic-European region in winter (DJF) and summer (JJA)

A mérsékeltövi ciklonok hatása a helyi időjárási viszonyokra általában jól követhető a frontrendszereken keresztül, ezzel foglalkozunk cikkünk utolsó részében. Kutatásaink során a teljes Atlanti-Európai térségből csupán a Kárpát-medencét érintő hideg- és melegfrontokra fókuszáltunk, azon belül is Budapestet választottuk ki a frontdetektálás helyszínéül. Egy térség fölött áthaladó időjárási frontok definíciója, objektív azonosítása nem egyszerű feladat, az itt bemutatott vizsgálatainkban csak egy nagyon leegyszerűsített empirikus közelítést használtunk. Operatív szinoptikus tapasztalatokon alapulva a 850 hPa-os geopotenciálszint hőmérsékleti idősorának (ERA-40) felhasználásával időjárási frontnak tekintettük, ha a kiválasztott mérőpont fölött 12 óra alatt több mint 3°C-kal, illetve több mint 5°C-kal változott a magassági hőmérséklet értéke. Ez alapján a teljes 45 éves időszakra meghatároztuk a Budapest felett áthaladó hideg- és melegfrontok időpontját, gyakoriságát. A 3°C-os kritérium felhasználásával a teljes időszak alatt 2202 (58%) hidegfrontot és 1580 (42%) melegfrontot detektáltunk. Eredményeink alapján mind a hidegfrontok száma, mind az azokat kísérő hőmérsékletváltozás lényegesen nagyobb volt, mint a melegfrontok esetén.

Elvégeztük a hideg- és melegfrontok éves, évszakos és havi trendelemzését a teljes 1957-2002 időszakra (Bartholy, J. et al. 2005a, Pongrácz R. et al. 2006). A 6. ábrán mutatjuk be az időjárási frontok éves száma alapján készült trendvizsgálatainkat. A bal oldalon a hidegfrontokra, a jobb oldalon a melegfrontokra vonatkozó eredmények láthatók. Az évenkénti frontgyakorisági értékekre illesztettük a négyéves mozgó átlagot (MA) és a lineáris trendet, melyet a legkisebb négyzetek módszerével határoztunk meg. A hidegfrontok éves száma 1957 és 2002 között nagyobb mértékben növekedett, mint a melegfrontoké. Mindkét lineáris trendegyüttható 0,95-ös szinten szignifikáns a t-próba alapján.



6. ábra Időjárási frontok éves trendje ($\Delta T > 3^\circ\text{C}$ feltétel felhasználásával), 1957-2002.

A lineáris trendegyütthatók 0,95 szinten szignifikánsak

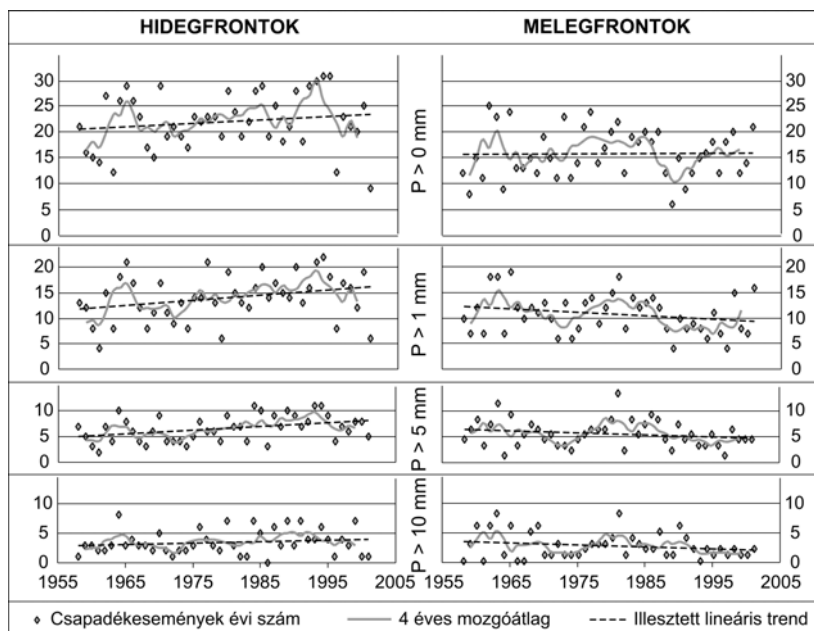
Figure 6 Annual tendency of cold and warm fronts (using criterion $\Delta T > 3^\circ\text{C}$), 1957-2002.

Linear trend coefficients are significant at 0.95 level

A helyi időjárási viszonyok szempontjából kiemelkedő jelentőségűek a frontális csapadékesemények, ezért e cikkben végezetül a frontokhoz kapcsolódó csapadékok trendelemzésének eredményeit mutatjuk be. Különböző küszöbértékeket definiálva (0, 1, 5 és 10 mm) meghatároztuk a hideg- illetve melegfrontokhoz kap-

csolódó, s ezen küszöbértékeket meghaladó csapadékesemények éves és évszagos számát a teljes 45 éves időszakra.

A 7. ábrán az éves trendvizsgálat eredményeit illusztráljuk. Az ábra bal, illetve jobb oldalán rendre a hidegfrontokra és a melegfrontokra vonatkozó csapadékesemények éves száma látható. A hidegfrontokhoz kapcsolódó csapadékok növekedését, míg a melegfrontokhoz kapcsolódó csapadékok csökkenését figyelhetjük meg az 1957-2002 időszakban mindegyik küszöbérték esetén. A kapott lineáris trendegyütthatók 0,95-ös szinten szignifikánsak, kivéve a hidegfrontok esetében a 10 mm-es küszöbértéket, illetve a melegfrontok esetében a 0 mm-es küszöbértéket meghaladó csapadékokat. Az évszagos trendelemzések alapján a legerősebb növekvő tendenciákat a hidegfrontoknál tavasszal és ősszel detektáltuk, míg a legerősebb csökkenő tendenciákat a melegfrontoknál télen.



7. ábra A $\Delta T > 3^\circ\text{C}$ feltétel felhasználásával definiált időjárási frontokhoz kapcsolódó csapadékesemények éves tendenciája, 1957-2002. A hidegfrontok esetén a 10 mm-es, a melegfrontok esetén a 0 mm-es küszöbérték kivételével a lineáris trendegyütthatók 0,95 szinten szignifikánsak

Figure 7 Annual tendency of cold and warm frontal precipitation using criterion $\Delta T > 3^\circ\text{C}$, 1957-2002. Linear trend coefficients are significant at 0.95 level except using the 10 mm and 0 mm threshold in case of cold and warm fronts, respectively

KÖVETKEZTETÉSEK

Cikkünkben az ELTE Meteorológiai Tanszékén két éve folyó szinoptikus-klimatológiai vizsgálatok első eredményeit mutattuk be. Kutatásaink során elemez-

tük az európai makrocirkulációs helyzetek 20. századi gyakoriságváltozásait. Megvizsgáltuk továbbá az Atlanti-Európai régió ciklonpályáinak, s a ciklonok intenzitásának változásait az 1957-2002 időszakra vonatkozóan. Végül a Kárpát-medencén átvonuló időjárási frontok gyakoriságában, intenzitásában, s csapadék-rendszerében detektálható módosulásokat elemeztük. A bemutatott vizsgálatok eredményei alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le.

1. A Hess-Brezowsky-féle makrocirkulációs típusok közül számos esetben észleltünk szignifikánsan növekvő, illetve csökkenő gyakorisági trendet az utóbbi 120 évben.

2. Az éves átlagos geopotenciális magassági mezők csökkenő tendenciáját detektáltuk 1957 és 2002 között az Atlanti-Európai térség északnyugati részén, Grönland és Izland környékén. Ugyanebben az időszakban a térség déli részein pozitív trendet figyeltünk meg, melynek két központja az Atlanti-óceán fölött, illetve a Földközi-tenger fölött (a Ligur/Tirrén-tenger vidékére) található.

3. Az 1957-2002 időszakban a ciklonaktivitás (CAI értékek alapján) télen erősebb volt, mint nyáron. A vizsgált térségben a legintenzívebb ciklogenezis Grönland és Izland környékére tehető.

4. Az általunk definiált egyszerűsített frontdefiníció alapján a Budapest fölött áthaladó azonosított időjárási frontok éves száma szignifikánsan megnövekedett 1957 és 2002 között.

5. Míg a Budapest fölött átvonuló hidegfrontokhoz kapcsolódó csapadék-események éves száma növekedett a vizsgált 45 évben (főként tavasszal és ősszel), addig a melegfrontokhoz kapcsolódó csapadékos napok éves száma csökkent (főként télen).

IRODALOM

- Alpert, P. – Neeman, B. U. – Shay-el, Y.** 1990. Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus* 42A. pp. 65-77.
- Bartholy, J. – Pongrácz, R. – Pattantyús-Ábrahám, M. – Pátkai, Zs.** 2005a. Analysis of the European cyclone tracks, the corresponding frontal activity, and changes in MCP frequency distribution. EMS Annual Meeting/ECAM 2005. Abstracts, Vol. 2. European Meteorological Society. EMS05-A-00297.
- Bartholy, J. – Pongrácz, R. – Pattantyús-Ábrahám, M.** 2005b. European cyclone track analysis based on four geopotential fields of ECMWF ERA-40 datasets. *Int. J. Climatology*, megjelenés alatt.
- Bebber, W. J. van** 1891. Die Zugstrassen der barometrischen Minima nach den Bahnenkarten der Deutschen Seewarte für den Zeitraum von 1870-1890. *Meteorol. Zeitschrift* 8. pp. 361-366.
- Fraedrich, K. – Bach, R. – Naujokat, G.** 1986. Single station climatology of Central European fronts: number, time, and precipitation statistics. *Contr. Atmos. Phys.* 59. pp. 54-65.
- Gibson, J. K. – Kallberg, P. – Uppala, S. – Nomura, A. – Hernandez, A. – Serrano, A.** 1997. ERA description. ECMWF Reanalysis Project Report Series No. 1. 77 p.
- Hess, P. – Brezowsky, H.** 1977. Katalog der Grosswetterlagen. *Berichte Deutscher Wetterdienst Offenbach*. 113. Bd. 15.
- Hodges, K. I.** 1994. A general method for tracking analysis and its application to meteorological data. *Mon. Wea. Rev.* 122. pp. 2573-2586.

- IPCC** 2001. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Houghton, J. T. et al, eds.) Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Kallberg, P. – Simmons, A. – Uppala, S. – Fuentes, M.** 2004. The ERA-40 archive. ERA-40 Project Report Series No. 17.
- Key, J. R. – Chan, A. C. K.** 1999. Multidecadal global and regional trends in 1000 mb and 500 mb cyclone frequencies. *Geophys. Res. Lett.* 26. pp. 2053-2056.
- Klein, W.** 1957. Principal tracks and mean frequencies of cyclones and anticyclones in the Northern hemisphere. Research Paper No. 40. U.S. Weather Bureau, Washington.
- Lamb, H. H.** 1972. British Isles weather types and a register of the daily sequence of circulation patterns, 1861-1971. *Geophys. Mem.* 116. HMSO, London.
- Pongrácz R. – Bartholy J. – Pattantyús-Ábrahám M. – Pátkai Zs.** 2006. Az Atlanti-Európai térség szinoptikus-klimatológiai vizsgálata. In: WEIDINGER T. (SZERK.). 31. Meteorológiai Tudományos Napok – Az éghajlat regionális módosulásának objektív becslését megalapozó klímadinamikai kutatások. Budapest. pp. 147-162.
- Serreze, M. C.** 1995. Climatological aspects of cyclone development and decay in the Arctic. *Atmosphere-Ocean* 33. pp. 1-23.
- Serreze, M. C. – Carse, F. – Barry, R.** 1997. Icelandic low cyclone activity: Climatological features, linkages with the NAO, and relationships with recent changes in the Northern Hemisphere circulation. *J. Climate* 10. pp. 453-464.
- Zhang, X. – Walsh, J. E. – Zhang, J. – Bhatt, U. S. – Ikeda, M.** 2004. Climatology and interannual variability of arctic cyclone activity: 1948-2002. *J. Climate* 17. pp. 2300-2317.