

**A NAGYTÉRSÉGŰ CIRKULÁCIÓ ÉS A LÉGKÖRI  
OSZCILLÁCIÓK (ENSO, NAO) EGYÜTTES HATÁSA  
REGIONÁLIS ÉGHAJLATI PARAMÉTEREKRE**

**A doktori (Ph.D.) értekezés tézisei**

**PONGRÁCZ RITA**

Földtudományi Doktori Iskola  
Földrajz – Meteorológia Doktori Program

A Doktori Iskola vezetője: **Dr. Márton Péter**  
A Doktori Program vezetője: **Dr. Gábris Gyula**

Témavezető: **Dr. Bartholy Judit**,  
tanszékvezető egyetemi tanár,  
a földtudományok kandidátusa

Kutatóhely:  
Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2003.

## A VIZSGÁLT PROBLÉMAKÖR, CÉLKITŰZÉSEK

Az éghajlati rendszeren belül kiemelt szerepe van az óceáni és légköri cirkulációs folyamatoknak, valamint azok kölcsönhatásainak. Az egyik legnagyobb térséget érintő, s legkomplexebb jelenség az átlagosan 2-7 éves periódusidejű ENSO (El Niño / Déli Oszcilláció) eseményegyüttes, melynek hatása főképp a trópusi Csendes-óceán térségében jelentkezik, de távolabbi vidékek klímáját is jelentősen befolyásolhatja. A tropikus vizekben megjelenő és több hónapig fennmaradó nyugatkelet irányú meleg illetve hideg óceáni áramlás és az érintett területek légnyomásában ezzel párhuzamosan felfedezhető kváziperiodikus szabályosság az ENSO jelenség, melynek három fázisát különíthetjük el: az El Niño-t, a La Niña-t, és a neutrális fázist. A El Niño és La Niña eseményeket kísérő regionális időjárási szélsőségek rendkívül komoly gazdasági és ökológiai következményekkel jártak, járnak. Az erőteljes helyi hatásokon túl sokféle távkapcsolatot tártak fel az ENSO jelenséggel kapcsolatban, melyek a Föld egész területére kiterjednek.

Hazánkhoz, s Európához viszonyítva földrajzilag közelebb található meg az Észak-Atlanti Oszcillációt (NAO), mely egyike a mérsékelt övben jelentkező nagyskálájú légköri oszcillációs jelenségeknek. A NAO jelenség az Atlanti-óceán északi részén a teljes változékonyságnak mintegy harmadáért felelős, s ez minden más hatást meghaladó mértéket jelent. A megfigyelések alapján az izlandi szubpoláris alacsony-nyomású és az azori szubtrópusi magas-nyomású légköri akciócentrum intenzitása egyidejű változásokat mutat. Különösen a téli időszakban alakulnak ki szokatlanul alacsony nyomású ciklonok Izland közelében, míg az Azori-szigetek környékén viszont a szokásosnál is magasabb nyomású anticiklonok születnek. A tengerszinti légnyomásban megjelenő térbeli dipólus szerkezet intenzívebbé válása, vagyis a meridionális irányú légnyomási gradiens megnövekedése a NAO pozitív fázisú állapota, mely az átlagoshoz képest erősebb nyugatias áramlással jár együtt a közepes földrajzi szélességeken. A NAO negatív fázisában a szokásosnál gyengébb Izland-környéki alacsony légnyomású centrum alakul ki, s az átlagoshoz képest ugyancsak gyengébb anticiklonok keletkeznek az Azori-szigetek vidékén. Ennek következtében a meridionális irányú nyomási gradiens értéke lecsökken.

A dolgozatban a nagytérségű cirkuláció és az éghajlati oszcillációs jelenségek (ENSO, NAO) együttes hatásait vizsgáltuk az északi félteke közepes földrajzi szélességein található két kiválasztott régióban: (1) az Atlanti-Európai térségben a Kárpát-medence területére, (2) Észak-Amerikában a középnyugati préri vidékére. Célunk, hogy meghatározzuk a statisztikus távkapcsolatok rendszerét, majd ezt figyelembe véve a regionális klímáparaméterekre becslési eljárást dolgozzunk ki.

## **AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK**

A vizsgálatok során hagyományos matematikai statisztikai módszereket (távkapcsolat-analízist, EOF-analízist, többváltozós lineáris regressziót), illetve a hazai meteorológiai irodalomban az eddigiektől eltérő, új megközelítést (az ún. fuzzy-szabályokra épülő modelleket) alkalmaztunk.

A felhasznált adatbázis több elemből épül fel: (1) az oszcillációs jelenségeket különböző módon származtatott index idősorokkal jellemeztük; (2) a makroskálájú cirkulációt a dolgozat 2. fejezetében ismertetett MCP tipizálási rendszerek havi gyakorisági eloszlásaival, illetve a különböző geopotenciálszintek magassági és hőmérsékleti mezősorával; (3) a regionális klímáparaméterek adatbázisát pedig a havi csapadékösszeg, a havi átlaghőmérséklet, a Balaton vízmérlegében szereplő hidrológiai változók, s a Palmer-féle szárazsági index havi bontású idősoraiból állítottuk össze.

A távkapcsolat-analízis során a földrajzilag egymástól távol lévő régiók közötti statisztikai összefüggéseket tártuk fel. Ennek érdekében a különböző geopotenciálszintek magassági és hőmérsékleti anomália-térképeit, továbbá a nagytérségű cirkulációs típusok és a regionális klímáparaméterek gyakorisági eloszlásait hasonlítottuk össze a légköri oszcillációs jelenségek különböző fázisai idején. Az EOF-analízis során az empirikus ortogonális függvények segítségével a mezősorok legnagyobb változékonyságú állapotai jeleníthetők meg, melyek az egyes ENSO fázisokhoz kapcsolódnak. A matematikai statisztikai eljárással az adott mező korrelációs mátrixára vonatkozó sajátérték-egyenletet oldjuk meg, s az így kapott sajátvektorok alkotják az adott sajátértékhez tartozó EOF módus-mezőket. A sajátértékek pedig azt adják meg, hogy az adott módusok milyen mértékben járulnak

hozzá a mezősor teljes változékonyságához. Az EOF-módusokon belül a legnagyobb pozitív és negatív értékkel rendelkező területek jelölik ki az adott mező ún. akciócentrumait.

A többváltozós lineáris regresszió és a fuzzy-szabályokból felépülő modellek a megadott prediktorok segítségével állítják elő a regionális klímparaméterek értékeit. Mindkét modelltypusban a nagy térséget jellemző makrocirkulációs helyzeteket (pontosabban azok havi relatív gyakoriságait), valamint az éghajlati oszcillációs jelenségeket – az ENSO-t illetve a NAO-t – jellemző karakterisztikákat (a Déli Oszcillációs Index idősorait illetve a tengerfelszínhőmérsékletből származtatott indexek idősorait) tekintettük meghatározó tényezőnek. A fuzzy-szabályok lehetővé teszik, hogy hasonló bemenő feltételek mellett többféle lehetséges kimenetelt figyelembe vegyünk különböző súllyal, s ezek eredőjéből határozzuk meg a végső választ.

A dolgozatban megvizsgáltuk a fuzzy-szabályokból álló modellek érzékenységet, valamint összevetettük a fuzzy-szabályok felhasználásával kapott modelleredményeket az azonos feltételek mellett alkalmazott többváltozós lineáris regresszióból adódó becslésekkel.

## **EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK**

Eredményeinket összefoglalva az alábbi következtetéseket vonhatjuk le.

1. Az északi félteke mérsékelt övének különböző régióiban a nagy térségű cirkuláció közvetlen befolyása mellett az éghajlati rendszerben zajló oszcillációs jelenségek (ENSO, NAO) távhatása is számottevően érzékelhető.
2. 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 alkalmával, míg La Niña idején nagyobb magasságokat észlelünk. 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 geopotenciális szintjei melegebbek, s a Mediterrán-térségé hűvösebbek a neutrális viszonyokhoz képest.

3. 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 az akciócentrumok földrajzi elhelyezkedése jelentősen különbözik El Niño és La Niña időszakokban.

4. 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.

5. A hazánk területén megfigyelhető ENSO távkapcsolati hatások közül kiemeljük az El Niño évekhez kapcsolódó jelentősen hidegebb december, január és március hónapokat, valamint az enyhébb februárt. A csapadékviszonyokat tekintve jelentős a júliusi és márciusi többlet, s a szárazabb április. A XX. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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 (pl. a hőmérsékletre 0,87 a maximális korrelációs együttható), mint az ENSO jelenség esetén.

9. A makrocirkulációs helyzetek és az oszcillációs jellegű éghajlati események együttes figyelembevételével készült fuzzy-szabályok alkalmazásával kapott modell-outputok statisztikailag megfelelően képesek visszaadni a különböző regionális klímáparaméterek értékeit. A legjobb egyezést akkor kapjuk, ha az MCP osztályozásnál a zonalitást, valamint a ciklonális illetve anticiklonális jelleget is tekintetbe vesszük, továbbá az éghajlati oszcillációk időbeli késleltetésével is számolunk.

10. A szimulált értékek és az észlelések közötti egyezés jelentősen jobb a dolgozatban bemutatott új fejlesztésű fuzzy-szabályokból felépülő modellek alkalmazása esetén, mint amit a hagyományos többváltozós lineáris regressziós modellekkkel kaptunk. A különböző modellhibák összehasonlításával is arra a következtetésre jutottunk, hogy a fuzzy-szabályokból álló modellek kisebb hibát adnak, mint a lineáris regressziós modellek.

11. Míg a lineáris regressziós modell a szélsőségesebb éghajlati viszonyokat (a +3-nál nedvesebb illetve -3-nál szárazabb Palmer-index értékeket) egyáltalán nem képes rekonstruálni – még a tanuló időszakok alatt sem –, addig a fuzzy-szabályok alkalmazásával ezek a viszonyok is előállíthatók. A szórásokat tekintve is hasonló következtetésre juthatunk (Nebraska esetén például a tényleges idősor 2,47 körüli szórással rendelkezik, ehhez képest a fuzzy-szabályokból felépülő modell 2,46 körüli szórású szimulált idősort hoz létre, lineáris regresszióval viszont csupán ennek kb. fele, 1,20 körüli szórásérték érhető el).

12. Mind a tíz magyar állomásra szignifikánsan jobban közelíthetjük a tényleges adatsor statisztikai tulajdonságait a fuzzy-szabályokon alapuló modellezéssel. Míg a lineáris regressziós modellek felhasználásával adódó szimulált PDSI idősorok szórása csupán 0,3-0,7 között változik, addig a fuzzy-szabályokból álló modellekkkel 1,5-2,3 szórású PDSI idősorokat állítottunk elő (a tényleges idősorok szórása 1,8-2,5 között változik a különböző állomásokra).

13. A havi csapadékösszegekre adódó szimulációs modellhibák összehasonlítása: mind a MAE-t, mind az RMSE-t tekintve a fuzzy-szabályok alkalmazásával kisebb hibákat kaptunk, mint lineáris regressziós modellekkel. A tényleges és a szimulált csapadékidősorok közötti korrelációs kapcsolat lineáris regresszióval általában 0,4-0,5 erősségű, míg a fuzzy-módszerrel 0,7-0,8-as korrelációs együtthatókat érhetünk el azonos bemenő változók felhasználásával.

A fuzzy-szabályokból felépülő modellezés alkalmazásának olyan esetekben van különösen lényeges szerepe, amikor hosszútávú becslésekre van szükség, s a hosszabb időszakra regionális skálájú éghajlati információt szükséges generálnunk.

## VÁLOGATOTT PUBLIKÁCIÓK

Pongrácz R. (1997): ENSO-fázisok hatáselemzése a közepes földrajzi szélességeken. In: *A meteorológus PhD-hallgatók I. országos konferenciája* (szerk: Pongrácz R., Tóth Á.); *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, No.9., pp. 22–25.

Bartholy J., Pongrácz R. (1998): ENSO-szignálok értékelése az Atlanti-Európai térségben és a Kárpát-medencében. In: *Meteorológiai Tudományos Napok '97: Az éghajlatváltozás és következményei* (szerk: Dunkel Z.), pp. 241–248., OMSz, Budapest.

Pongrácz R., Bogardi I., Duckstein L., Bartholy J. (1998): Fuzzy rule-based techniques to link El Nino and regional drought. In: *Proceedings of EUFIT '98, 6th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing*, pp. 1048-1051., Aachen, Germany.

Pongrácz R., Bartholy J. (1998): ENSO related NAO signal comparison. In: *Proceedings of the 2nd European Conference on Applied Climatology, ECAC98* (ed: P. Steinhauser), CD-ROM. 7p. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Austria.

Pongrácz R., Bartholy J. (1998): Éghajlati távkapcsolatok elemzése a Kárpát-medence térségére. In: *II. Erdő és Klíma Konferencia* (szerk: Tar K. és Szilágyi K.), pp. 37–41., Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen.

- Pongrácz R., Bogardi I., Duckstein L., Bartholy J. (1998): Risk of regional drought influenced by ENSO. In: *Risk-Based Decision Making in Water Resources VIII, Proceedings of the Eighth Conference* (eds: Y.Y. Haimes, D.A. Moser, E.Z. Stakhiv), pp. 114-125., ASCE, Reston, Virginia.
- Pongrácz R. (1999): Az ENSO-jelenség és az Északi-hemiszféra cirkulációjának együttes regionális hatásai. In: *A meteorológus PhD-hallgatók II. országos konferenciája* (szerk: Kircsi A., Pongrácz R.); *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, No.13., pp. 50–56.
- Pongrácz R., Bogárdi I., Duckstein, L. (1999): Application of fuzzy rule-based modeling technique to regional drought. *J. Hydrology*, **224**, pp. 100-114.
- Bartholy J., Pongrácz R. (1999): Interactions between macroscale atmospheric circulation, SST anomalies and ENSO phases in the Atlantic European region. In: *Proceedings of the 8th Conference on Climate Variations* (eds: C.F. Ropelewski et al.), pp. 62-67., AMS, Boston, Massachusetts.
- Pongrácz R., Bogardi I., Duckstein L. (1999): Fuzzy rule-based prediction of droughts. In: *Proceedings of EUROFUSE-SIC '99, 4th Meeting of the Euro Working Group on Fuzzy Sets and 2nd International Conference on Soft and Intelligent Computing* (eds: B. De Baets, J. Fodor, L.T. Kóczy.), pp. 371-375., Budapest, Hungary.
- Pongrácz R., Bogardi I., Duckstein L. (1999): Drought forecasting using atmospheric circulation and ENSO information. In: *Hydraulic Engineering for Sustainable Water Resources Management at the Turn of the Millennium: Proceedings* (szerk: M.N. Abbott et al.), CD ROM. 8p. Graz, Austria.
- Pongrácz R., Bartholy J., (2000): Statistical linkages between ENSO, NAO, and regional climate. *Időjárás*, **104**, pp. 1-20.
- Pongrácz R., Bogardi I., Duckstein L. (2000): How do weather patterns and ENSO influence extreme hydrology in Hungary? In: *Proceedings of the International Conference on Water Resources Management in the 21st Century with particular reference to Europe* (eds: I. Ijjas et al.), pp.169-176., Budapest.



- Bogardi I., Duckstein L., Pongrácz R., Galambosi A. (2001): Experience with fuzzy rule-based modeling of hydrological extremes. In: *Risk-Based Decisionmaking in Water Resources IX, Proceedings of the Ninth Conference* (eds: Y.Y. Haimes, E.Z. Stakhiv, D.A. Moser), pp. 44-60., ASCE, Reston, Virginia.
- Pongrácz R., Bartholy J., Bogardi I. (2001): Fuzzy rule-based prediction of monthly precipitation. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B*. **26**, pp. 663-667.
- Pongrácz R., Kugler Sz., Csík A., Bogárdi I. (2002): A Balaton vízháztartási elemeinek modellezése fuzzy-szabályok segítségével. *Hidrológiai Közlöny*, **82**, pp. 94-98.
- Bogardi I., Pongrácz R., Csík A., Kugler Sz., Dezső Zs., Rózsa E. (2002): A Balaton vízháztartásának modellezése. In: *Az időjárás előrejelzése. Meteorológus TDK Iskola.* (szerk: Weidinger T. et al.), *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, No.17., pp. 113-120.
- Pongrácz R., Bogárdi I., Duckstein, L. (2002): Climatic forcing of droughts: A Central European example. *Hydrological Sciences Journal*, **48**, megjelenés alatt.