

## HAZÁNK SZÉLKLÍMÁJA, A SZÉLENERGIA HASZNOSÍTÁSA: MÚLT, JELEN, JÖVŐ

### *WIND CLIMATE OF OUR LAND, EXPLOITATION OF WIND ENERGY: PAST, PRESENT, FUTURE*

Bartholy Judit<sup>1</sup>, Radics Kornélia<sup>1,2</sup>, Péliné Németh Csilla<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

<sup>2</sup>MH Geoinformációs Szolgálat, 1024 Budapest, Szilágyi E. fasor 7–9.

*bartholy@elte.hu, radics.kornelia@mil.hu, pelinenemeth.csilla@mhtehi.gov.hu*

**Összefoglalás:** Napjainkban, amikor már elfogadott ténynek tekinthető, hogy az emberi tevékenység befolyásolja a Föld éghajlatának alakulását, megnövekedett az igény a klímaváltozás globális és regionális hatásainak elemzésére, következményeinek becslésére. Az egyes meteorológiai paraméterek átlagos értékeinek elmozdulása mellett kiemelt figyelmet igényel a szélsőséges időjárási és éghajlati események esetleges gyakoriságváltozása is. Az 1990-es években megkezdett hazai szélenergetikai vizsgálatokból még hiányozó szélsőérték-vizsgálatok és tendenciaelemzések (melyek a szélerőművek optimális elhelyezését szolgálják) is nélkülözhetetlenek a várható energiatermelés becsléséhez. Ezért az ELTE Meteorológiai Tanszékén közel húsz éve elindult szélklimatológiai kutatások egyik fő célja a regionális szélklíma átlagos értékeinek, szélsőségeinek és tendenciáinak részletes elemzése volt.

**Abstract:** One of the most important effects of climate variability and climate change may come from changes in the intensity and frequency of climatic extremes. As a respond to the need of new climatologic analyses complex wind field research was carried out on clarifying the possible changes of wind characteristics in the country. The aim of the research started at the Meteorological Department, Eötvös Loránd University almost two decades ago was to study and provide reliable information about the state and variability of wind climate in Hungary.

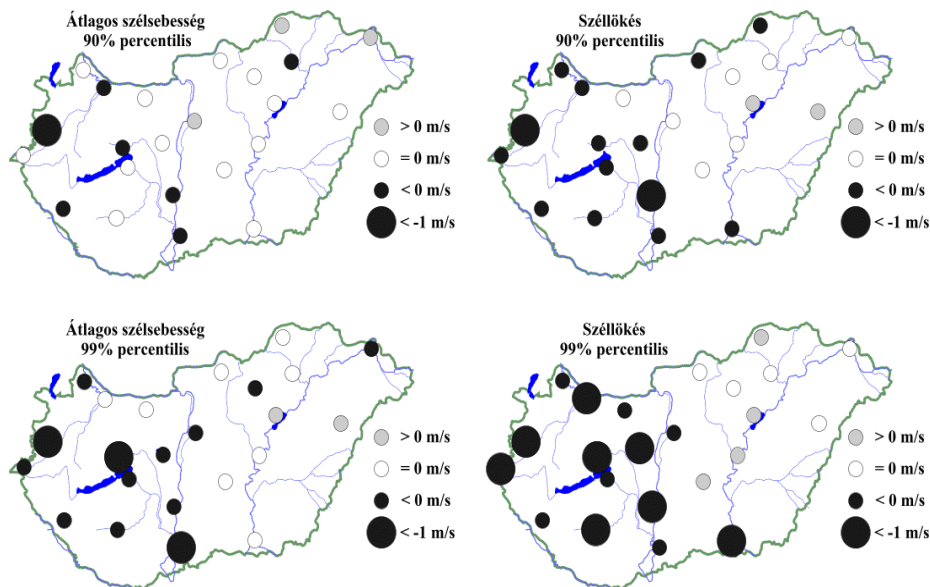
Az elmúlt évszázadok során robbanásszerűen megnövekedett energiafelhasználás minden igényt kielégítő biztosítása napjainkban jelentős környezetterhelést okoz. A folyamatos gazdasági növekedést és – ezzel párhuzamosan – a környezetünkre gyakorolt káros hatások mérséklését jelenlegi tudásunk szerint csupán az egy főre jutó energiafelhasználás jelentős csökkentésével és a megújuló energiaforrások (így például a szélenergia) egyre nagyobb mértékű felhasználásával érhetjük el.

A potenciális szélenergia regionális változékonyságának becslése során a természetes felszínnek, így a domborzat és az érdesség áramlómódosító hatásának becslését a dán fejlesztésű Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP) felhasználásával végeztük. A WAsP a mért szél- adatok horizontális és vertikális extrapolációjára szolgáló, Jackson és Hunt elméletére alapozott, lineáris, spektrális modell (*Mortensen et al.*, 1993), melynek alkalmazásával készült az Európai szélátlasz (*Troen és Petersen*, 1989) is. Svédországi mérési adatsorok felhasználásával feltártuk a WAsP modellezési korlátjait (*Bartholy és Radics*, 2001; *Radics*, 2004), majd a hegyhátsági toronymérés négy szinten (10 m-en, 48 m-en, 82 m-en és 115 m-en) mért szél- adatainak segítségével igazoltuk a WAsP modell hazai adaptálhatóságát. Így lehetőség nyílt a modellezési eredmények verifikálására. A szél- adatok horizontális és vertikális extrapolációjára esettanulmányokat végeztünk (*Radics és Bartholy*, 2002; *Bartholy et al.*, 2003), továbbá a domborzat és az érdesség áramlómódosító hatását ele-

meztük azzal a céllal, hogy megismerjük a rendelkezésre álló szélmező legfontosabb sajátosságait. A szélenergetikai kutatások befejező részében az ország egész területére modelleztük és megszerkesztettük az átlagos szélsőséget és a rendelkezésre álló szélenergiát ábrázoló térképeket (*Radics*, 2004).

Magyarországon a potenciális készletek megbízható becsléseinek hiánya is nehezíti a szélenergia hasznosítását. E becslések csupán abban az esetben készíthetők el, ha megfelelő minőségű, egységes, homogénizált mérési adatsor áll rendelkezésre. Kutatásaink során a hazai szinoptikus meteorológiai állomások (36 mérőhely) jelenleg 36 éves (1975–2010) adatsorainak szélenergetikai szempontú komplex statisztikai elemzését végeztük el. Az adatsorokra vonatkozó minőségi és mennyiségi ellenőrzés, majd a homogenizációs és adatkorrekciós feladatok megoldása után – a globális klímaváltozás regionális hatásainak becslése céljából – átfogóan elemeztük a szélmező klimatológiai szempontból lényeges átlagos és szélsőértékeit (*Radics és Bartholy*, 2008). Az óras szélsőségek, szélirány és szélhőkés adatokat tartalmazó idősor felhasználásával becsültük a szélklíma legfontosabb paramétereinek és szélsőértékeinek évek közötti változékonyságát, azok térbeli és időbeli tendenciáit (*Radics et al.*, 2010).

A regionális skálán várható éghajlatváltozás is befolyásolhatja hazánk szélklímáját, illetve az extrémumok előfordulásának gyakoriságait. Ezért kutatásaink következő szak-

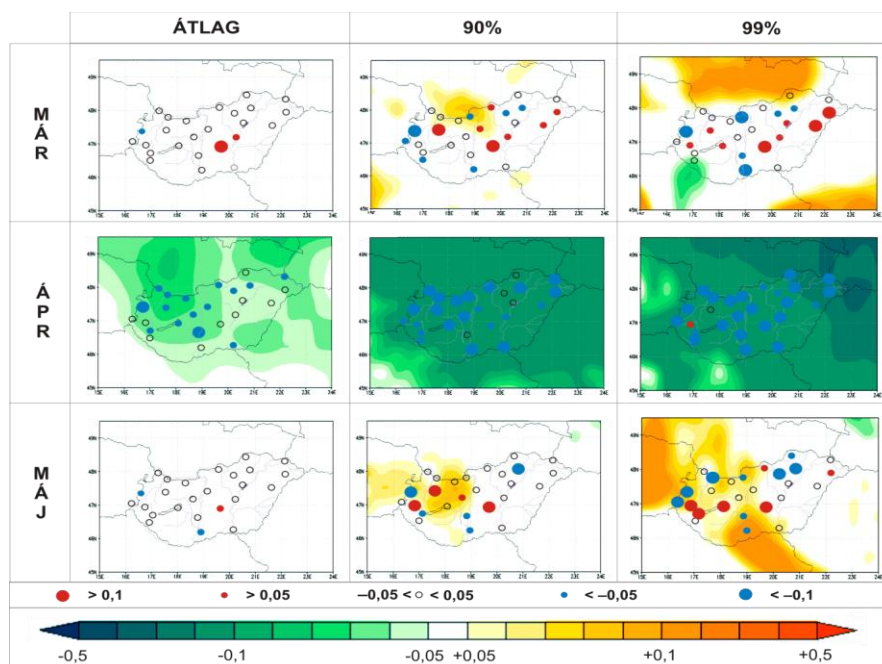


1. ábra: Az átlagos szélességre és a széllökésre vonatkozó percentilis értékek (90%, 99%) tendenciájának (1997–2007) területi eloszlása hazánkban.

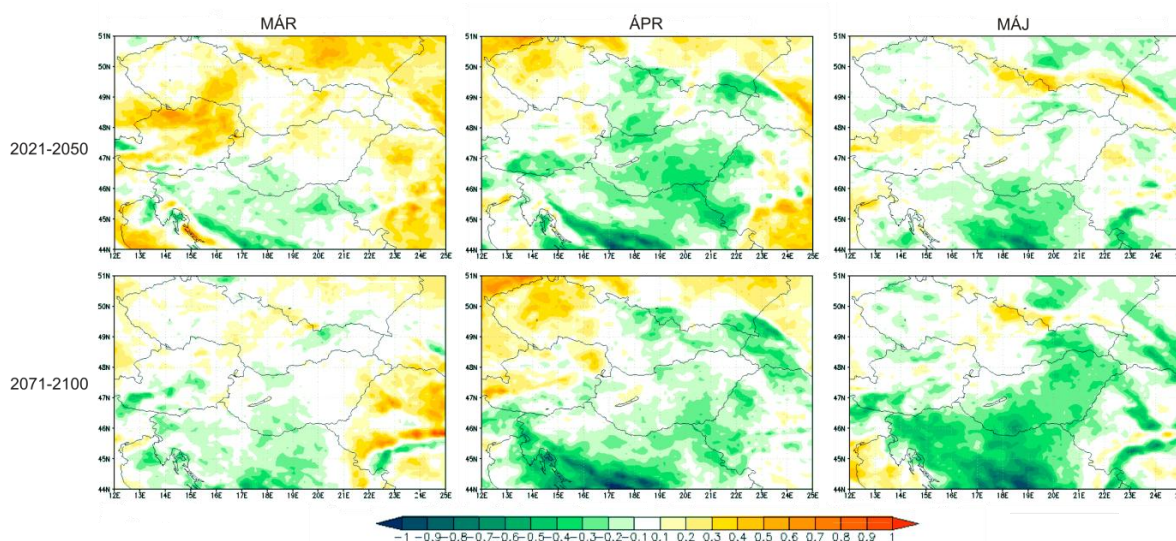
szában a sem térben, sem időben nem homogén, pontszerűen mért állomásadatok és az ERA40, valamint az ERA Interim adatbázis által rendelkezésre álló homogén reanalízis mezők összehasonlítását végeztük el. Vizsgálataink során arra a kérdésre kerestük a választ, hogy a térben és időben hiányos szélmérési adatsorokat helyettesíthetjük-e a hiánymentesen rendelkezésre álló, s számos nemzetközi forrás által minőséginek értékelt reanalízis idősorokkal (Radics et al., 2010; Péliné et al., 2011). Ennek ismeretében meghatározható, hogy a XXI. század közepére, végére készült modellszimulációk mennyire alkalmazhatóak a regionális szélklíma tendenciáinak, illetve a – változó klimatikus viszonyokkal együttesen módosuló – megújuló energiaforrások potenciáljának becslésére.

Kutatásunk befejező részében az ECHAM regionális klímamodell segítségével elemeztük a Kárpát-medence szélklímájának XXI. század során várható változásait. A közeli és távoli jövőre (2021–2050 és 2071–2100) vonatkozóan becsltük a szélmező átlagos és extrém értékeit. A terjedelmi korlátok miatt az alábbiakban csupán néhány példát kiragadva mutatjuk be a közel két évtizede folyó kutatás legfontosabb eredményeit.

- Hazánk az európai szélosztályozás kategóriáit követve mérsékelt szeles tartományba sorolható, s az átlagos és maximális szélesség nagy térbeli változékonyságot mutat. Az uralkodó szélirány relatív gyakorisága alacsony. A szélesendes időszakok aránya néhány térségben kifejezetten magas értéket vesz fel.
- Szélklímánk az év során kiegyenlítettnek mondható. Az ország területén belül viszont jelentős eltérések mutatkoznak a szélsőértékek előfordulásának gyakoriságában, azok területi eloszlása azonban jól követi az átlagos szélességi mezőt.
- Az átlagos szélesség 90%-os percentilise az ország jelentős részén időben (1997–2007) változatlan értéket vesz fel (1. ábra). A vizsgált percentilis értékének növelésével (99%) az ország egyre nagyobb területén jelenik meg csökkenő tendencia. A percentilis érték növelésével a csökkenés mértéke is jelentősen nő. Minden esetben kirajzolódik a Dunántúlra és az alföldi régiókra jellemző eltérő viselkedés. Míg a dunántúli területeken a szélsőértékek általában csökkenő tendenciát mutatnak, addig az Alföld jelentős részén nem mutatható ki a percentilis értékek időbeli változása, vagy azok növekedése jelenik meg.
- Az ERA Interim és a meteorológiai állomások szélesség-adataiból meghatározott havi átlag- és szélsőértékek időbeli változásának (1997–2010) területi eloszlása jó egyezést mutat (2. ábra). Mindkét adatbázis esetén szinte az ország teljes területét lefedő jelentős mértékű csökkenés jellemzi – hazánk korábbi klímavizsgálataiban az egyik legszelesebbnek ítélt hónapot – áprilist.
- A potenciális szélenergia becsléséhez a magyarországi mért állomási adatok mellett eredményesen alkalmazható a pontosabb területi lefedettséget biztosító ERA-40 és ERA Interim reanalízis adatbázis is (Radics et al, 2010; Péliné et al., 2011).
- Az ECHAM regionális klímamodell szimulációi alapján a tavaszi hónapok átlagos szélességértékeinek közeljövőben (2021–2050) várható területi eloszlása emlékeztet az elmúlt évtizedben már megfigyelt tendenciákra (3. ábra). Míg a dunántúli területeken a szélesség nagymértékű csökkenése valószínűsíthető márciusban, addig az Alföld jelentős részén az átlagos szélértékek növekedése várható a modellfuttatások értelmében. Áprilisban a csökkenő tendencia dominál



2. ábra: A szélesség évenkénti havi átlagaira és percentiliseire (90% és 99%) illesztett lineáris trend együttható alakulása 1997-2010 időszakban. A területi színezés az ERA Interim reanalízis szélességmezőkből számított tendenciákat, a körök hazai szinoptikus állomások szélesség idősorainak tendenciáit mutatják.



3. ábra: Az ECHAM regionális klímamodell alapján a medián értékek várható változásai [m/s] a tavaszi hónapokban a referencia időszakhoz képest (1961-1990).

## Irodalom

- Bartholy, J., Radics, K., 2001: Selected wind characteristics and potential use of wind energy in Hungary. Part I. *Időjárás* 105, 109–126.
- Bartholy, J., Radics, K., Bohoczky, F., 2003: Present state of wind energy utilisation in Hungary: policy, wind climate, and modelling studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 7, 175–186.
- Mortensen, N.G., Landsberg, L., Troen, I., Petersen, E.L., 1993: *Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP)*. Risø Nat. Labs, Roskilde, Denmark, 126p.
- Péliné, N. Cs., Radics, K., Bartholy, J., 2011: Seasonal variability of wind climate in Hungary. *Acta Silv. Lign. Hung.* 7, 39–48.
- Radics K., 2004: A szélenergia hasznosításának lehetőségei Magyarországon: hazánk szélklimája, a rendelkezésre álló szél-

energia becslése és modellezése. *Doktori értekezés*, ELTE Meteorológiai Tanszék, 137p.

Radics, K., Bartholy, J., 2002: Selected wind characteristics and potential use of wind energy in Hungary. Part II. *Időjárás* 106, 59–74.

Radics, K., Bartholy, J., 2008: Estimating and modelling the wind resource of Hungary. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 874–882.

Radics K., Bartholy J., Péliné N. Cs., 2008: A szélmező átlagos és extrém értékeinek térbeli és időbeli változása hazánkban. *EU Szélnap kötet*, Debrecen.

Radics, K., Bartholy, J., Péliné, N.Cs., 2010: Regional tendencies of extreme wind characteristics in Hungary. *Advances in Science and Research* 4, 43–46.

Troen, I., Petersen, L., 1989: *European Wind Atlas*. Risø Nat. Labs, Roskilde, Denmark, 656p.