



Péliné Németh Csilla<sup>1</sup> – Dr. Radics Kornélia<sup>2</sup> – Dr. Bartholy Judit<sup>3</sup>

## REANALÍZIS IDŐSOROK SZÉLKLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATA<sup>4</sup>

*A klímaváltozás globális és regionális hatásainak elemzésére, következményeinek becslésére a XXI. század modern társadalmában egyre nagyobb az igény, hiszen a különböző időjárási események hatására elszenvedett anyagi károk mértéke meredeken emelkedik az egyre költségesebb, összetettebb infrastruktúrák (építészet, közlekedés, repülés) alkalmazása miatt. Kutatásaink során az ERA Interim reanalízis adatbázis szélsőérték idősorán (1979-2010), valamint a hazai mérőállomásokon rögzített órás adatsorokon elemeztük a magyarországi szélmező statisztikai jellemzőit, a szélsőértékek térbeli és időbeli tendenciáit. Vizsgálataink eredményét összevetettük egymással annak megállapítása érdekében, hogy a klímamodellek bemenő adataként alkalmazott reanalízis mezők klimatikus jellemzői mennyire esnek egybe a mért adatokból levezetett tulajdonságokkal. Végezetül, az ECHAM RegCM regionális klímamodell hazai adaptálását és verifikációját követően elemeztük a közeljövőre (2021-2050) vonatkozó modellfuttatások talajszél-előrejelzéseit.*

### WIND DATA SERIES ANALYSES OVER HUNGARY

*Nowadays analysing and estimating global and regional effects of climate change become more acute at the modern society due to using more costly and complex infrastructures (architecture, transport, aviation). In the demonstrated research different parameters, spatial and temporal tendencies of Hungarian wind climate were estimated based on the 10-metre wind speed time series of ERA Interim reanalyses data (1979-2010). Furthermore, results were compared with statistics of hourly measured wind speed and wind gust values in order to learn whether characteristics of ERA Interim is widely used as input data of any climate model coincide with measured time series. Finally, 10-metre wind field forecasts were analysed for the near future (2021-2050) based on ECHAM RegCM regional climate model.*

## 1. FELHASZNÁLT ADATOK

### 1. 1. ERA Interim reanalízis adatbázis szélmezői

A földfelszíni, magaslégköri és űrbázisú meteorológiai mérőeszközök és rendszerek által szolgáltatott nagymennyiségű mérési és megfigyelési adat feldolgozása eredményeképpen napjainkban a rácshálózatra számított reanalízis mezők képezik az éghajlati modellek bemenő adatait. A reanalízis mezőkkel futtatott klímamodellek elengedhetetlen, mással nem vagy nehezen helyettesíthető ismerteteket szolgáltatnak a modern klímakutatás számára.

Vizsgálatainkhoz a jelenleg legfrissebb globális reanalízis adatbázist (ERA Interim) alkalmaztuk, melyet az Európai Középtávú Meteorológiai Előrejelző Központ (ECMWF) állított elő kutatók, klímamodellezők részére. Az időben folyamatosan bővülő ERA Interim napi adatokból és havi átlagokból álló mezőinek  $1,5 \times 1,5^\circ$  felbontású, kvázi real-time adatbázisa az Inter-

<sup>1</sup> MH Geoinformációs Szolgálat, pelinenemeth.csilla@mhtehi.gov.hu

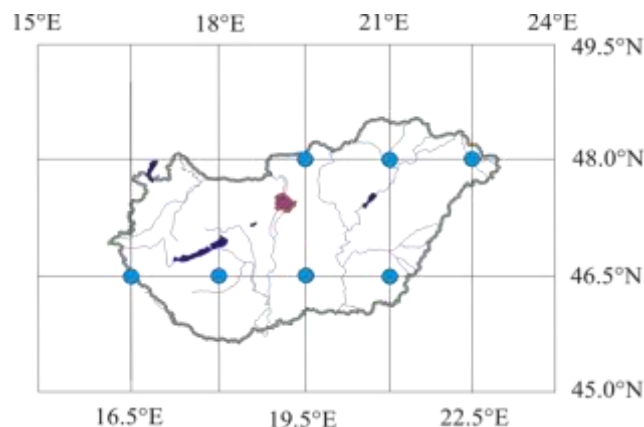
<sup>2</sup> MH Geoinformációs Szolgálat, radics.kornelia@mil.hu

<sup>3</sup> ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, bari@ludens.elte.hu

<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt, egyetemi docens, Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

netről szabadon letölthető az 1979. január 1-től 2011. december 31-ig terjedő időszakra (2012. március 25-én). Az adatsorok a meteorológiában elterjedt szabványos bináris formátumokban (GRIB és netCDF) állnak rendelkezésre 128 földfelszíni és magaslévköri paraméterre a teljes Földet, illetve a definiált területet lefedő rácshálózati pontokra. [1]

A korábban hasonló célokra, széleskörűen alkalmazott ERA-40 reanalízis adatbázishoz (1957-2002) képest az ERA Interim tekintetében előrelépést jelent az alkalmazott adatasszimilációs módszerek és a különböző észlelések, megfigyelések figyelembe vételének módja. A numerikus előrejelző modellek eredményességét nagymértékben befolyásolja a kezdeti feltételek (kezdeti érték probléma) meghatározása, valamint az alkalmazott adatasszimiláció. Az ERA Interim esetében a négydimenziós variációs adatasszimilációt (4D-Var) alkalmazták, ahol az idő a negyedik dimenzió, szemben a korábban elterjedt háromdimenziós módszerrel (mely a modell napi hibáját figyelmen kívül hagyja). A 4D-Var módszer nagy előnye, hogy a nem szinoptikus megfigyeléseket (pl.: műholdas mérések) a hozzájuk tartozó időpontokhoz kötötten vehetjük figyelembe. Az ERA Interim mezők pontosságát tovább növelte, hogy finomították a nedvességi mezők analízisét, illetve továbbfejlesztették a modell fizikai alapjait és az adatellenőrzési módszereket. [2][3]



1. ábra A vizsgálatba bevont ERA Interim (28 db) rácspontok

Kutatásaink során a térben és időben homogén, rácshálózatra (1,5°) számított (10 méteres magasságra vonatkozó) u és v szélkomponensmezők 6 órás idősorait elemeztük.

## 1. 2. Szinoptikus mérőállomások széladatai

Vizsgálatainkhoz 36 hazai szinoptikus mérőállomás órás szélirány, szélesség és szélökés adatsorát (1975-2010) használtuk fel. Elvégeztük a rendelkezésre álló adatok minőségi és mennyiségi ellenőrzését. [4] Nagy figyelmet fordítottunk az állomások metaadataira, melyek figyelembe vételével végül – a '90-es évek végén automatizált – 26 állomás 14 éves adatsorára vonatkozóan (1997-2010) számítottuk ki a szélklíma paramétereit.

## 1. 3. ECHAM5 RegCM regionális klímamodell szélmezői

Az ECHAM5 (The European Community – Hamburg) általános cirkulációs modellt a Max Planck Meteorológiai Intézet fejlesztette az ECHAM modellszalárból (eredendően az ECMWF által fejlesztett globális előrejelző modell volt), melyet a klímakutatás céljaira módosítottak. A háromdimenziós, 10 km horizontális felbontású, 18 vertikális szinttel rendelkező, szigma koordináta rendszert alkalmazó RegCM klímamodell az ICTP (International Centre for Theoretical Physics) inté-

zetnek köszönhetően áll az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékének rendelkezésére. A tanszéken folyó klímakutatás egyik lényeges eleme volt a modell hazai adaptációja a Kárpát-medencére az ERA-40 reanalízis mezők felhasználásával. Az elmúlt évtized végén a modell validációját is elvégezték a tanszéken a harmincéves referencia intervallum (1961-1990) adataival. A RegCM finomfelbontású modell kezdeti és peremfeltételeit a 25 km rácstávolságú, A1B közepes klímaváltozási forgatókönyvvel futtatott ECHAM klímamodellből veszi át.

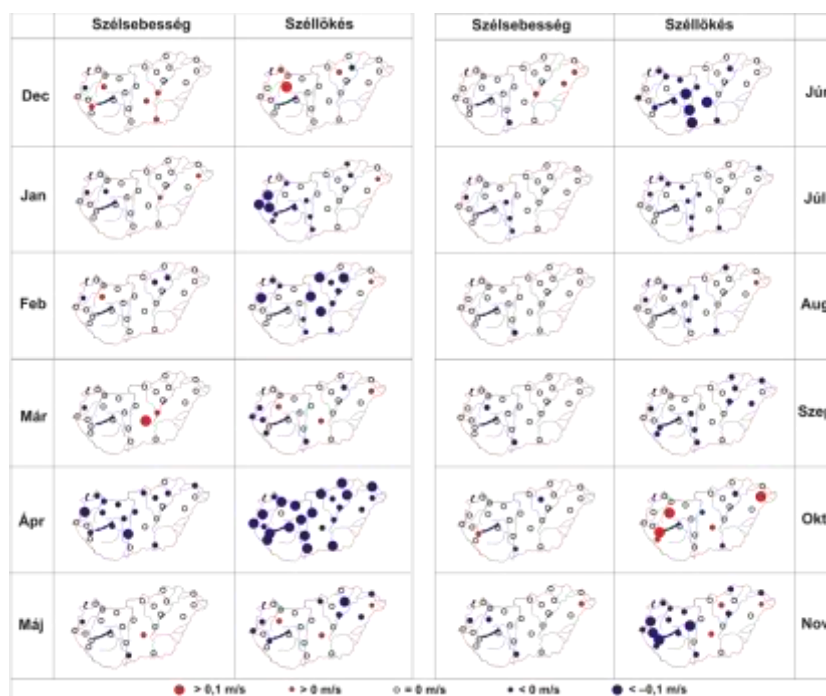
## 2. EREDMÉNYEK

### 2. 1. Havi vizsgálatok 1997-2010 időszakra

A szinoptikus állomások szélesség és szélőkés adatai esetében minden hónapra meghatároztuk az átlagok és a különböző percentilisek értékeit, majd ezek változását elemeztük az időszak folyamán (2-4. ábra). Piros színnel az emelkedő, kékkel a csökkenő tendenciákat jeleltük, a nagyobb változást nagyobb körátmérő jelzi.

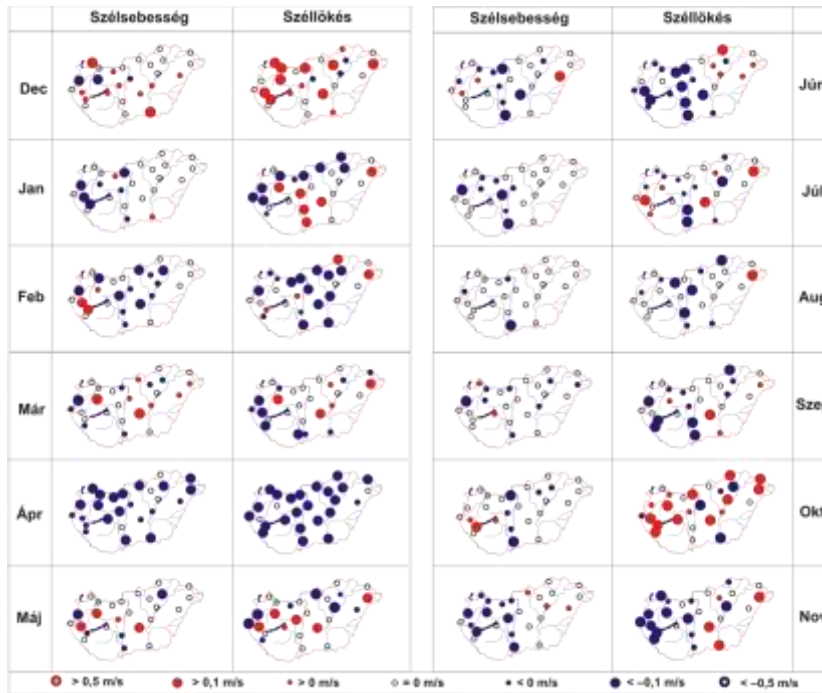
Korábbi tanulmányainkban a percentilisek teljes évekre számított hároméves csúzóátlagainak alakulását vizsgáltuk. [4] Akkor a néhány állomáson előforduló emelkedés mellett az esetek többségében csökkenő tendencia volt jellemző. Megfigyelhető volt továbbá az ország területi megosztottsága, a Dunántúlon döntően csökkenések, az Alföldön kismértékű emelkedések fordultak elő.

Az éves tendenciák részletesebb megismerése érdekében havi statisztikákat számoltunk. [5] A 2. ábrán a szélesség és szélőkés átlagainak havi változását mutatjuk be. Különösen szembevető csökkenés figyelhető meg áprilisban, melynek mértéke a szélőkéseket tekintve még intenzívebb. Emelkedés az ország területén elszórtan – április, július és szeptember hónapokat kivéve – fordult elő. Júliusban, augusztusban és szeptemberben minimális eltérések mutatkoztak a vizsgált időszakban.

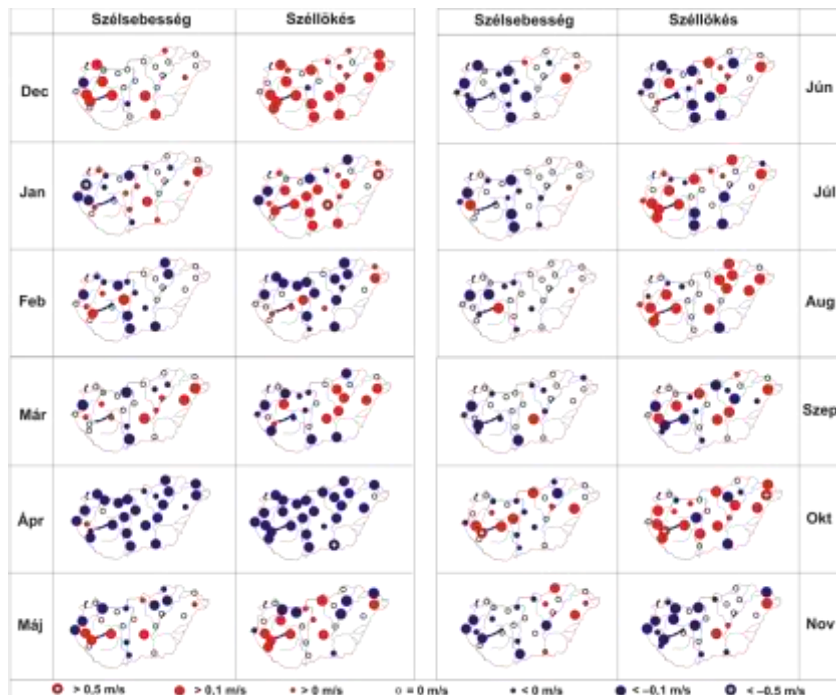


2. ábra A szélesség és a szélőkés átlagainak havi változása 1997-2010 között

A 3-4. ábra a vizsgált percentilisek (90% és 99%) havi változását mutatja. Az eltérések mértéke az egyre magasabb percentilis értékkel jól láthatóan növekszik. Az áprilisi csökkenések dominanciája tovább nőtt, és ezzel párhuzamosan minden hónapban intenzívebb emelkedések jelentek meg. Az ország területi megosztottsága kevésbé szembetűnő, mint ahogy azt az éves vizsgálatoknál láttuk. A csökkenő tendenciák júniusban és novemberben figyelhetők meg a Dunántúlon, miközben novemberben az Alföldön emelkedést tapasztaltunk.



3. ábra A szélsebesség és a széllökés havi percentiliseinek (90%) változása 1997-2010 között



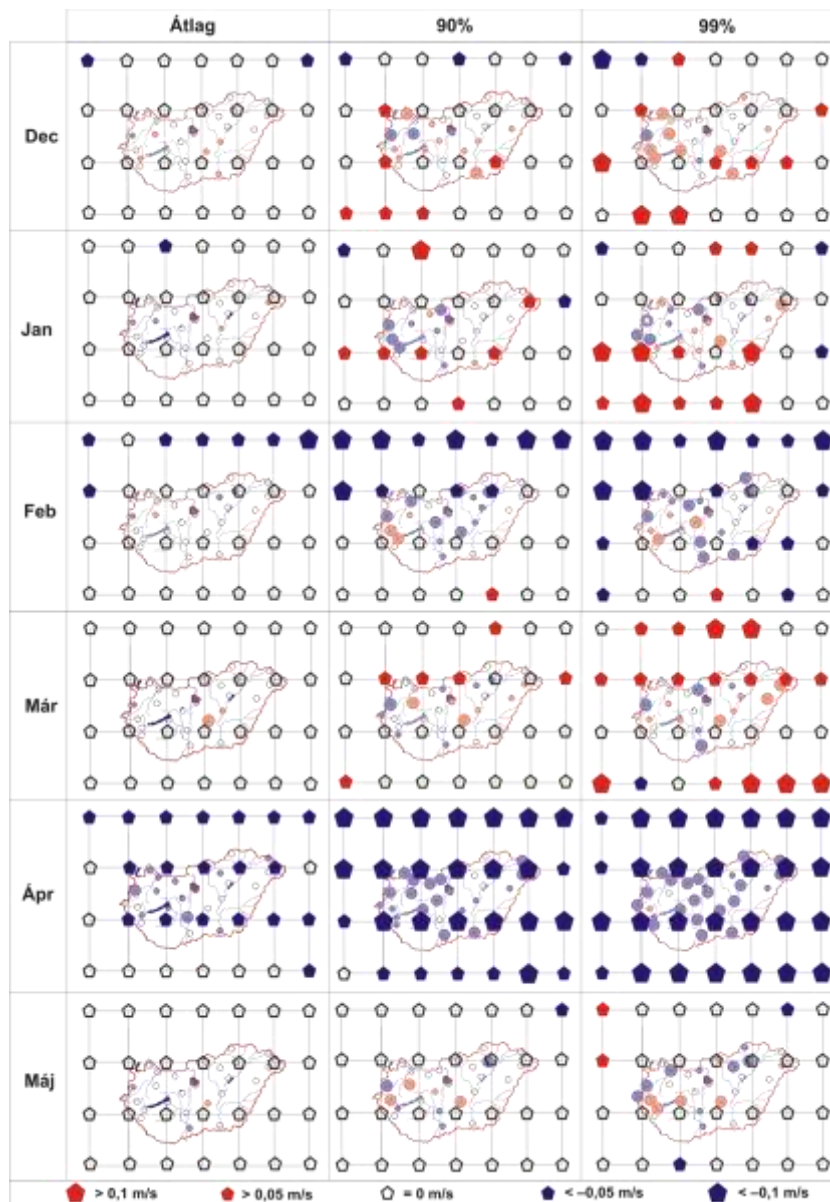
4. ábra A szélsebesség és a széllökés havi percentiliseinek (99%) változása 1997-2010 között

A szinoptikus mérőállomások adatainak idősorai erőfeszítéseink ellenére – minőségi és meny-

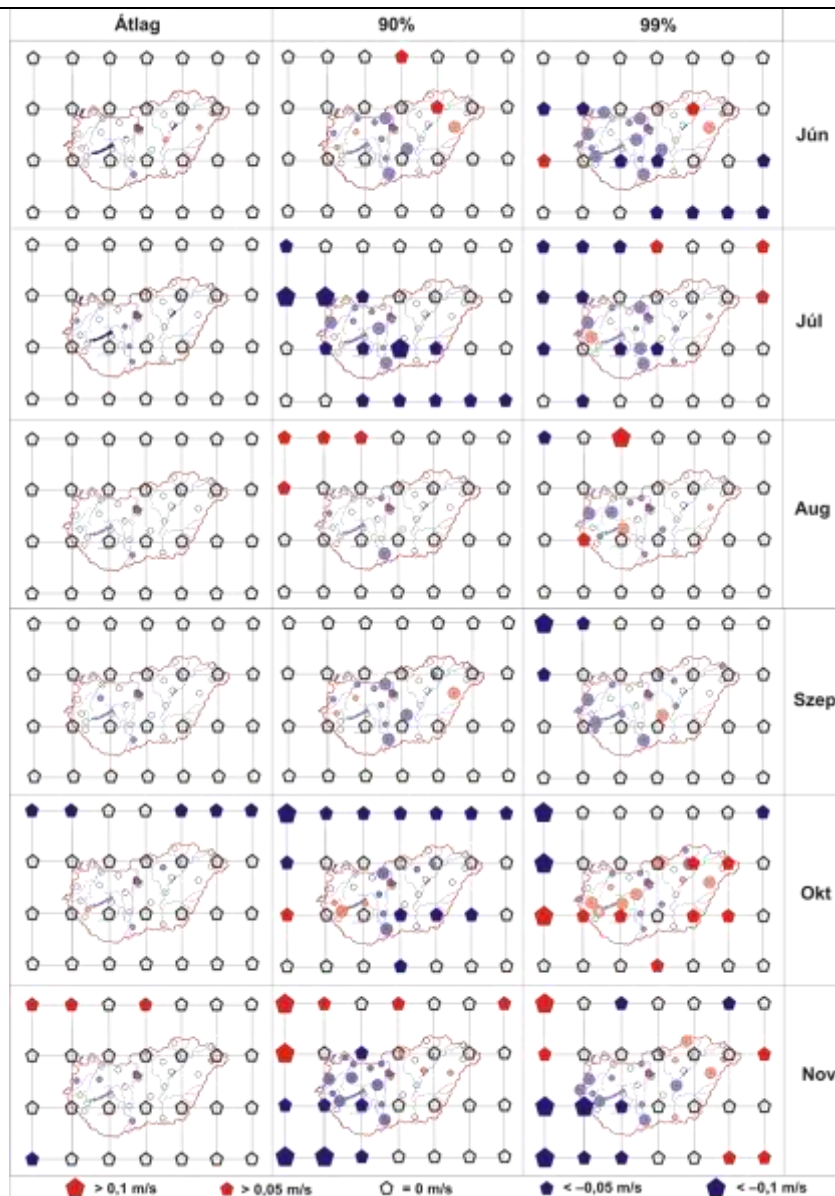


nyiségi adatellenőrzés, adatkorrekció, metaadatok figyelembe vétele – térbeli és időbeli inhomogenitásokat, adathiányokat tartalmazhatnak az állomások költözése és megszűnése, valamint a mérési környezet, a mérőműszer, illetve az alkalmazott mérési módszer, sőt az észlelő személyének megváltozása miatt is. Emellett az egyenetlen állomáshálózat, illetve az adatok interpolálási problémaköre nagyban megnehezíti az idősorok korszerű térinformatikai eszközökkel történő térképi ábrázolását.

Az adatsorok homogenizálását általában többféle forrásból származó mérési eredmények figyelembe vételével, matematikai eszközök alkalmazásával végzik. Erre jó példa az ERA Interim adatbázis, melynek durva felbontású, publikus változatán szintén elvégeztük a szélműző 14 éves idősorainak elemzését. Az 5-6. ábrán együtt ábrázoltuk a fent bemutatott mérési adatsorok alapján kapott tendenciákat a reanalizált mezők rácspontokra számított tendenciáival. A körök a hazai szinoptikus mérőállomások, az ötszögek az ERA Interim rácspontok tendenciáit jellemzik a vizsgált időszakban.



5. ábra. Az egyes évek havi szélsébség átlagaira és a vizsgált percentiliseikre (90% és 99%) illesztett lineáris trend együtthatójának változása 1997-2010. időszakban a téli és tavaszi hónapokban



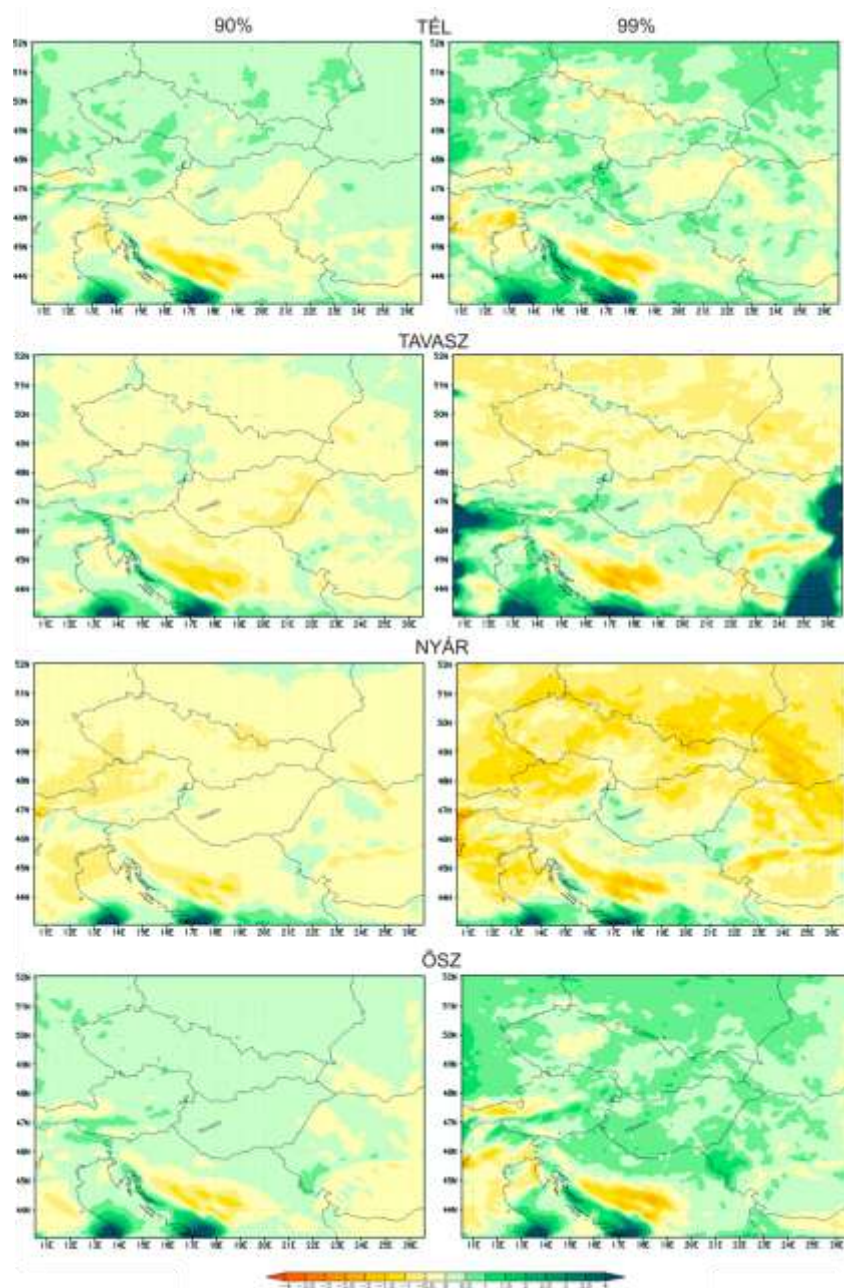
6. ábra Az egyes évek havi szélesség átlagaira és a vizsgált percentiliseikre (90% és 99%) illesztett lineáris trend együtthatójának változása 1997-2010. időszakban a nyári és őszi hónapokban

Az adatsorok legjobb egyezése áprilisban figyelhető meg. Az októberi és decemberi emelkedések, illetve a júliusi és novemberi csökkenések jó közelítéssel ugyancsak szoros kapcsolatban állnak egymással, azonban a változás mértéke az ERA Interim esetében kisebb. A reanalízis trend nem mutatott számottevő változást februárban, májusban, augusztusban és szeptemberben, emellett – jellemzően a magasabb percentilisek esetén – egyes mérőállomásokon határozott trendek jelentek meg. Ellentétes előjelű változást Nyugat-Magyarországon találtunk január hónapban.

Az eltérések további vizsgálatok szükségességét vetik fel. Tervezzük, hogy a közeljövőben elvégezzük az ECMWF tagországok részére hozzáférhető és az Országos Meteorológiai Szolgálat által rendelkezésünkre bocsátott ERA Interim finomabb felbontású (0,5°) reanalízis szélmezők vizsgálatát és összehasonlítását a mérési eredményekkel.

## 2. 3. ECHAM RegCM évszakos vizsgálatok

A közelmúlt szélviszonyainak vizsgálata mellett megkezdtük a közeljövőre, illetve a XXI. század végére a Kárpát-medence területére vonatkozó éghajlati előrejelzések elemzését is. A 7-8. ábrán az évszakos percentilisek (90% és 99%) és a 10 méterre számított szélmező- maximumok referencia-időszakhoz (1961-1990) viszonyított változásait mutatjuk be az ECHAM RegCM regionális klímamodell eredményei alapján. A sárga és narancs árnyalatok a csökkenést, a zöld és kék színek az emelkedést jelzik.



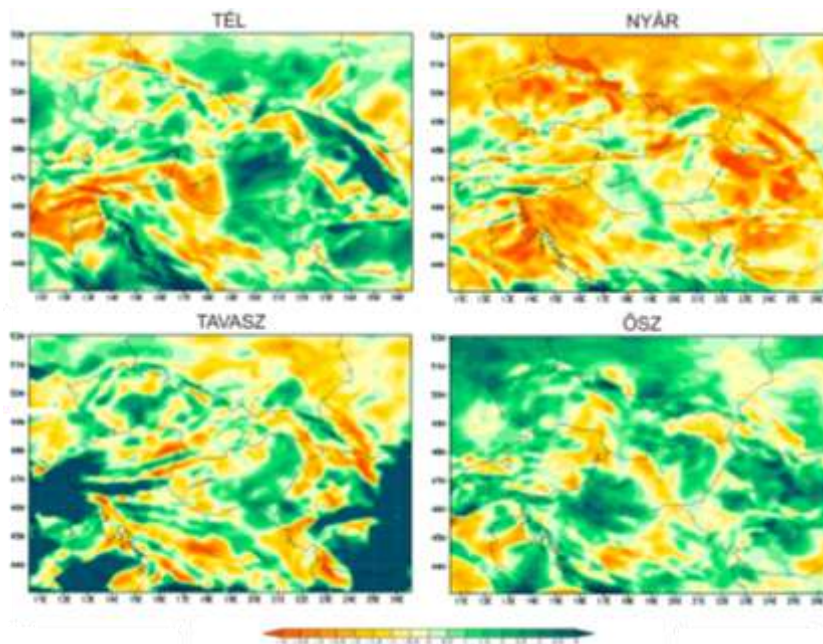
7. ábra ECHAM RegCM szélmező évszakos percentiliseinek (90% és 99%) változása a közeljövőben (2021-2050, referencia-időszak: 1961-1990)

A 7. ábráról leolvasható, hogy Magyarország területén a várható változás mértéke nem haladja meg az 1,5 m/s-ot. A változás jellegét tekintve elmondható, hogy a 90%-os percentilisekben tavasszal és nyáron csökkenést, ősszel növekedést prognosztizál a mo-



dell. A 99% percentilis térképeken a nyugati országrészben megfigyelhető a szélsébség növekedése, míg keleten annak enyhe csökkenése jelenik meg az őszt kivéve minden évszakban.

A 8. ábrán a szélsébség évszakai maximumainak változását ábrázoltuk. A különbségeket az 1961-1990. harmincéves referencia intervallumra számított szélsébség értékekkel képeztük. A maximumok vonatkozásában akár 4 m/s-ot is meghaladó eltérések is előfordulnak hazánk területén. A teljes térkép kivágatot tekintve nyáron a csökkenő, ősszel az emelkedő tendenciák dominálnak a 7. ábrával összhangban. Télen a Dunántúlon intenzív csökkenések, a Dunától keletre a szélmaximumok emelkedése figyelhető meg. Tavasszal a változás mértéke kisebb országhatárainkon belül, mint télen.



8. ábra ECHAM RegCM szélmező évszakai maximumainak változása a közeljövőben (2021-2050, referencia-időszak: 1961-1990)

Az átlagos szélsébség évszakai minimumainak, maximumainak, percentiliseinek modellezése mellett a közeljövőben tervezzük ugyanezen szélsőértékek havi elmozdulásának elemzését, valamint a szélökések évszakai és havi tendenciáinak vizsgálatát is annak érdekében, hogy átfogó képet kapjunk a hazánk szélklímájának a közeli és távoli jövőben várható változásairól.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetünket fejezzük ki a Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálatának a szinoptikus meteorológiai állomások széladatainak használatáért.

Az elvégzett kutatásokat részlegesen az alábbi pályázatok támogatták: 2006/TKI/246, T-049824, K-67626, K-69164, K-78125.



## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ERA Interim u és v szélkomponensek 45-49,5°É és 15-24°K területre 1997. január 1. és 2010. december 31. között url: [http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim\\_daily/](http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/) (2011.03.09.)
- [2] BERRISFORD, P. – DEE, D. P. – FIELDING, K. – FUENTES, M. – KÅLLBERG, P. – KOBAYASHI, S. – UPPALA, S. M. (2009): The ERA-Interim Archive. ERA Report Series No. 1. ECMWF: Reading, UK.
- [3] DEE, D. P. – UPPALA, S. M. – SIMMONS – A. J., BERRISFORD – P., POLI, P. – KOBAYASHI, S. – ANDRAE, U. – BALMASEDA, M. A. – BALSAMO, G. – BAUER, P. – BECHTOLD, P. – BELJAARS, A. C. M. – VAN DE BERG, L. – BIDLOT, J. – BORMANN, N. – DELSOL, C. – DRAGANI, R. – FUENTES, M. – GEER, A. J. – HAIMBERGER, L. – HEALY, S. B. – HERSBACH, H. – H'OLM, E. V. – ISAKSEN, L. – KÅLLBERG, P. – KÖHLER, M. – MATRICARDI, M. – MCNALLY, A. P. – MONGE-SANZ, B. M. – MORCRETTE, J.-J. – PARK, B.-K. – PEUBEY, C. – DE ROSNAY, P. – TAVOLATO, C. – THÉPAUT, J.-N. – VITART, F. (2011): The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society 137: 566p.
- [4] PÉLINÉ N. Cs., RADICS K., BARTHOLY J.: Hazánk szélklímájának térbeli és időbeli változásai (1997-2010). Repüléstudományi Közlemények. Repüléstudományi Konferencia 2011 – Véget ért a MiG-korszak tudományos konferencia kiadványa, 2011/2. különszám ([www.szrfk.hu/rtk/](http://www.szrfk.hu/rtk/)), 2011.
- [5] PÉLINÉ N. Cs., RADICS K., BARTHOLY J.: Seasonal variability of wind climate in Hungary. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica, Vol. 7, p. 39-48, 2011.