

A szélmező várható változásai hazánkban a RegCM regionális klímamodell alapján

Péliné Németh Csilla

MH Geoinformációs Szolgálat

Budapest, 2018. február 1.

Vázlat



- Bevezetés
 - Globális felmelegedés – globális éghajlati modellek
 - Regionális éghajlati modellek – igény a klímaváltozás globális és regionális hatásainak elemzésére, következményeinek becslésére
 - Célkitűzések
- Extrémumok statisztikája - eloszlások
- Szélindexek
- Visszatérési értékek
- Szélklíma várható változásai - eredmények
- Összefoglalás

Bevezetés

- **Globális** felmelegedés – globális éghajlati modellek
- Megfigyelt globális hatások
 - Nyugati szelek övezetének szélsősége gyengült
 - Felmelegedés sarkok közelében erősebb
 - Éghajlati övezetek és ciklonpályák pólus felé tolódtak
- **Regionális** cirkuláció vizsgálata
 - Szélklimatikus paraméterek elemzése különböző adatsorok alapján
 - Regionális éghajlati modellek
 - Környezeti hatások, alkalmazkodás



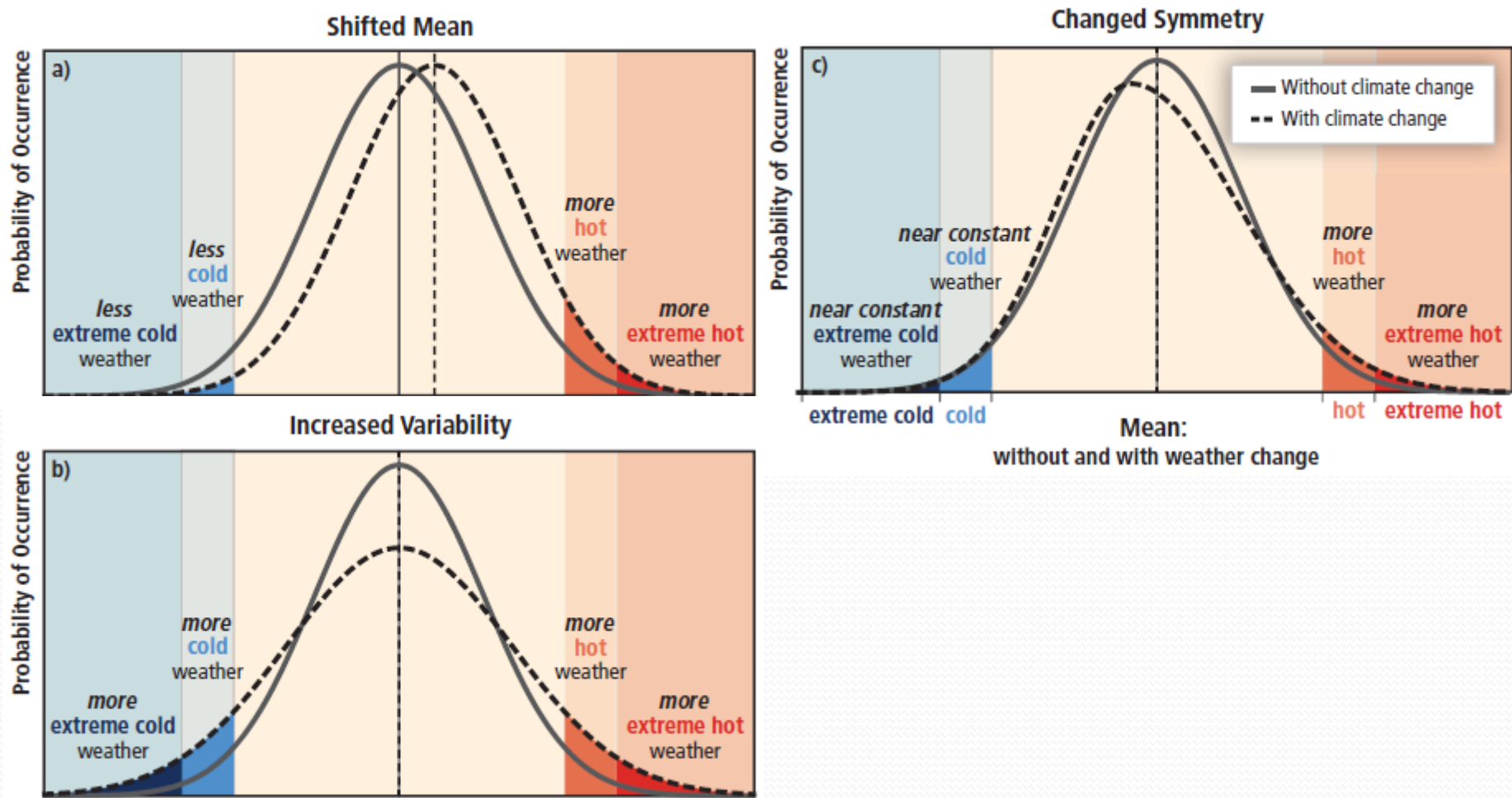
Bevezetés – Célkitűzések

- *Hazai szélklíma* paramétereinek és szélsőségeinek ellenőrzött, megbízható adatsorokon történő részletes elemzése
- Szinoptikus mérőhálózat szélesebesség és szellőkés adatainak *homogenizálása*
- Extrémumok jellemzése
 - szélesebesség maximumok, szellökések eloszlásának vizsgálata, közelítés matematikai függvényekkel (GEV)
 - eloszlások paramétereinek meghatározása
 - visszatérési periódusok becslése
 - felső percentilisek vizsgálata
 - szintátlépések száma
 - szélindexek tendenciáinak vizsgálata
- A *RegCM* regionális klímamodell talajközeli szélmezőinek validációja, hibakorrekciója
- Jövőben *várható változások* becslése



Extrémumok statisztikája

Éghajlatváltozás – szélsőségek



Mit tekintünk szélsőségesnek?

- Egy *éghajlati változó* (pl.: hőmérséklet, szél) vagy akár egy *hatás* karakterisztikája
- *Változó* - ritkán, kis valószínűséggel előforduló értékek
- *Hatás* - kevésbe egyértelműen írható le, hiszen a hatások egzakt megfogalmazása sem lehetséges
 - ritka események (pl.: tornádó) sem feltétlenül okoznak károkat (lakatlan területen)
 - a nem különösebben extrém események (pl.: viharos szél) is romboló hatással lehetnek
- Sérülékenység, alkalmazkodás
- Felkészülés szerepe

Extrémumok statisztikája

- Extrém = kis valószínűséggel előforduló esemény (szélsőértékkel együttesen kell vizsgálni!)
- *Kis valószínűségű:*

Szeged, július havi középhőmérséklet $21,0-21,2^{\circ}\text{C}$ / $21,0-21,1^{\circ}\text{C}$

Nagy valószínűségű: 21°C körüli hőmérséklet ($> 18^{\circ}\text{C}$ körüli)

- Maximumok/minimumok eloszlása
- Például
 - Torony építése – 50 év alatt előforduló max. szél mekkora valószínűséggel milyen értéket haladhat meg

Extrémumok statisztikája

- *Alapfeltételezés*: Minta maximumának/minimumának eloszlása felírható a minta eloszlásának ismeretében
- Gyakorlatban nem mindig helyes ez a feltételezés
 - Eloszlás illeszkedik (χ^2 -próba) a minta egészén \leftrightarrow Az illeszkedés a ritkán bekövetkező értékek tartományán is megfelelő?
(mintaelemek többsége nem innen származik)
- Különböző alapeloszlások, extrémumok hasonló viselkedése
- Határeloszlás létezése \rightarrow extrémumok eloszlásának modellezése

Extrémumok statisztikája

- Extrémumok jellemzése
 - Szélsébség maximumok, széllökések eloszlásának vizsgálata, közelítés matematikai függvényekkel
 - Eloszlások paramétereinek meghatározása
 - Visszatérési periódusok számítása
 - Felső percentilisek
 - Szintátlépések száma
 - Szélindexek

Extrémumok statisztikája

- Háromparaméteres extrém érték eloszlása (GEV) – Fischer-Tippet eloszlás
 - Gumbel (1. típus)
 - Frechet (2. típus)
 - Weibull (3. típus)

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

Notation GEV(μ, σ, ξ)

Parameters $\mu \in \mathbf{R}$ — location,
 $\sigma > 0$ — scale,
 $\xi \in \mathbf{R}$ — shape.

Support $x \in [\mu - \sigma/\xi, +\infty)$ when $\xi > 0$,
 $x \in (-\infty, +\infty)$ when $\xi = 0$,
 $x \in (-\infty, \mu - \sigma/\xi]$ when $\xi < 0$.

pdf $\frac{1}{\sigma} t(x)^{\xi+1} e^{-t(x)}$, where

$$t(x) = \begin{cases} \left(1 + \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \xi \right)^{-1/\xi} & \text{if } \xi \neq 0 \\ e^{-(x-\mu)/\sigma} & \text{if } \xi = 0 \end{cases}$$



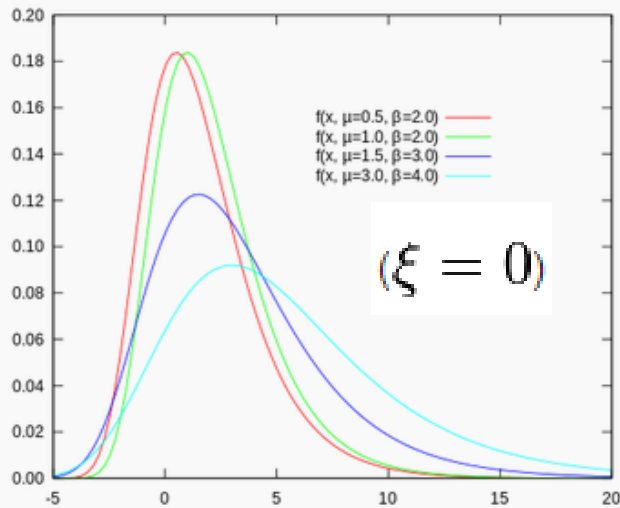
Gumbel eloszlás

$$F(x; \mu, \sigma, 0) = e^{-e^{-(x-\mu)/\sigma}}$$

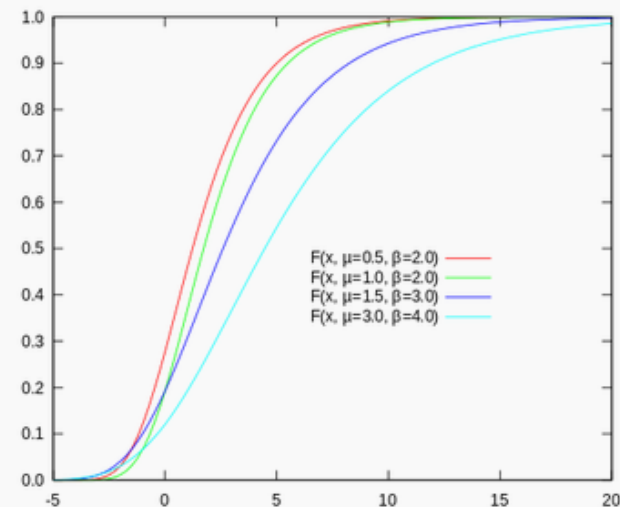
- Emil Julius Gumbel (1891–1966)
- Maximumok (minimumok) eloszlása
 - Folyók éves maximális vízállása
 - Napi csapadék havi és éves maximuma
 - Szélmaximumok eloszlása
- Visszatérési periódusok számítása

Gumbel

Probability density function



Cumulative distribution function



Visszatérési periódus



- Olyan küszöbérték, amelyet minden visszatérési periódusban átlagosan egyszer ér el vagy lép túl a vizsgált változó értéke
- Gumbel eloszlás illesztése
- Valószínűségi sűrűségfüggvény (PDF): $f(x) = e^{-x} e^{-e^{-x}}$
- Kumulatív eloszlás függvény (CDF): $F(x) = e^{-e^{-x}}$
- Visszatérési periódus becsléséhez CDF inverze szükséges, ami egy percentilis függvény: $G(p) = -\ln(-\ln(p))$
- $G(p)$ értékeit a növekvő sorrendbe rendezett meteorológiai elem függvényében ábrázolva definíció szerint egy **egyenes** kapunk (Gumbel elo-ú a minta!!)

Visszatérési periódus



- *Extrém értékek becslése*: a pontokra illesztett egyenes egyenletéből kiszámítható az a szélsőérték, mely érték várhatóan 20, 50, 100 vagy akár 1000 évente átlagosan egyszer fordulhat elő $u_{max} = a * (-\ln(-\ln(p))) + b$

- Például:

perc. fv. értéke 99%-os percentilis esetén $G(p = 0,99) = 4,6$
($p = 1 - 1/100 = 0,99$)

- 100 éves visszatérési érték könnyen számítható u_{max}
- átlagosan 100 évente, egy adott évben $p=1/T=0,01$ valószínűséggel fordulhat elő a visszatérési érték, melynek bekövetkezésére azonban a 100 éves periódus folyamán nincs garancia

Visszatérési periódus



- Annak a valószínűsége, hogy a 100 éves visszatérési érték egy kiválasztott százéves periódusban bekövetkezik:

$$P = 1 - 0,99^{100} = 0,634$$

- Annak a valószínűsége, hogy kétszáz év alatt sem fordul elő, csupán

$$P = 0,134$$

$$u_{max} = a * (-\ln(-\ln(p))) + b$$

$$G(p = 0,99) = 4,6$$

$$(p = 1 - 1/100 = 0,99)$$

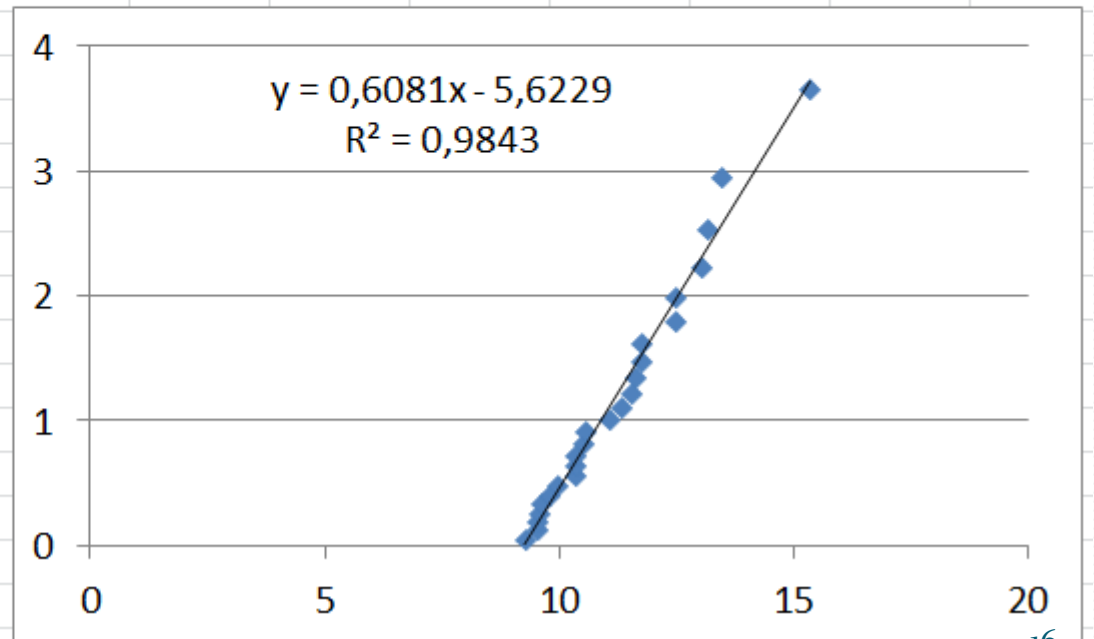
Visszatérési periódus

$$G(p = 0,99) = 4,6$$

$$u_{max} = a * (-\ln(-\ln(p))) + b$$

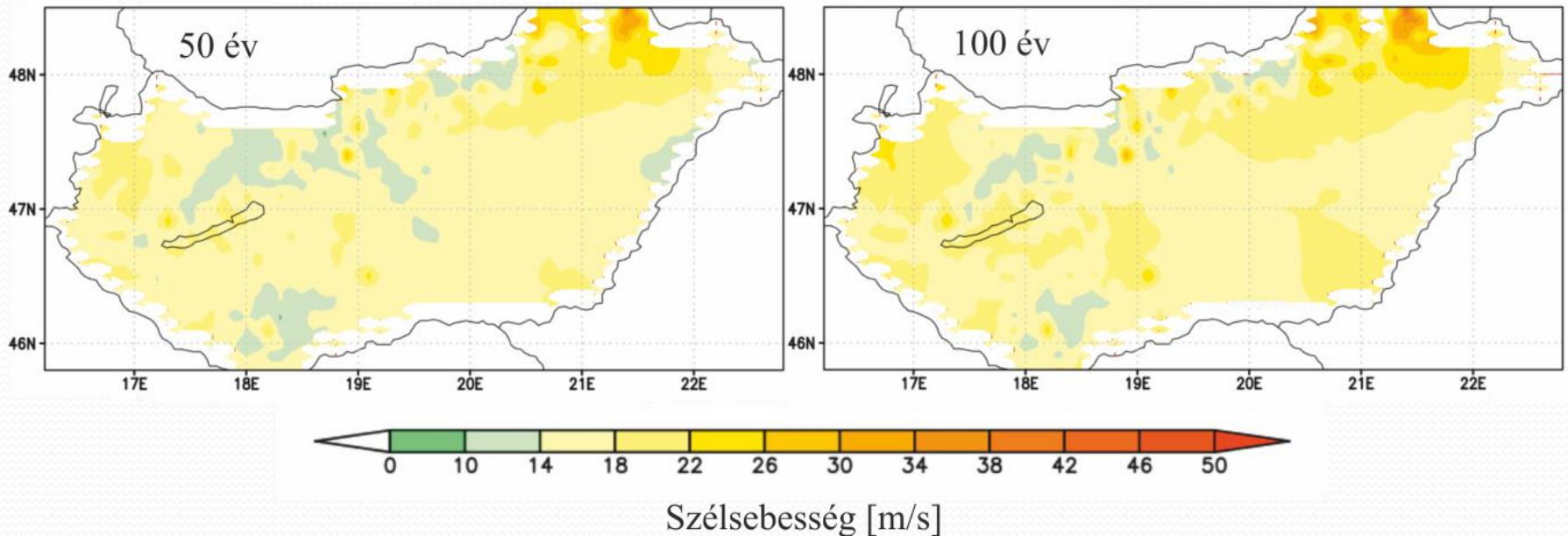


n=38							RP wind	
m	p(m)=m*(1/(n+1))	LN(-LN(p))	m	b	y	x		
	wind_napi							
1	0,025641026	7	-1,29844					
2	0,051282051	7,86	-1,0887					
3	0,076923077	7,94	-0,94194	0,608954	-5,63293	3,901939	15,65779 50 év	
4	0,102564103	8,33	-0,82298			4,600149	16,80437 100 év	
5	0,128205128	8,46	-0,71985					
6	0,153846154	8,5	-0,6269					
7	0,179487179	8,51	-0,54096					
8	0,205128205	8,7	-0,46003					
9	0,230769231	8,75	-0,38277					
10	0,256410256	8,8	-0,3082					
11	0,282051282	9,03	-0,2356					
12	0,307692308	9,04	-0,16437					
13	0,333333333	9,13	-0,09405					
14	0,358974359	9,17	-0,02421					
15	0,384615385	9,27	0,045509					
16	0,41025641	9,55	0,115441					
17	0,435897436	9,55	0,18591					
18	0,461538462	9,58	0,257231					
19	0,487179487	9,62	0,329723					
20	0,512820513	9,8	0,403723					



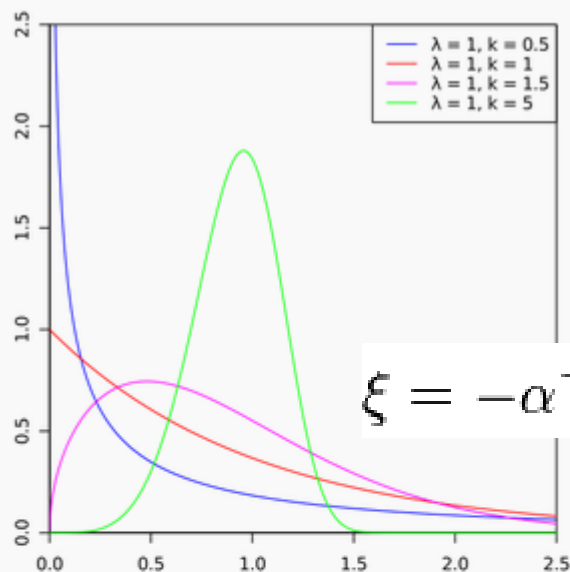
Visszatérési értékek (1961–2010)

A szélsébség a visszatérési értéket minden visszatérési periódusban átlagosan egyszer éri el vagy lépi túl (nem feltétlenül következik be!)



Weibull (2-Parameter)

Probability density function



$$\xi = -\alpha^{-1} < 0$$

Weibull eloszlás

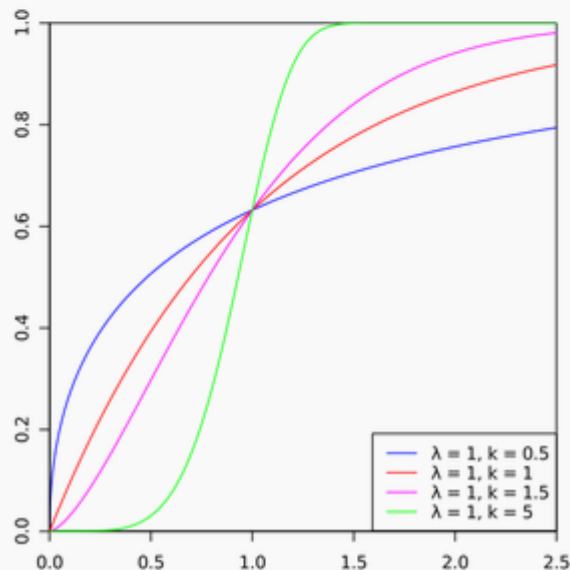
$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} e^{-(-(x-\mu)/\sigma)^\alpha} & x < \mu \\ 1 & x \geq \mu \end{cases}$$

where $\sigma > 0$.

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0, \\ 0 & x < 0, \end{cases}$$

- Ernst Hjalmar Waloddi Weibull (1887–1979)
- Speciális esetek:
 - Exponenciális eloszlás ($k = 1$)
 - Rayleigh eloszlás ($k = 2$)
 - Gauss eloszlás ($k = 3, 4$)
- Hibaanalízis
- Ipari termelés
- Szélesebesség eloszlása
- Szélenergia-termelés becslése

Cumulative distribution function



Weibull eloszlás

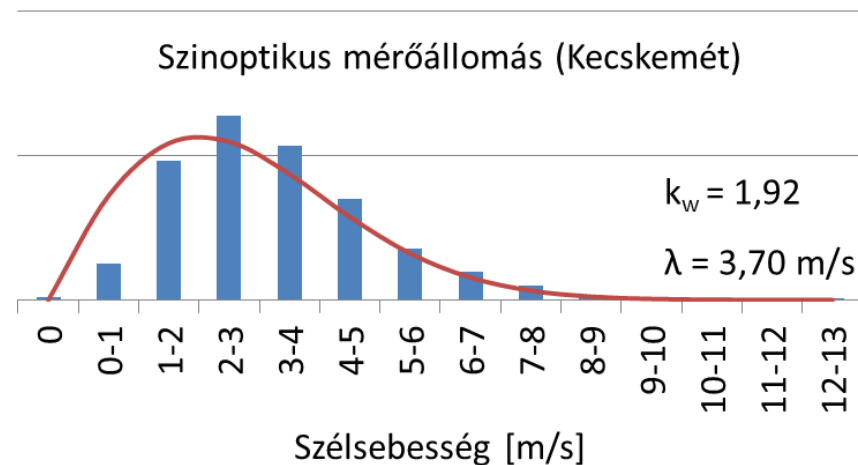
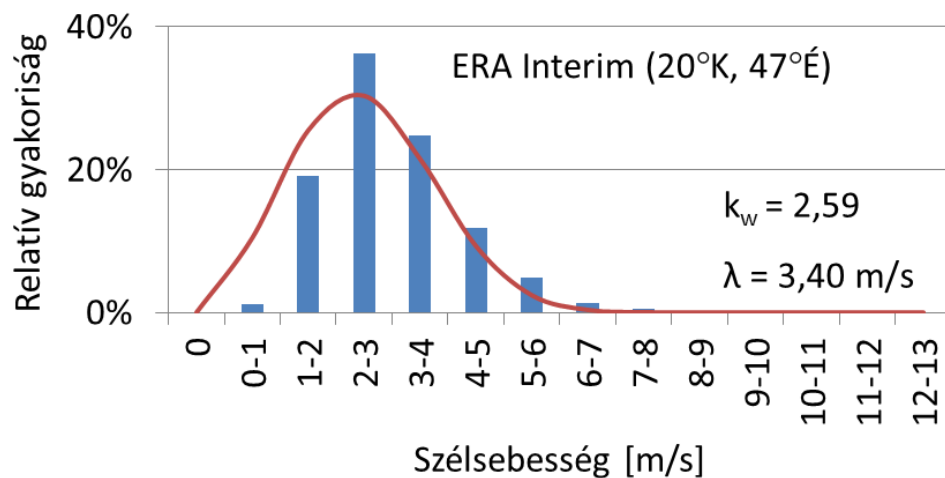
$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0, \\ 0 & x < 0, \end{cases}$$

- Átl. szélesség leírása Gamma függvénnyel
- λ [m/s] skálaparaméter
- k [-] alakparaméter

$$[\bar{u}] = \lambda * \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$$

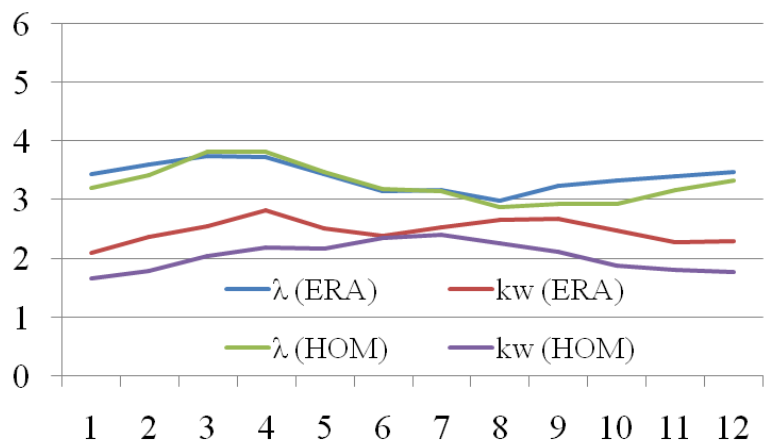
$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-u} u^{x-1} du$$

ERA Interim reanalízis adatbázis összevetése a mérési adatokkal (Weibull eloszlás illesztése)

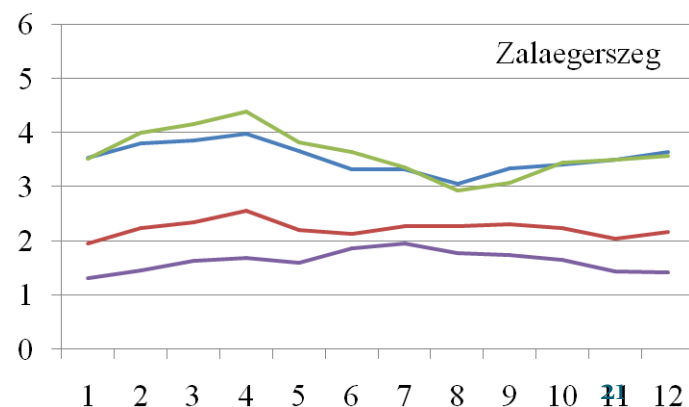
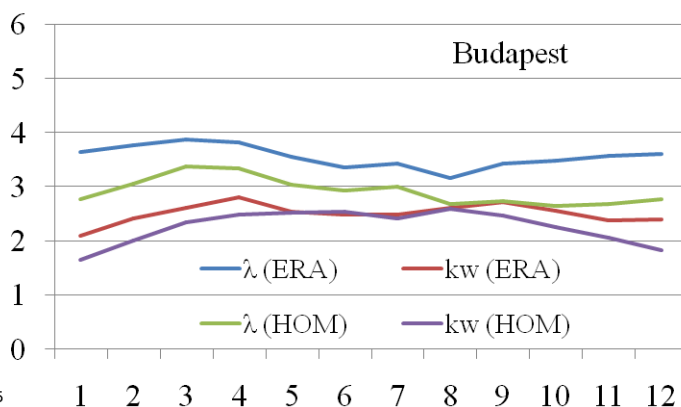
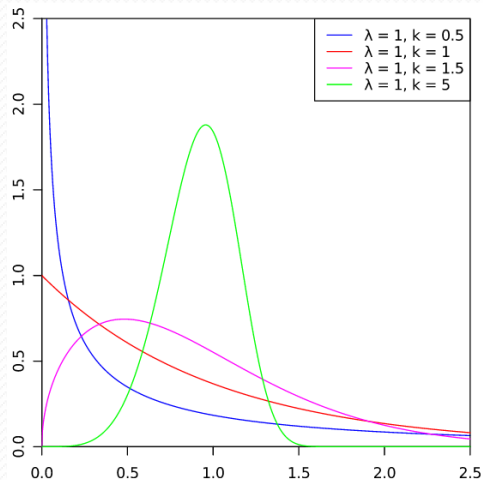


- ERA Interim adatbázis *alulbecsli* Kecskemét állomás szélességét
 - Skálaparaméter (átlagos szélességgel arányos) : $\lambda_{\text{ERA}} < \lambda_{\text{SYNOP}}$
 - Alaktényező: $k_{w \text{ ERA}} > k_{w \text{ SYNOP}}$
- A nagyobb szélességértékek előfordulási gyakorisága jóval alacsonyabb az ERA Interim esetében

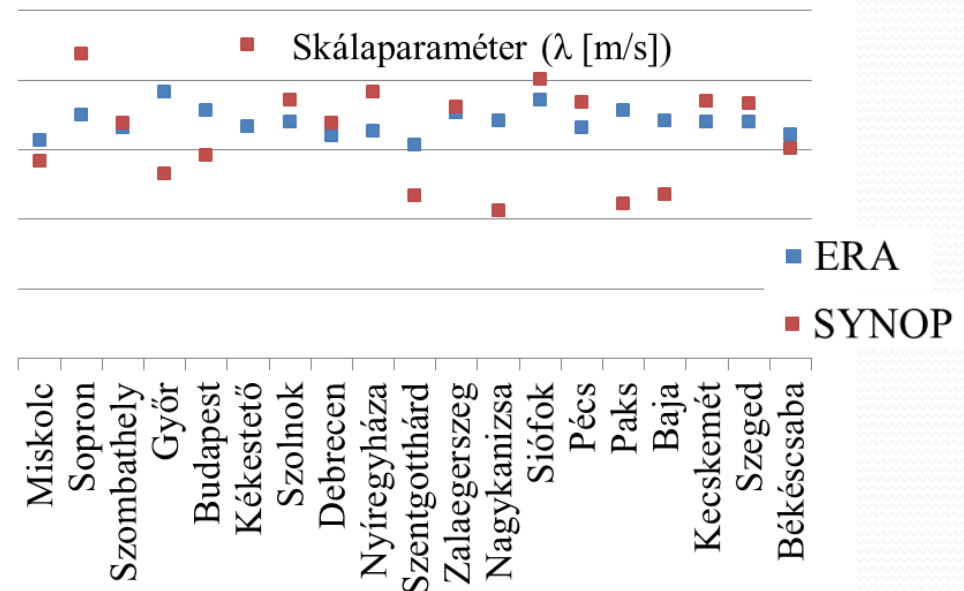
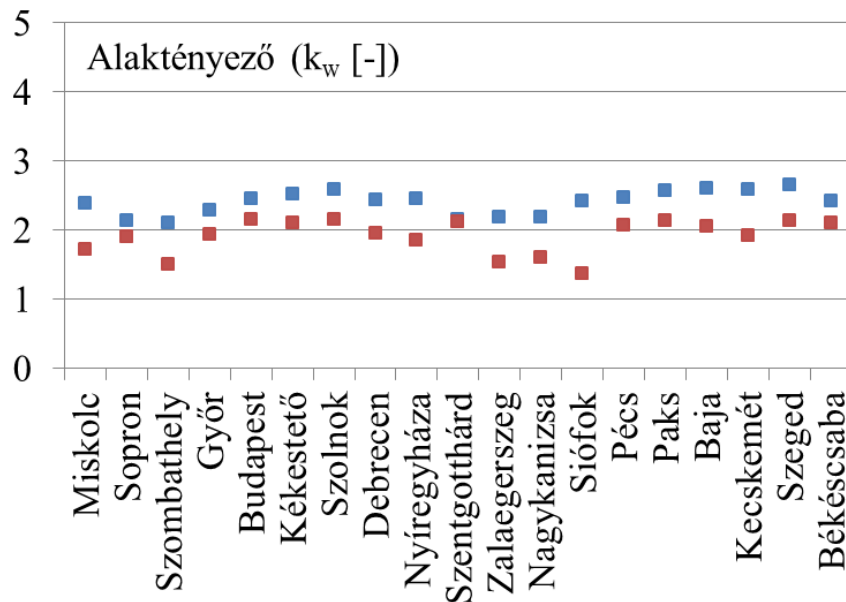
ERA Interim reanalízis adatbázis összevetése a mérési adatokkal (Weibull eloszlás illesztése)



- Állomási/rácsponi átlagok
 - λ – tavasszal és nyáron jó egyezés
 - k – júniusban egyezés, egyébként erős felülbecslés
- Budapest (skálaparaméter eltérése)
- Zalaegerszeg (alaktényező eltérése)



Weibull eloszlás paramétereinek összehasonlítása



- **Alaktényező:** reanalízis rácspontokban túlbecslés (főleg télen)
 - $k_{w\text{ ERA}} = 2,10\text{--}2,65$, $k_{w\text{ SYNOP}} = 1,38\text{--}2,16$
 - A Weibull alaktényező túlbecslése csökkenti a szélklíma változékonyságát és az extrém szélesebségek előfordulási valószínűségét
- **Skálaparaméter:** kisebb változékonyság az ERA Interim rácspontokban
 - $\lambda_{\text{ ERA}} = 3,06\text{--}3,83$ m/s, $\lambda_{\text{ SYNOP}} = 2,13\text{--}4,51$ m/s

Szélindexek

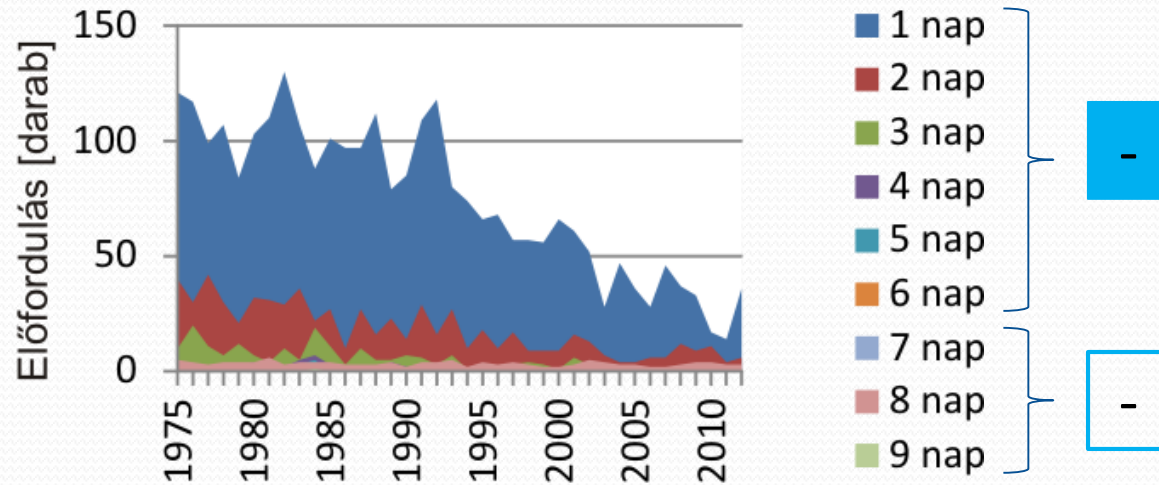
Definiálása

Napi átlagos szélsébség és napi maximális szélökések
tendenciái

Szélsőségvizsgálatok szélindexek elemzésével

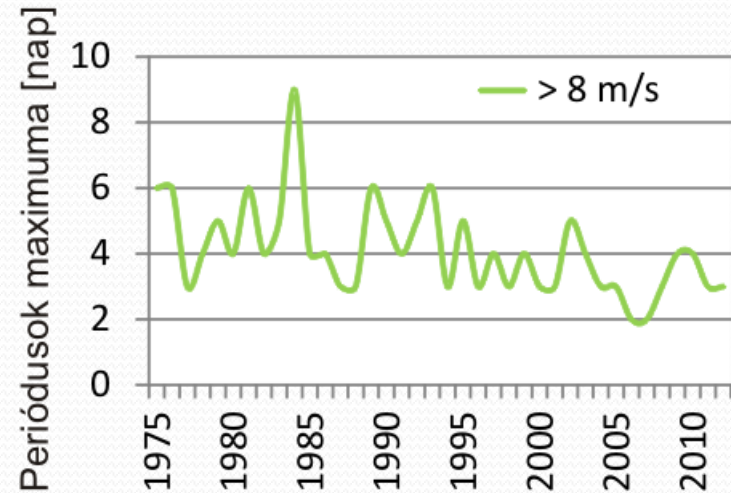
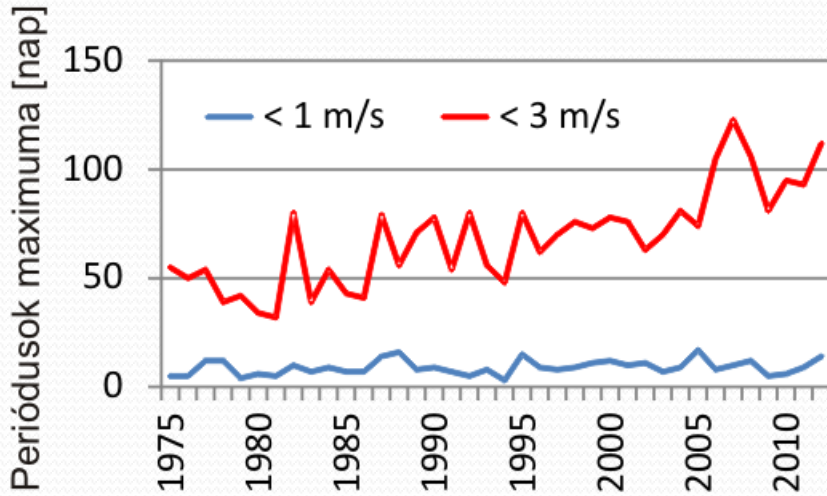
- Szélindexek definiálása homogenizált adatsorokból ($v_{\text{napi átl}}$, $v_{\text{napi max}}$)
- Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a szélesebbesség meghalad egy küszöbértéket ($v_{\text{napi átl}} > 8 / 10 / 15 \text{ m/s}$; $v_{\text{napi max}} > 15 / 20 / 25 / 30 / 35 \text{ m/s}$)
- Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a szélesebbesség nem ér el egy küszöbértéket ($v_{\text{napi átl}} < 1 / 3 / 5 \text{ m/s}$)
- Egymást követő adott küszöbértéknél kisebb/nagyobb szélesebbességű, különböző hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma
- Egymást követő adott küszöbértéknél kisebb/nagyobb szélesebbességű periódusok maximális éves/évszakos/havi hossza

8 m/s-nál nagyobb szélesebességű periódusok



Az egymást követő $v_{\text{napi átl}} > 8 \text{ m/s}$ szélesebességű 1–9 napos periódusok éves, állomásokra összegzett előfordulási száma.

Egymást követő adott küszöbértéknél kisebb, illetve nagyobb szélességű napok éves maximális hossza a vizsgált állomásokra együttesen



Egymást követő kis szélességű napok hosszának éves abszolút maximuma

$V_{\text{napi átl}} < 1 \text{ m/s}$

+

$V_{\text{napi átl}} < 3 \text{ m/s}$

+

Egymást követő élénk szeles napok hosszának éves abszolút maximuma

$V_{\text{napi átl}} > 8 \text{ m/s}$

-

Széllökés indexek havi trendje (1975–2013)

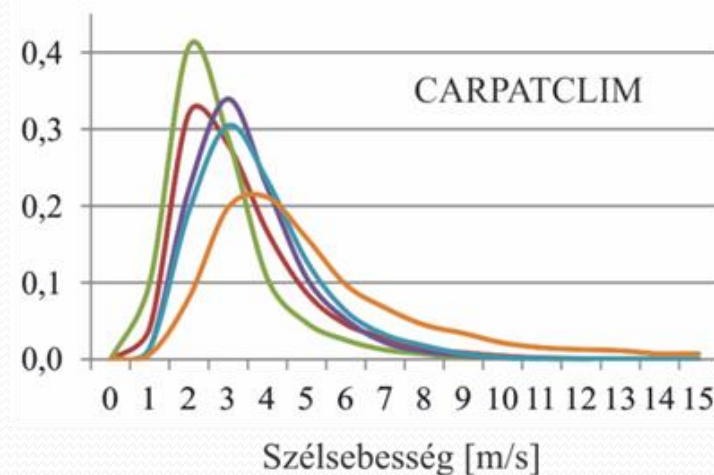
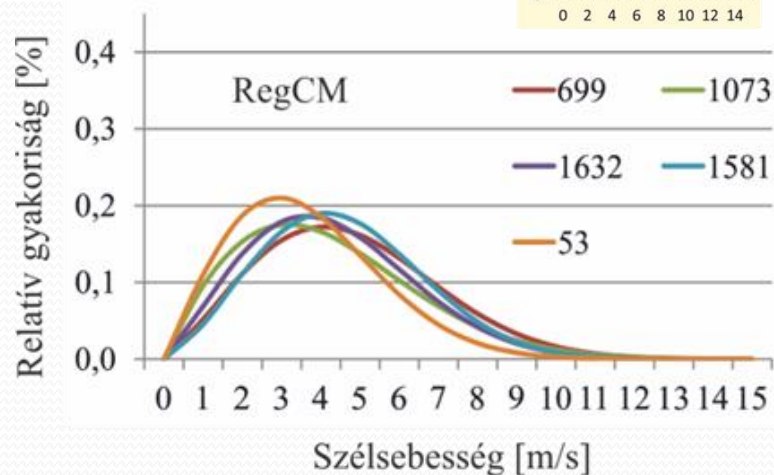
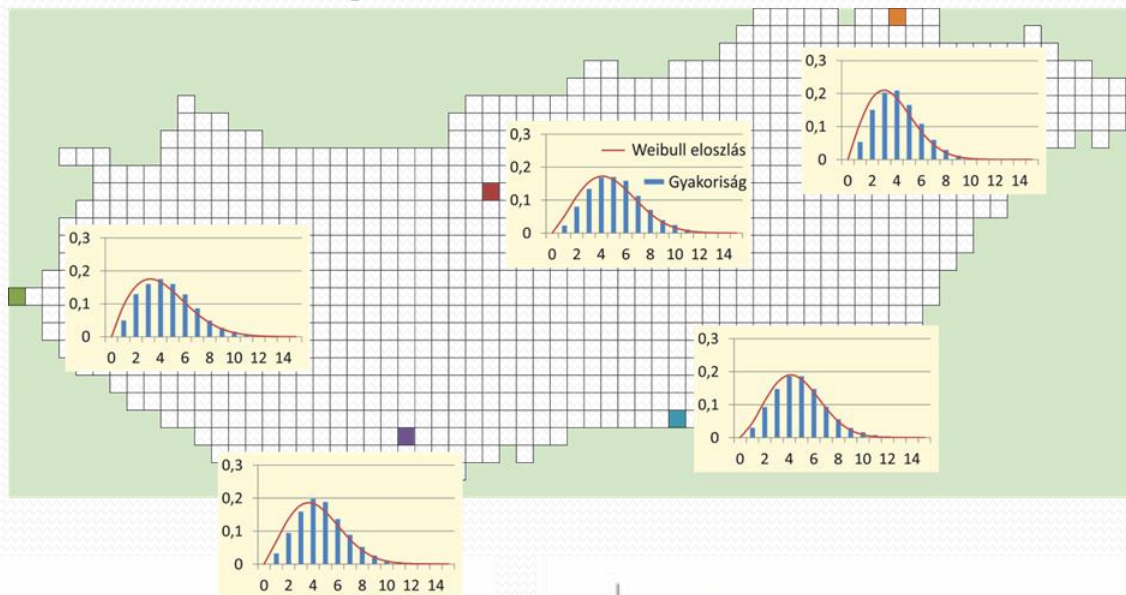
	$V_{\text{napi max}}$	D	J	F	M	Á	M	J	J	A	S	O	N
Szombathely	> 15 m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	> 20 m/s	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
	> 25 m/s	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
	> 30 m/s							+	-				
Budapest	> 15 m/s	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
	> 20 m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
	> 25 m/s	-	-	-	+	-	-	+	-	-			
	> 30 m/s				+	-							
Szolnok	> 15 m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	> 20 m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	> 25 m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	> 30 m/s			-	-		-	-	-	-	-		
Debrecen	> 15 m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	> 20 m/s	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-
	> 25 m/s		-	-	-	-	-	+	-	-		-	
	> 30 m/s		-	-			-		+				
Kecskemét	> 15 m/s	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	> 20 m/s	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+
	> 25 m/s	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	
	> 30 m/s	-	-	-	-				+	-			

RegCM

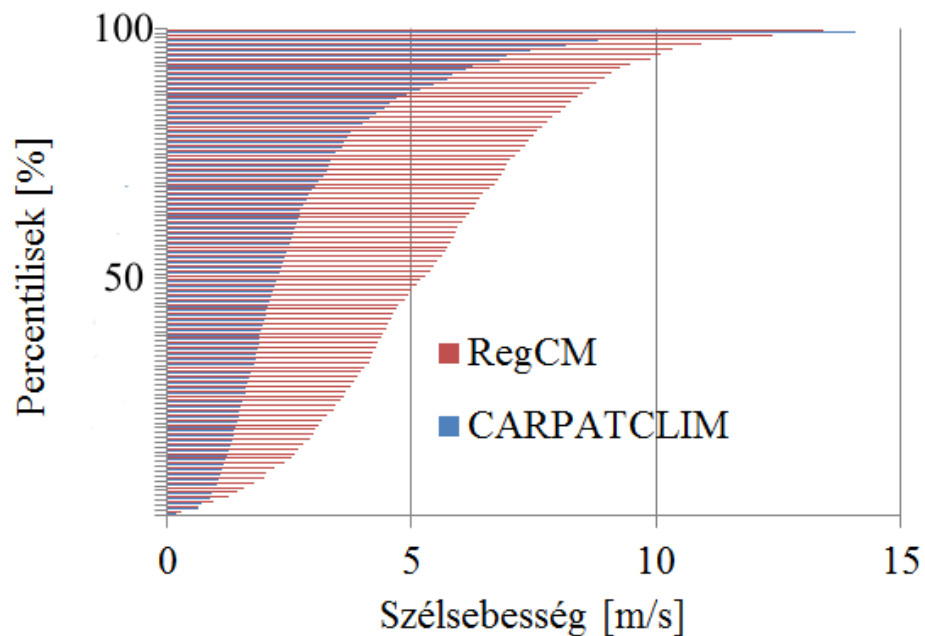
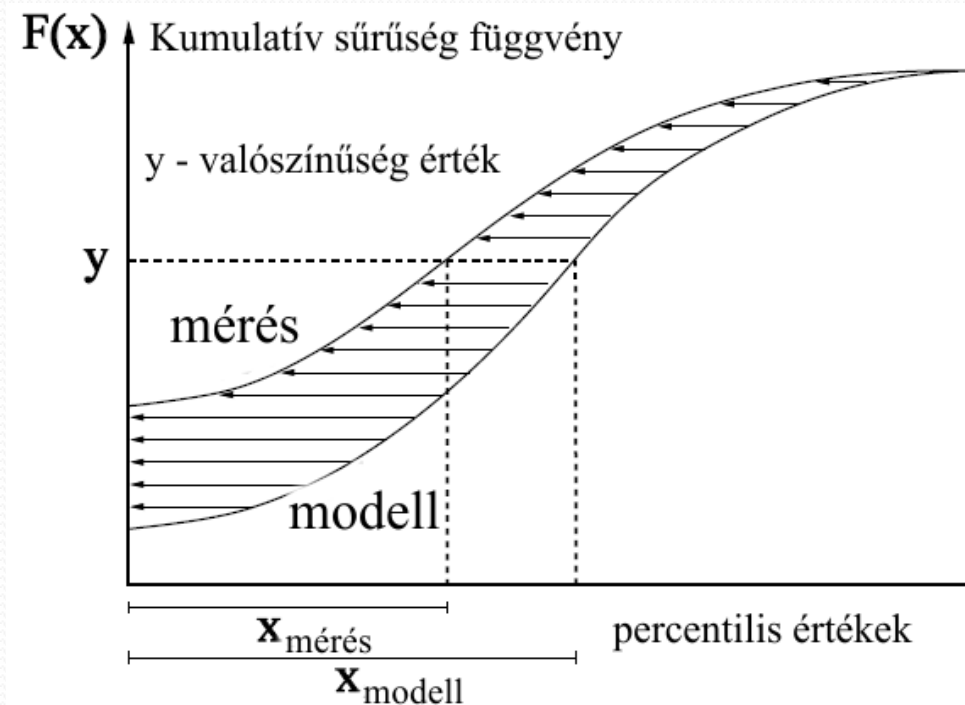
Szélmezők korrekciója

Szélsőértékek várható változásai

RegCM szélesség-eloszlások a hibakorrekciót megelőzően



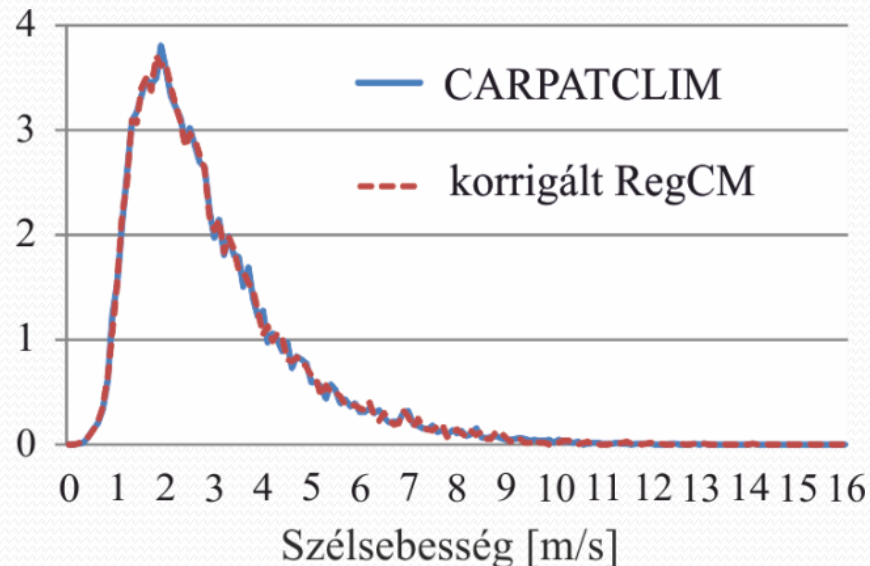
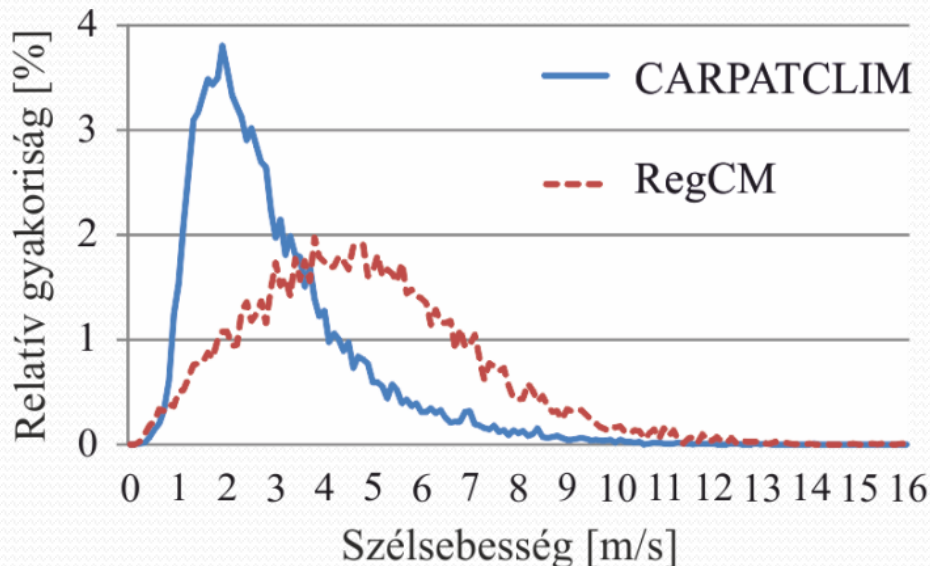
RegCM szélmezők korrekciója



- **Módszer** *: kumulatív sűrűségfüggvények azonossá tétele (multiplikatív eset)
- RegCM modell és a CARPATCLIM adatsor egy kiválasztott rácspontjának (47,5°É és 19,0°K) *januári* szélsebesség percentilis értékei (1961–1990)

*Formayer, H., Haas, P., 2010: Correction of RegCM₃ model output data using a rank matching approach applied on various meteorological parameters. In: Deliverable D3.2 RCM output localization methods

RegCM szélmezőinek korrekciója



- A CARPATCLIM és a RegCM modell szélmezőinek éves relatív gyakorisága (1961–1990) a korrigálatlan (bal oldal) és a hibakorrigált (jobb oldal) adatsorokra egy kiválasztott rácspontban (47,5°É és 19,0°K)
- Hiba korrekció havi faktorok alkalmazásával

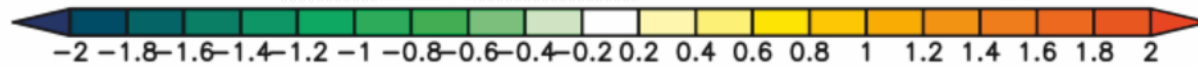
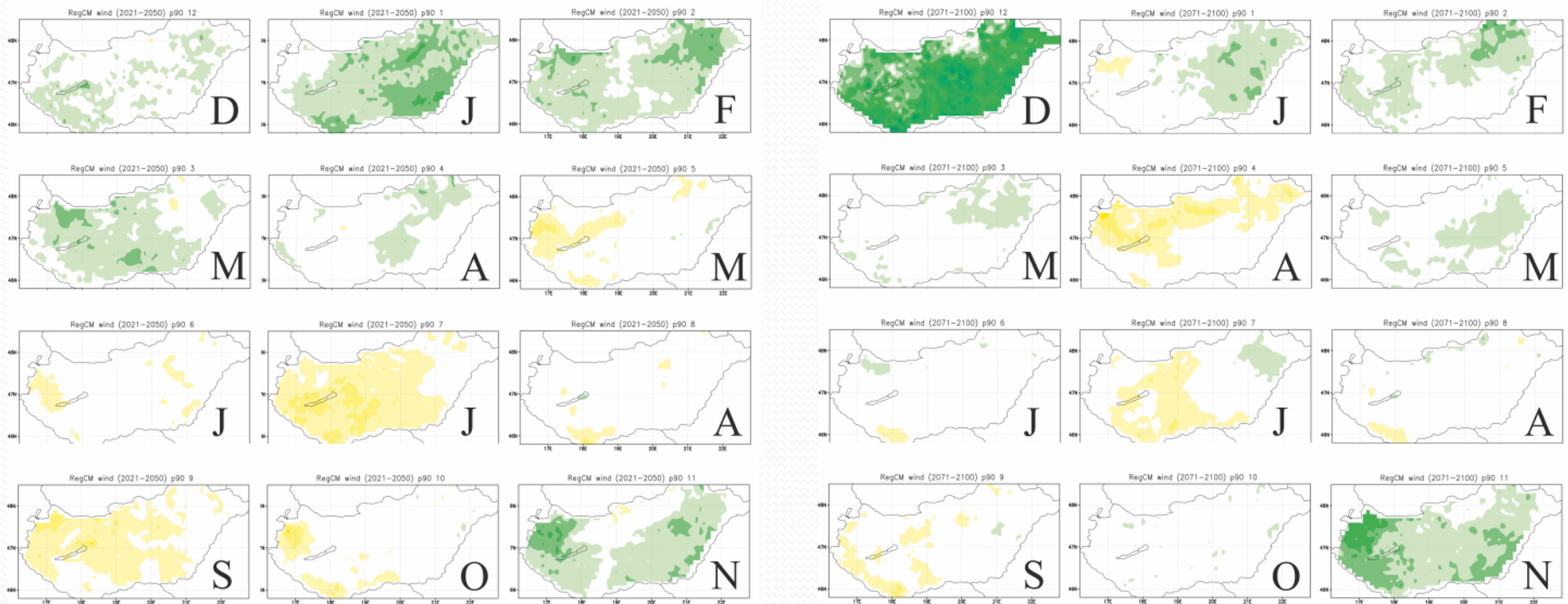
$$f_{\text{multiplicative}} = \frac{F_{\text{obs}}^{-1}(y)}{F_{\text{model}}^{-1}(y)} = \frac{x_{\text{obs}}}{x_{\text{model}}}$$

Szélsőértékek várható változása

2021–2050

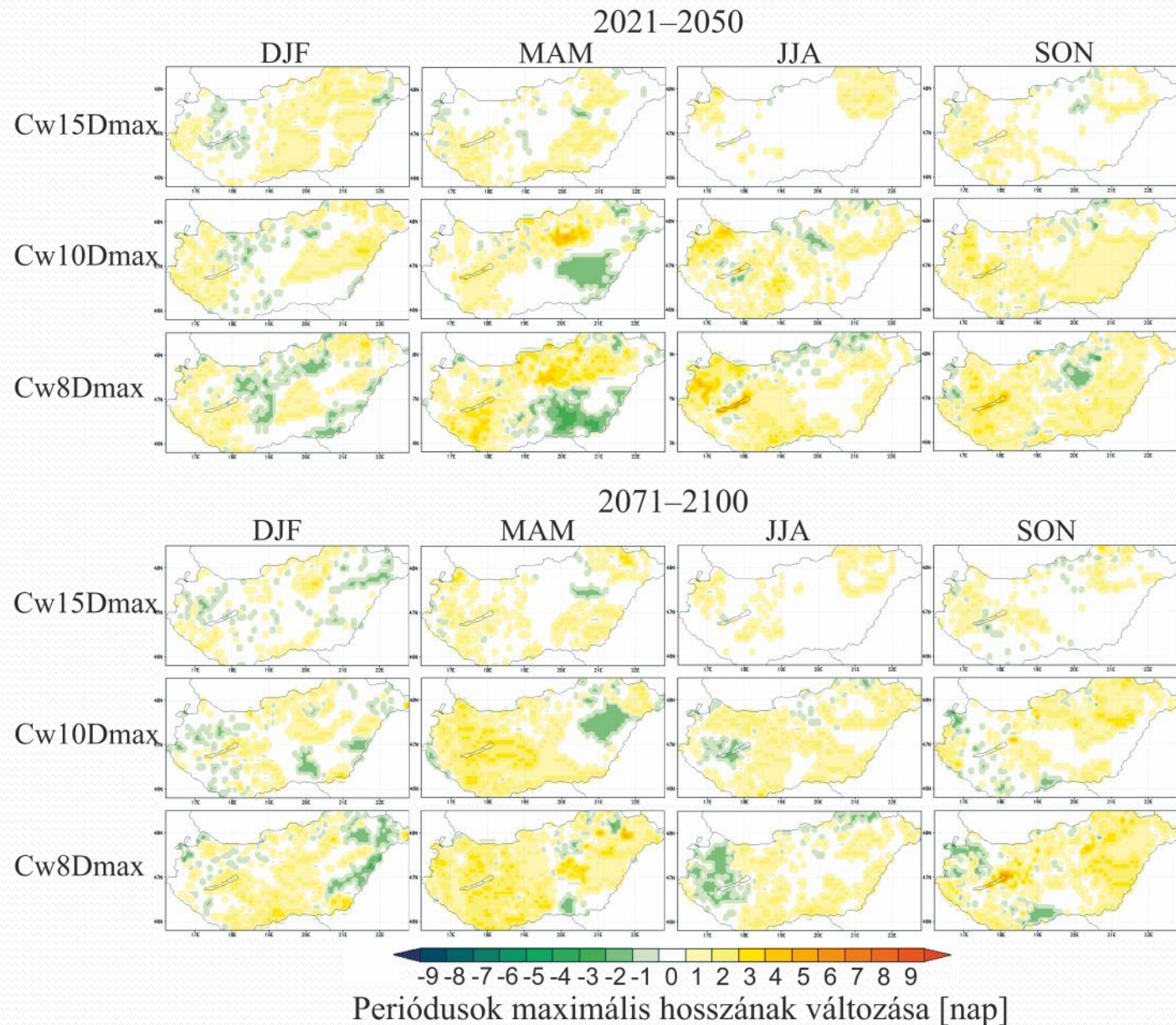
90%

2071–2100

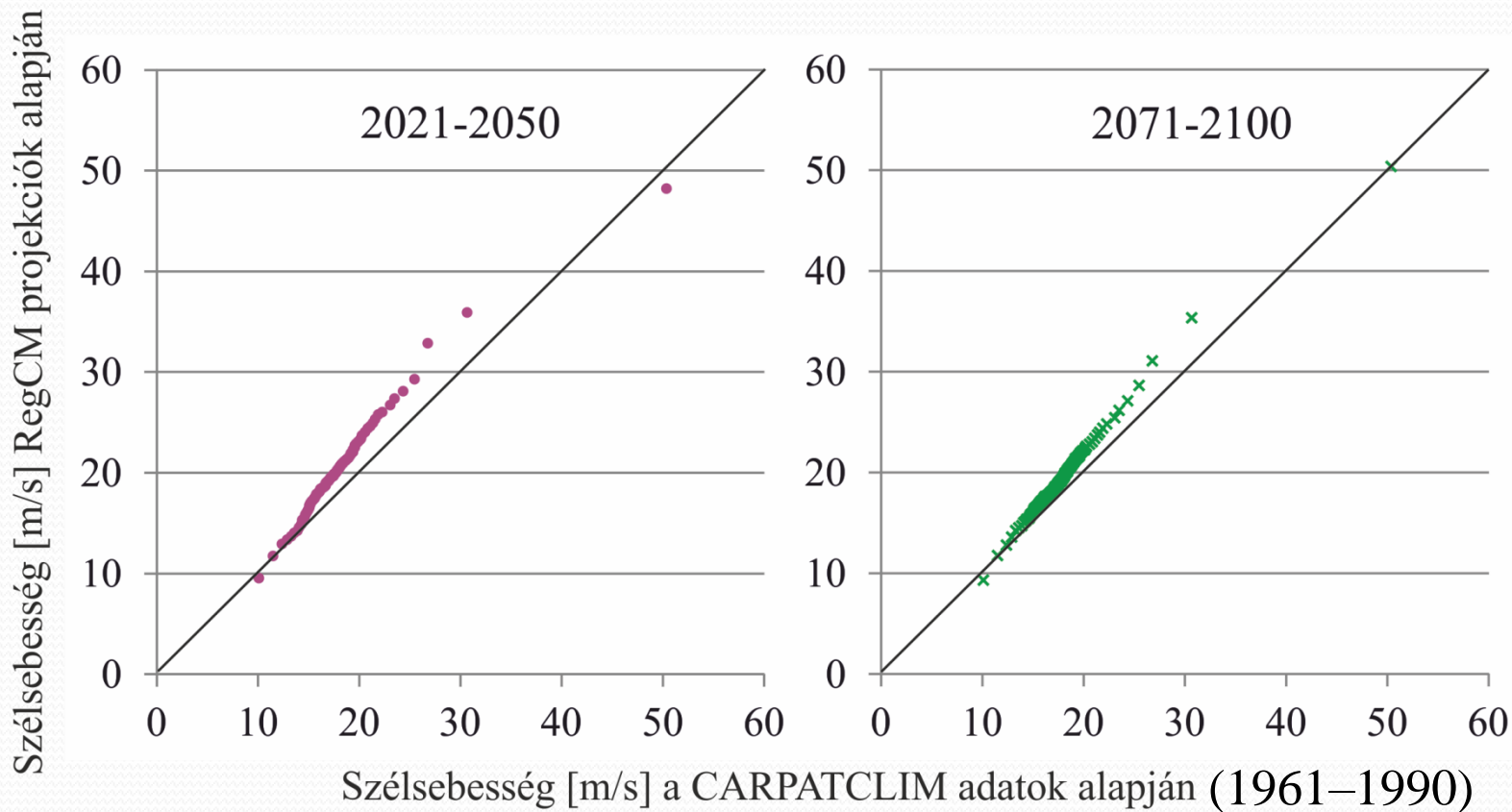


Szélesség-különbség [m/s]

Egymást követő élénk szeles, erősen szeles és viharos napok maximális évszakos hossza

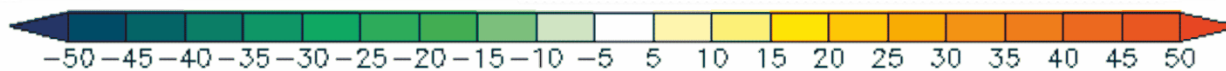
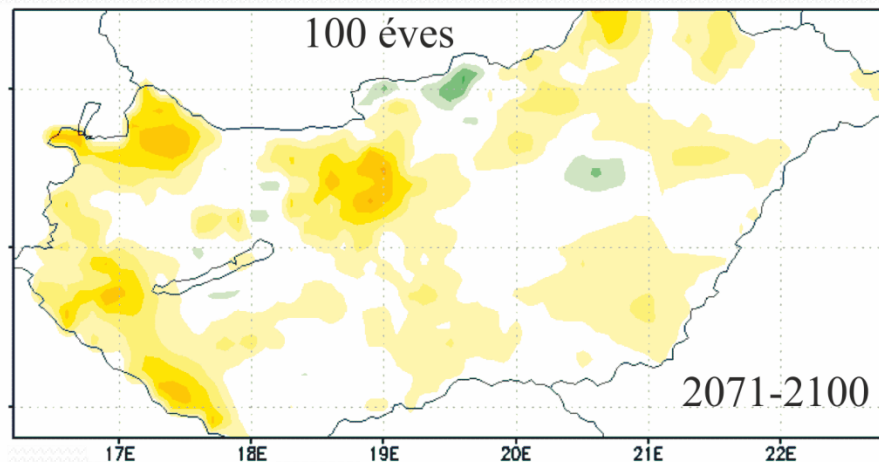
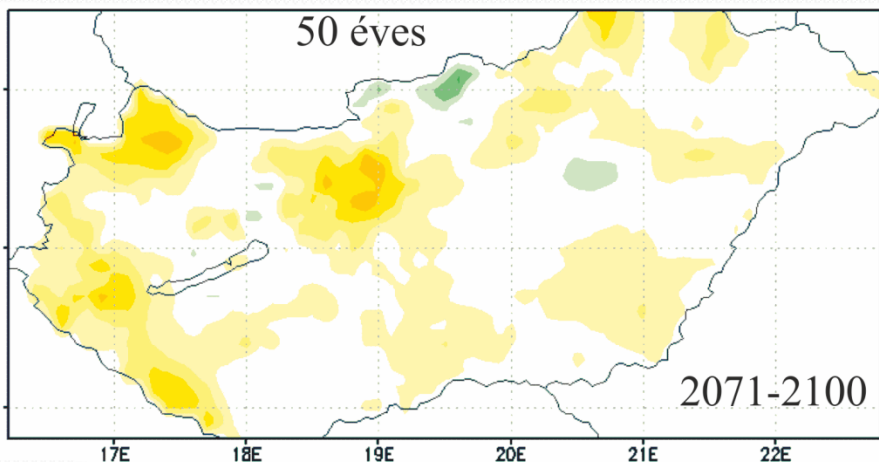
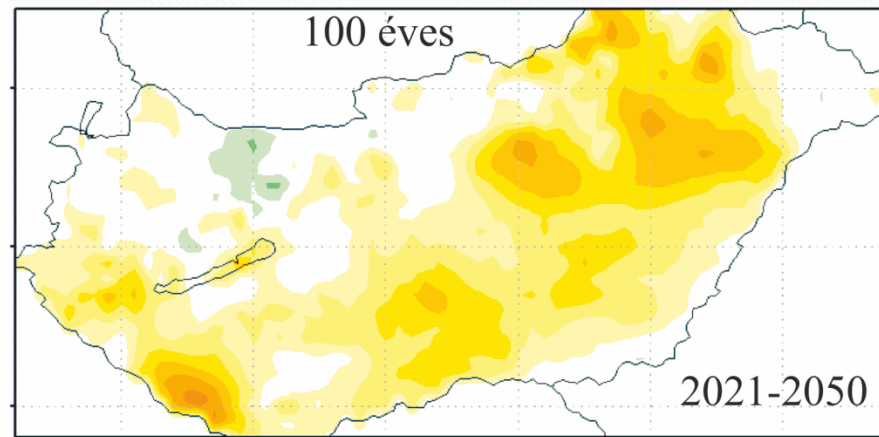
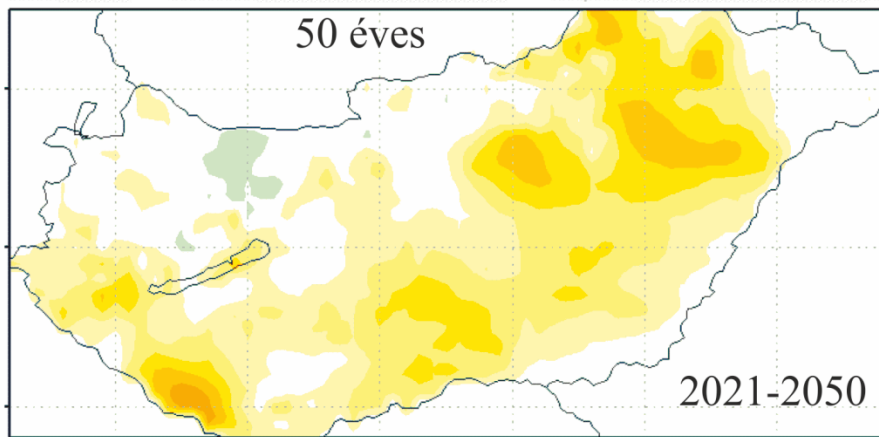


100 éves visszatérési értékek (Q-Q diagram)



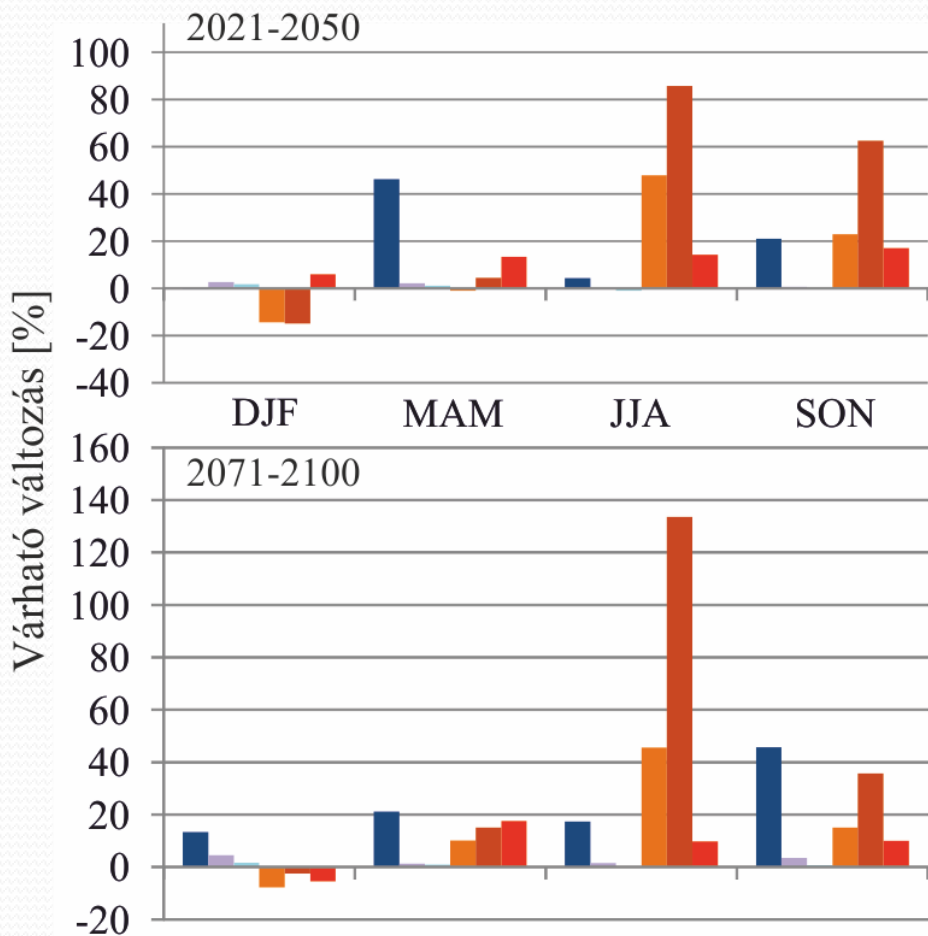
- várhatóan *magasabb* visszatérési értékek a jövőben

Visszatérési értékek várható változása



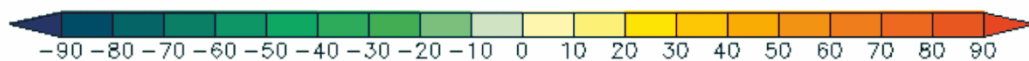
Szélesség-változás [%] a 1961–1990 időszakhoz képest

Szélindexek várható változása

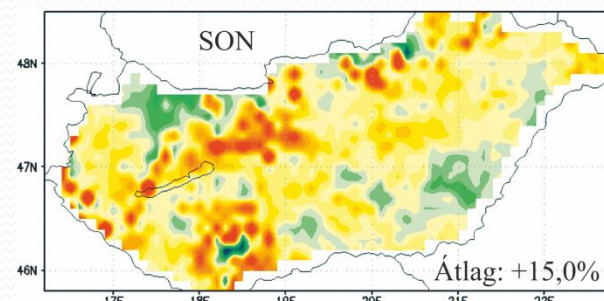
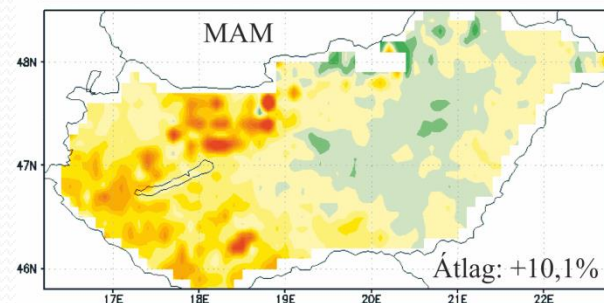
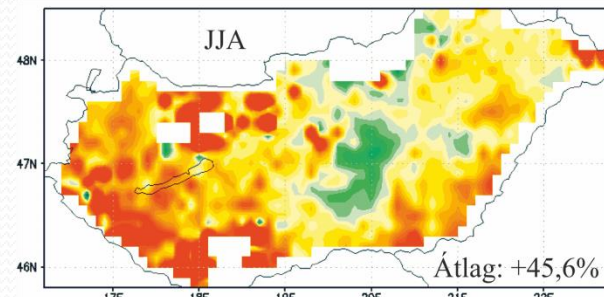
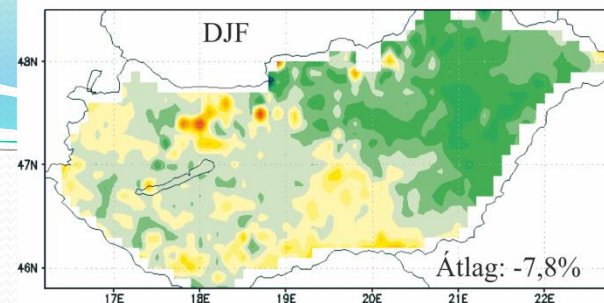


$v < 1\text{ m/s}$ $v < 3\text{ m/s}$ $v < 5\text{ m/s}$

$v > 8\text{ m/s}$ $v > 10\text{ m/s}$ $v > 15\text{ m/s}$

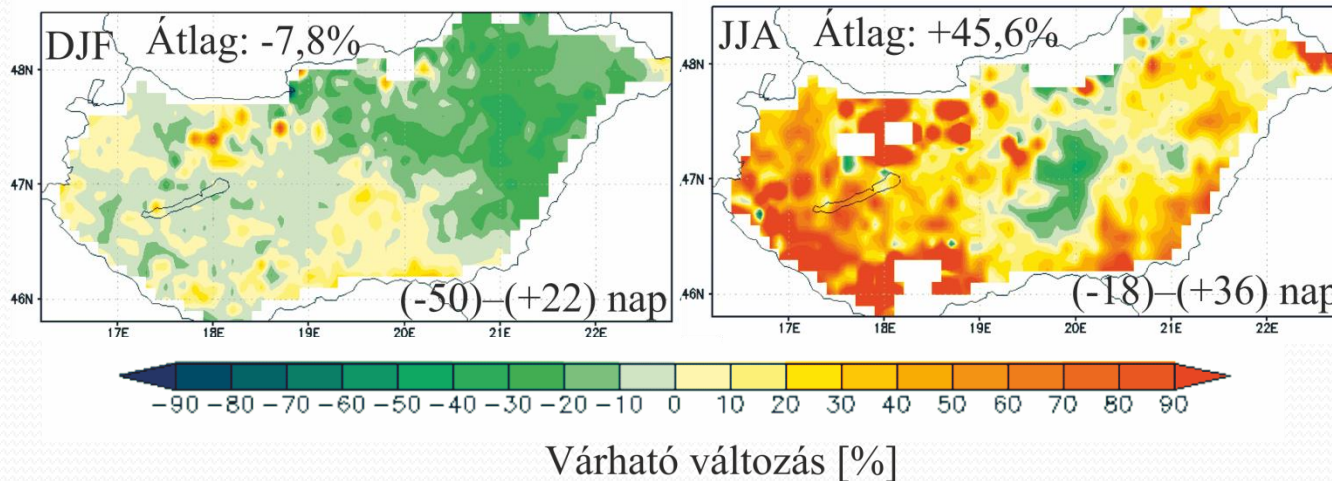
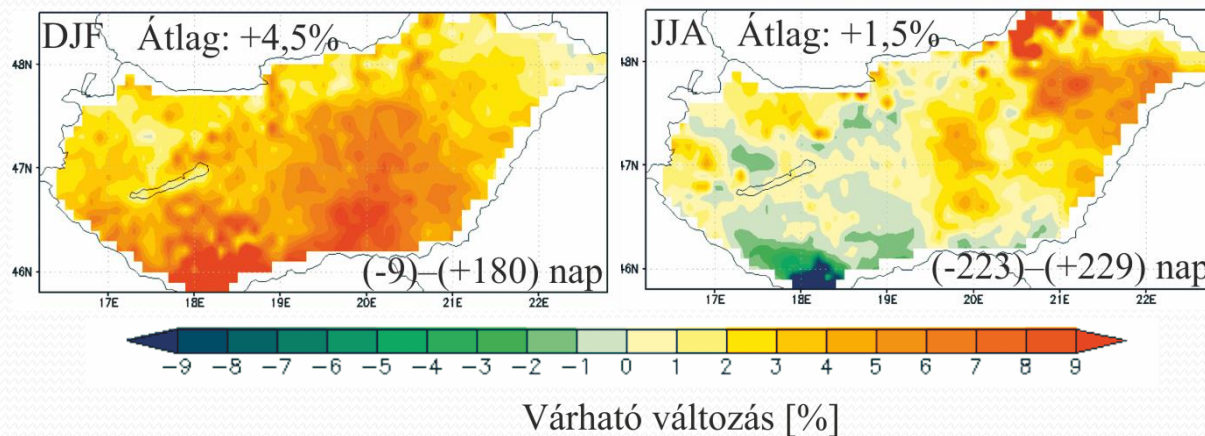


$v_{\text{napi átl}} > 8\text{ m/s}$ változása (2071-2100) [%]



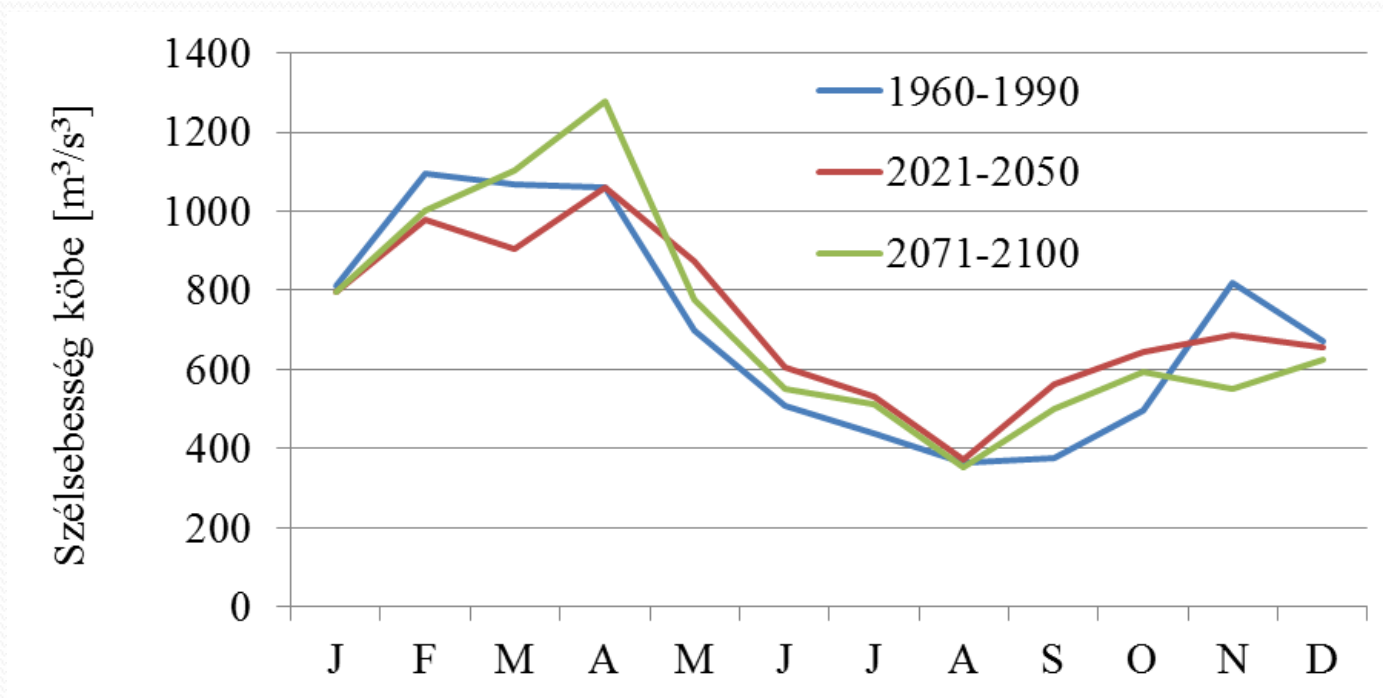
Várható változások (2071–2100)

$V_{\text{napi átl}} < 3 \text{ m/s}$



$V_{\text{napi átl}} > 8 \text{ m/s}$

Köbös szélesség havi változása



- Harmincéves átlagok
- Télén kevesebb, nyáron több szélenergia várható

Összefoglalás

- Eredmények *összhangban* vannak a nemzetközi szakirodalommal
 - Csökkenő szélesebségtrendek a közepes földrajzi szélességeken
- Az elmúlt időszakra vonatkozó eredményeink *megbízhatóságát* növelte a *homogenizált* adatsorok használata
- A szélklíma jelen állapotának megismerése szükséges a *regionális klímamodell-projekciók validálásához*
- Magyarország területére a jövőre vonatkozó *szélextrémumok várható változásainak* becslése RegCM modell projekciói alapján
 - Hazánk szélklímája kissé szélsőségesebbé válik
 - Kis szélesebségű periódusok maximális hossza és a kis szélesebségű napok száma ősszel és tavasszal várhatóan növekedni fog
 - Nagy szélesebségű napokat jellemző indexek télen csökkennek, többi évszakban növekednek (különösen nyáron)
- Eredmények segíthetik a változó klímához való *alkalmazkodást*

Köszönöm a figyelmet!

