

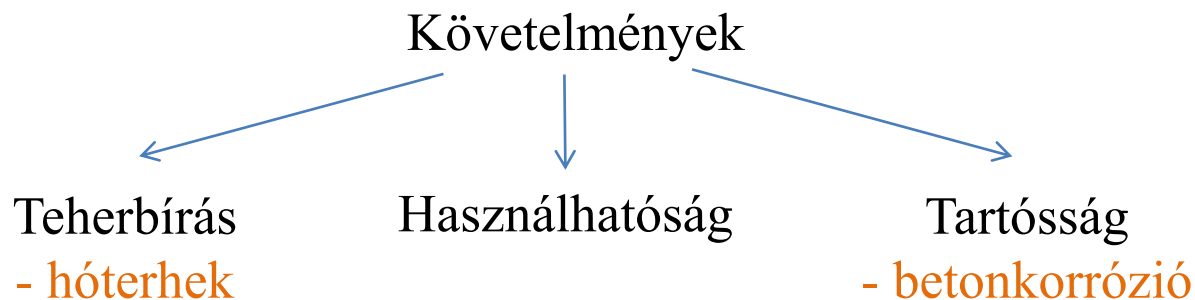


A klímaváltozás hatása a tartószerkezetekre és az építési szabványokra

Rózsás Árpád, Kovács Nauzika Ph.D., Vigh László Gergely Ph.D.

Problémafelvetés, motiváció

Épületek, civil infrastruktúra → ~ 80% nemzeti vagyon
Mo. közlekedési infrastruktúra → ~ 20% nemzeti vagyon
Klíímaváltozás hatása?



Jelenlegi tervezési előírások (Eurocode):

- **Tapasztalatokon alapul (nem valószínűségelméleti vizsgálaton);**



Problémafelvetés, motiváció (betonkorrózió)

Fémkorrózió, alábecsült jelentőségű, a költségek hatalmasak:

- Iparilag fejlett országok → GDP ~ 6%;
- Nem pontszerűen, katasztrófaként jelentkezik;
- 2011 Japán földrengés és cunami $\approx 1/5$ az éves korróziós költségeknek, USA;
- 22 év természeti katasztrófáinak teljes költsége \approx éves, közvetlen korróziós költségek, USA;



Problémafelvetés, motiváció (betonkorrózió)

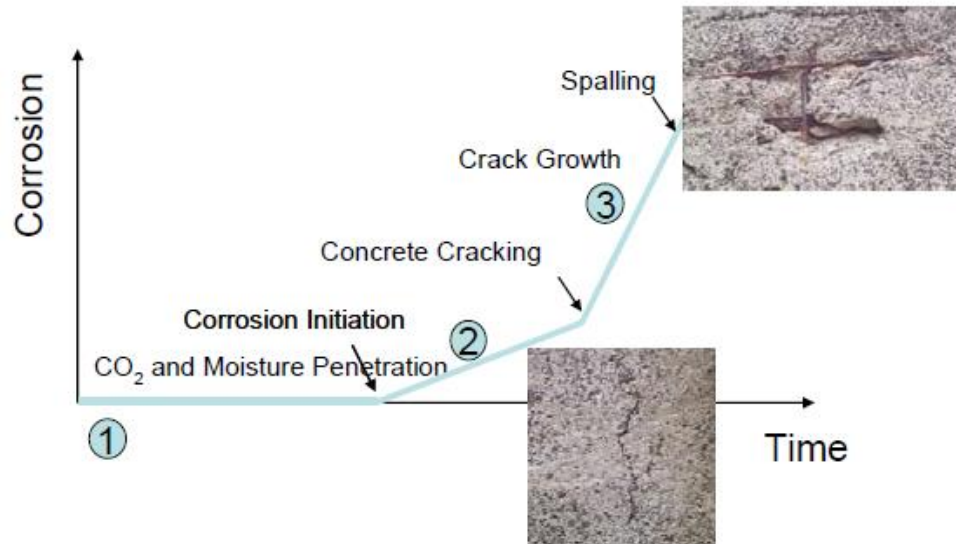
Vasbeton szerkezetek:

- Magyarország hídjainak 86%-a vasbeton;
- Cementgyártás → ~5% antropogén CO₂ kibocsátás
- Magyarország hídjainak 86%-a vasbeton;
- **Jelentős korróziós problémák (>25% kiterjedt, súlyos hiba);**
- Nem megfelelő tartóssági előírások (1987-ig, ma?).

→ legelterjedtebb betonkorrózió: **karbonátosodás**
(újszerű vizsgálatok Európában)



Karbonátosodás (betonkorrózió)



Carbonization process



1. Alkalinized concrete (pH 12.5)



2. CO₂ penetration = carbonization; alkalinity below pH₉



3. Penetration of water and oxygen causes the steel reinforcement to rust after 5 to 20 years.



4. Rust formation causes cracks.

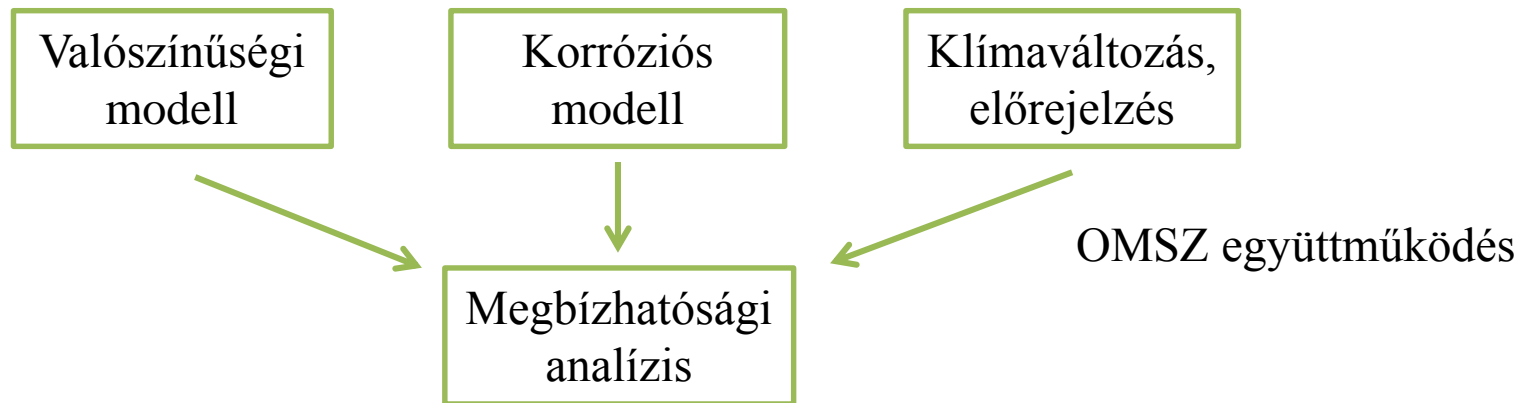


5. Rust expansion causes concrete to crumble away.



Megoldási stratégia

- Valószínűségi vizsgálatok, időfüggő vizsgálat.

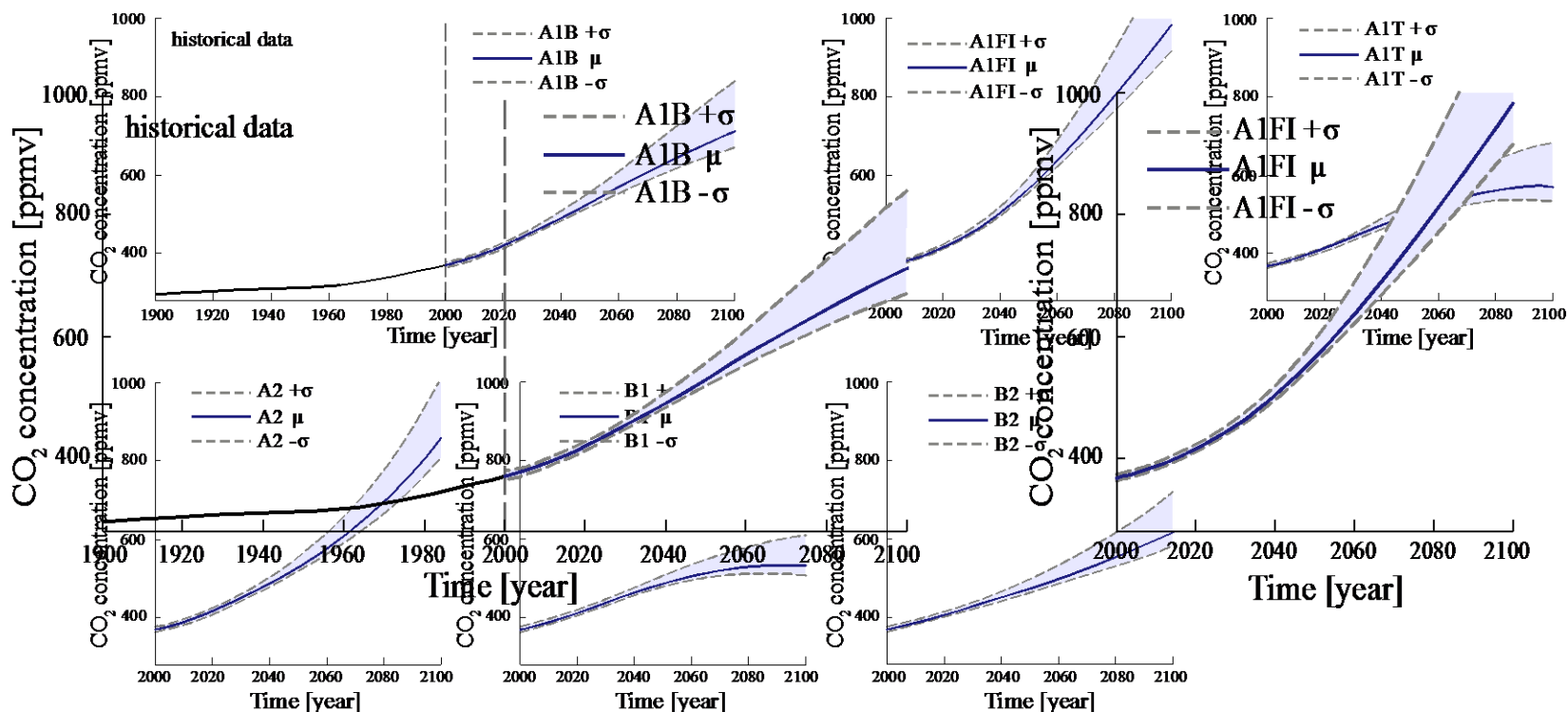


$$P_f(t) = P\{g(\mathbf{X}(t)) < 0\} = \int_{g(\mathbf{x}(t)) < 0} f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}(t)) \cdot d\mathbf{x}(t)$$

- 100 éves élettartamú reprezentatív szerkezetek.

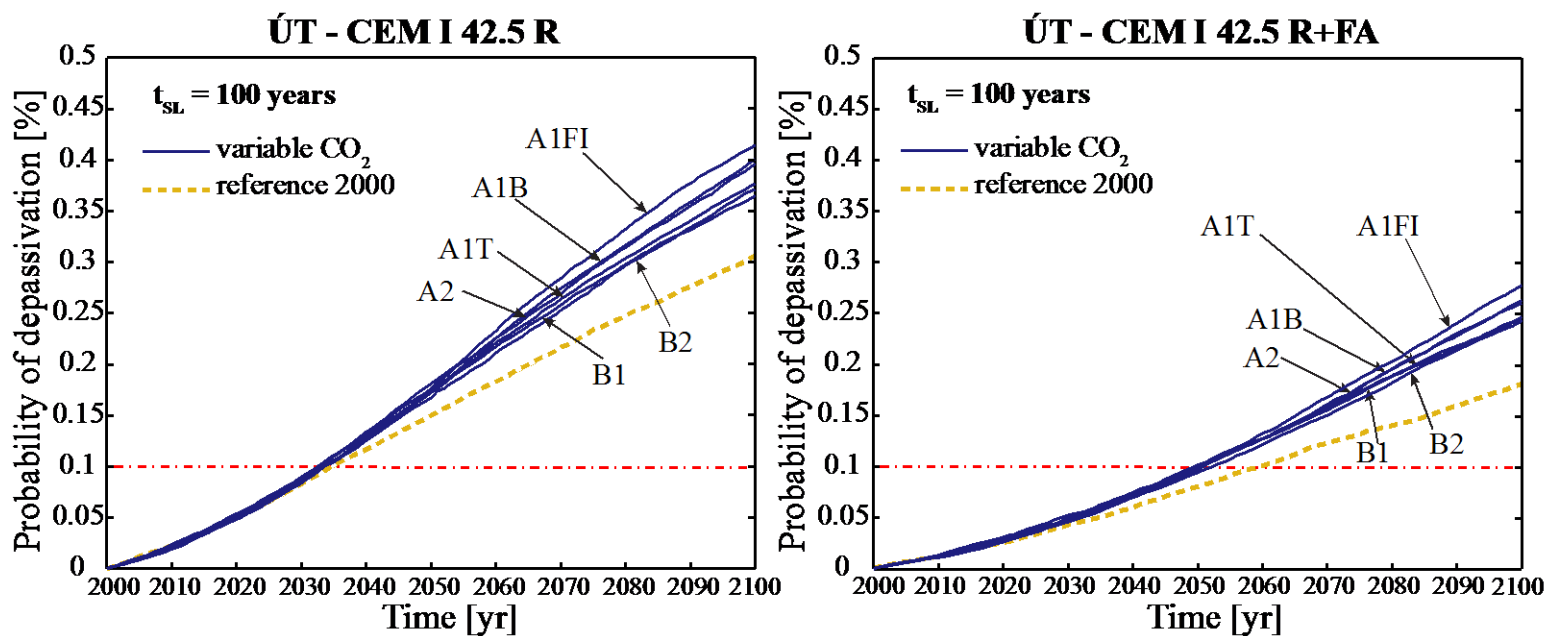
Éghajlati előrejelzések

Forgatókönyvek, hozzárendelt valószínűségek nélkül:



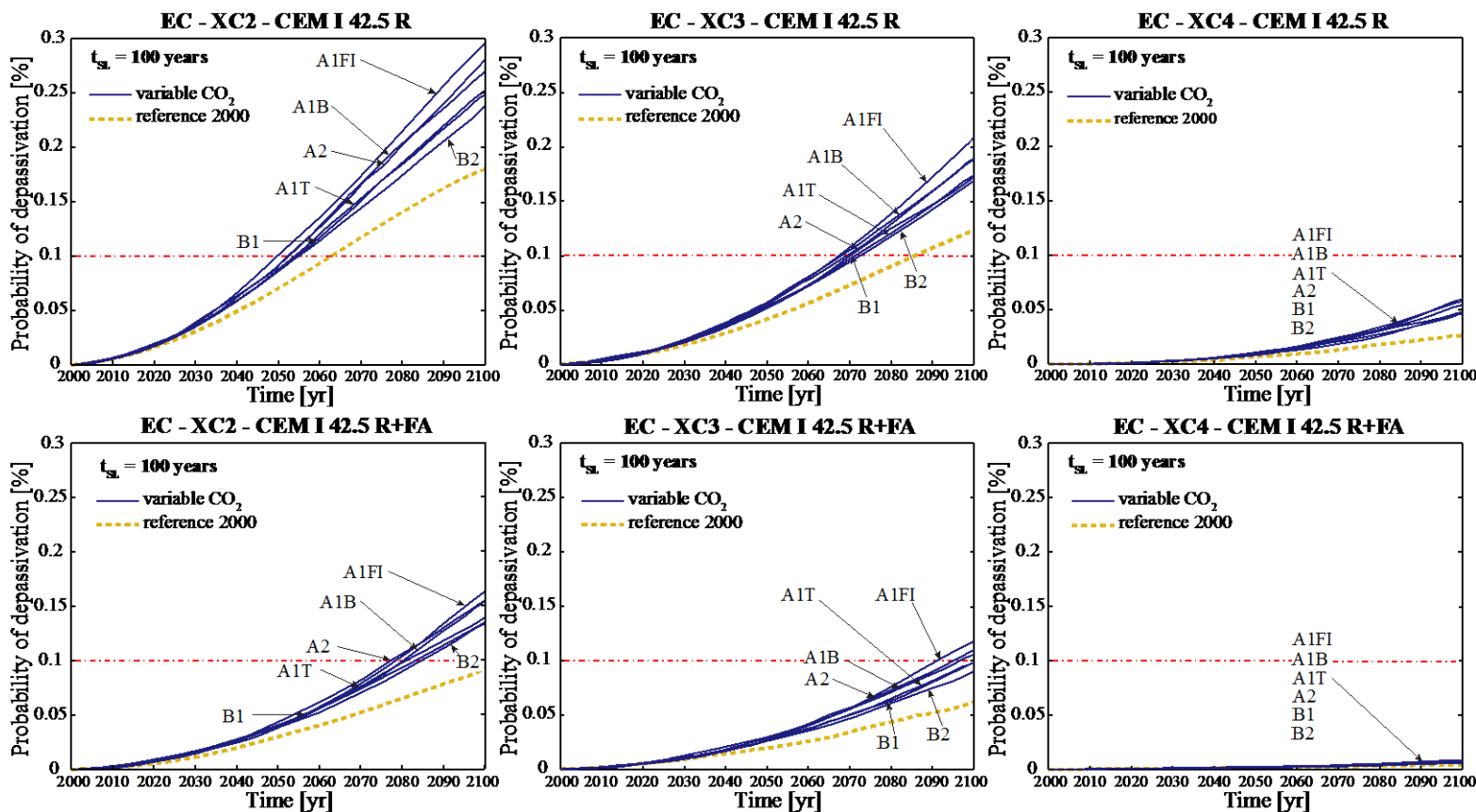
Eredmények

Depassziváció valószínűsége (ÚT szabvány):



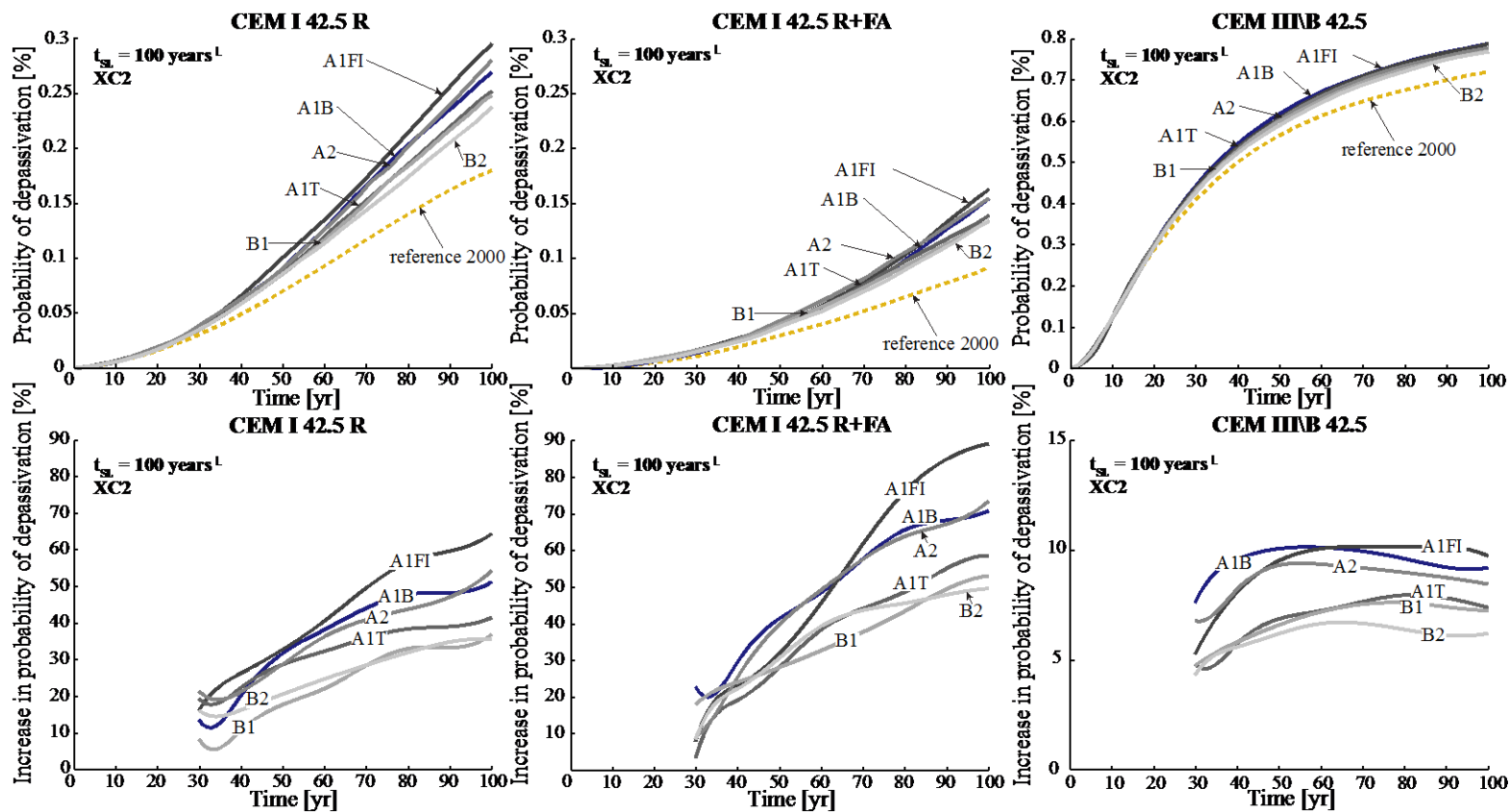
Eredmények

Depassziváció valószínűsége:



Eredmények

Depassziváció valószínűsége:





Eredmények

Összefoglaló táblázat:

Standard	Exposure class	CEM I 42.5 R		CEM I 42.5 R+FA	
		Δx_c [%]	ΔP_f [%]	Δx_c [%]	ΔP_f [%]
Eurocode	XC2	11 - 20	33 - 61	13 - 21	55 - 90
	XC3	12 - 21	44 - 73	12 - 20	50 - 82
	XC4	12 - 20	70 - 115	10 - 19	65 - 100
ÚT	-	11 - 20	21 - 36	13 - 21	33 - 55

- Az egyes scenáriók nem eredményeznek jelentős eltéréseket;
- Azonosíthatók a legnagyobb hatású paraméterek;
- Az ÚT szabvány tartóssági előírásai nagyon gyengén teljesítenek.



Fontosabb következtetések

- (i) Számos jelenlegi és korábbi szabványos előírás nem biztosít elegendő tartósságot, még a 2000-es CO₂ szinten sem;
- (ii) a depassziváció valószínűsége akár 115%-kal is növekedhet;
- (iii) A 2000-ben épült szerkezetek esetén a klímaváltozás hatása az első 20-25 évben nem jelentős;

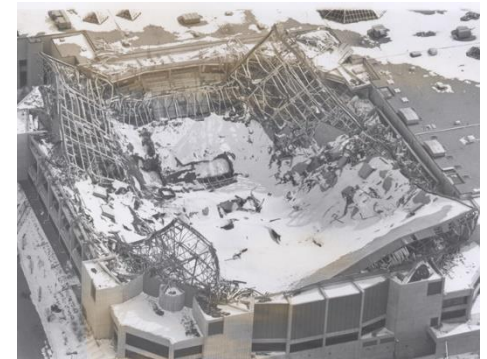
→A klímaváltozásnak jelentős hatása lehet a hazai vasbetonszerkezetek tartósságára, a jelenlegi tartóssági előírások felülvizsgálata szükséges.

Tovább lépés: regionális klímamodellek eredményeinek beépítése (OMSZ)

Problémafelvetés, motiváció (hóterhek)

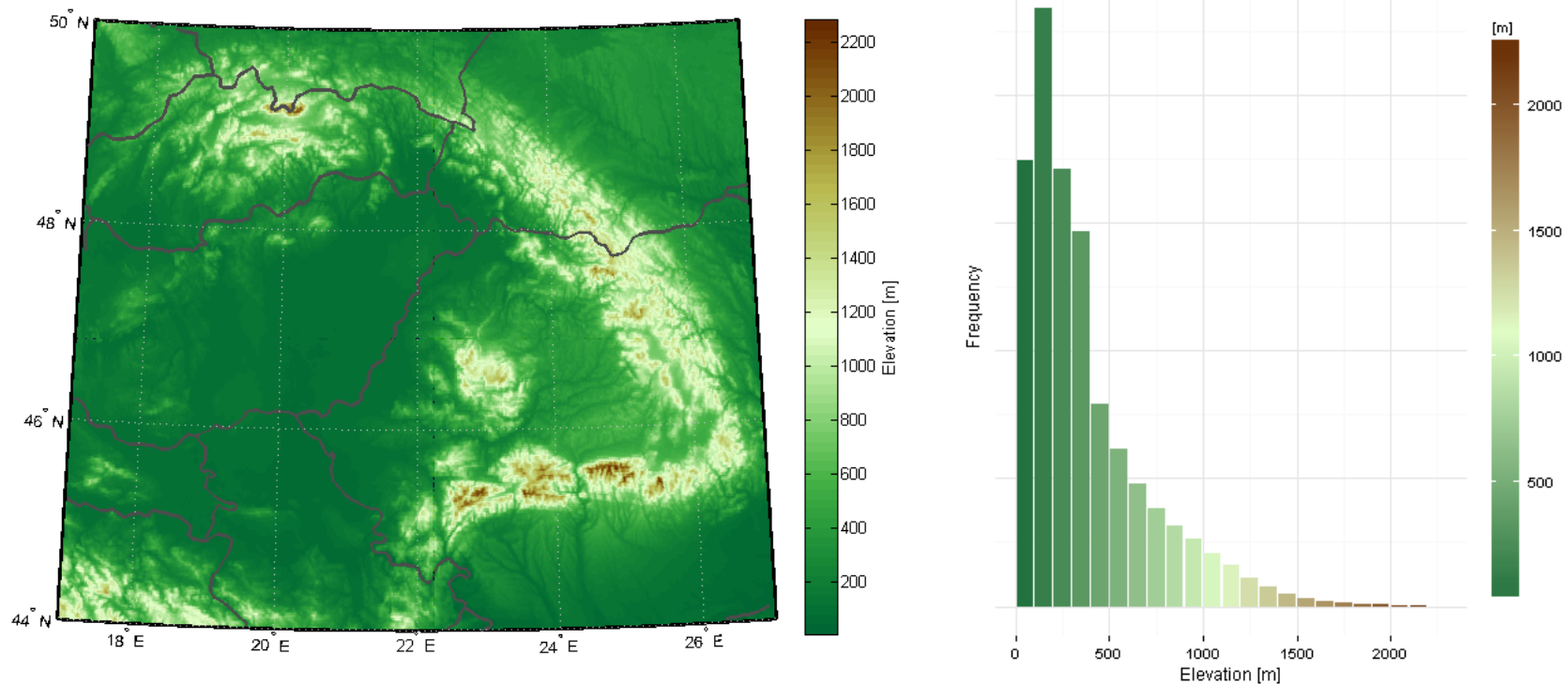
- Szerkezeti károsodások, összeomlások;
- Klímaváltozás hatása, extrém jelenségek?;
- Bizonytalanságok kezelése? (stacionaritás vége).

Jövőbeli teherintenzitások?



Meteorológiai adatok (Kárpát-medence régió)

CARPATCLIM adatbázis



Statisztikai vizsgálatok (időbeli trendek)

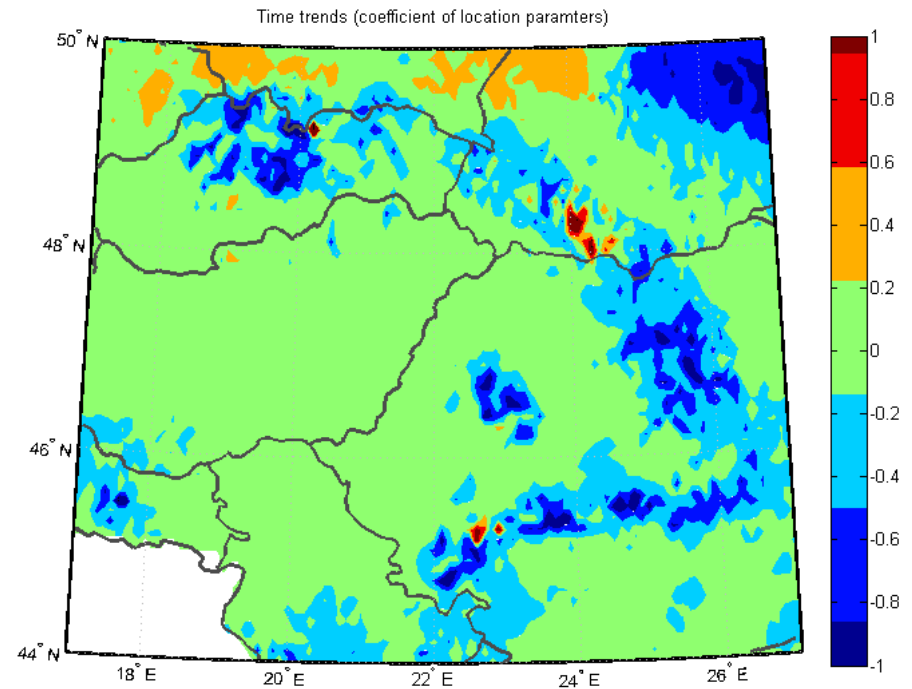
Általánosított extrém eloszlás, GEV (éves maximumok)

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

Időfüggő helyparaméter:

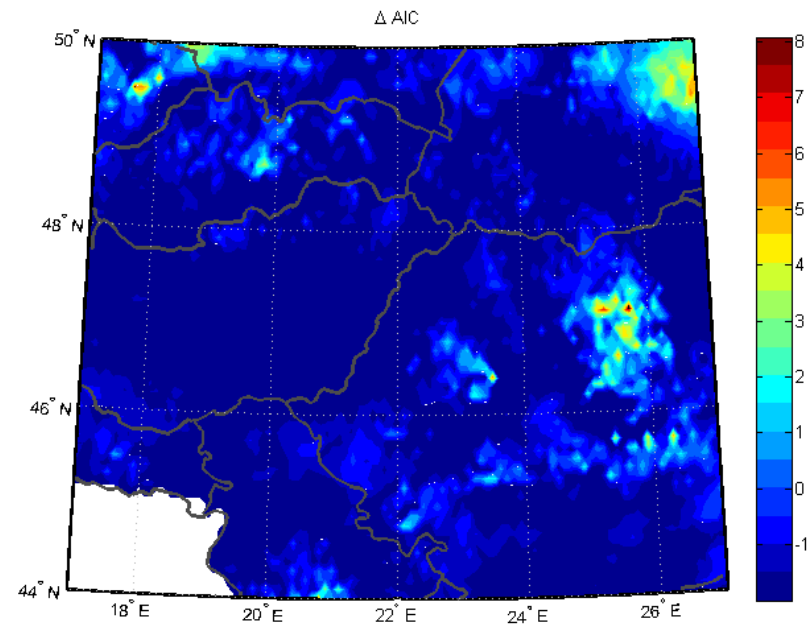
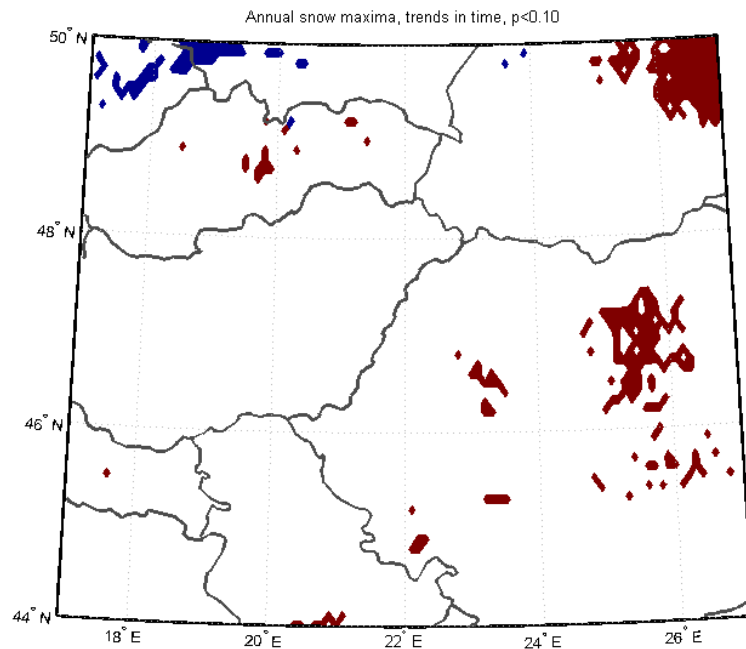
$$\mu(t) = b_0 + b_1 \cdot t$$

Maximum likelihood illesztés.

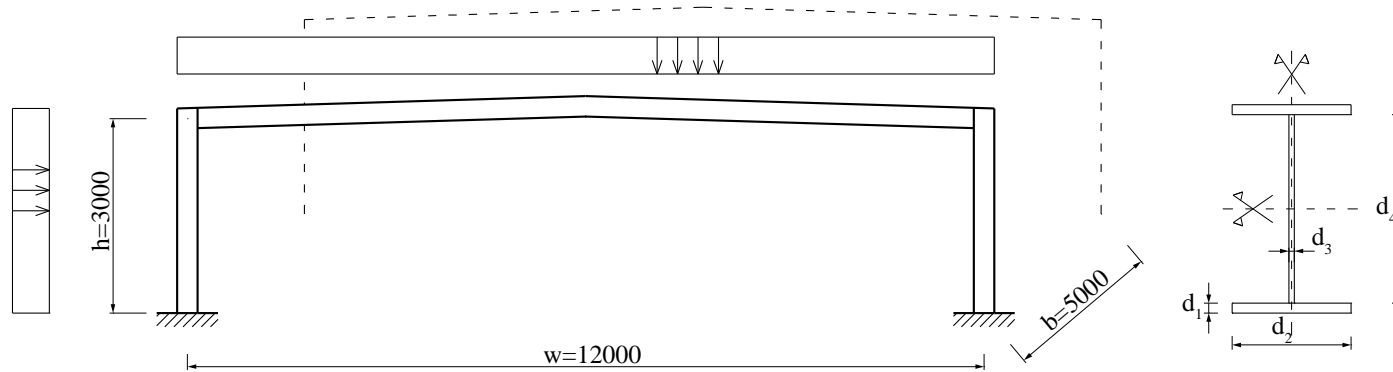


Statisztikai vizsgálatok (időbeli trendek)

$$AIC = 2 \cdot k - 2 \cdot \ln(L)$$



Illusztratív példa: egyszerű acél keret



Statisztikai modell- és paraméterillesztés bizonytalansága:

 $P(\text{hipotézis} | \text{adat})$

Bayes-i
(számításigényes,
MCMC)

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}$$

 $P(\text{adat} | \text{hipotézis})$

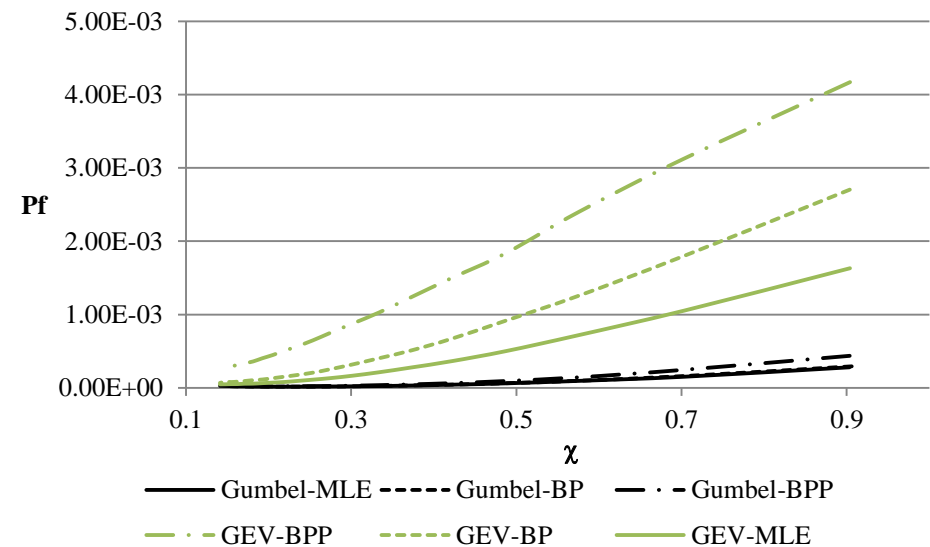
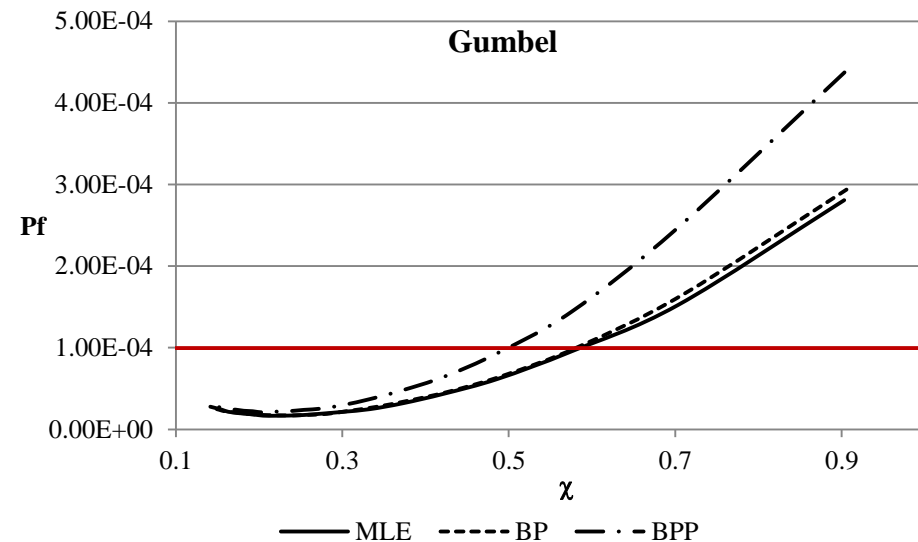
Frekventista
(„egyszerű”)

$$P = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\text{kedvező}}{\text{összes}}$$



Statisztikai bizonytalanságok hatása (megbízhatóság)

P_f - tönkremenetel valószínűsége





Fontosabb következtetések

- (i) Mo-on az extrémumok tekintetében nem mutatható ki statisztikailag szignifikáns időbeli trend;
- (ii) Változó klíma → bizonytalanságok kezelésének fontossága;
- (iii) Tartószerkezetek megbízhatóságát jelentősen befolyásolják a meteorológiai terhek, ma elterjedten alkalmazott statisztikai megközelítés pontosításra szorul (→ Bayes-is statisztika);

Tovább lépés: klímaszimulációk eredményeinek felhasználása (BME, MSc diploma), egyéb meteorológiai terhek.

A ma tervezett/épített szerkezetek a következő 100-150 évig állni fognak (rendszer tehetetlensége).

Köszönöm a figyelmet!





Klímaváltozás hatása

2°C	4°C	
mai termőterületek 32%-a használhatatlanná válik	50% használhatatlanná válik, 20% új "keletkezik"	
20%-a a tanulmányozott fajoknak kihal	korallzátonyok élővilága megsemmisül, megfigyelt fajok 40%-a kipusztul	MIT (2009) jelenlegi trend → 5.1°C
15x több embert érintenek a tengeri áradások mint ma	30x több embert érintenek a tengeri áradások mint ma	
	amazóniai esőerdők 50%-a eltűnik	
35cm átlagos tengerszint-emelkedés	47cm átlagos tengerszint-emelkedés	

Valószínűségi változók

Parameters	Distribution	Mean	COV	Ref.
Relative humidity of carbonated layer (RH_{real}), [-]	Beta	0.70	0.125	[2]
Reference relative humidity (RH_{ref}), [-]	Constant	0.65	0	[2]
Exponent (g_e), [-]	Constant	2.50	0	[2]
Exponent (f_e), [-]	Constant	5.00	0	[2]
Regression exponent (b_c), [-]	Normal	-0.567	0.042	[2]
Period of curing (t_c), [day]	Constant	2.00	0	
Inverse carbonation resistance (R_{NAC}^{-1}), [mm ² /yr/(kg/m ³)]	Normal	varying ¹	varying ¹	[2]
Regression parameter (k_f), [-]	Normal	1.25	0.28	[2]
Error term (ε_f), [mm ² /yr/(kg/m ³)]	Normal	315.50	0.152	[2]
Equivalent water cement ratio, [-]	Constant	varying ²	0	[6]
CO ₂ concentration of atmosphere ($C_{S,atm}$), [ppmv]	Normal	varying ³	varying ³	[3]
CO ₂ concentration due to emission ($C_{S,emi}$), [ppmv]	Normal	$0.15 \cdot C_{S,atm}$	0.15	[7]
Probability of driving rain (p_{SR}), [-]	Constant	0.10	0	
Exponent of regression (b_w), [-]	Normal	0.446	0.365	[2]
Time of reference (t_0), [yr]	Constant	0.0767	0	[2]
Time of wetness (ToW), [-]	Constant	0.20	0	
Nominal concrete cover ($c_{min,dur}$), [mm]	Weibull	varying	$8/\mu_a$	[2, 8]

¹depends on the cement type and w/c .

²depends on the exposure class.

³see Fig. 1.