

A VÁLTOZÓ ÉGHAJLAT TÁVKAPCSOLATAI:

A BELSŐ VÁLTOZÉKONYSÁG IDŐFÜGGÉSÉNEK SNAPSHOT-ALAPÚ MEGHATÁROZÁSA SOKASÁGI ÉGHAJLATI SZIMULÁCIÓKBAN

Haszpra Tímea^{1,2}, Drótos Gábor^{2,3}, Topál Dániel^{4,5}, Herein Mátyás^{1,2}

¹ELTE Elméleti Fizikai Tanszék; ²MTA–ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport; ³IFISC (CSIC–UIB), Palma de Mallorca, Spanyolország; ⁴CSFK Földtani és Geokémiai Intézet; ⁵Department of Geography, Earth Research Institute, University of California–Santa Barbara, Santa Barbara, California

1. Snapshot-megközelítés

Az éghajlatváltozás vizsgálatára egyre népszerűbbek az ún. „single-model initial-condition large ensemble” (SMILE) szimulációk. A **snapshot- (pillanatkép-) attraktorok** elméletével igazolható, hogy tetszőleges kezdeti feltételekből induló szimulációk sokasága egy adott konvergenciaidő után jól jellemzi magát az éghajlatot. Így minden egyes időpillanatban meghatározható az éghajlat **aktuális belső változékonysága** is, és vizsgálható az is, hogy ez hogyan változik. A belső változékonyság fontos részei a **távkapcsolatok**. Bemutatjuk, hogy a hagyományos, egyetlen éghajlati idősort felhasználó definíció mellett egy adott **távkapcsolati index értékei jelentősen függhetnek a választott referencia-időszaktól**, és ez a távkapcsolatok erősségének meghatározásába is szubjektivitást visz. Megmutatjuk, hogy ezek kiküszöbölhetők a snapshot-megközelítésnek megfelelően átalakított EOF analízis (**snapshot EOF – SEOF**) módszerrel végzett elemzéssel.

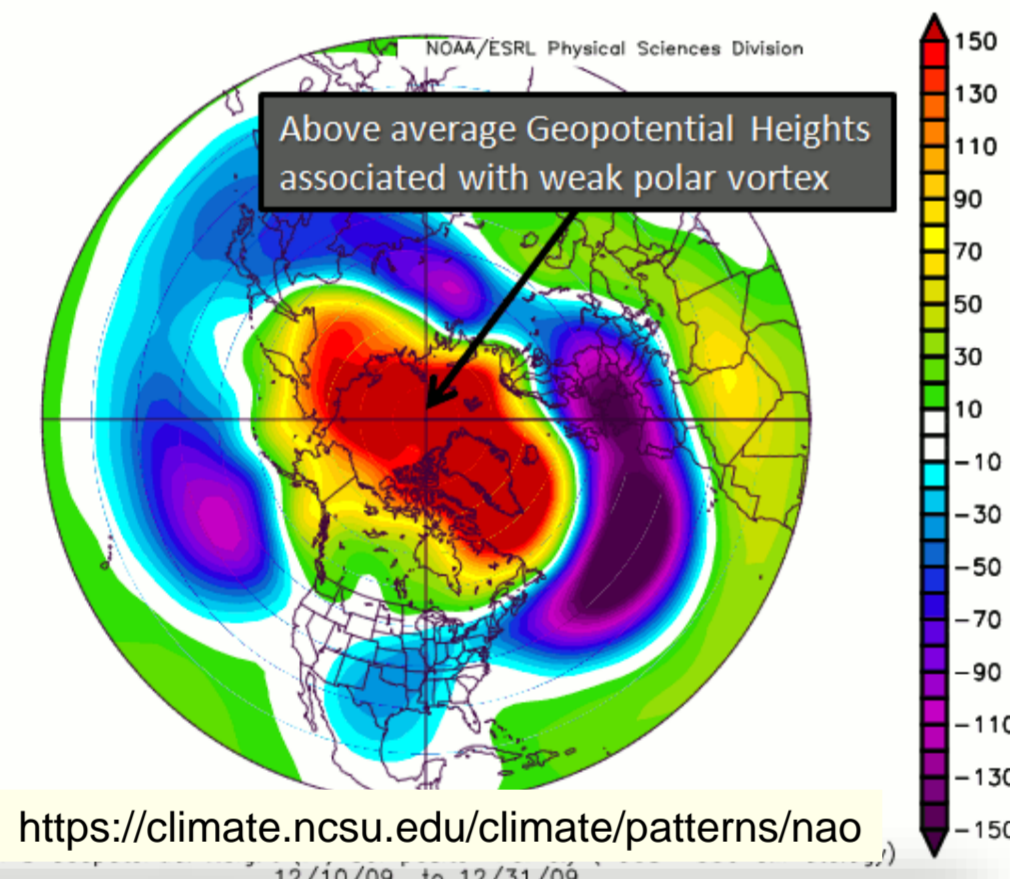
2. Arktikus oszcilláció (AO)

- „gyűrűszerű” anomália a tengerszintnyomás- (SLP)/geopotenciálmezőkben az é. sz. 20–90° között, az előjel ellenkező az Arktiszon és az é. sz. 37–45° sávban
- **AO index (AOI)**: az oszcilláció fázisát írja le, azt számszerűsíti, hogy a sarki hideglevegő milyen mértékben jut el a közepes szélességekre

2.1. Az AO távkapcsolatai

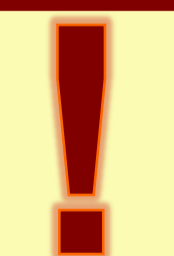
(–) fázis [(+) fázis: az ellenkezője]

- gyengébb poláris örvény
- gyengébb zonális szelek
- U.S.A., É-Európa, Ázsia: sarki levegő délebbre tud jutni → **hidegebb** telek
- Mediterrán térség: **viharok**



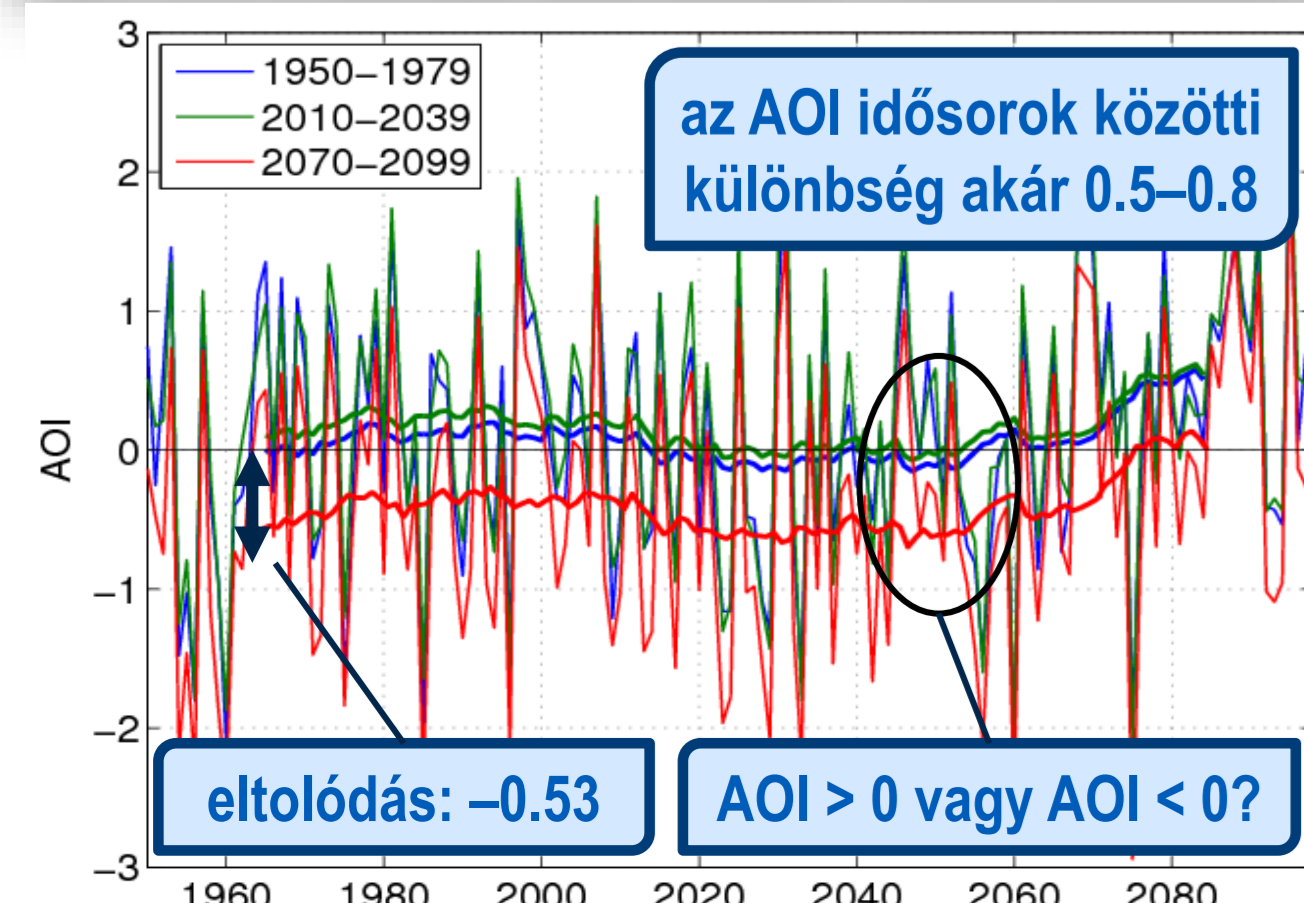
2.2. Hagományos definíció és számítás

- **AO mintázat**: az SLP mezőn az é. sz. 20° és 90° között végzett **empirikus ortogonális függvény (EOF) analízis** vezető módusa egy adott referencia-időszakra
- **AO index (AOI)** idősor: az ehhez tartozó, a referencia-időszakra standardizált 1. főkomponens (PC) idősor
- **AO amplitúdó**: az első főkomponens idősorának szórása
- **Az AO távkapcsolatainak erőssége**: az AOI és egy másik meteorológiai változó közötti **korrelációs együttható (r)**



A mennyiségeket egy adott **referencia-időszakra** számítják **időben** → szubjektív!

3. A referencia-időszak szerepe



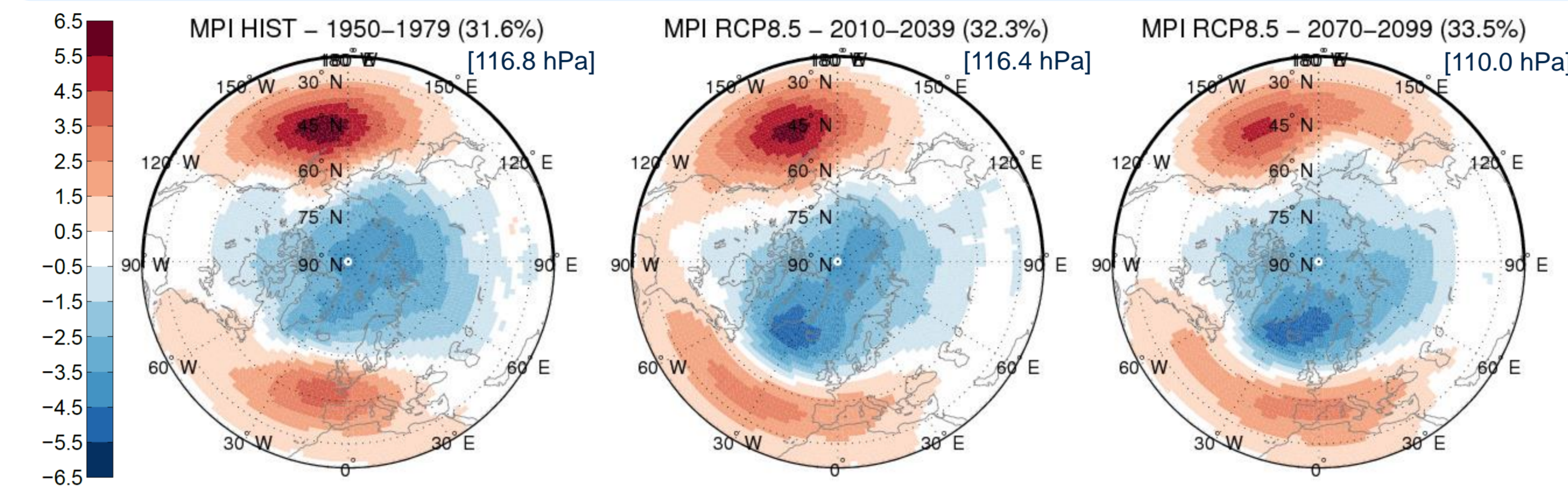
1. ábra: AOI idősorok (vékony görbék) az MPI-GE 1. tagjára a HIST és RCP8.5 forgatókönyv esetén, különböző, a jelmagyarázatban jelölt referencia-időszakkal számítva. A vastag görbék a 30 éves mozgóátlag idősorait jelölik.

Valamelyik AOI idősor tekinthető „az igazinak”? **NEM**



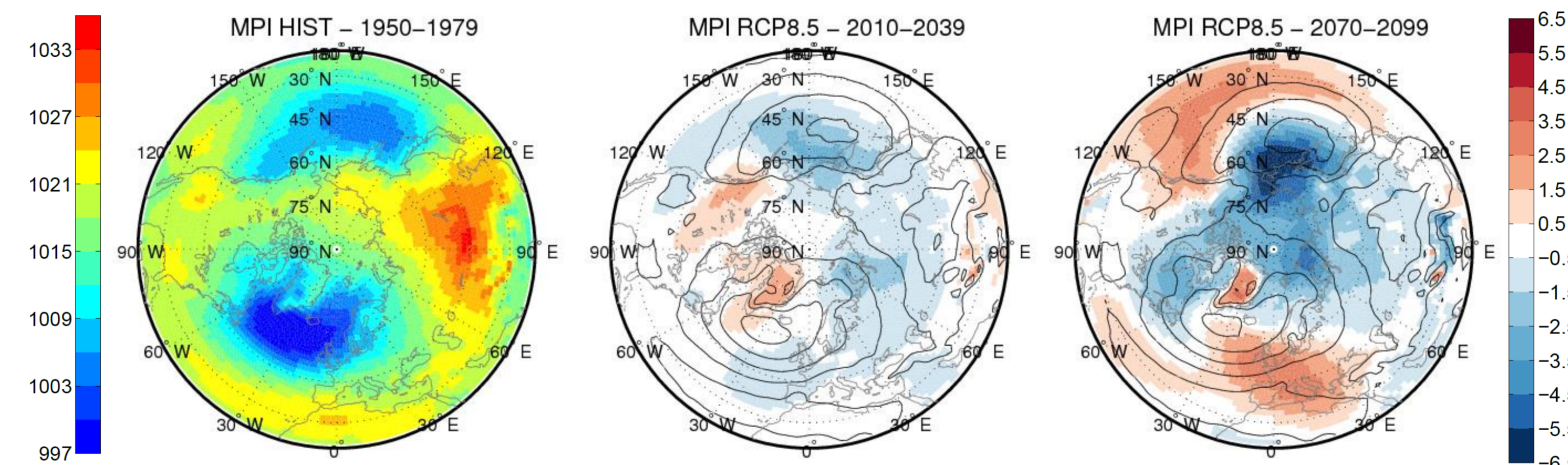
3.1. A háttérben rejlő okok (bármilyen EOF-alapú jelenség esetén)

1. Az 1. EOF módus egy egyhelyben álló, fix térbeli szerkezetű oszcilláció. A hagyományos módszer állandónak feltételezi a teljes vizsgált időszakra.
 - Az **index** (pl. AOI) írja le, **milyen fázisban** van épp az oszcilláció, hogyan oszcillál
 - Éghajlatváltozás esetén a **stacionaritás nem feltételezhető**: sem az oszcilláció térbeli szerkezete, sem az oszcilláció amplitúdója nem marad állandó.



2. ábra: Az oszcillációs mintázat és amplitúdó változása különböző referencia-időszakokban. DJF-átlag SLP regressziós térképek [hPa] az 1. EOF módus által magyarázott variációval az MPI-GE 1. tagjában az HIST és RCP8.5 forgatókönyvekben a felirattal jelzett referencia-időszakokra.

2. Az index idősorában látható **eltolódás** az éghajlati rendszer alapállapotában bekövetkező változásnak (pl. SLP mezők) következménye, amit jelen esetben az **oszcillációs alapállapot** (AOI = 0) számszerűsíti.



3. ábra: Az átlagos SLP mezők változása. DJF-átlag SLP mezők [hPa] (bal oldalt jet színskálán, középen és jobb oldalt fekete kontúrvonalakkal), valamint a DJF-átlag SLP mezők eltérése az 1950–1979 időszak átlagától [hPa] (középen és jobb oldalt vörös-kék színskálán).

3.2. A különbség számszerűsítése (Haszpra et al. 2020a)

- **Az AOI idősorok eltolódása** a b_1 és b_2 referencia-időszakok között: a b_2 alapján számított AOI idősor b_1 -re vonatkozó átlaga:

$$\sigma_{b_2}^{-1} |\Delta SLP| \cos \theta$$
- Az 1. ábrán $b_1 = 1950–1979$ és $b_2 = 2070–2099$: $\sigma_{b_2} = 110.0$ hPa, $|\Delta SLP| = 117.0$ hPa és $\theta = 120^\circ \rightarrow$ **eltolódás = -0.53** (összhangban 1965-re a 30 éves átlagot jelző piros görbe értékével)

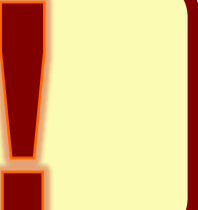
Felhasznált adatok és rövidítések

- **MPI-GE**: Max Planck Institute Earth System Model 100-member Grand Ensemble
- **CESM**: Community Earth System Model 40-member Large Ensemble
- **HIST**: historical experimental design scenario, 1950–2005
- **RCP2.6, 4.5, 8.5**: Representative Concentration Pathway scenarios, 2006–2100

4. A snapshot-megközelítés – a megoldás

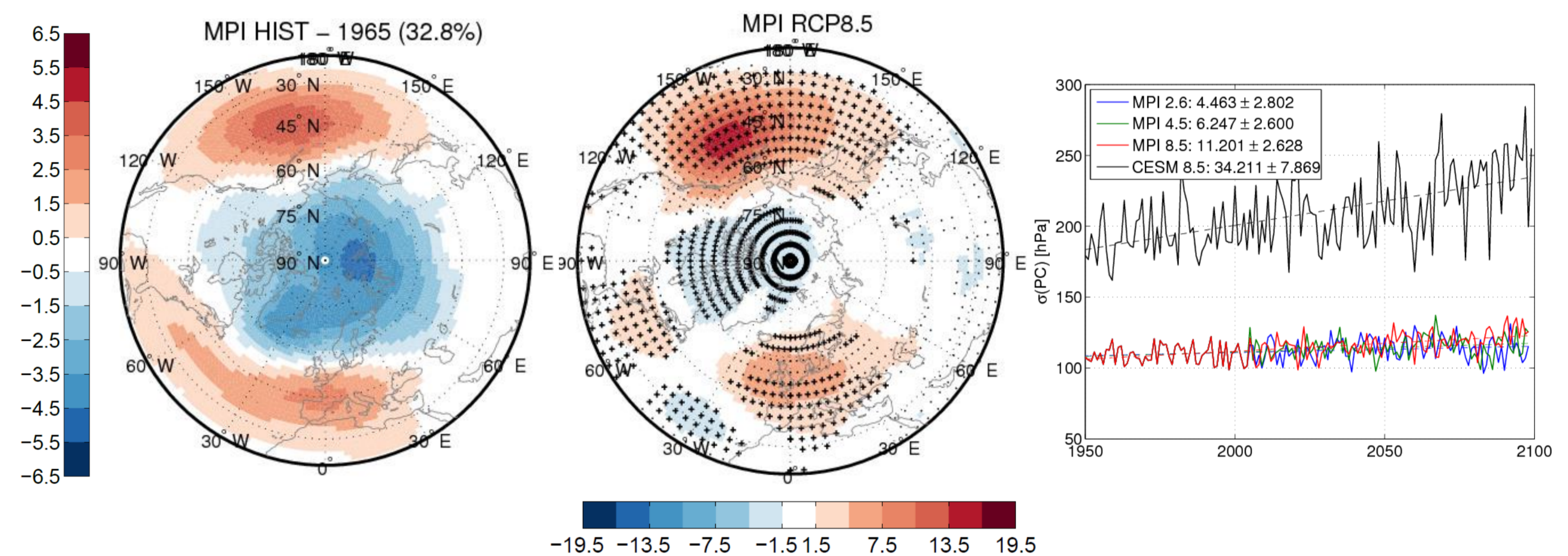
- **Large ensembles**: **helyesen** jellemzik az éghajlati rendszer **lehetséges állapotainak halmazát** minden időpillanatban a konvergenciaidő után, pl.:
 - ensemble átlag = a rendszer pillanatnyi átlagos állapota
 - ensemble szórás, EOF = pillanatnyi belső változékonyságot számszerűsíti

Számítsunk minden statisztikát az ensemble dimenzióban minden időpillanatban! → időfüggés vizsgálható!

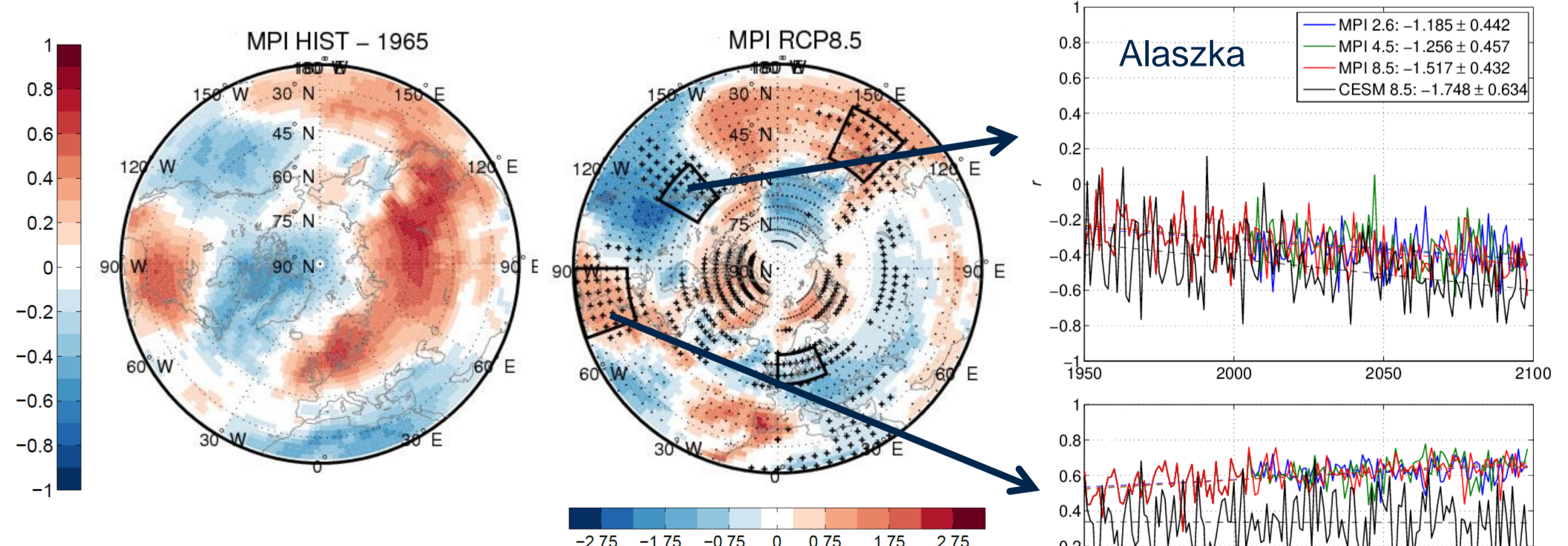


4.1. Snapshot (pillanatkép) EOF (SEOF, Haszpra et al. 2020a,b)

- EOF analízis az **ensemble dimenzióban** minden egyes időpillanatban.
- Az SEOF1 módus az éghajlati rendszer egyfajta belső változékonyságát jellemzi az éghajlat átlagos állapota körül egy adott időpillanatban.
- Az eredményeket egyedül a felhasznált ensemble tagok száma befolyásolja.
- **Eredmények**:



4. ábra: Pillanatnyi oszcillációs mintázat (DJF-átlag SLP regressziós térkép [hPa] a jelölt évben (magyarázott variáció zárójelben), bal oldalt), ennek **időfüggése** (lineáris trend [10^{-3} hPa év⁻¹] a DJF-átlag SLP regressziós térképekben 1950–2100-ra, középen), és az **oszcilláció amplitúdójának időfüggése** (a PC-k szórása, jobb oldal).



5. ábra: Pillanatnyi távkapcsolati erősség (korrelációs együttható (r) az AOI és a felszínhőmérséklet között, bal oldalt), ennek **időfüggése** (lineáris trend [10^{-3} év⁻¹] az r-ben 1950–2100-re, középen), és az **időfüggés különböző területeken** (jobb oldalt).

Irodalom

Haszpra, T., Topál, D., Herein, M. (2020a): On the time evolution of the Arctic Oscillation and related wintertime phenomena under different forcing scenarios in an ensemble approach. *J. Climate*, 33(8), 3107–3124.
Haszpra, T., Topál, D., Herein, M. (2020b): Detecting forced changes in internal variability using Large Ensembles: On the use of methods based on the “snapshot view”. *US CLIVAR Variations Summer 2020*, 18(2), 36–43.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH PD-121305, PD-132709, FK-124256, FK-135115, K-125171 sz. projektjeinek és az Emberi Erőforrások Minisztériuma Új Nemzeti Kiválóságai Programjának ÚNKP-18-4 and ÚNKP-19-1 ösztöndíjainak támogatásával készült.