

Mika János – Göboly Dorottya – Pajtókné Tari Ilona¹

**ZONALITÁS ÉS KONTINENTALITÁS AZ ÉGHAJLATBAN, ANNAK BECSLÉSI HIBÁIBAN
ÉS VÁLTOZÁSAIBAN A GLOBÁLIS ÉGHAJLATI MODELLEK SZÁMÍTÁSAI ALAPJÁN**

ÖSSZEFOGLALÁS

Három vonatkozásban mutatjuk be a földrajzi rendet, amely a legtöbb éghajlati elemben megtalálható. Ez a rend a zonalitás és a kontinentalitás, amely a napsugarak földrajzi szélességtől függő beesési szögével- illetve a kontinensek és óceánok földrajzi hosszúságtól függő, eltérő hőkapacitásával magyarázható. Az általános cirkulációs modelleket (GCM-eket) hívjuk segítségül a címben jelzett három aspektus vizsgálatára: (a.) Képesek-e a modellek a hőmérséklet, a csapadék és a légnyomás évszakos és éves értékeiben mutatkozó zonális és kontinentális rend visszaadására? (b.) Van-e a zonalitásra illetve kontinentalitásra emlékeztető térbeli rend a jelenkori éghajlat szimulálásának hibáiban? (c.) Felismerhető-e a zonalitás és a kontinentalitás a fenti elemek szén-dioxid okozta megváltozásának mezőiben?

E kérdéseket a MAGICC/SCENGEN 5.3v2 diagnosztikai modell (Wigley, 2008) felhasználásával válaszoljuk meg, amely a modellek eredeti válaszait igazítja bármely kiválasztott időbeli kényszer-alakuláshoz és időhorizonthoz. Számításaink az A1B forgatókönyvvel és az aeroszol-tartalom állandó értékére vonatkoznak, a 2030-2049 éves időszak átlagértékeit a jelen klímát reprezentáló, 1980-1999 évek átlagaihoz viszonyítva. Az első két kérdés a referencia-éghajlatra vonatkozik, a harmadik kérdést a két időszak összevetésével tudjuk megválaszolni. Az első két mezőt az ERA-40 re-analízisekkel hasonlítjuk össze.

A kontinentális különbségeket egy 5 földrajzi fok szélességű övben mutatjuk be, a melyek egy zonális övként ölelik körül a Földet. Ezen öv a 45. és az 50. északi szélesség között húzódik, tartalmazva Magyarországot is, de átfogva a Csendes Óceán Észak-Amerika, az Atlanti-óceán, Európa és Ázsia e sávba eső területeit. A másik 2,5 fok szélességű övezet az északi sarktól indulva a 20-dik keleti hosszúság mentén halad a déli sarkig, majd átellenben a 160. nyugati hosszúság mentén folytatódik, ismét visszatérve az északi pólushoz. Ennek az övnek az első 180 fokos fele keresztülhalad Európa, Afrika és az Antarktisz területén, míg a második mindvégig a Csendes fölött halad és csak Alaszka fölött lép egy rövid körcikk erejéig Alaszka földjére. Ez a két eltérő félkörből álló öv a zonalitás bemutatására szolgál.

A fenti, egy zonális-, illetve két meridionális övet a modellekben egy-egy pontsor reprezentálja. A kapott eredmények, amiket tételesen a dolgozat záró táblázatában foglalunk össze, bővítik a klímaváltozásról eddig tudottakat, és felhasználhatók a földrajz tanításában is.

BEVEZETÉS

Tanulmányunk az általános cirkulációs modellek ma elérhető legújabb eredményei (IPCC, 2007) felhasználásával fizikai szimulációkban és a legkorszerűbb re-analízis módszerekkel született megfigyelt adatokban (Uppala et al., 2005) megmutatjuk, hogy a zonalitás és a kontinentalitás miben hogyan van jelen. Először listázzuk a felhasznált általános cirkulációs modelleket (*1. táblázat*), majd bemutatjuk a MAGICC/SCENGEN diagnosztikai szoftvert, amivel a különféle modell-futásokat egységes forgatókönyvre hozzuk. Ezt követően, először a jelenlegi éghajlatban, illetve a modellek jelen klímát szimuláló eredményeinek a hibáiban mutatjuk meg a fenti földrajzi kategóriák érvényesülését. Végül, a megváltozás-mezőkben keressük ugyanezt, végül összefoglaljuk az egyes kérdéskörökben tapasztalt viselkedést.

¹Mika János, Göboly Dorottya, Pajtókné Tari Ilona: *Eszterházy Károly Főiskola, Földrajz Tanszék, 3300 Eger, Leányka u. 6.*
E-mail: mikaj@ektf.hu, dorottya0413@freemail.hu, pajtokil@ektf.hu

1. táblázat A felhasznált 20 OAGCM (IPCC 2007 WG-I, Ch. 8, 597-599) jellemzői. Az információk sorrendje: a modellt futtató intézmény, a modell felső határa (**top**), a légkör (**A**) és az óceán (**O**) horizontális illetve vertikális felbontása. E modellek eredményeit átlagoltuk ki a MAGICC/SCENGEN diagnosztikai modell segítségével.

GISS-EH, 2004: NASA Goddard Institute for Space Studies, USA, top = 0.1 hPa, L20 A: 4° x 5° O: 2° x 2° L16	GISS-ER, 2004: NASA Goddard Institute for Space Studies, USA, top = 0.1 hPa L20 A: 4° x 5° O: 4° x 5° L13
GFDL-CM2.0, 2005: NOAA/Geophysical Fluid Dyn. Lab., USA top = 3 hPa L24, A: 2.0° x 2.5° O: 0.3°–1.0° x 1.0°	GFDL-CM2.1, 2005 NOAA/Geophysical Fluid Dyn. Lab., USA, =GFDL-CM2.0 with semi-Lagrangian atmospheric transport
CGCM3.1(T47), 2005: Canad. Centre for Clim. Mod. Anal., Canada, top =1 hPa, L31 A: T47 (~2.8° x 2.8°) O: 1.9° x 1.9° L29	CGCM3.1(T63), 2005: Canad. Centre for Clim. Mod. Anal., Canada, top =1 hPa, L31 A: T63 (~1.9° x 1.9°), O: 0.9° x 1.4° L29
MIROC3.2(hires), 2004: U.Tokyo; Nat. Ins. Env. Stud.; JAMSTEC, Japan top =40 km, L56 A: T106 (~1.1° x 1.1°) O: 0.2° x 0.3° L47	MIROC3.2(medres), 2004: U.Tokyo; Nat. Ins. Env. Stud.; JAMSTEC, Japan top = 30 km L20 A: T42 (~2.8°x2.8°) O: 0.5°–1.4°x1.4° L43
UKMO-HadCM3, 1997: Hadley Centre / Meteorol. Office, UK top =5 hPa, L19 A: 2.5° x 3.75° O: 1.25° x 1.25° L20	UKMO-HadGEM1, 2004: Hadley Centre/ Meteorol. Office, UK top = 39.2 km, L38 A: ~1.3° x 1.9° O: 0.3°–1.0° x 1.0° L40
CCSM3, 2005: National Center for Atmosph. Res., USA, top = 2.2 hPa, L26 A: T85 (1.4°x1.4°), O: 0.3°–1°x1°, L40	CNRM-CM3, 2004: Météo-France/Centre Nat. Rech. Mét., France, top =0.05 hPa L45, A: T63 (~1.9° x 1.9°) O: 0.5°–2° x 2° L31
CSIRO-MK3.0, 2001: Comm. Sci. Industr. Res. Org., Australia, top = 4.5 hPa, L18 A: T63 (~1.9° x 1.9°) O: 0.8° x 1.9° L31	ECHAM5/MPI-OM, 2005: Max Planck Inst. f. Meteor., Germany, top =10 hPa, L31 A: T63 (~1.9° x 1.9°), O: 1.5° x 1.5° L40
ECHO-G, 1999 Meteor. Inst. Univ. Bonn, FRG, Met. Res. Inst. Korea, top =10 hPa L19 A: T30 (~3.9°x3.9°) O: 0.5°–2.8°x2.8° L20	FGOALS-g1.0, 2004: Nat. Key Lab. /Inst. Atmos. Phys., China, top = 2.2 hPa, L26 A: T42 (~2.8° x 2.8°) O: 1.0° x 1.0° L16
INM-CM3.0, 2004: Institute for Numerical Mathematics, Russia top = 10 hPa, L21 A: 4° x 5° O: 2° x 2.5° L33	IPSL-CM4, 2005: Institut Pierre Simon Laplace, France top = 4 hPa, L19 A: 2.5° x 3.75° O: 2° x 2° L31
MRI-CGCM2, 2003: Meteorological Res. Institute, Japan top = 0.4 hPa L30 A: T42 (~2.8°x2.8°) O: 0.5°–2.0°x2.5° L23	PCM, 1998: National Center for Atmosph. Research, USA top = 2.2 hPa L26 A: T42 (~2.8°x2.8°) O: 0.5°–0.7°x1.1° L40

A MAGICC/SCENGEN KÍNÁLTA LEHETŐSÉGEK

A MAGICC (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change) egy sor egyszerű gáz-ciklus, éghajlati és jégolvadási modell együttese (Wigley, 2003, 2008), amely lehetővé teszi a felhasználó részére, hogy meghatározza a globális hőmérséklet és a világóceán vízszintalakulásának következményeit, tetszőleges megadott üvegházgáz-koncentrációk időbeli alakulása függvényében. A MAGICC/SCENGEN programcsomag egy kapcsolt gázkörforgási/klíma modell (MAGICC), mely egy regionális klímaváltozási szcenárió generátort (SCENGEN) lát el adatokkal. Az SCENGEN a MAGICC kimenő adatait felhasználva készít térképeket, amelyek a jövő klímájának regionális változásait mutatják be.

A MAGICC/SCENGEN-t három célból hozták létre (Wigley, 2003):

- ahogy lehetővé tegye regionális éghajlati forgatókönyvek fejlesztését;
- ahogy a klímaváltozás megismeréséhez információforrást képezzen;
- ahogy megfigyelt és modellek által generált éghajlati adatokat szolgáltatson.

A programcsomagnak több verziója van. A MAGICC/SCENGEN programcsomag legújabb, 5.3.v2-es sorozatszámú verzióját 2008 szeptemberében hozták nyilvánosságra. Ez a verzió az IPCC *Negyedik Értékelő Jelentésének* eredményeit dolgozza fel. Az SCENGEN újabb változata lehetővé teszi többek közt a kapcsolt óceán-légkör modellek (AOGCM) összevetését a megfigyelt éghajlati értékekkel, az esetleges változások számszerűsítését és vizsgálatát, rácpontok szerinti kimenőértékek előállítását, valamint területi átlag számításokat a kiválasztott térségekre. (A MAGICC/SCENGEN programcsalád 5.3.v2-es verziója letölthető a <http://www.cgd.ucar.edu/cas/wigley/magicc/index.html> címen.)

A MAGICC által felhasznált modellek kidolgozása a Climatic Research Unit és a NCAR központokban történt, főképp Tom Wigley és Sarah Raper tevékenységének köszönhetően. A modellek FORTRAN programozási nyelvben vannak megírva és futtatva.

A SCENGEN egy leskálázási algoritmuson alapul, amit Tom Wigley és Ben Santer dolgoztak ki, szintén FORTRAN programozási nyelvben. A szénkörforgás modelljét Tom Wigley dolgozta ki 1993-ban. A programban alkalmazott metán, nitrogén-oxidok és a troposzférikus ózonmodellek, az IPCC *Harmadik Értékelő Jelentésének* a légkörkémia fejezetében vannak részletesen leírva, akárcsak a jégolvadási modellek. A két program logikai felépítését és a kettő közti kapcsolatot jól szemlélteti az alábbi folyamatábra (1. ábra)

A MAGICC kimenő adatai:

- a) gáz koncentrációk;
- b) az üvegházhatású gázok sugárzási kényszerének a mértéke;
- c) globális átlaghőmérséklet és világóceán vízszint.

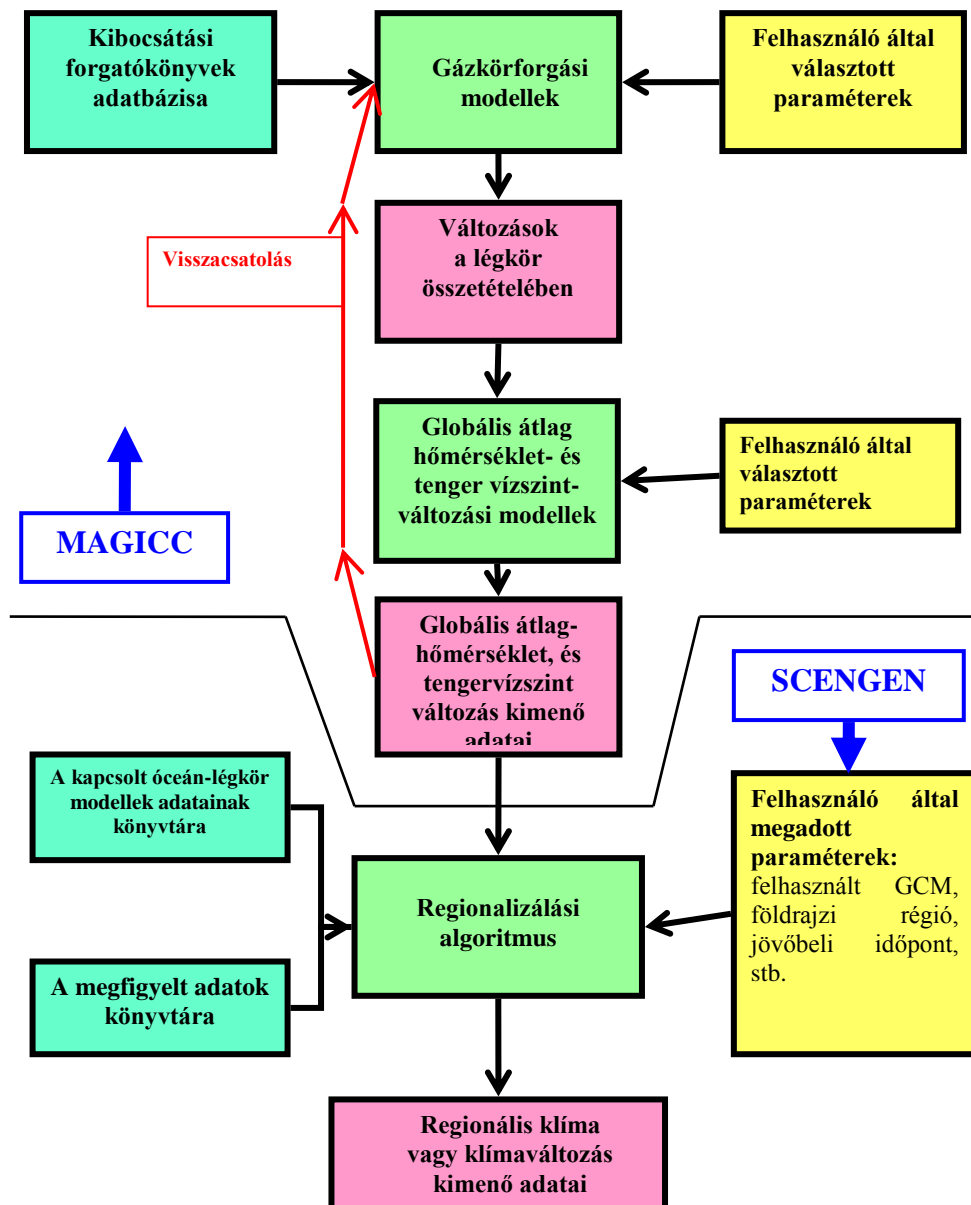
A SCENGEN kimenő adatai:

- a) megfigyelt adatsorok;
- b) a modellek validációjának eredményei;
- c) a hőmérséklet és a csapadék átlagértékeinek változása
- d) a szórás változása
- e) jel/zaj arány;
- f) a növekedés valószínűsége.

Tanulmányunkban arra használjuk fel a MAGICC/SCENGEN programcsalád nyújtotta lehetőségeket, hogy számszerűsíteni tudjam az IPCC által előre jelzett klímaváltozást a 45. és az 50. északi szélességi körök között. Ezt számomra a program felhasználóbarát jellege tette lehetővé. A programcsalád sok lehetőséggel ruházta fel a felhasználót, ezért a hangsúlyt a klímaváltozási modellek eredményeire fektettem. A kutatás első lépése a MAGICC program inicializálása és futtatása volt. Az inicializálás legfontosabb mozzanatát a gáz kibocsátási forgatókönyv kiválasztása képezte, hiszen ez döntően befolyásolja a program kimenő adatait, melyet a későbbiekben az SCENGEN használ fel bemenő adatként, tehát egyértelmű hatást gyakorol a végső eredményre.

Tanulmányunkban az *A1B* gáz kibocsátási forgatókönyvet alkalmaztuk. Az *A1*-es forgatókönyvcsalád egy gazdaságilag gyorsan fejlődő világ képét festi elénk, ahol a század közepének globális népesedési csúcsa után hanyatlás következik új, hatékonyabb technológiák bevezetése mellett. A fontosabb alapkérdések: a régiók fejlődésének egymáshoz való konvergálása, kapacitások kiépítése, sűrűbb kulturális és társadalmi interakciós háló, miközben a regionális különbségek jelentősen csökkennek az egy főre jutó jövedelmek tekintetében. Az *A1*-es forgatókönyvek három csoportta fejlődnek, amelyek az energiarendszer technológiai átalakulásának három lehetséges iránya szerint haladnak. A három *A1* csoportot a technológiai hangsúlyok különböztetik meg egymástól: fosszilis tüzelőanyag-igényű (*A1FI*), nem fosszilis energiaforrásokon alapuló (*A1T*), vagy a források közti egyensúlyra épülő (*A1B*) (ahol az egyensúly azt jelenti, hogy nem támaszkodik egyoldalúan egy konkrét energiaforrásra, és azt feltételezzük, hogy ugyanolyan ütemben fejlődik minden energiaszolgáltató és végfelhasználói technológia) (IPCC, 2001).

Az 1. ábrán bemutatott MAGICC/SCENGEN modell sárga színnel jelölt beavatkozási lehetőségei közül a bemutatott eredményekhez az aeroszolk változásának a hiányát, valamint a referencia- és megváltozási időszakokat adtuk be. A számítások a teljes Földre elkészültek, az alábbiakban specifikált övezeteket ebből választottuk ki. A felkínált mezők közül mindvégig a hőmérséklet, a csapadék és a tengerszinti légnyomás adatait használjuk fel.



1. ábra: A MAGICC/SCENGEN programcsomag folyamatábrája (Wigley, 2008)

AZ ELEMZETT TERÜLET TÉRKÉPI LEHATÁROLÁSA

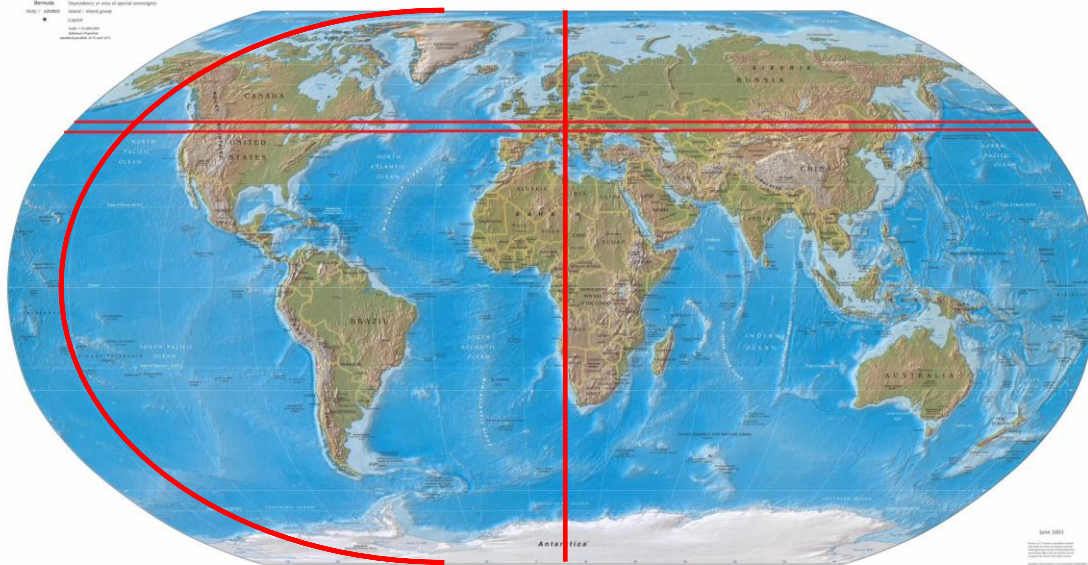
A MAGIC/SCENGEN programcsomag felhasználóbarát felépítése lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy megfelelően lehatárolja a vizsgálni kívánt területet. Szükséges, és célszerű is, egy kisebb térséget lehatárolnunk, ami a további elemzések tárgyát fogja képezni. A vizsgált övezetek kiválasztásában nagy szerepet játszott, hogy a kettő Magyarország térségében keresztezi egymást. Ennek megfelelően, a vizsgált két, egyenként 360 földrajzi fok hosszúságú övezet (2. ábra) a 45. és az 50. északi szélesség közötti, 5 fok szélességű öv, valamint az a 2,5 fok szélességű övezet, amely az északi sarktól indulva a 20-dik keleti hosszúság mentén halad a déli sarkig, majd átellenben a 160. nyugati hosszúság mentén folytatódik, ismét visszatérve az északi sarkig. Ennek az övnek az első fele keresztülhalad Európa, Afrika és az Antarktisz kontinenseinek a területén, míg a második mindvégig a Csendes fölött halad, és csak Alaszka fölött lép egy rövid körívk erejéig Alaszka földjére. Ez a két eltérő félkörből álló öv a zonalitás bemutatására szolgál.

Mivel a MAGICC/SCENGEN 2,5 fokos bontásban teszi hozzáférhetővé az eredményeket, ezt az övezetet két, egyenként 2,5 fok szélességű rész-öv reprezentálja, melyek

közepes szélességi koordinátái a 46,25 é. sz. illetve a 48,75 é. sz. E koordinátákat a rész-övek jelölésére fogjuk használni a továbbiakban. Célszerű és hasznos e terület vizsgálata azért is, mert jól elkülönülnek benne a hideg és a meleg tengeráramlások, a hegyvidékek és a síkságok. Így, az éghajlati elemekben és azok változásaiban megfigyelhető meridionális különbségek is markánsak lesznek.

Az ábrákon is bemutatandó meridionális öv csak 2,5 fok szélességű, mert így szembesíthető könnyebben a kontinensek feletti illetve az óceánok feletti félkörök. Ez az övezet az Északi Sarktól a Déli Sarkig terjed, mégpedig a 18,75 k. h. meridiánja mentén, majd fordított irányban a 161.75 ny.h. meridián mentén halad. Az előbbi meridián nagyrészt kontinenseken, az utóbbi félkör pedig óceáni területeken halad keresztül.

Physical Map of the World, June 2003



2. ábra: A vizsgált zonális és meridionális övezetek elhelyezkedése. A zonális övezeten belül, a 45. és 50. szélességek között a továbbiakban az alábbi betűjeleket alkalmazzuk. Pa1 – Pa2: Csendes óceán, hideg illetve meleg áramlási szektorok; Am1 – Am2: Észak Amerika, a hegyek illetve sík területek, a tavakkal együtt; At1 – At2: az Atlanti óceán, ismét a hideg illetve a meleg áramlások területei; Eu1 – Eu2: Európa hegyvidéki (Alpok, Kárpátok) illetve nagyrészt sík területei; As1 – As2: Ázsia fennsík jellegű, illetve hegyes területei.

ZONALITÁS ÉS KONTINENTALITÁS A MEGFIGYELT ÉGHAJLATBAN ÉS A SZIMULÁCIÓ HIBÁIBAN

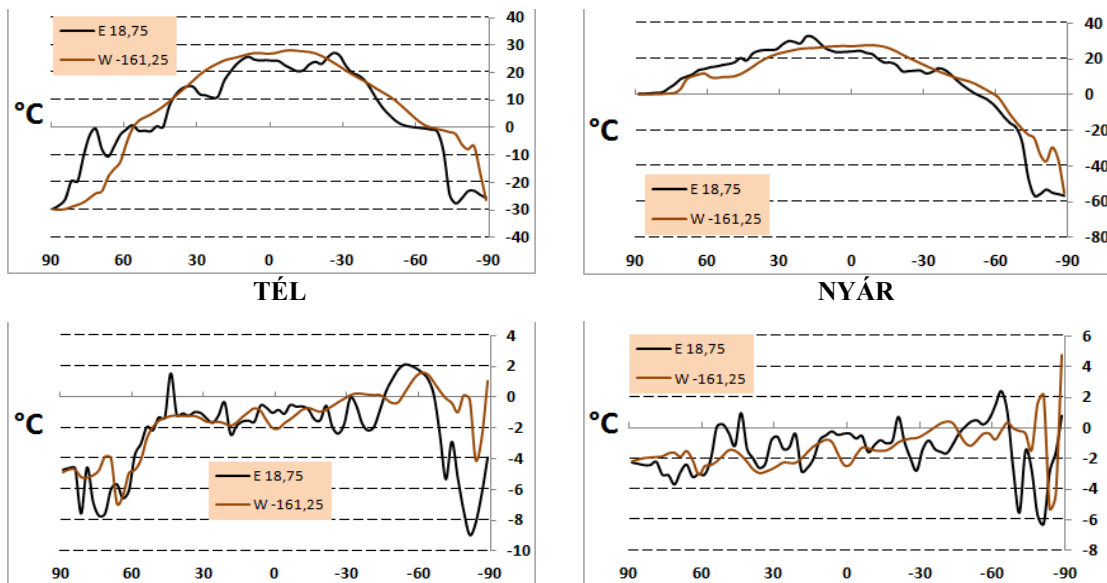
A hőmérséklet, a csapadék és a tengerszinti légnyomás mezőiben három aspektusból vizsgáljuk a zonalitást illetve a kontinentalitást érvényét. Mindhárom elemre nézve az előző pontban bemutatott két-, egyenként 360 földrajzi fok hosszúságú meridionális illetve zonális övben végzünk összehasonlítást. A három szempont (i) a jelenkori, megfigyelt klíma az ERA-40 adatbázis (Uppala et al., 2005) alapján, (ii) a vizsgált 20 OAGCM jelenkort (az 1980-1999-es éveket) szimuláló számításainak szisztematikus eltérése a tényleges mezőktől a MAGICC/SCENGEN 5.3 (Wigley, 2008) felhasználásával, és (iii) a 2030-2049 évek átlagára bekövetkező megváltozás, ugyanezt a diagnosztikai szoftvert felhasználva.

Az alábbiakban a 3-5 ábra az előző két aspektust illusztrálja a fentebb specifikált kontinentális illetve óceáni területeken keresztül haladó, meridionális övben, míg a 6-8 ábrák a kontinentalitást vizsgálják majd, a 45-50 é.sz. zonális övezetben.

A hőmérséklet jelenkori meridionális profiljában (3. ábra, felül) egyértelműen felismerhető a zonalitás (3. ábra) mindkét szélső évszakban.. Míg az északi félteke tekén a két féltekén a hőmérséklet változása közel szimmetrikus a földrajzi szélességgel, addig az északi

félteke nyarán az északi félgömb jóval melegebb. A téli évszakban feltűnő a hőmérséklet erőteljes ingása a sima menet körül. Az óceáni öv fölött ez az ingadozás nem tapasztalható.

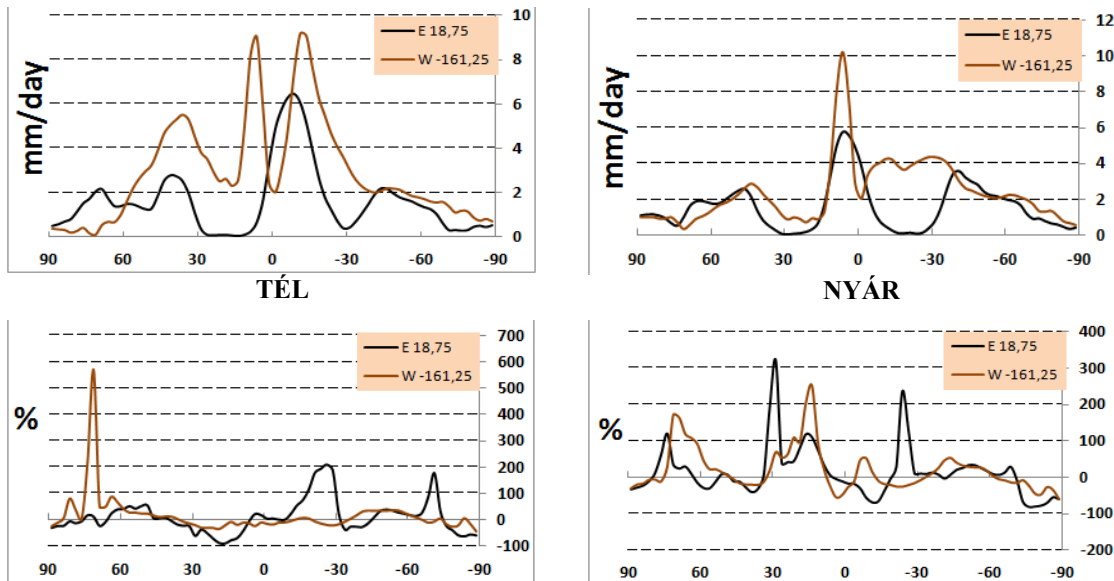
A hőmérséklet becslési hibája (3. ábra, alul) a kiválasztott meridionális övekben főleg alulbecslés (hidegebb modell-klíma a valóságnál). A hiba szélességektől való függése itt is a kontinensek fölötti övben mutat nagyobb ingadozást. Nem ugyanolyan szabályosan bár, mint magánál a jelenkori hőmérsékletnél, de a becslési hibában is megmutatkozik bizonyos zonalitás, elsősorban a téli erős alulbecsléseknél a poláris térségekben. Az északi félgömb hőmérsékletének alulbecslése is jelentősebb, mint a deli félgömbé.



3. ábra: A hőmérséklet megfigyelt átlagai (°C, fent) és az ennek szimulációjában elkövetett hiba (alul) az északi félteke telén (balra) és nyarán (jobbra) a vizsgált meridián mentén.

A csapadék övezetes viselkedése ugyanakkor nagyon sajátos képet mutat, amelyek eltérnek egymástól a kontinensek fölött, illetve az óceánok fölött húzódó félörv mentén is (4. ábra). Nemcsak az óceánok fölötti csapadék magasabb lényegesen, hanem különös az óceánok feletti csapadék kettős maximuma is, az egyenlítő térségében az északi félteke telén. A kétféle felszín fölötti meridionális profilok más vonatkozásokban is eltérnek egymástól. Ugyanakkor egyértelmű zonalitást nem tudunk megállapítani a csapadékhullás rendjében.

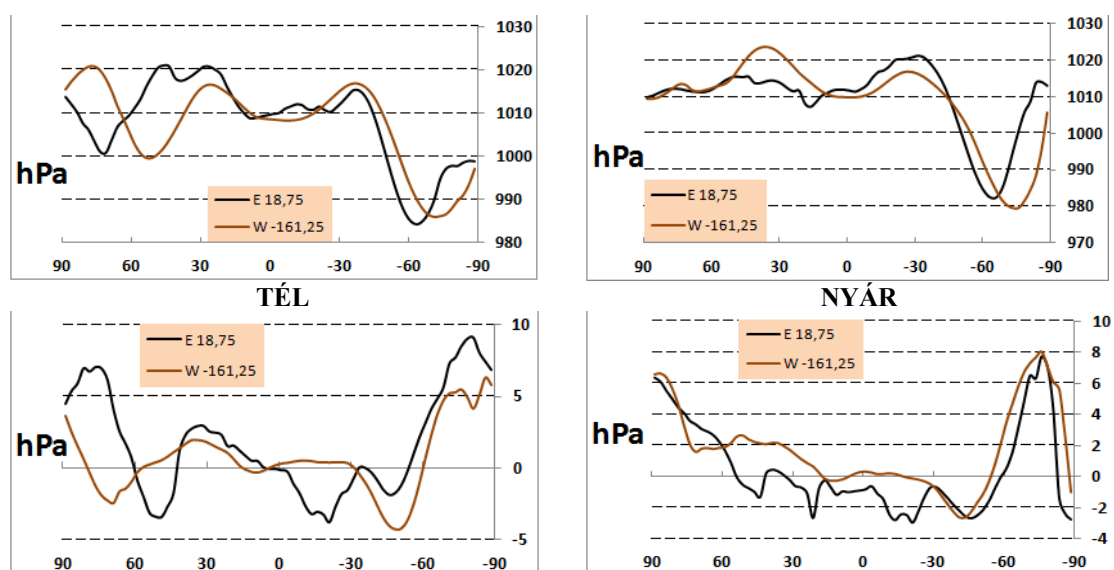
Rátérve a csapadékbecslés hibáira, megállapíthatjuk, hogy ebben jóval általánosabb a felülbecslés, mint a jelenlegi csapadéértékek alul-becslése a szimulációkban. Ugyanakkor, néhány kritikus sávot kivéve, ezek a hibák nem jelentősek. Bár a görbék futása eltérő, nem állapítható meg egyértelmű, jól interpretálható különbség a kontinensek illetve az óceánok fölötti hibák között. Szintén nehéz volna egyértelmű zonalitást is megállapítanunk a GCM-ek hibáinak meridionális profiljaiban. Ugyanakkor, az illető féltekék nyarán a becslési hiba általában nagyobb.



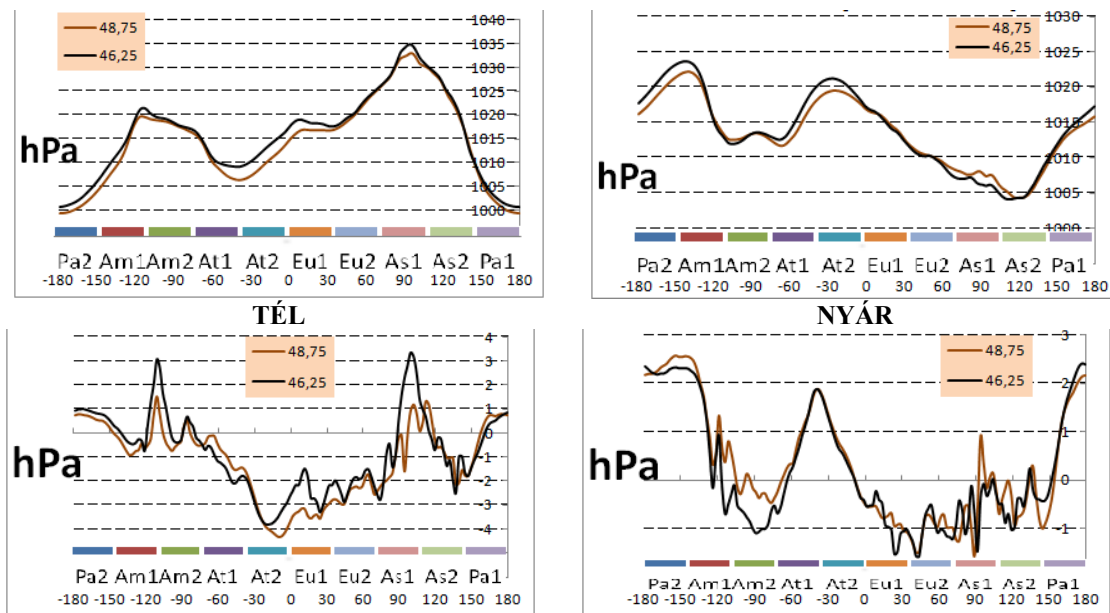
4. ábra: A csapadék megfigyelt átlagai (mm/nap, fent) és az ennek szimulációjában elkövetett hiba (% , alul) az északi félteke telén (balra) és nyarán (jobbra) a vizsgált meridián mentén.

A tengerszinti légnyomás megfigyelt értékeiben jelentős a különbség a kontinensek-, illetve az óceánok fölötti meridiánok között. A légnyomás általában nagyobb értéket vesz fel a kontinensek fölött a kérdéses félteke telén és kisebbet annak nyarán (5. ábra). A térítők térségének magasabb-, illetve az egyenlítő és a poláris térség alacsonyabb tengerszint feletti magassága, mint egyértelmű zonális különbségek jól kirajzolódnak.

A nyomási mezők szimulálásának hibáiban valamivel több a túlbecslés, mint az alulbecslés. Ezen belül, a poláris térség jelentős, az 5 hPa-nál is nagyobb túlbecslései zonális sajátosságnak tekinthetők, míg a mérsékelt- és alacsony szélességeken jóval kisebbek a hibák. Ha összehasonlítjuk egymással a kontinensek-, illetve az óceánok fölötti délkörök mentén tapasztalható hibákat, akkor az illető félgömb telén általában a kontinensek, azok nyarán inkább az óceánok adnak nagyobb felülbecslést. Kivétel azonban ez alól az Antarktisz, ahol a kontinensek nagyobb hibája inkább a déli félteke nyarán egyértelmű.



5. ábra: A tengerszinti légnyomás megfigyelt átlagai (hPa, fent) és az ennek szimulációjában elkövetett hiba (alul) az északi félteke telén (balra) és nyarán (jobbra) a vizsgált meridián mentén.



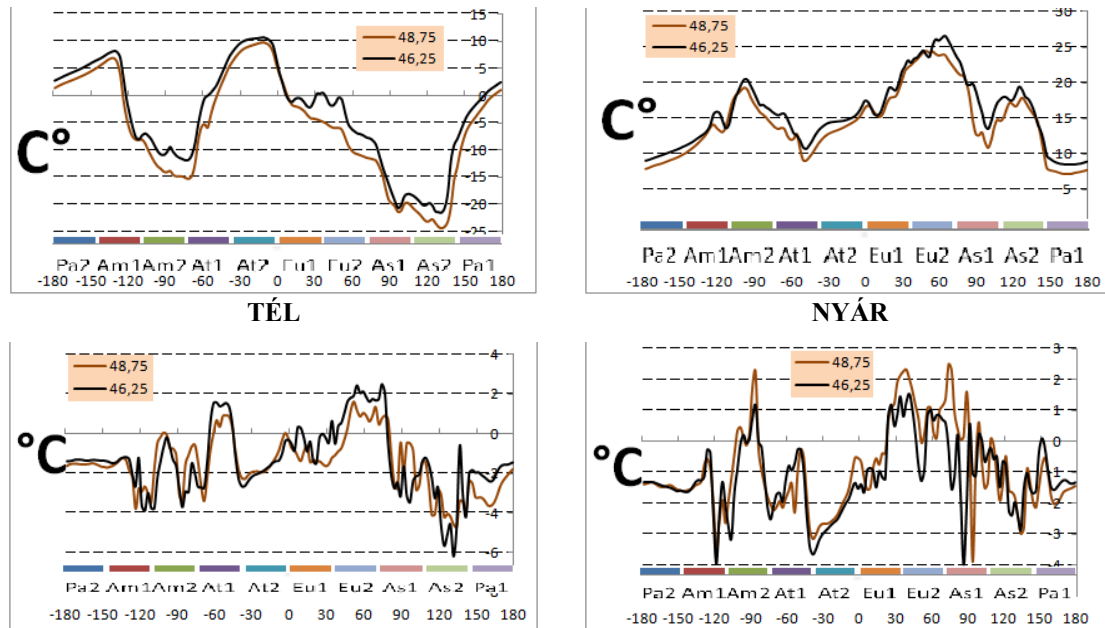
6. ábra: A megfigyelt tengerszinti légnyomás (hPa, fent) és az ennek szimulációjában elkövetett hiba (alul) az északi félteke telén (balra) és nyarán (jobbra) a vizsgált két zonális övezet mentén.

Rátérve a zonális övezetekben megfigyelhető kontinentális különbségekre, tekintsük elsőként a légnyomás alakulását (6. ábra)! Jól ismert tény, hogy ezekben az illető félteke telén a kontinensek fölött maximum, míg azok nyarán ugyanitt minimum alakul ki. Ezen eltérések abszolút értékeinek eltérése is jelentős, télen több mint 30 hPa, de az északi félteke nyarán is csaknem 20 hPa (csak hogy, fordított irányban). Érdekes megfigyelni, hogy az eurázsiai kontinensen ebben az övezetben igen erős az ún. Szibériai állandósult anticiklon, ami jóval magasabb nyomást eredményez, mint Európa ezen övbe eső szektorában. A nyomásértékek alakulását elsősorban a felszín légkörnél hidegebb, vagy annál melegebb volta határozza meg.

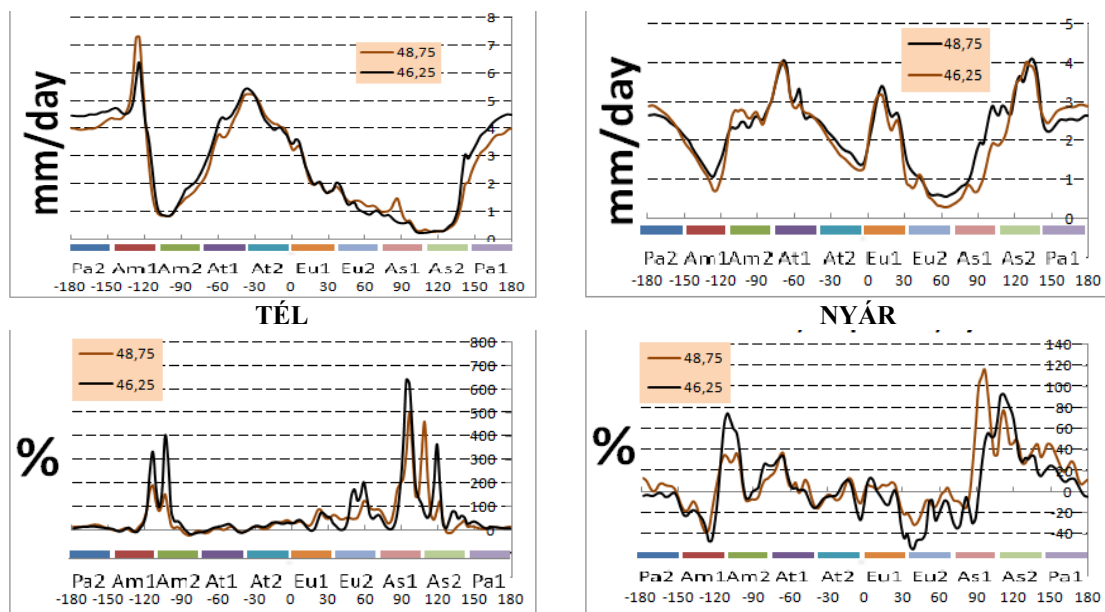
A légnyomás becslésének hibái általában nem nagyok, övezetes átlagban csaknem kiegyenlítődöek. Pontosabban, télen enyhe alulbecslés, nyáron enyhe túlbecslés tapasztalható. A 45-50. é. sz. mentén egyértelmű zonális különbségek vannak, mégpedig úgy, hogy télen jobbra a kontinenseken túlbecslés, az óceánok fölött alulbecslés van, amely viszony nyáron közelítőleg megfordul. A két szomszédos, 2,5 fok szélességű övben a hibák hol az egyik, hogy a másik övben magasabbak, egymástól csak csekély mértékben eltérve.

A hőmérséklet megfigyelt zonális övezeti alakulásában (7. ábra) egészen nyilvánvaló a kontinentalitás jelenléte. Télen az óceánok fölött, s még inkább azok keleti partjainál a hőmérséklet sokkal magasabb (a meleg tengeráramlatoknak is köszönhetően), mint a kontinensek belsejében. A legalacsonyabb hőmérsékleti értékeket a magas tengerszintfeletti magassággal rendelkező, egyébként is erősen kontinentális hatásoknak kitett ázsiai hegyvidékben mérték. A szárazulatok közül az amerikai kontinens a legmelegebb, akár 5 °C-kal is meghaladja az európai, illetve akár 5-10 °C-kal a belső ázsiai területeket. Nyáron a kontinensek a melegebbek, a maximumok Amerika keleti partjaira és Ázsia határ zónájára esik (20-26 °C), további magas értékekkel találkozunk Amerika nyugati partvidékén (20 °C).

A klímamodellek jellemzően alulbecslik a 45-50. é. sz. övezet hőmérsékleteit, bár vannak enyhe túlbecslést mutató területek is az övezeten belül. A téli hónapokra a negatív csúcsot Ázsia keleti része (-6 °C) tartja, de Amerika és Ázsia területén is elfordulnak -4 °C körüli hibák. A nyári időszakban is erősek a negatív hibák (Am1, -4 °C), csökkennek viszont a pozitív hibák. Az óceánok negatív hibái megközelítik a szárazföldön (Ázsia területén) tapasztaltakat. Megfigyelhető hogy a hideg áramlások térségében sokkal nagyobb a hiba értéke, mint a meleg áramlások térségében.



7. ábra: A hőmérséklet megfigyelt értékei ($^{\circ}\text{C}$, fent) és az ennek szimulációjában elkövetett hiba (alul) az északi félteke telén (balra) és nyarán (jobbra) a vizsgált két zonális öv mentén.



8. ábra: A megfigyelt csapadék (mm/nap, fent) és az ennek szimulációjában elkövetett hiba (% , alul) az északi félteke telén (balra) és nyarán (jobbra) a vizsgált két zonális öv mentén.

A tél megfigyelt csapadéértékeit szemügyre véve (8. ábra), szembevetendő a Kelet-Ázsia térségére jellemző, alacsony (2 mm/nap alatti) mennyiségek. A legmagasabb érték a téli hónapokban Amerika nyugati partjainál mérhető -7,1 mm/nap értékkel. Szépen feltárul előttünk az óceánok csapadéknövelő szerepe, ami a parti zónákban magasabb csapadék értékeket eredményez. A nyári időszakban a szárazföld-óceán ellentétpár részben kiegyenlítődik. Alacsony értékeket (0,2-0,5 mm/nap) jobbra csak az Eurázsiai kontinens központi régióban tapasztalhatunk. Az európai szárazföldi csúcs 3,5 mm/nap, ami majdnem eléri az óceáni maximumot (4,1 mm/nap). A fentiek értelmében, a csapadék kontinentális jellege mind a téli, mind a nyári évszakban egyértelmű.

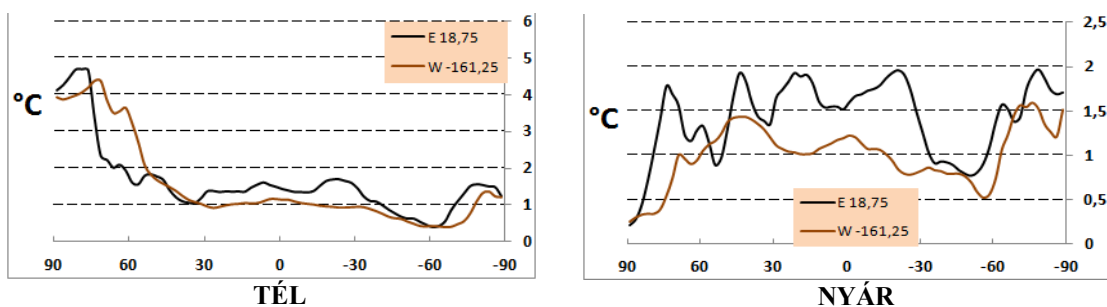
A csapadék modellbeli hibáit elemezve, feltűnik, hogy télen a modellek csaknem mindenütt az övezetben túlbecsülik a tényleges csapadékhullást. A különbség egyes száraz, hegyvidéki térségekben több száz százalékos! Ez a nagy eltérés azért is különös, mert az általános cirkulációs modellek szerény felbontása (200 km-es jellemző rácsávolsága) bizonyos tényleges csapadék-folyamatokat nem tud figyelembe venni. Valószínűbb, hogy inkább abból a megoldásból következik, hogy a modellek nagyobb hányadában az egyenletek által kicsapódásra ítélt vízgőz azonnal ki is hullik. Ez a fajta hiba valószínűleg erősebb, mint a konvektív folyamatok hiányából fakadó alulbecslés. A nyári hónapokban a becslési hibák lényegesen csökkennek és előjelüket tekintve is csaknem kiegyenlítődnek. Egyszermind, a hibák előjele is csekély, párszor tíz földrajzi fokos lépésenként erősen ingadozik, ami arra utal, hogy nehéz bennük egyértelmű kontinentalitásra utaló jellemzőket felfedezni. A Csendes óceán nyugati része, Amerika középső része, az Atlanti óceán nyugati része, valamint Európa keleti része az alúbecslés szempontjából mutat hasonlóságot (44 és 14% körüli értékek). A hegységek felett továbbra is egyértelműen jelentkezik a fölé becslés, igaz a hiba mértéke jóval csökkent a téli hónapokhoz képest: 80% alá szorult (Amerika 75%, Európa 15%, Ázsia 110%). Ha eltekintünk a téli csapadékhibák magashegységi jellegétől, akkor azt mondhatjuk, hogy minden más vonatkozásban nehéz felfedeznünk egyértelmű kontinentális jelleget a csapadékbecslés hibáiban.

ZONALITÁS ÉS KONTINENTALITÁS AZ ELŐREJELZETT ÉGHAJLATVÁLTOZÁSBAN

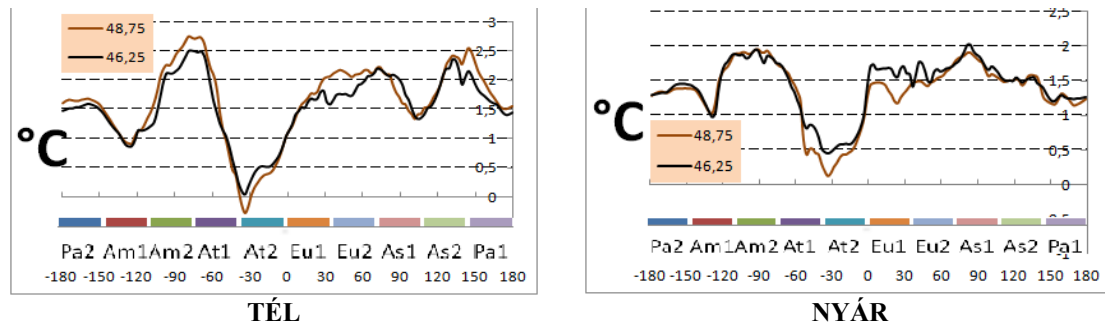
A klímamodellekben a változásokat ugyanazok a fizikai törvények határozzák meg, amelyek az éghajlati átlagokat is alakítják. Ezért, érdemes megvizsgálnunk, hogy van-e kontinentalitás és zonalitás a megváltozási mezőkben. (Igaz, e kérdéssel a geográfia eddig nem foglalkozott.)

A hőmérséklet meridián menti megváltozásai (9. ábra) az északi félteke telén, az északi sarkvidéken kiugróan erősek, a +4 °C-ot is meghaladóak. Máshol jellemzően 1-2 °C a változás, de előfordulnak ennél kisebb értékek is. Az északi 55-75. szélesség kivételével, mindenütt kisebb a változás az óceánok fölött. Az északi félteke nyarán egyenletesebbek a változások, melyek jellemzően 1-2 °C-osak. Ekkor a kontinensek feletti övben mindenütt erősebb a melegedés, mint az óceánok felett. Ebben az évszakban nincs egyértelmű zonalitás.

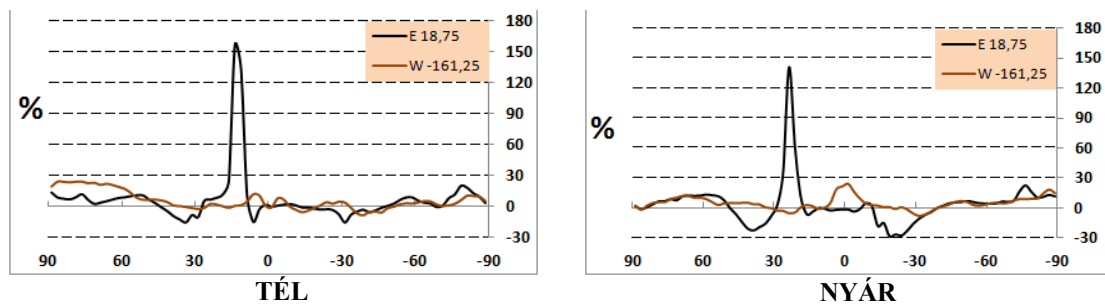
A zonális övezetben (10. ábra) a hőmérsékletváltozás a vizsgált 50 év alatt sehol nem lesz drámaian nagy. Bár minden évszakban és évi átlagban is vannak térségek, amelyekben meghaladja 2 °C értéket. A téli periódusban a Csendes óceán keleti partvidékére jellemző szélsőértéket (1,5-2,5 °C) leszámítva, eléggé homogén megoszlás tapasztalható a változásban (0,3 és 0,4 °C közt), kivéve az Atlanti-óceán térségét, ahol enyhe lehülést jelez előre a 21 modell átlaga. Ennek a jelenségnek köze lehet az óceáni szállítószalag legyengülésének, aminek következtében az Atlanti óceán vízhőmérséklete nem emelkedik. Ugyanakkor szerepe lehet más, regionális cirkulációs tényezőknek is.



9. ábra: Hőmérsékletváltozás az A1B üvegházgáz-forgatókönyv szerinti alakulását feltételezve (2030-2049 vs. 1980-1999) a vizsgált meridián mentén, az északi félteke telén és nyarán (°C).

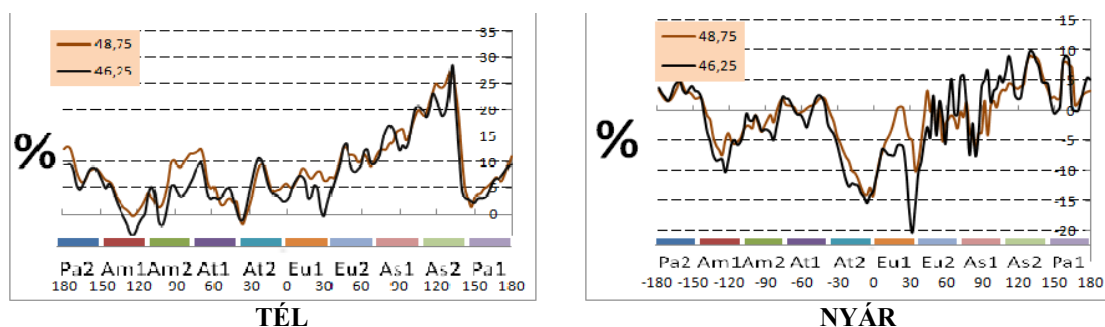


10. ábra: Hőmérsékletváltozás az A1B forgatókönyv szerinti alakulását feltételezve (2030-2049 vs. 1980-1999) a vizsgált zonális öv mentén, az északi félteke telén és nyarán (°C).



11. ábra: Csapadékváltozás az A1B üvegházgáz-forgatókönyv szerinti alakulását feltételezve (2030-2049 vs. 1980-1999) a vizsgált meridián mentén, az északi félteke telén és nyarán (%).

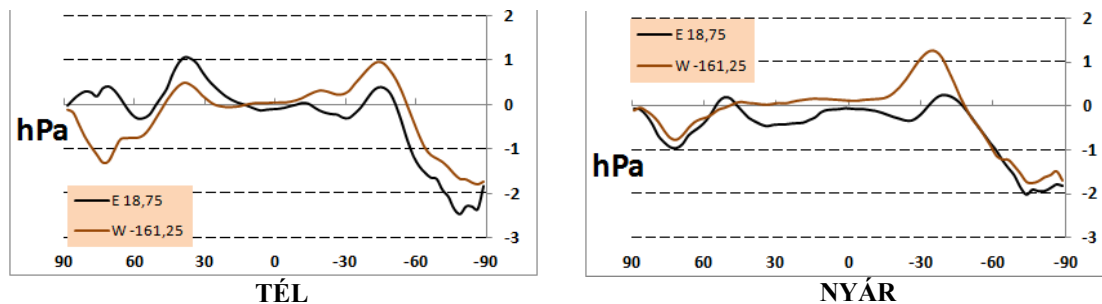
A csapadék megváltozásának meridionális menti alakulása (11. ábra) mindkét szélső évszakban kiugró mértéket, mintegy 150 %-ot mutat az északi félteke leszálló övezetében, ahol a kiinduló érték minimális. A változás tehát jelentősen javíthat ezen a szituáción. A többi térséget először az északi félteke telén tekintve, feltűnik az északi félgömb poláris területeinek csapadéknövekedése (szintén alacsony értékről, vö. a 4. ábrával). Máskülönb a változás az adott meridián mentén csak ritkán haladja meg a 10 %-ot. A változások nagyobbak illetve inkább a pozitív irányba (növekedés) esők az óceánok felett haladó délkör mentén. Az északi félteke nyarán valamivel több a tíz százalékot meghaladó érték, különösen a csökkenés irányában. Az óceánok fölötti övben ebben az évszakban is jobbra kicsit pozitívabb irányúak a változások. Összességében a csapadék változásaiban nehéz egyértelmű zonalitást detektálni.



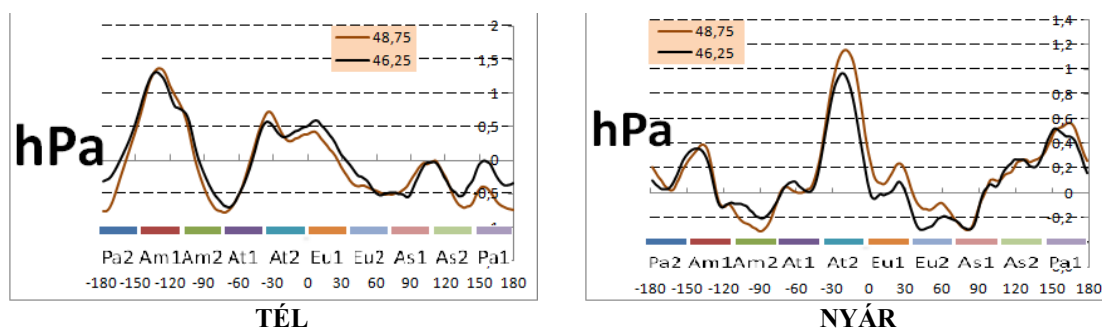
12. ábra: Csapadékváltozás az A1B forgatókönyv szerinti alakulását feltételezve (2030-2049 vs. 1980-1999) a vizsgált két zonális övezet mentén, az északi félteke telén és nyarán (%).

A csapadék zonális övezet menti megváltozása (12. ábra) mindkét szélső évszakban jelentős, több térségben is meghaladja a tíz százalékot. Télen kiugróan magas az ázsiai hosszúságok relatív csapadéknövekedése, ahol a kiinduló értékek igen alacsonyak. (az

eurázsiai kontinensen végigköveti az övezetet egy egyértelmű (+28%-os) relatív csapadék-növekedés, ahogy a nevező, a kiinduló érték ugyanebben az irányban csökken. A téli hónapokra jellemző, legkisebb változások Amerikára és az Atlanti-óceánra vonatkoznak (-1 és -3%). Nyáron is jelentősek a változások. Európában találkozunk egy hosszúsági körön 21% csökkenéssel. Amerikában van 10%-os csökkenés, míg az északi partok mentén enyhe, 2%-os növekedés mutatkozik. Mind az eurázsiai, mind az amerikai kontinens adott (45-50 é. sz. közé eső) övezete kisebb-nagyobb csapadécsökkenést mutat, hogy azután a kontinensek keleti partja felé a csapadékváltozás közelítsen a zérus változáshoz, sőt az európai és az ázsiai kontinensek határa tájékán egyértelmű pozitív változásba forduljon. A csapadék változásaiban is megfigyelhetők tehát bizonyos kontinentális és óceáni hatásra utaló különbségek.



13. ábra: A tengerszinti légnyomás változása az A1B üvegházgáz-forgatókönyv szerint (2030-2049 vs. 1980-1999), a vizsgált meridián mentén, az északi félteke telén és nyarán (hPa).



14. ábra: A tengerszinti légnyomás változása az A1B forgatókönyv szerint (2030-2049 vs. 1980-1999) a vizsgált két zonális övezet mentén, az északi félteke telén és nyarán (hPa).

Végül, a tengerszinti légnyomás meridián menti változásai (13. ábra) szintén mutatnak bizonyos zonális jelleget. Egyértelműen csökken a nyomás mindkét szélső évszakban az Antarktisz felett. Ezzel kapcsolatban megjegyezzük, hogy a tengerszinti légnyomás számítási módszere önmagában is nyomáscsökkenésre vezet, ha a légkör melegszik. Amikor ugyanis az állomási szintről a tengerszintre áttérünk, ehhez olyan hőmérsékletű légoszlopot képzelünk a légnyomásmérő műszer szintje alá, mint amilyen az aktuális kültéri léghőmérséklet. Ez a változás azonban az 1-2 °C-os melegedés mellett csupán 0,1-0,2 hPa. A meridián menti légnyomás-változás ha nem is monoton módon, de zonálisnak mondható. A legjelentősebb nyomásemelkedés a mérsékeltövi ciklonok övezetébe esik, vagyis ezek relatíve töltődnek, azaz veszítenek az erejükből. A változások szimmetriája az északi félteke telén megtörik.

A zonális övben a kontinentalitás a nyomásváltozásban (14. ábra) is megmutatkozik. Az övezetben enyhe többségben van a légnyomás emelkedése, különösen nyáron. Télen a kontinensek, nyáron az óceánok fölött nagyobb a légnyomás emelkedés (kisebb a csökkenés)

ÖSSZEGZÉS

A globális klímaváltozásról, azon belül is egy hazánkat tartalmazó, keskeny földrajzi övezetekben várható hőmérsékleti és csapadék-változásokat, valamint ezeknek a nagytérségű cirkulációban, konkrétan a tengerszinti légnyomásban kimutatható változásait vizsgáltuk.

Természetesen nem csupán az éghajlat közelítő zonalitásának és kontinentalitásának ismételt megállapítása volt e vizsgálatunk célja, hanem annak a két kérdésnek a megismerése, hogy (i) a globális klímamodellekben (IPCC, 2007) szimulált- és a valódi éghajlat közötti különbség, mint becslési hiba mutat-e ilyen sajátosságokat (ii.) a megváltozási mezőkben is jelen van-e ez a két földrajzi sajátosság. E kérdésekre a választ – a jelenlegi klíma viselkedésével együtt – a 2. táblázat tartalmazza. Ebből leolvashatjuk az egyes pontoknál már levont következtetéseket.

Összefoglalva: A jelen éghajlatában minden elemben és szélső évszakban jellemző a kontinentalitás és a zonalitás. Az általános cirkulációs modellek által szimulált hőmérséklet és a légnyomás hibáiban jelen van a két fogalom, a csapadék hibái azonban bonyolultabb struktúrájúak. Végül, a csapadék és a légnyomás megváltozásában felfedezhető bizonyos zonalitás, illetve a hőmérséklet- és légnyomás-változásokban megnyilvánul a kontinentalitás / óceáni hatás.

2. táblázat: A zonalitás és a kontinentalitás megléte a megfigyelt éghajlatban (jelen klíma), ennek hibájában, a MAGICC/SCENGEN diagnosztikai szoftver felhasználásával, 20 általános cirkulációs modell átlagában (GCM-hiba) illetve e modellek által előrejelzett változásban (megváltozás) 50 év alatt, azaz 2030-2049 és 1980-1999 között.

	Zonalitás (meridionális metszetben) 161,25 ny.h.+18,75 k.h.: Pólustól Pólusig			Kontinentalitás (zonális metszetben) 45 - 50 é.sz. közötti övben		
	jelen klíma	GCM-hiba	megváltozás	jelen klíma	GCM-hiba	megváltozás
Hőmérséklet	+	+	-	+	+	+
Csapadék	+	-	+	+	-	-
Légnyomás	+	+	+	+	+	+

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez úton köszönjük az EKF Földrajz Tanszék korábbi hallgatójának, *Varga Gábornak*, hogy rendelkezésünkre bocsátotta a MAGICC/SCENGEN korábbi futtatásakor kapott (akkor csak Európára felhasznált) eredményeket, amiket így nem kellett a programmal újra kiszámolnunk.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- IPCC, 2001: Climate Change (2001): The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental panel on Climate Change (Houghton J.T., et al., eds.), Cambridge Univ. Press, Cambridge UK. & New York,
- IPCC, 2007: Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007 (Solomon, S., et al. eds.) Cambridge Univ. Press, Cambridge - New York.
- UPPALA, S.M. AND 44 COAUTHORS, 2005: The ERA-40 re-analysis. Quart. J. R. Meteorol. Soc., 131, 2961-3012. doi:10.1256/qj.04.176
- WIGLEY, T.M.L., 2003: The MAGICC/SCENGEN Climate Scenario Generator: Version4:1 User Manual. – 21. old.
- WIGLEY, T.M.L., 2008: MAGICC/SCENGEN 5.3: User Manual(version 2)1-81 pp–21. old. www.cgd.ucar.edu/cas/wigley/magicc/index.html