

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS NÉHÁNY SAJÁTOSSÁGA ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁG TÉRSÉGÉBEN

MIKA JÁNOS¹

SOME FEATURES OF THE CLIMATE CHANGE IN NORTH-EAST HUNGARY

ABSTRACT

Regional changes of selected climate variables are presented for North-East Hungary parallel to the global warming. The GCM-results from the two recent IPCC Reports (2001 and 2007) are specified, together with the mesoscale model results summarized by the PRUDENCE Project (Christensen, J. H., 2005) and five statistical approach, developed by the author, are first synthesized to the expected 1.0 K warming by 2030. Annual mean precipitation does not change much but slight winter increase is (adversely) more than compensated by stronger summer decrease of natural water supply. Moreover, the warming is stronger than in global average in all seasons, hence the outcome term of the surface water balance also points at the increased scarcity of water balance. These results, still averaged for the whole Hungary (93,000 sq. km) are followed by soil-moisture (PDSI) and runoff estimations already specified for the NE-Hungary region. The common feature of the water balance is the less available water. However, as presented via diverging results of the impact studies, simulation of true time variability of the water balance needs improved downscaling. This is further expected from mesoscale modeling.

Keywords: climate change, regional scenario, temperature, precipitation, PDSI, run-off, geographical analogy

Bevezetés

Éghajlatunk fontos sajátossága, hogy fő jellemzőit csak részben alakítják a helyi, vagy regionális fizikai-földrajzi feltételek. Legalább ilyen fontos szerepet játszik ebben a légkörzés teljes földi, de legalább északi félgömbi rendszere. E két éghajlat-alakító tényező szövevényes, nem-lineáris differenciál-egyenletekkel leírható rendjét pedig egyre nyilvánvalóbban alakítja át a *globális klímaváltozás*. Ezért azt, hogy ez miképpen valósul meg észak-kelet Magyarországon, szintén a teljes Földre vonatkozó számításokkal kell megválaszolni.

A légkör, a szárazföldek, az óceánok, a bioszféra és a szilárd víz, azaz krioszféra alkotta, ún. éghajlati rendszer ugyanis egyike a legbonyolultabb, nem lineáris

¹ Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest; Eszterházy Károly Főiskola Földrajz Tanszék, Eger; mika.j@met.hu

rendszereknek. A rendszer fontos méretskálái térben a felhőfizikai folyamatok milliméteres léptékétől az Egyenlítő hosszáig; időben a másodpercnyi élettartamú mikro-turbulenciától a sok száz éves óceáni vízkörzésig tartanak. Nem meglepő, hogy mindezt ma még egyetlen modell sem képes egymaga figyelembe venni. A számítógépi kapacitás elégtelensége mellett, a szélső méretskáláknál számolni kell a megfigyelő rendszer korlátaiból fakadó ismeret-hiánnyal is.

E fejezetben arról adunk számot, amit mégis tudhatunk észak-kelet Magyarországon éghajlatának valószínű jövőbeli alakulásáról. Írásunk egy korábbi összefoglaló (MIKA J., 2008) erősen lerövidített és aktualizált változata. Ennek 2. pontjában felvázoljuk, hogy globális léptékben milyen éghajlatváltozások várhatók az antropogén hatások erősödése nyomán. Ezt a 3. pontban annak bemutatása követi, hogy mire számíthatunk országos léptékben. A 4. pontban két fontos hidrológiai mutató, a talajnedvesség és a lefolyás alakulásának becslése következik. Terjedelmi okból nem tudunk mindent bemutatni a hazai klímaváltozás témaköréből. További részletek olvashatók erről a témáról például a szerző más munkáiban (MIKA J., 2003; 2004; 2005a,b,c; MIKA J. és mtsai., 2004a,b; 2005a,b; 2006a,b; BARTHOLY J. és mtsai., 2005).

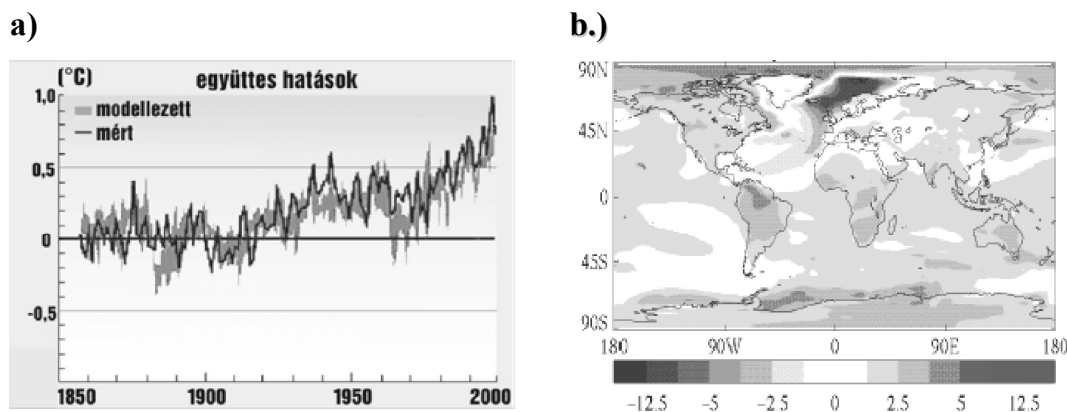
1. Globális háttér-tendenciák és előrebecslések

Mielőtt a regionális változásokra rátérünk, röviden jellemezzük, hogy mennyire valószínű a globális felmelegedés folytatódása. Az éghajlatváltozás terén a legbiztosabb állítás az, hogy sokfajta üvegházhatású gáz légköri koncentrációja emelkedett. Emellett, egyes légköri aeroszol-összetevők mennyisége – nagy térbeli különbségekkel – szintén növekedett.

Egyértelmű az is, hogy a levegő felszín-közeli hőmérséklete a 19. század második felétől napjainkig kisebb-nagyobb ingadozásokkal kb. $0,7 \pm 0,2$ °C fokkal emelkedett. A globális melegedés tényét más paraméterek (hótakaró, tengeri jég kiterjedés és vastagság az északi félgömbön, a gleccserek visszahúzódása stb.) idősorai is alátámasztják. Egyre nehezebb kétségbe vonni azt is, hogy a fenti melegedési tendenciában szerepet játszott az emberi hatás. A brit Hadley Központ klímamodelljében ugyanis már az előző IPCC jelentés idejére (IPCC, 2001) sikerült reprodukálni a globális átlaghőmérséklet másfél évszázados alakulását (*1a. ábra*), ha figyelembe vették az összes természetes és antropogén tényező időbeli alakulását. Ha azonban csak a természetes külső kényszereket (és a modellben szimulált belső ingadozást) vették figyelembe, akkor azzal az utóbbi fél évszázad globális melegedését nem tudták megmagyarázni.

2004 elején egy újabb kockázat foglalkoztatta az éghajlat kutatóit és a közvéleményt a Pentagon-jelentés (SCHWARTZ, P. és RANDALL, D, 2003) nyomán. Arról az elméleti lehetőségről van szó, hogy az óceáni szállítószalag

(BROECKER, W.S., 1987; CZELNAI R., 1999) leállása nyomán, a Föld éghajlata a melegedésből hirtelen lehülésbe, netán jégkorszakba fordul.



1. ábra. A brit Hadley Center kapcsolt óceán-légkör általános cirkulációs modelljének két eredménye. a) Az elmúlt másfél évszázad globális hőmérsékletének szimulációja (IPCC, 2001) az ismert természetes és antropogén hatások figyelembe vételével. b) A hőmérsékletváltozás eloszlása a Földön 2049-re, ha a folyamatosan növekvő üvegházgáz koncentrációval párhuzamosan mesterségesen leállítják az óceáni cirkuláció észak-atlanti ágát (WOOD, R.A. és mtsai, 2003).

Figure 1. Two results from the coupled ocean-atmosphere general circulation model (GCM) of the Hadley Center, Great Britain. a) Simulation of the global mean temperature in the recent one and half century (IPCC, 2001), considering all known natural and anthropogenic forcing factors. b) Distribution of temperature changes over the Earth by 2049 in response to (artificial) switch-off of the North-Atlantic branch of the great ocean conveyor parallel to the continuously increase of greenhouse gases (WOOD, R.A., et al., 2003).

Valószínűleg e kérdésben sem vagyunk birtokában minden ismeretnek, de egy modellszámítás cáfolni látszik a fenti aggodalmakat. Amikor ennek során, mesterségesen megszüntették az óceáni hőszállítást (WOOD, R.A. és mtsai., 2003), az Atlanti-óceán északi medencéiben valóban 10 °C-ot meghaladó lehülés alakult ki, ám a kontinenseken a lehülés jóval kisebb volt.

Amikor pedig az óceáni szállítást a fokozódó melegedéssel párhuzamosan „kapcsolták ki” (1.b ábra), akkor a mainál hidegebb klíma az Atlanti-óceán térségére korlátozódott! Eközben a szárazföldek felett az üvegházhatás fokozódása miatti melegedés hatása erősebb volt, mint a szállítószalag leállása miatti lehülés. Tehát semmiképp nem jégkorszak lenne a következmény, de a maitól nagyon különböző hőmérséklet-eloszlás. Minderről az IPCC legújabb, Negyedik Értékelő Jelentése is így vélekedik. A Döntéshozói Összefoglaló tartalma kevéssel tér el a fenti, még a 2001-es Harmadik Értékelő Jelentésre támaszkodó megállapításoktól. Például abban egyáltalán nincs különbség, hogy az alaposan kidolgozott

főbb kibocsátási forgatókönyveket egyáltalán nem módosították, legfeljebb közülük válogattak 2007-ben.

A jövőre vonatkozó kisebb eltéréseket az *1. táblázatban* összesítettük. Ebben a Második Értékelő Jelentés (IPCC, 1996) legfontosabb számait is feltüntetjük azt illusztrálandó, hogy viszonylag stabil számszerű becslésekről van szó.

1. táblázat. Az IPCC Második, Harmadik és Negyedik Helyzetértékelő Jelentésének (IPCC, 1996, 2001 és 2007) néhány előrejelzett sarokszáma a 2100. évre (MIKA J., 2007).

Table 1. Selected key figures from the three last Assessment Reports by the IPCC (IPCC, 1996, 2001 and 2007) for 2100 (MIKA J., 2007).

Globális értékek, illetve változások	IPCC, 2007 (AR4)	IPCC, 2001 (TAR)	IPCC, 1996 (SAR)
CO₂ emisszió (GtC/év)	<i>mint TAR</i>	5 – 30	8,4 – 15,4
CO₂ koncentráció (ppmv)	<i>mint TAR</i>	540 – 970	490 – 950
Sugárzási mérleg változása (Wm⁻²)	<i>2 – 8,5</i>	4,2 – 9,1	4 – 8
Globális melegedés (°C)	<i>1,1 – 6,4</i>	1,4 – 5,8	1,0 – 4,5
Tengerszint emelkedés (cm)	<i>18 – 59</i>	9 – 88	13 – 94

A két utóbbi jelentést összevetve, valamelyest csökkent a légkör összetételének változásai által okozott sugárzási eltolódás mértéke (amit a felszín és a légkör melegedése kompenzál, hogy fennmaradjon Bolygónk termodinamikai egyensúlya a Világűrrel). A földi éghajlati rendszer időfüggő változásainak érzékenysége ugyanakkor enyhén növekedett. Az egyedüli kedvező változás, hogy tovább enyhült a tengerszint emelkedésének prognózisa. Itt azonban nem szabad elfelejtenünk, hogy a táblázatban szereplő számok akkor is csak egy bizonyos hányadát mutatják 2100-ra a teljes szintemelkedésnek, ha addigra sikerül valahogy megállítani a koncentrációk növekedését. A mélyebb rétegek ugyanis csak fokozatosan veszik át a felszíni melegedést, vagyis a tengerszint még évszázadokkal annak remélt megfékezése után is emelkedni fog.

3. A klímaváltozás regionális sajátosságai Magyarországon

E pontban összesítünk négy módszercsoport 25, 21, 17, illetve 5 eredményét annak érdekében, hogy megítélhessük, hogy az alkalmazkodási kutatások számára mennyire egyértelmű a hazai változások előjele és nagyságrendje. Ezért közreadjuk a négy közelítés átlagait és elvégezzük az összehasonlítást. Meg kell

azonban jegyeznünk, hogy a regionális klímaváltozás legújabb ágában, a regionális modellezésben, Európában és hazánkban is számottevő fejlődés tapasztalható. A munka első eredményeit az *Időjárás* c. folyóirat egyik közeli, tematikus száma fogja összegezni. E legújabb eredményeket azonban összeállításunk még nem tartalmazhatja.

Az alábbiakban saját korábbi eredményeinket (MIKA J., 1988, 2005c) összevetjük három másik, immár az éghajlat fizikai modellezésén alapuló eljárás-csoport számításaival. Az összehasonlítás célja, hogy megvizsgáljuk, előjel és nagyságrend szerint van-e hasonlóság a fenti, nagyon eltérő eljárások eredményei között. A Nemzeti Éghajlati Stratégia, 2008–2025 (2008) felkérése nyomán készült, mellékelt táblázatban összefoglaltuk a sokféle elérhető becslést a magyarországi évszakos és éves hőmérsékleti és csapadékösszeg változásokra vonatkozóan. A 2. táblázatban tehát négy különböző eljárás-csoport átlagos magyarországi eredményei alapján összefoglaltuk a sokféle elérhető becslést a magyarországi évszakos és éves hőmérsékleti és csapadékösszeg változásokra vonatkozóan. A négyféle közelítés:

1. A PRUDENCE Projekt kapcsolt globális-regionális modelljei. A regionális modellek felbontása 50 km. Minden modellt és forgatókönyvet figyelembe véve, ez 25 különböző becslés (CHRISTENSEN, J. H., 2005). A becslések egyetlen hiányossága, hogy mindegyik csak egy-egy globális modellhez kapcsolódik, így azok sajátosságait tükrözi. A 25 számítás túlnyomó többsége ugyanahhoz a két globális modellhez (hamburgi Max Planck Intézet és brit Hadley Centre) kapcsolódik.
2. Az IPCC 2007-re várható Negyedik Helyzetértékelő Jelentésének (AR4) becslései, melyek a durva (200 km körüli) felbontású globális klímamodelleken alapszanak. A figyelembe vett modellek száma itt 22, minden globális forgatókönyvre.
3. Az IPCC 2001-es Harmadik Helyzetértékelő Jelentésében szerepelt 17 durva (200–300 km közötti) felbontású globális klímamodell alapján számszerűsített becslések.
4. Az OMSZ-ban a szerző által 0,5 K-os melegedésre kidolgozott, két statisztikai (regressziós) eljárás, illetve három meleg paleoklíma időszak (rendre 6 ezer, 122 ezer és 4 millió évvel ezelőttre) hazai éghajlati eltérései. Ez a csoport 5 különböző eljárást tartalmaz.

2. táblázat. A Magyarországra vonatkozó hőmérséklet- és csapadék-változások 2030-ra, az 1961–1990 évek átlagához képest, négy eredmény-csoport alapján. Az egyes sorokban szereplő változás-értékek rendre 25, 21, 17 és 5 eljárás átlagát reprezentálják. A globális melegedés 1,0 °C-os értéke a két egymást követő IPCC Jelentés (IPCC 2001, 2007) előrebecsléseinek az átlaga az A2 kibocsátási forgatókönyv szerint.

Table 2. Projected temperature and precipitation changes in Hungary by 2030, in four groups of results, relative to the 1961–1990 averages. The changes displayed in the lines are average changes from 25, 21, 17 and 5 models or methods, respectively. The 1.0 K global warming is an average from of the two consecutive projections by the IPCC (IPCC 2001, 2007) followed the A2 emission scenarios.

A2 scenárió	Globális átlaghőmérséklet változása 2030-ra: + 1,0 °C					
Módszer-csoport	Hőmérséklet változás (°C)	Teljes év	Tél DJF	Tavaszi MÁM	Nyár JJA	Ősz SON
PRUDENCE	Átlag	1,4	1,3	1,1	1,7	1,5
IPCC 2007	Átlag	0,9	1,0		1,3	
IPCC 2001	Átlag	1,0	1,0	0,9	1,2	1,0
EMPIRIA	Átlag	1,6	2,0		1,1	
A2 scenárió	Globális átlaghőmérséklet változása 2030-ra: + 1,0 °C					
Módszer-csoport	Csapadék változás (%)	Teljes év	Tél DJF	Tavaszi MÁM	Nyár JJA	Ősz SON
PRUDENCE	Összeg	-0,3	9,0	0,9	-8,2	-1,9
IPCC 2007	Összeg	-0,7	1,9		-3,7	
IPCC 2001	Összeg	-2,5	4,0	-2,3	-4,9	-2,8
EMPIRIA	Összeg	-2,2	7,6		-19,7	

A 2. táblázat szerint az éves illetve évszakos hőmérséklet hazánkban legalább a globális változás mértékében, vagy annál valamivel meredekebben emelkedik. A csapadék évi összege csak kis mértékben csökken, de a nyár (és néhány ehhez közeli hónap) csapadék-csökkenése jelentős lesz, míg a téli időszakban ugyancsak nem elhanyagolható arányú csapadék-növekedés várható. Mivel a négy számítás-csoport eredményei között legalább előjel és nagyságrend szerinti egyezés mutatkozik, jó esély van arra, hogy a további éghajlat-érzékenységi, sérülékenységi és válaszadási kutatásokban már egyértelmű éghajlati jövőképpel számoljunk.

4. A klímaváltozás két hidrológiai következménye Észak-Magyarországon

Évről évre kétféle szélsőség fordul elő hazánkban, néha ugyanabban az évben is. Az egyik az aszály, vagyis a vízmérleg negatív anomáliája, a másik az áradás

illetve a belvíz, ami túlzott csapadékbevételt és a szokottnál gyengébb párolgást jelent. E fejezet két alpontjában bemutatjuk e két szélsőség kialakulását befolyásoló tényezők alakulását a közelmúlt évtizedekben.

4.1. A talaj nedvességtartalmának alakulása

E pontban rámutatunk arra, hogy a hőmérsékletben, a napfénytartamban és a csapadékban várható változások nyomán lecsökkenhet a talaj nedvességtartalma. E változásokat az ún. *Palmer-féle Aszály-Index* (PDSI) adatsorok (PALMER, W.C., 1965) segítségével számszerűsítjük. A PDSI egyesíti a vízmérleg csapadék- illetve hőmérsékleti komponenseinek hatásait, és egy univerzális skála szerinti talajnedvesség-számítást végez. A PDSI fő előnye, hogy a hazai adatsorok alapján is szoros lineáris kapcsolatban van a talaj felső 1 méteres rétegének nedvességtartalmával (MIKA J., és mtsai., 2005a), de annál sokkal könnyebben meghatározható.

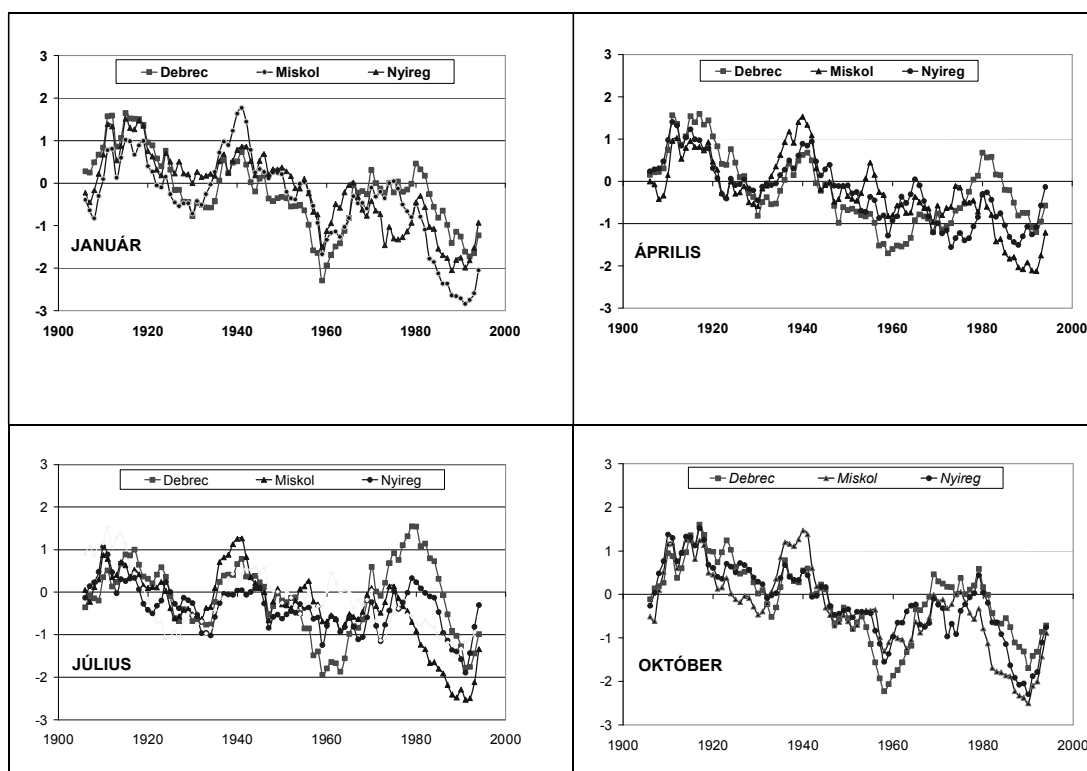
A változások számszerűsítése előtt megvizsgálandó kérdés, hogy a PDSI interpretálható-e a háromfázisú talajréteg nedvességtartalmának indikátoraként. A számítások szerint igen (MIKA J. és mtsai., 2004b), mert a PDSI mind a 10 vizsgált állomáson és minden hónapban magas korrelációt mutat a Dunkel féle (DUNKEL Z., 1994) empirikus talajnedvességgel. A korrelációs együttható egy kivétellel meghaladja a 0,5-et, az év második felében gyakran a 0,8-et is. A Bussay féle (LAMBERT és mtsai., 1993) talajnedvességgel szembeni korreláció általában szintén magas.

Ennek alapján joggal interpretáljuk a PDSI-t talajnedvesség-jellemzőként, sőt a lineáris kapcsolat regressziós együtthatóit felhasználva, az index-értékeket kifejezhetjük a felső 1 méteres talajréteg víztartalmának fizikai egységében is. A regressziós együtthatók további, a PDSI mély tartalmára utaló tulajdonsága, hogy a talajnedvesség szórásával osztva, a 10 állomáson és 12 hónapban $0,35 \pm 0,05$, illetve $0,25 \pm 0,07$ nagyságú, dimenzió nélküli együtthatókat kapunk a kétféle talajnedvesség sorra. Tehát, a PDSI egységnyi változása minden hónapban és állomáson közel hasonló különbségnek felel meg az így standardizált talajnedvességben.

Amint a 2 ábrán bemutatjuk (eredeti számításainkat a három észak-magyarországi állomásra, Debrecenre, Nyíregyházára és Miskolcra redukálva), a XX. század során a PDSI, mint talajnedvesség indikátor (a debreceni júliusi értékek kivételével) minden évszakban meredeken csökkent. Ennek előidézője a csapadék csökkenése és a hőmérséklet emelkedése volt (ami részben a napfénytartam növekedésének is betudható).

A PDSI fenti, száradásra utaló tendenciája nem új felfedezés. Hasonló eredményre jutottak korábban SZINELL Cs. és mtsai. (1998) a mienktől függetlenül

számolt sorok elemzésével; és MAKRA L. és mtsai. (2002) a jelen dolgozatban is szereplő öt kelet-magyarországi adatsor más metodikájú elemzése nyomán. Ha a PDSI így megállapított simított viselkedését szembesítjük a globális hőmérséklet adatsoraival (JONES, P.D. és mtsai., 2000), akkor egyértelmű, hogy a szárazodás a XX. századi globális melegedéssel párhuzamosan ment végbe.



2. ábra. A Blaney-Criddle féle (kukoricára parametrizált) PDSI adatsor 11 éves simított átlagainak viselkedése a XX. század folyamán a négy évszak-jellemző hónapban Észak-Magyarországon

Figure 2. Trends of 11-yearly smoothed averages of PDSI according to Blaney-Criddle type parameterization (for maize) in the 20th Century in the four season-indicating central months in Hungary.

4.2. Folyóink lefolyásának alakulása

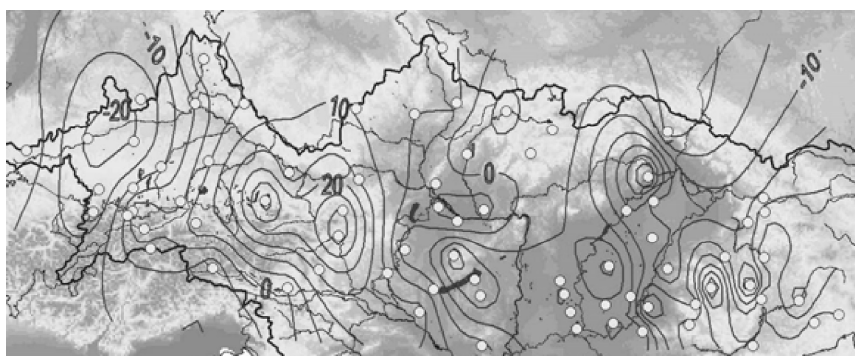
Ebben a pontban két irányból közelítünk a lefolyás kérdéséhez. Mivel folyóink vízhozamának túlnyomó része határainkon kívüli vízgyűjtőkről származik, megmutatjuk, hogy az összesítés egyik eljárásával milyen csapadékváltozások voltak számszerűsíthetők az 1974 és 1998 közötti monoton melegedő időszakban (MIKA J. és BÁLINT G., 2000, MIKA J. és mtsai., 2004a). Ezt követően

két észak-kelet magyarországi folyónk, a Zagyva és a Sajó vízhozamára végzett hatásvizsgálatokban érzékeltetjük a változások mértékét. Rámutatunk arra is, hogy amíg a változékonyság változásának becslése nem helyezhető a mainál biztosabb alapokra, addig a hatásvizsgálatok sem léphetnek túl az előjel és nagyságrend szerinti pontosságon.

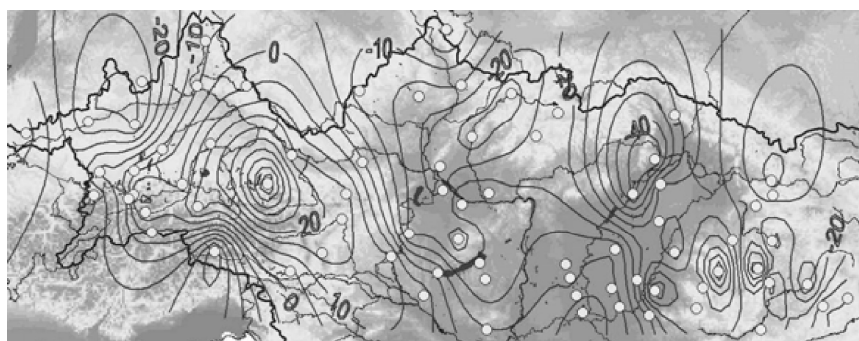
A 3. ábrán a fenti időszak csapadékösszegei és az északi félgömbi átlaghőmérséklet közötti regressziós együtthatók mezői láthatók relatív értékben, azaz a teljes 25 év átlagának százalékában, továbbá 0,5 °C-os melegedésre vonatkoztatva. Ezt az alacsony értéket az indokolja, hogy a vizsgált 1974–1998 időszakban a félgömbi átlaghőmérséklet lineáris trendje is csak 0,261 K/10 év, miközben az utóbbi érték és a múltó idő közötti korreláció 0,825 volt.

A csapadékmérő állomások száma a Duna felső és középső (hazánk folyóit befolyásoló) vízgyűjtő területein 76, amelyek hat ország (Németország, Csehország, Ausztria, Szlovákia, Magyarország és Románia) területén helyezkedtek el. Az alkalmazott módszer lehetővé teszi a regressziós együttható torzítatlan, pontoszerű becslését. Ugyanakkor nehéz statisztikai döntési kritériumot megadni a becslésekhez (VINNIKOV, K.Ya, 1986), ami hátrány a hosszabb időszakokra alkalmazott regressziós közelítéssel (MIKA J., 1988) szemben.

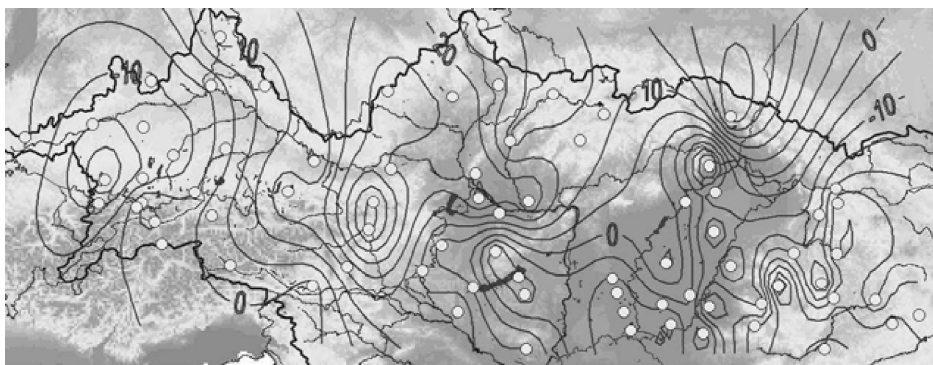
a.)



b.)



c.)



3. ábra A 0,5 K félgömbi melegedésre átszámított, százalékos változás mezők az éves csapadékösszegben (a), a nyári (b), illetve a téli félévi összegekben (c) a vizsgált 25 év (1974–1998) átlagában.

Figure 3. Relative changes in the annual (a), summer-half year (b) and winter half-year (c) precipitation parallel to 0.5 K hemispheric warming in percentages, as compared to the investigated 25 years (1974–1998).

A csapadék és a félgömbi melegedés közötti regressziós együttható mezejének első szembetűnő jellemzője a földrajzi hosszúság (Atlanti-óceántól vett távolság) szerint változó előjel. Az instrumentális változók módszere szerint az éves csapadékösszeg (3a. ábra) hazánk területén és a Tisza vízgyűjtőjén csökken mintegy 10%-kal a fél fokos melegedés esetére. Ezzel szemben az Alpokhoz közeli vízgyűjtő nagy részén a változás 10-20%-os növekedést jelent, míg az Alpok távolabbi térségein a változás ismét 10% körüli csapadék-csökkenés.

A nyári félévben (3.b ábra) hazánk területét a Kisalföld és az Északi-középhegység kivételével, csökkenő csapadék jellemzi. Ennek mértéke a fél fok globális melegedésre alig pár %, s a zérus vonal közelsége miatt valószínűleg ez is kevésbé szignifikáns. Tőlünk keletre az együtthatók egyértelműen negatívak, míg nyugatra pozitívak. A téli félévi változás (3.c ábra) hazánkban mindenütt egyértelműen negatív, -10-20% közötti jellemző értékkel. Tőlünk keletre erős, helyenként a -30%-ot elérő, észak-kelet Magyarországon ezt meghaladó a fél fokos melegedésre számított csapadék-csökkenés. Csapadék-többlet tőlünk nyugatra található, az Alpokban +20%-ot meghaladó maximummal.

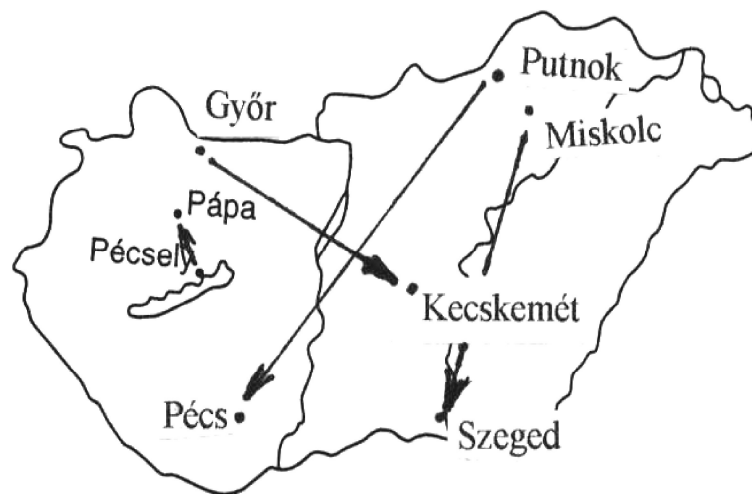
3. táblázat A magasság, a földrajzi szélesség és a hosszúság hatása a helyi csapadék és a globális átlaghőmérséklet közötti regressziós együttható értékére, (azaz a 3. ábra szerinti, 0,5 K félgömbi melegedéshez tartozó változás kétszeresére). A mértékegységek: %/100 m; %/földr. fok (VAJDA A. és mtsai., 2000).

Table 3. Effects of the altitude, geographical latitude and longitude on the regression of local precipitation to global mean temperature (i.e. on the doubled values of those displayed in Fig 3.). The corresponding units are %/100 m and %/geogr. deg. (VAJDA A. et al., 2000).

Térség	Együtthatók (3 regr. e.h.)	Évi össz.	Téli félév	Nyári félév	Tél	Ta- vasz	Nyár	Ősz
Alföld, Erdély, Partium 30 állomás	<i>Korr. eh.</i>	0,66	0,41	0,67	0,54	0,40	0,46	0,69
	Tszf. mag.	-1,7	-2,0	-1,7	-2,7	-1,6	-1,4	-1,6
	Szélesség	---	---	---	-2,4	---	-2,9	---
	Hosszúság	-2,8	---	-3,3	---	---	---	-7,3

A rendelkezésre álló 76 állomás és azok viszonylag nagy foltokba rendeződése lehetővé tette annak empirikus vizsgálatát is, hogy a relatív megváltozások mértékében van-e valamilyen szabályosság, ami összefügg a tengerszint feletti magassággal (3. táblázat). Az együtthatók egyértelmű, tiszta magasság-függését a térségben csak az Alföldet, Erdélyt és a Partiumot egyesítő térségben tudjuk kimutatni. A tengerszint feletti magasság itt fokozza a melegedéssel párhuzamosan tapasztalt szárazodást: 100 m magasság-növekedéshez 1–3%-kal erősebb csapadék-csökkenés tartozik. A térségben összesen vizsgált 30 állomás esetében a kapcsolatok 0,40–0,74 közötti többszörös korrelációs együtthatói legalább 95%-os szinten szignifikánsak.

A csapadék alakulásának bemutatása után megkíséreljük a lefolyás változásának számszerűsítését. Ehhez azonban már nem elegendő az évtizedes átlagok becslése, hanem szükség lenne az átlagok körüli változékonyság előrebecslése is. E finomságok egzakt számítása azonban még sokkal nehezebb feladat. Jobb megoldás híján ezért a térbeli-, illetve időbeli analógiákat hívtunk segítségül.



4. ábra Néhány hazai földrajzi analóg állomás-pár, a hőmérséklet és a csapadék nyári félévi eredményei (3. pont) alapján. (A téli félévre már más állomások adódnak analóg párként!)

Figure 4. Selected geographical analogue pairs based on projected changes in summer half-year temperature and precipitation (see point 3.) (For the winter half-year the selection results different analogue pairs!)

Ez abban különbözik a 3. pontban ismertetett eljárásoktól, hogy nem a globális hőmérséklettől függően választunk időszakokat, hanem a lokális adatok megfelelése szerint. Földrajzi analóg párnak tekintünk két területet, ahol az egyik állomás éghajlata a jelenben olyan, mint amilyennek a másikat várjuk a forgatókönyvek valamelyike alapján. Ugyanígy a jövőbeli klíma időbeli analógja a múlt egy olyan időszaka, amelyben a fő elemek időbeli átlaga olyan, mintha a kiindulási időszak átlagaihoz hozzáadnánk a várható változást.

Az előbbire a 4. ábrán mutatunk példát, míg az időbeli analógia azt jelenti, hogy egy korábbi, lokálisan hűvösebb és nedvesebb időszak a kiinduló állapot és a későbbi lokálisan szárazabb és melegebb időszak pedig a melegedéshez tartozó új, analóg állapot.

Az eddigi hatásvizsgálatok közül kiválasztottunk egy olyan célmennyiséget, amelyre az átlagos változások alkalmazott forgatókönyve azonos, de az időbeli változékonyságot más-más analógiával próbáljuk közelíteni (4. táblázat). Mindhárom eredmény érzékeny a globális változásokból adódó helyi időátlagok alakulására csakúgy, mint az időbeli részletek gondos megválasztására. Arra nem ismerünk egyértelmű szabályt, hogy a térbeli, vagy az időbeli analógia alapján megválasztott időbeli részletek vezetnek-e erősebb változáshoz. Az azonban elgondolkodtató, hogy az egyes becslések közötti különbség nagyjából ugyanakkora, mint maga a változás! Ha ugyanis átszámítjuk a három táblázat minden eredmé-

nyét 0,5 K melegedésre, akkor a lefolyásra (a táblázat sorrendjében) rendre –19-24%, –9%, illetve –35-37% adódik.

A 4. táblázat eredményei tehát úgy értékelhetők, hogy – noha előjel és nagyságrend szerint a változás hasonló (negatív és tíz százalékokban kifejezhető) – a következmények pontosabb előrebecslésének akkor is korlátokat szabna a statisztikus közelítés korlátozott időbeli felbontása, ha maguknak a hosszabb időátlagoknak a bizonytalanságától eltekinthetnénk.

4. táblázat A lefolyás érzékenysége a globális változására és az időbeli leskálázás módjára

Table 4. Sensitivity of river runoff to the global changes and to the way of downscaling in time.

Környezeti változó (KV)	Globális változás	Hatás a KV-ban	Forrás	Hatásvizsg. módszere	Leskála térben	Leskála időben
Évi átlagos lefolyás (Zagyva vízgyűjtő)	+ 0,4 K	-15 -22%	NOVÁKY, B., 1991	empirikus képlet	szeletelés MIKA J., 1988	30-30év, időbeli analógia ---
Folyó éves vízhozama (Sajó, Felső-zsolca)	+0,5 K	-9%	BÁLINT G. és mtsai., 1996	konceptuális modell	szeletelés MIKA J., 1988	földrajzi anal. RACSKÓ P. és mtsai., 1991
Évi átlagos lefolyás (Zagyva vízgyűjtő)	+ 0,8 K	-57-59%	NOVÁKY, B., 1991	empirikus képlet	szeletelés MIKA J., 1988	5-5 év, időbeli analógia ---

Irodalom

- BÁLINT G., DOBI I. AND MIKA J., 1996: Runoff simulation assuming global warming scenarios. In: Proc. 18th Conf. Danube Countries, Graz, Austria, 25–30 August 1996, 131–136
- BÁRTHOLY J., MIKA J., PONGRÁCZ R. ÉS SCHLANGER V., 2005: A globális felmelegedéssel párhuzamos éghajlati tendenciák a Kárpát-medence területén. In: Éghajlatváltozás a világban és Magyarországon. (TAKÁCS SÁNTHA A., szerk.) Alinea Kiadó, Budapest, 105–139
- BROECKER, W.S., 1987: The biggest chill. Natural history Magazine, 97, 74–82
- CHRISTENSEN, J. H., 2005: Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects – Final Report. DMI. 269p.
- CZELNAI R., 1999: Világóceán. Modern fizikai oceanográfia. Vince Kiadó, 182 o.
- DUNKEL Z., 1994: Investigation of climatic variability influence on soil moisture in Hungary. In: XVII. Conference of the Danube Countries, Budapest, Hungary, 441–446.
- IPCC, 1996: Climate Change 1995. (J.T. Houghton et al., eds.) Cambridge Univ. Press, 570 p.

- 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, N.Y. USA, 881 p. [http://:www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. [http://:www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- JONES, P.D., D.E. PARKER, T.J. OSBORN, and K.R. BRIFFA, 2000: Global and hemispheric temperature anomalies--land and marine instrumental records. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. CDIAC, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Dept. of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- LAMBERT, K., VARGA-HASZONITS, Z. ÉS BUSSAY, A., 1993: A csupasz talaj párologtatásának és nedvesség-tartalmának 100 éves adatsorai. Beszámolók, 1989, OMSZ, Budapest, 144–153.
- MAKRA, L., HORVÁTH, SZ., PONGRÁCZ, R. AND MIKA, J., 2002: Long term climate deviations: an alternative approach and application on the Palmer Drought Severity Index in Hungary. *Phys. & Chem. of the Earth*, Vol. 27, Nos. 23–24, 1063–1071
- MIKA J., 1988: A globális felmelegedés regionális sajátosságai a Kárpát-medencében. *Időjárás* 92, 178–189
- MIKA J. and BÁLINT G., 2000: Rainfall scenarios for the Upper-Danube catchment. Proc. XXth Conf. Danubian Countries, Bratislava, Slovakia, 4–8 September, 2000. CD-ROM, pp. 990–995
- MIKA J., 2003: Az éghajlatváltozás sajátosságainak becslése a Zempléni-hegység térségére. In: Szerencs és a Zempléni hegység (szerk. FRISNYÁK S. és GÁL A.) Szerencs, 41–56. o.
- MIKA J., 2004: A globális klímamodellek. In: Klímaváltozás – hazai hatások. (szerk. MIKA J.) *Természet Világa* 2004. évi II. Különszám, 33–36
- MIKA J., 2005a: II. Fejezet Globális éghajlatváltozás – két IPCC jelentés között. Fejezet az „Éghajlatváltozás a világban és Magyarországon”. (TAKÁCS SÁNTA A., szerk.) Alinea Kiadó 83–103
- MIKA J., 2005b: III.. Fejezet Globális klímaváltozás, magyarországi sajátosságok. In: „Magyarország tájainak növényzete és állatvilága” (FEKETE G., VARGA Z., szerk.) MTA Társadalomkut. Közp. 397–408
- MIKA J., 2005c: Globális klímaváltozás, magyarországi sajátosságok. „AGRO-21” Füzetek Klímaváltozás–Hatások–Válaszok 41. Sz., 7–17
- MIKA J., BÁLINT G., BARTÓK B., BORSOS E., CSÍK A., SCHLANGER V., 2004a: Csapadék és felhőzet tendenciák a Duna felső vízgyűjtő területén az elmúlt három évtizedben. In: II. Magyar Földrajzi Konferencia. CD-ROM, 11 o.
- MIKA J., JANKÓ SZÉP I., HORVÁTH SZ., MAKRA L., PONGRÁCZ R. és DUNKEL Z., 2004b: Palmer-féle aszály-index Magyarországon: Értelmezés, statisztikák, párhuzam a globális klímaváltozással. *Erdő és klíma* IV. kötet. (szerk. MÁTYÁS CS. és VÍG P.) Nyugat-Magyarországi Egyetem, 99–112
- MIKA, J., HORVÁTH, SZ., MAKRA, L. and DUNKEL, Z., 2005: The Palmer Drought Severity Index (PDSI) as an indicator of soil moisture. *Physics and Chemistry of the Earth* vol. 30, 223–230

- MIKA J., 2007: IPCC, 2007: Sarokszámok és ajánlások az éghajlatváltozás hazai alkalmazkodási feladatainak megfogalmazásához. In: Szerencs, Dél-Zemplén központja (szerk. FRISNYÁK S. és GÁL A.) 163–175
- MIKA J., 2008: Az éghajlatváltozás sajátosságainak becslése a Bodrogtörzs (tágabb) térségére. In: Bodrogtörzs. A magyarországi Bodrogtörzs élővilága és tájféldrajza (szerk. TUBA Z. és FRISNYÁK S.) 20 o. (megj. alatt)
- NEMZETI ÉGHAJLATVÁLTOZÁSI STRATÉGIA, 2008–2025, (2008): Országgyűlési Határozat (2008. március 17) a 2007. évi LX. törvény 3. § alapján. 114 o.
<http://www.kvvm.hu/cimg/documents/nes080214.pdf>
- NOVÁKY B., 1991: Climatic effects on the runoff conditions in Hungary. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.16, 593–599
- PALMER, W.C., 1965: Meteorological Drought. Res. Paper 45, U.S. Weather Bureau, Washington DC, 58 pp
- RACSKÓ P., SZEIDL L. and SEMENOV, M., 1991: A serial approach to local stochastic weather model. *Ecological Modeling*, 57, 27–41
- SCHWARTZ P. and RANDALL, D., 2003: An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security.
<http://www.grist.org/pdf/AbruptClimateChange2003.pdf>
- STANHILL, G. and COHEN S., 2001: Global Dimming: A Review of the Evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agricultural and Forest Meteorology* vol. 107, 255–278
- SZENTIMREY, T., 1996: “Some statistical problems of homogenization: break points detection, weighting of reference series”, *Proceedings of the 13-th Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences*, San Francisco, California, pp. 365–368.
- SZINELL, CS., BUSSAY, A. and SZENTIMREY T., 1998: Drought tendencies in Hungary. *International Journal of Climatology*, 18, 1479–1491.
- VAJDA A., MIKA J., JANKÓ SZÉP I., IMECS Z. és BÁLINT G., 2000: Az éghajlat érzékenységének függése a tengerszint feletti magasságtól. In: III. Erdő és Klíma Konferencia Debrecen 2000. jún. 7–9, 45–58
- VINNIKOV, K.Ya., 1986: Sensitivity of climate *Gidrometeorizdat*. 219 p. (In Russian)
- WOOD, R.A., M. VELLINGA and R. THORPE, 2003: Global Warming and THC stability. *Phil. Trans Roy. Soc. A*, 361, 1961–1976