

219. 869

# "AGRO-21" Füzetek

## KLÍMAVÁLTOZÁS – HATÁSOK – VÁLASZOK

### A TARTALOMBÓL

Mi változik, ha változik a klíma?

Az öntözéses mezőgazdaság klímabefolyásoló hatása

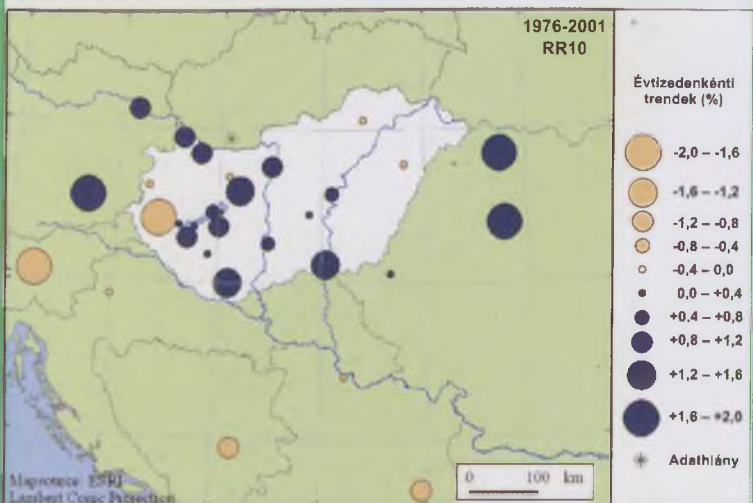
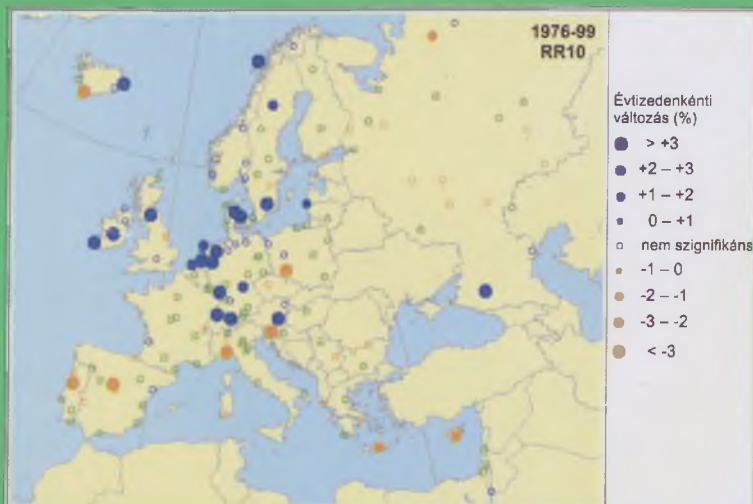
A klímaváltozás közgazdasági összefüggései

Termésingadozás és éghajlati változékonyság a Kárpát-medencében

Extrém éghajlati paraméterek tendenciái a XX. században

Az 1951–2000 hőmérsékleti minimum értékeinek agroklimatológiai elemzése

Hogyan tovább aszály?



A 10 mm csapadékot meghaladó napok számának (RR10) alakulása Európában és a Kárpát-medencében a XX. század utolsó negyedében

*Forrás: Bartholy Judit – Pongrácz Rita tanulmánya*

2005. 40. szám

„AGRO-21” FÜZETEK  
KLÍMAVÁLTOZÁS – HATÁSOK – VÁLASZOK

“AGRO-21” BROCHURES  
CLIMATE CHANGE – IMPACTS – RESPONSES

„AGRO-21“ HEFTE  
KLIMAÄNDERUNG – AUSKUNGEN – LÖSUNGEN

«АГРО-21» БРОШЮРЫ  
ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА – ВЛИЯНИЯ – ОТВЕТЫ

SZERKESZTI:  
CSETE LÁSZLÓ  
c. egyetemi tanár

KIADJA:  
AZ „AGRO-21” KUTATÁSI PROGRAMIRODA  
1061 Budapest, Andrásy út 23.

FELELŐS KIADÓ:  
LÁNG ISTVÁN  
akadémikus

ISSN 1218-5329

Készült:  
AKAPRINT KFT. BUDAPEST – Felelős vezető: Freier László

## TARTALOM

### TANULMÁNYOK

<i>Czelnai Rudolf</i> : Mi változik, ha változik a klíma? .....	3
<i>Nagy János – Kovács János</i> : Az öntözéses mezőgazdaság klímabefolyásoló hatása .....	14
<i>Szlávik János</i> : A klímaváltozás közgazdasági összefüggései .....	25
<i>Szász Gábor</i> : Termésingadozást kiváltó éghajlati változékonyság a Kárpát-medencében .....	33
<i>Bartholy Judit – Pongrácz Rita</i> : Néhány extrém éghajlati paraméter globális és a Kárpát-medencére számított tendenciája a XX. században .....	70
<i>Varga-Haszonits Zoltán – Varga Zoltán – Lantos Zsuzsanna – Enzsölné Gerencsér Erzsébet</i> : Az 1951–2000 közötti időszak hőmérsékleti minimum értékeinek agroklimatológiai elemzése .....	94
<i>Nováky Béla</i> : Hogyan tovább aszály? .....	106
Summary .....	120
Contents .....	127

MTA KÖNYVTÁR ÉS  
INFORMÁCIÓS KÖZPONT



## MI VÁLTOZIK, HA VÁLTOZIK A KLÍMA?

CZELNAI RUDOLF

*„Földünk egy űrhajó, és mi jól tesszük, ha rajta tartjuk  
a szemünket ennek az űrhajónak a levegőztető rendszerén”  
(Roger Revelle, 1957)*

### ÖSSZEFOGLALÁS

Mivel számos bizonyítéka van annak, hogy a klíma a múltban minden időskálán változott, ezért számolnunk kell azzal, hogy a jövőben is változhat. Ezért nagyon fontos, hogy beletekintsünk a földtörténeti korokban lezajlott változások menetébe, és megértjük azok okait. Ez egyrészt paleoklimatológiai vizsgálatokkal, másrészt az általános légköri és óceáni vízkörzés számítógépes modellezésével történik.

A klímát alakító fizikai folyamatok bármiféle változása ugyanis együtt jár a cirkulációs rendszerek átrendeződésével. Az időjárási frontok, a vándorló ciklonokkal együtt változhatnak attól függően, hogy az általános légköri körzés hogyan reagál, pl. az üvegházhatás fokozódására. A mérsékeltövben az egész klímaváltozási problematikának ez a kulcskérdése.

Az északi félteke közepes szélességein eddig mutatkozó klímaváltozást három pontban szokták összegezni, melyeket 13 hazai mérőállomás adatai is alátámasztanak: A hőmérséklet emelkedik, a csapadék mennyisége csökken, gyakoribbá válnak a szélsőséges időjárási események. A levonható következtetés nagyjából az, hogy a globális melegedés következtében a szélsőséges hőség válhat az összes környezeti terhelés között az első számú problémává.

A hazai és külföldi katasztrófa védelemmel és katasztrófa-kezeléssel foglalkozó szervezetek adatai is jelzik, hogy az utóbbi években az időjárással kapcsolatos természeti katasztrófák gyakoribbá és súlyosabbakká váltak.

Még adósok vagyunk azzal, hogy a változásokra való felkészülés feladatát komolyan vegyük. Szükség van egy átfogó nemzeti klíma-stratégiára, és ennek politikai szintre emelésére. Ebben a klíma-stratégiában ne csak olyan lépések kapjanak helyet, melyek egy lassú, és fokozatos melegedés és szárazodás forgatókönyveit veszik alapul, hanem hirtelen, meglepetésszerű eseményekre is fel kell készülni. A kidolgozandó ajánlásoknak egy része a ma tisztán látható konkrét teendőket foglalja össze, de a döntő súlyt a reagáló képesség megteremtésének feltételeire kell helyezni.

A címben feltett kérdés két részből áll: Az első az, hogy maga a klíma hogyan változik, illetve változhat? A második az, hogy ebből milyen más változások származhatnak a társadalmi és gazdasági élet különféle területein?

Itt az első kérdésről lesz szó. A másodikként csak általánosságban jegyzem meg, hogy attól a naptól kezdve, amikor az 1950-es

évek közepe táján, az ember okozta klímaváltozás problémája először merült fel komoly<sup>1</sup> formában, egyszerre sok minden megváltozott. Azóta egy olyan lehetőség árnyékában élünk, mely miatt másképpen kell gondolkodnunk, például ember és természet viszonyáról, az országok és régiók közötti viszonyokról, s főképpen a jövőről.

## MIT MUTATNAK A HAZAI ADATOK?

Egyike az alapvető tanulságoknak, melyeket a földtudományok területén már az 1990-es évek vége felé levonhattunk az volt, hogy a földi környezet egyetlen elemét és egyetlen régióját sem lehet a többitől függetlenül vizsgálni. Ez a tanulság messzemenően érvényes a klímával összefüggő kérdésekre. Erősen kerekített becslés szerint a közepes földrajzi szélességek övezetében az éves teljes energia bevételnek csak kb. a fele származik közvetlenül az ide érkező napsugárakból. Az energiabevétel másik felét az általános légkörzés és az óceáni vízkörzés szállítja ebbe az övezetbe, mégpedig nagyjából fele-fele arányban.

Ennek előrebocsátásával mindazonáltal nézzük meg első lépésként, hogy a hazai adatok mit mutatnak! Ehhez egészen friss elemzés áll rendelkezésünkre, melyet *Mersich Iván* és munkatársai nemrég végeztek el 10 hosszú sorozatú hazai klímaállomás (Sopron, Mosonmagyaróvár, Pécs, Siófok, Keszthely, Kecskemét, Szeged, Miskolc, Debrecen és Budapest OMSZ) adatai alapján. A szerzők több mint 30 féle éghajlati paraméter idősorait dolgozták fel, és ezért valószínűleg ez tekinthető az eddigi legkiterjedtebb ilyen célú vizsgálatnak. (1)

Ebből az anyagból itt mindössze öt grafikon mutatok be, amelyek közül az első három a felszínközeli hőmérséklet emelkedéséről, a negyedik pedig a klíma szárazabbá válásáról tanúskodik. Az 1. ábrán az éves középhőmérsékletek 1901–2003 közötti idősorát látjuk. Az éves adatok cikk-cakk vonalához illesztett 6 fokú polinom azt árulja el, hogy volt egy lassú melegedési szakasz, mely nagyjából 1940-ig tartott, ezután következett egy kb. 40 éves lehülési szakasz, majd az 1970-es évek végén máig tartó erőteljesebb melegedés kezdődött. Ugyanezt a jellegzetességet az északi félteke adatai is alátámasztják. Egy angliai vizsgálat szerint, melyet 1982-ben publikáltak, az északi féltekére vonatkozó átlagolt adatokban világosan kimutatható volt az 1880-tól 1940-ig

tartó melegedés, ugyanúgy, mint az 1940-től az 1970-es évek legvégéig tartó, előbb már említett lehülés. (2) Az 1980-tól kezdődő erőteljes melegedésről nem kell beszélnem, ennek globális jellegét számos publikáció tanúsítja.

Az 1. ábrához még hozzá szeretném tenni, hogy a *Meteorológiai Világszervezet* 1979 februárjában, vagyis az említett 40 éves lehülési periódus végén rendezte meg az Első Éghajlati Világkonferenciát. Akkor még minden adat lehülésre utalt. A kutatók ennek ellenére eléggé bátrak voltak ahhoz, hogy a konferencián határozottan bejelentsek a globális melegedés veszélyét.

A 2. és 3. ábra más szempontból érdekes. Itt rádiószondával mért magaslégtörési adatokat látunk. A 2. ábra a 850 hPa légnyomási felület szintjében, vagyis kb. 1500 méteres magasságban mért hőmérsékletek menetét mutatja be az 1962-től 2002-ig terjedő 40 éves időszakra vonatkozóan. A 3. ábrán a hőmérsékletnek ugyanezre a periódusra vonatkozó menetét látjuk, de az 50 hPa légnyomási felület szintjében, vagyis kb. 22 ezer méter magasan. Amint az elmélet alapján várnunk kell, a felszínhez közelebb eső szintben emelkedett a hőmérséklet, fent a sztratoszférában viszont csökkent. Külön fel szeretném hívni a figyelmet arra, hogy a felszínközeli hőmérséklet emelkedése viszonylag csekély volt, a sztratoszférikus lehülés viszont meghaladta az 5 °C értéket. Ez az utóbbi markáns változás világosan utal az üvegházhatás erősödésére.

Hazánk klímájának szárazodására az elmúlt évek folyamán több kutató is rámutatott. A 2000–2003 évek rendkívüli csapadékszegénysége, és a balatoni vízpótlás ennek kapcsán felmerült kérdése a széles hazai közfigyelmet is felkeltette. Mivel a 2004. év megint csapadékosabb volt, a kérdés egyelőre lekerült a napirendről. A további szárazodás azonban valószínűnek látszik. Pl. *Mika János* álláspontja szerint a hazai klíma melegedésére és szárazodására utaló forgatókönyveket mindaddig fenn kell tartanunk, amíg eddigieknél megbízhatóbb –

fizikai oksági összefüggéseket is feltáró – vizsgálatokat nem tudunk végezni. (3)

Ehhez az utóbbi kérdéshez nyújt további adalékot a 4. ábra, amelyen a fentebb említett 10 hazai állomás adatai alapján számolt téli csapadékösszegeket látjuk az 1901-től 2003-ig terjedő évekre vonatkozóan. Ezek az összegek folyamatos csökkenést mutatnak. *Mersich Iván* és szerzőtársai ugyanezen időszakra vonatkozóan kiszámították a nyári csapadékösszegeket is, és megállapították, hogy a nyári csapadékban nem mutatkozott említésre méltó változás. Ezért itt a nyári grafikon, ugyanúgy, mint az éves csapadékösszegek grafikonját, nem mutatom be. Nyilvánvaló, hogy az éves csapadékösszegek csökkenő trendje teljes mértékben a téli csapadékok csökkenésének tulajdonítható.

Az északi félteke közepes szélességein eddig mutatózó klímaváltozást három pontban szokták összegezni. A *hőmérséklet emelkedik, a csapadék mennyisége csökken, az időjárás szélsőségesebbé válik*. Fentebb, az első két témával kapcsolatban mutattam be néhány adatot. A harmadik téma komplikáltabb. A hazai meteorológiai megfigyelések alapján egyelőre nem nagyon lehet az időjárás szélsőségesebbé válását meggyőzően igazolni. Ezzel kapcsolatban valószínűleg szükség lenne megfelelőbb vizsgálati módszerek kifejlesztésére, pl. szinoptikus klimatológiai alapokon.

Az 5. ábrán mégis bemutatok egy ide való problémát. Itt azoknak az eseteknek a számát látjuk az 1961-től 2003-ig terjedő időszakra vonatkozóan, amikor a napi középhőmérséklet meghaladta a 25 °C fokot, a relatív nedvesség meghaladta a 60%-ot, és a napi átlagos szélesség kisebb volt, mint 1 m/s. E három feltétel együttese olyan napokat jellemez, amikor az emberi szervezetre gyakorolt hőterhelés igen nagy. Látjuk, hogy a megjelölt 40 éves időszakon belül az ilyen napok száma szignifikánsan növekedett. Ezt annak tükrében kell néznünk, hogy pl. 2003-ban az *OFDA*<sup>2</sup> adatai szerint 31 427 ember halálát lehetett a rendkívüli hőség terhére írni. Ez majdnem tízszer több volt, mint az

árvizek áldozatainak száma, és 32-szer több, mint ahányan a szélsőséges hideg miatt haltak meg ugyanabban az évben. A levonható következtetés nagyjából az, hogy a globális melegeedés következtében a szélsőséges hőség válhat az összes környezeti terhelés között az első számú gyilkossá.

A hazai és külföldi katasztrófavédelemmel és katasztrófa-kezeléssel foglalkozó szervezetek adatai jelzik, hogy az utóbbi években az időjárással kapcsolatos természeti katasztrófák gyakoribbá és súlyosabbá váltak. *Tatár Attila*, a BM OKF főigazgatója, a 2004 júniusában bekövetkezett magyarországi viharok elemzése kapcsán pl. arról számolt be, hogy a tűzoltóságok 2004 júniusában – egy átlagos hónapoz képest – két és félszer több esetben vonultak ki. (4) A 2004. júniusi események előzményeként már május 28-tól kezdve hatalmas károkat okozó felhőszakadások voltak az országban. Ezeket követte, június 9. és 13. között a viharok sorozata. A fővárosban június 9-én, az esti órákban kezdődött az erős szellőkésekkel kísért zivatar. A június 10-re virradó éjszaka folyamán a tűzoltóság teljes bevethető létszáma kárelhárítási munkát végzett.

Mindez még nem nyújt ugyan biztos alapot a trend megállapításához, de komoly figyelmeztetés. Ezért az év folyamán többször is napirendre került a természeti katasztrófák gyakoriságának klímaváltozással való kapcsolata és az ebből származó katasztrófa-kezelési feladatok mérlegelése. Ilyen volt a *VAHAVA kutatási Projekt „Vihar, zivatar, jégeső – 2004. június 9.”* c. konferenciája, 2004. szeptember 9-én az MTESZ székházban, továbbá az a klímaváltozással foglalkozó *Országos Katasztrófavédelmi Konferencia*, melyet a *Gépipari Tudományos Egyesület* és a *VAHAVA kutatási projekt* közösen szervezett Gyulán, 2004. november 5. és 7. között. Nem sokkal az utóbbi esemény után, a november 19-ről 20-ra virradó éjszakán csapott le a *Magas-Tátrára* az orkán erejű szélvihar,<sup>3</sup> mely két és fél millió köbméter fenyőt pusztított el. Ehhez hasonló katasztrófát a térségben nagyon régen nem tapasztaltak.

A klímaváltozás azért fogható gyanúba, hogy oka lehet az időjárási katasztrófák gyakoribbá válásának, mert – mint a későbbiekben még szó lesz róla – a klímát alakító fizikai folyamatok bármiféle változása együtt jár a cirkulációs rendszerek átrendeződésével. A mérsékelt övben pl. megváltozhatnak a ciklonok pályái. Ezzel biztosan együtt jár a csapadékviszonyoknak és a viharok gyakoriságának jelentős megváltozása, tehát nagyon fontos összefüggésről van szó.

A probléma illusztrálására említem a trópusi ciklonok<sup>4</sup> esetét. Ehhez fontos tudni, hogy trópusi ciklonok csak tengerfelszín fölött keletkeznek, s csakis ott, ahol a felszín hőmérséklete legalább 26 °C. A globális melegedés egyik következménye, hogy ez az övezet kiterjedőben van a magasabb szélességek felé, amerre nő a földforgásból eredő „bepörgető” hatás. Tehát szélesedik az övezet, ahonnan trópusi ciklonok tudnak elindulni, és egyre intenzívebb ciklonok keletkeznek. A hírek már képet adtak arról, hogy ez mit jelent.

### MILYEN TUDÁST MERÍTHETÜNK A RÉGEBBI MÚLTBÓL?

Mivel számos bizonyítéka van annak, hogy a klíma a múltban minden időskálán változott, ezért számolnunk kell azzal, hogy a jövőben is változhat, mégpedig akár kizárólag természetes okokból is, teljesen függetlenül attól, hogy az ember beleavatkozik-e ebbe a folyamatba, vagy sem.

Ezért nagyon fontos, hogy beletekintsünk a földtörténeti korokban lezajlott változások menetébe, és megértsük azok okait. Ez magyarázza, hogy a gazdag országok, költséget nem kímélve, hatalmas erőfeszítéseket tesznek a paleoklíma vizsgálatok területén. Ezzel kapcsolatban említhetők pl. azok a kelet-antarktisi jégmag-fúrások, amelyek az EPICA<sup>5</sup> projekt keretében folynak. Egy előzetes, szenzációs közlésből, mely 2004 júniusában látott napvilágot (5), megtudhattuk,

hogy máris 740 ezer évre visszamenő, eddigieknél pontosabb klíma-rekonstrukciót sikerült készíteniük, és nyolc nagy glaciális ciklust azonosítottak. E ciklusok egyik jellemző vonása, hogy a lehülési szakasz mindig viszonylag lassú volt az utána következő felmelegedéshez képest. Ez tipikusan olyan kérdés, amelyre ha magyarázatot sikerülne találni, ezzel máris nagy lépést tennénk a klímaváltozási folyamatok megértése felé.

Jelenleg az eddigi legutolsó nagy glaciális ciklusnak a meleg szakaszában – sőt azt is mondhatjuk, hogy annak is a csúcán – vagyunk, tehát a természetes változás eddigi rendje szerint most csakis lehülést várhatnánk. Azonban ennek a ciklusnak a mostani szakasza jelentősen eltér mindattól, ami az eddigi ciklusok meleg szakaszát jellemezte. Először is, már több mint 10 ezer éve változatlanul magas a globális átlaghőmérséklet. Ez példátlan. Az is szokatlan, hogy ezt a kivételesen tartós, meleg szakaszt az éghajlat viszonylagos stabilitása (korábbiakhoz képest nagyon csekély ingadozása) jellemzi.

A legizgalmasabb kérdés, melyet a vázolt paleoklíma-rekonstrukciók felvetnek az, hogy a jövőben is ugyanúgy követik-e majd egymást a glaciális ciklusok, mint ahogy az elmúlt 740 ezer évben tették? Vagy lehetséges-e, hogy kb. 10–12 ezer évvel ezelőtt történt valami, ami nemcsak stabilizálta az éghajlatot, de új kurzusra is állította azt? Ha így volna, akkor az lenne a következő kérdés, hogy az emberi beavatkozás legnagyobb veszélye nem éppen abban van-e, hogy ezt a nehezen előállt kényes egyensúlyt újra felboríthatjuk? Ezek jó kérdések, de a paleoklíma vizsgálatoktól nem várhatjuk, hogy ezekre a kérdésekre válaszokat is adjanak. A keresett válaszokhoz az egyetlen út a folyamatok mély megértésén keresztül vezet. Erre a témakörre később térünk át.

A geológiai korokban lezajlott glaciális ciklusok átfogó magyarázatára a legismertebb kísérlet a *Milanković hipotézis*. (6) Az alapeszmét eredetileg *Sir John Frederic William Herschel (1792–1871)* vetette fel 1830-ban, amikor azon kezdett gondolkodni,



hogy a Föld történetét végigkísérő ciklikus eljegesedések esetleg a Föld forgásának és pályájának ciklikus változásaival lehetnek kapcsolatban. E feltevést később futólag *Alphonse Joseph Adhémar (1797–1862)* francia matematikus és *James Croll (1821–1890)* skót fizikus is vizsgálta.

A már-már feledésbe merülő témát *Milutin Milanković (1879–1958)* elevenítette fel az 1910-es években. Tudta, hogy azok az átfedő hatások, melyeket a Nap, a Hold és a bolygók tömegvonzása gyakorol a Föld forgására és keringésére, csak pár tized százalékkal módosíthatják a Földre érkező teljes éves napsugárzás összegét. De rájött, hogy a napsugárzás földrajzi övezetek szerinti eloszlásában és éves menetében jelentősebb változások jöhetnek létre, és ezeket bizonyos folyamatok (ma azt mondanánk, hogy klimatikus visszacsatolások) még jobban felerősíthetik. Pl. a magasabb szélességek övezetében a pályaelemek változásai időnként olyan hosszan tartó periódusokat eredményeznek, amikor csökken a nyári sugárzásbevitel, a téli viszont nő. Ha egy melegebb télen több hó esik, és ezután a nyár a szokottnál hűvösebb, akkor nő az olyan övezet, ahol a hó nem tud maradéktalanul elolvadni. A visszamaradt hó megnöveli az albedót, ennek következtében csökken a felszínen elnyelt hő, és ez stabilizálja a hótakarót. Ha ez évről évre megismétlődik, a hóhatár kitolódása felgyorsul, és elkezdődik egy önmagát erősítő, hosszú lehülési folyamat.

Ez a nagyon röviden vázolt gondolatmenet átvezet minket két további fontos kérdéskörre. Az egyik a földi rendszeren belüli visszacsatolásokat, a másik pedig a helyi különbségek fontosságát illeti. Ezeknek közös vonása, hogy mindkét területen nehéz átlépni a kvalitatív spekulációk területéről a kvantitatív elemzés és modellezés területére.

A *Milanković hipotézissel* és általában a paleoklíma vizsgálatokkal kapcsolatban összefoglalásképpen három szempontot lehet kiemelni.

1. A klíma múltbeli változásainak elemzése új fizikai hipotéziseket vethet fel, és ez fontos, mert a kutatások üzemanyaga a hipotézis.

2. A hipotézisek teszteléséhez adatok kellene. Mivel műszeres meteorológiai megfigyelések csak 150 éve folynak, ezért a paleoklíma rekonstrukciók nélkülözhetetlen adatforrást jelentenek.

3. Az ember okozta klímaváltozást csak akkor tudjuk kimutatni, ha azt el tudjuk különíteni a természetes okból bekövetkezett változásoktól. Ehhez tudnunk kell, hogy az éghajlati rendszer hogyan működött a múltban, amikor az üvegházgázok nagymértékű antropogén kibocsátása még nem kezdődött el.

## HOGYAN PRÓBÁLUNK A JÖVŐBE NÉZNI?

A klímaváltozás kérdésével kapcsolatban *Neumann János* már fél évszázada megállapította, hogy olyan problémával állunk szemben, amikor egyszerű kvalitatív okoskodás alapján még egyszerű kvalitatív válaszokat sem kaphatunk. Így jutott arra a következtetésre, hogy a globális éghajlati rendszer bonyolult működésének előrejelzéséhez egyetlen út vezet: az általános légkörzés és óceáni vízkörzés numerikus modellezése. A számítógépes klímamodellek fejlesztése – éppen az ő ösztönzésére – már akkoriban meg is kezdődött.

E munka nemzetközi keretei az 1979-ben tartott *Első Éghajlati Világkonferencia* nyomán jöttek létre, mikor a *Meteorológiai Világszervezet (WMO)* és a *Tudományos Uniók Nemzetközi Tanácsa (ICSU)* közös égisze alatt megszületett az *Éghajlatkutatási Világprogram*. A modellek fejlesztésének hosszú távú menetrendjét e program tudományos vezetői az 1980-as években fektették le. Két alapvető célt tűztek ki: egyrészt a modellek fizikai tartalmának bővítését, másrészt a modellek térbeli felbontásának finomítását.

Az előrehaladást két technikai feltétel hiánya hosszú ideig akadályozta. Egyrészt nem állt rendelkezésre olyan óceán-megfigyelő rendszer, mely a szükséges adatoknak akár a töredékét is szolgáltatni tudta volna. Másrészt a komputeres teljesítőképessége hosszú ideig (sőt azt lehet mondani: máig) messze elmaradt a feladat igényeihez képest.

Az 1995–2000 közötti időszakban azonban végre észrevehető előrehaladás történt az óceáni folyamatok modellezése terén. Ennek legfontosabb előfeltételét az új fizikai oceanográfiai mérési technika teremtette meg. Döntő fontosságú volt az új oceanográfiai műholdak pályára állítása, amelyek nagy pontosságú altimetrikus méréseket tudnak végezni, és ezáltal lehetővé teszik az óceánfelszín topográfiájának meghatározását. Így sikerült képet kapni az óceáni vízkörzésben nagy szerepet játszó mezo-méretű örvényekről. Hasonlóan fontos fejlemény volt az ún. „autonom szondák” kifejlesztése. Ezek a szondák vízrebocsátás után automatikusan lesüllyednek, pl. 2000 méter mélyre, ott stabilizálják a lebegési magasságukat, és az adott réteg áramlataival utaznak, pl. 10 napon át, majd automatikusan a felszínre emelkednek, és közben mérik a tengervíz hőmérsékletét és sótartalmát. Felérve a felszínre, leadják az adataikat annak a műholdnak, melynek éppen a látóterébe értek, s ez a műhold rögzíti a földrajzi pozíciójukat. Ilyen autonom szondákat ma már ezrével lehet vízre bocsátani, és az általuk szolgáltatott adatok a szó szoros értelmében forradalmasítják a fizikai oceanográfiai kutatásokat. Ez a fejlemény tette reális célkitűzéssé a globális óceánmegfigyelő rendszer kiépítését, ami elemi feltétele volt a légkör és óceán összekapcsolt modellezésének.

A globális légköri cirkulációs modellek tipikus rácstávolsága kb. 100 km-re csökkent, s ezzel a térbeli felbontásuk 500 km-re finomodott. (Ami messze nem elég.) Fokozatosan beépítették a modellekbe a felületi forrásokból történő emissziókat, az advektív és konvektív légköri transzport folyamatokat,

a szennyező anyagok száraz ülepedését és kimosódását, a légkör és óceán közötti szén és kén körforgalmat, valamint a troposzférikus és sztratoszférikus aeroszol szerepét. Az óceáni mérés technika fejlődésével párhuzamosan jelentős előrehaladás történt az óceáni vízkörzés folyamatainak numerikus modellezése terén is. Újabb fejlemény, hogy már modellezni tudják a szárazföldi felszín és növényzet légköri folyamatokkal való kölcsönhatásait, figyelembe véve egyes biofizikai folyamatokat, a fotoszintézist, valamint a vegetáció-dinamikát.

A legutóbbi évtizedben a munka fő iránya a drasztikus, gyors klímaváltozások lehetőségének vizsgálata felé fordult. Az *US National Academy of Sciences* erre a célra létrehozott bizottsága 2002-ben formálisan is megállapította, hogy az ilyen változások lehetősége reális. (7) Ugyanakkor azt is megállapították, hogy az új tudományos tények tudomásul vétele lassan megy végbe. Szerintük, a klímaváltozás fizikájával foglalkozó kutatók többsége már érti, hogy miről van szó (számomra ez túl jól hangzik), az „impakt” csoportok (pl. közgazdászok) viszont (szerintük) még mindig a hagyományos felfogás alapján – fokozatos változásokat alapul véve – próbálják kiszámítani a klímaváltozás lehetséges következményeit.

A szemlélet elmaradása az új tudományos felismerések mögött nem új dolog. *Reid Bryson* – bizonyos klímátörténeti adatsorokat vizsgálva – már az 1960-as években arra jutott, hogy „a klímaváltozás nem lassú, fokozatos változás formájában szokott jönni, hanem sokkal inkább diszkrét ugrások formájában, úgy, hogy az egyik légköri rezsimit felváltja egy másik”. (8) A következő évtizedekben sorra jöttek az új bizonyítékok, de az 1993-ban megismételt grönlandi jégmag-fúrások eredményeinek publikálásáig még uralkodott a régi felfogás. Túl sok kutatónak volt érdeke, hogy olyan munkákat folytathassanak, amelyeket a számukra adott eszközökkel is végre lehet hajtani. (9)

Sokan azt hiszik, hogy a nagyfelbontású modellekre csak azért van szükség, hogy

regionális klíma-előrejelzést lehessen készíteni. Pedig két másik ok ennél sokkal fontosabb. Az egyik az, hogy az általános légkörzés teljes kinetikus energiájának nagyobbik részét azok az 500 km-nél kisebb karakterisztikus méretű örvények képviselik, amelyek a jelenlegi modellekben egyáltalán nincsenek reprezentálva. Ennek következtében a különböző skálák közötti energiaforgalmat csak közelítőleg tudjuk becsülni. Ettől az egész folyamatra vonatkozó tudásunk bizonytalan. A másik ok az, hogy a konkrét időjárást (azt, hogy pl. esik-e az eső, vagy sem) ugyancsak az előbb említett „sub-grid” örvények határozzák meg, és ezeket a mai klímamodellek „nem látják”.

*Az időjárási frontok, a vándorló ciklonokkal együtt, tipikus „pályák” mentén mozognak, és ezek a pályák változhatnak attól függően, hogy az általános légkörzés hogyan reagál, pl. az üvegházhatás fokozódására. A mérsékelt övben az egész klímaváltozási problematikának ez a kulcskérdése. (Kéretik erre gondolni, amikor a TV-néző a meteorológus szájából ezt hallja: „az időjárási frontok ma messze elkerülik a Kárpát Medencét”).*

A komplex földi rendszer mechanizmusainak térben és időben egyaránt részletes vizsgálatához finom felbontású globális modellekre van szükség, melyek nemcsak a légkör és óceán együttes viselkedését szimulálják, hanem a sarkvidékek jégsapkáinak viselkedését, a szárazföldi és tengeri növényzet és élővilág reakcióit, vagyis a globális földi rendszer egészét is. Az eredeti tervek szerint ezt a célt már a 2000–2005 közötti időszakban el kellett volna érni. Úgy tűnik azonban, hogy pár éves késésre számíthatunk. A problémát az okozza, hogy a globális modellekben alkalmazott rácsátvolságot kb. 10 km-re kellene csökkenteni, ami azt jelenti, hogy a számítási követelmény kb. százszorosára nő. Ez jócskán meghaladja a jelenlegi legnagyobb számítógépek teljesítményét. Azonban a kilátások javulnak. A komputerok világában nincs messze egy újabb fronttörtés. A klíma-modellek térbeli

felbontása nőni fog, és egy évtizeden belül olyan előrehaladás várható, ami az eddigi akadályokat elgördíti az útból. A nagy külföldi klíma-modellező központokban, gyorsuló ütemben, hatalmas új tudásanyag keletkezik. Fel kell készülni ennek befogadására!

### MIT JELENTHET MINDEZ EGY LEHETSÉGES NEMZETI KLÍMA-STRATÉGIA SZEMPONTJÁBÓL?

Annak felismerése, hogy az üvegházgázok kibocsátásának korlátozására irányuló nemzetközi diplomáciai erőfeszítések ellenére máris változnak (és a jövőben még inkább változhatnak) a társadalmi és gazdasági tevékenység éghajlati feltételei, már szerencsére megtörtént. Azzal viszont még adósok vagyunk, hogy a változásokra való felkészülés feladatát komolyan vegyük. Ebből a szempontból a legjobbkor (vagy talán már kicsit elkésve) jött az MTA és KvVM kutatási szerződése, és az annak kereteiben formát öltő VAHAVA projekt, melytől – kedvező esetben – azt várhatjuk, hogy *születik egy átfogó nemzeti klíma-stratégia, és megtörténik ennek politikai szintre emelése!*

E klíma-stratégia körvonalai szempontjából milyen különbséget jelentenek a legutóbbi évtized klímaváltozással kapcsolatos kutatásainak felismerései? Azt hiszem világos: *nagyon kell vigyázni arra, hogy ebben a klíma-stratégiában ne csak olyan lépések kapjanak helyet, melyek egy lassú és fokozatos melegedés és szárazodás forgatókönyveit veszik alapul. Ehhez képest sokkal nyitottabb közelítés szükséges.*

*Számolnunk kell az időjárás szélsősége-szebbé válásával, az időjárással összefüggő természeti csapások gyakoriságának és súlyosságának növekedésével, és – legfőképpen – a gyors és drasztikus változások lehetőségével. Ezért nem lehet előre megírt, végleges érvényű recepteket közreadni, és ezzel a témát befejezettnek tekinteni.*

*A kidolgozandó ajánlásoknak lehet egy*

olyan része is, amely a ma tisztán látható konkrét teendőket foglalja össze. De a döntő súlyt a reagáló képesség megteremtésének feltételeire kell helyezni. Ugyanis biztosan lesznek nem várt fordulatok és kellemetlen meglepetések. Kell tehát egy magas szintű megegyezésen alapuló *stratégia*, amely alapot ad ahhoz, hogy a helyi döntéshozók, szükség esetén, önállóan reagálhassanak a felmerülő konkrét helyzetekre. Kellenek továbbá a megfelelő *jogszabályok*, amelyek biztosítják, hogy a szükséges reagálás simán, és hivatali packázás nélkül történhessen. Más szóval egy „élő rendszerre” van szükség.

Ide tartozhat a szükséges intézményi háttér kérdése is. Ugyanis a klímaváltozás következményeire való felkészüléshez jó gazdát kell találni. Továbbá meg kellene vizs-

gálni, hogy mi vehető át az olyan országok és régiók bevált gyakorlatából, ahol sűrűbben fordulnak elő időjárással összefüggő természeti katasztrófák. (Például tanulságos, hogy a hurrikánok által frekvenciált helyeken különleges súlyt helyeznek az ún. „public preparedness” kérdésre.) Annak feltételeit kell megteremteni, hogy az esetleges váratlan problémákra *mindenki a maga helyén, intelligens módon tudjon reagálni*. Ehhez egyrészt ismeretek kellenek, amiben a tudomány segíthet. Másrészt olyan *körülmények és feltételek* kellenek, hogy ne csak tudni lehessen, hogy mi volna az intelligens döntés, de azt meg is lehessen hozni. Ezek olyan kérdések, amelyeknek az átgondolására a VAHAVA projekt most lehetőséget kínál. Ezt nem szabad elszalasztani!

#### JEGYZETEK

1 Az üvegházhatás fogalma kb. 200 éves. Az a szerep, amelyet ebben a szén-dioxid játszik, legalább 100 éve ismert. De az a gondolat, hogy Földünk éghajlatát mi magunk komolyan veszélyeztetjük, mindössze kb. 50 éve merült fel. Ekkor jelent meg Neumann János „Túlélhetjük-e a technikát?” c. cikke a Fortune c. folyóirat 1955. évi 51 (6) számában. A Scripps oceanográfiai intézetben ekkor fedezték fel, hogy az óceán (eltérően attól, amit korábban gondoltak) nem képes teljesen elnyelni az ember által légkörbe juttatott többlet szén-dioxidot. Ez után hozták létre a híres Mauna Loa obszervatóriumot, ahol a légköri szén-dioxid koncentrációt azóta is mérik.

2 OFDA = US Office of Foreign Disaster Assistance.

3 A 173 km/órás maximális szélesebséget Chopok-on mérték. (A nemzetközi definíció szerint akkor beszélünk orkánról, ha a maximális szélesebség nagyobb, mint 118 km/óra.)

4 A trópusi ciklonokat a közép-amerikai térségben hurrikánoknak, az ázsiai térségben pedig tájfunoknak nevezzük.

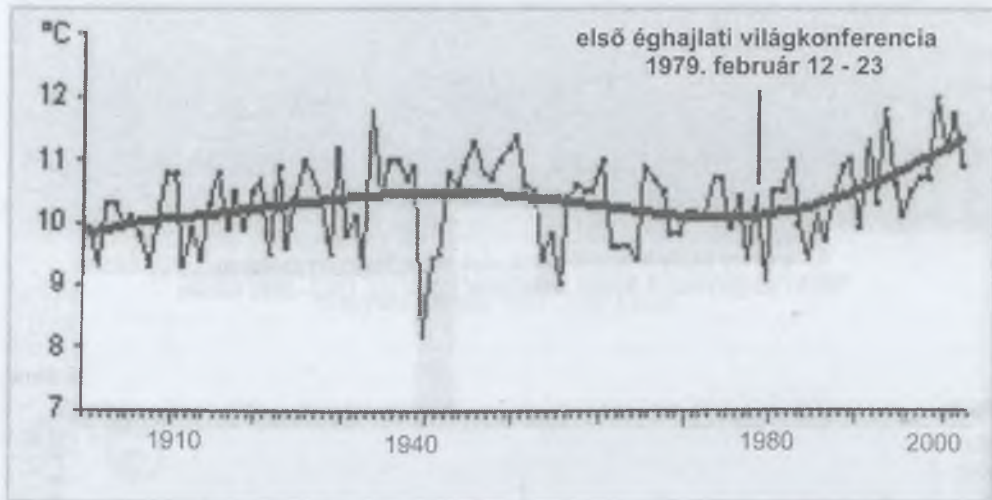
5 EPICA = European Project for Ice Coring in Antarctica. Tíz európai ország kutató laboratóriumainak és logisztikai szolgálatainak konzorciuma által végzett (jelenleg 3190 méter mélységnél tartó) kutató fúrás a kelet-antarktiszi „C” jégkopolában (75°06'S, 123°21'E).

#### FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) MERSICH Iván – KÖVÉR Béláné – KONKOLYNE BIHARI Zita – SCHLANGER Vera (OMSZ): Változik hazánk éghajlata? Előadás a „Globális klímaváltozással összefüggő hazai hatások és azokra adandó válaszok” c. konferencián, Gyula 2004. november 5–6. (2) JONES, P. D. – WIGLEY, T. M. L. – KELLY, P. M. (1982): Variations in surface air temperatures. Part I. Northern Hemisphere, 1881–1980. Monthly Weather Review 110 (2), 59–70. pp. (3) MIKA János (2003): Regionális éghajlati forgatókönyvek: tények és kétségek. „AGRO-21” Füzetek 32. szám, 11–24. pp. (4) TATÁR Attila (2004): A 2004. június hónapban bekövetkezett magyarországi viharok elemzése a katasztrófa-kezelés tükrében. „AGRO-21” Füzetek 35. szám, 3–9. pp. (5) EPICA community members: „Eight glacial cycles from an Antarctic ice core”, Nature, Vol 429, 10 June 2004, 623–628. pp. (6) MILANKOVIC, Milutin

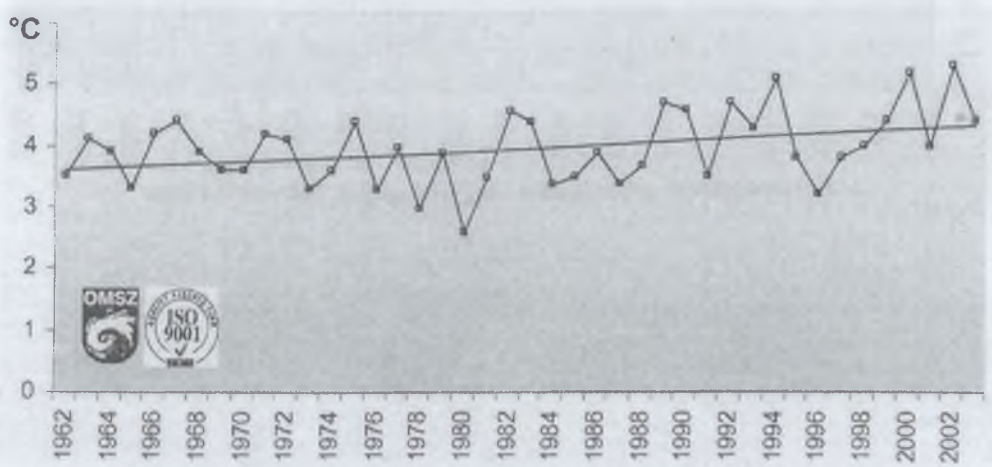
(1998): „Canon of Insolation and the Ice-Age Problem” Beograd (7) National Academy of Sciences, Committee on Abrupt Climate Change, Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises, Nat. Acad. Press, Washington, DC (2002) (8) BRYSON, R. A. – WENDLAND, W. M. (1970): „Climatic Effects of Atmospheric Pollution, Global Effects of Environmental Pollution, Springer Verlag (9) Current Thinking is reviewed. In: R. B. Alley et. al.: Science 299, 2005 (2003).

1. ábra



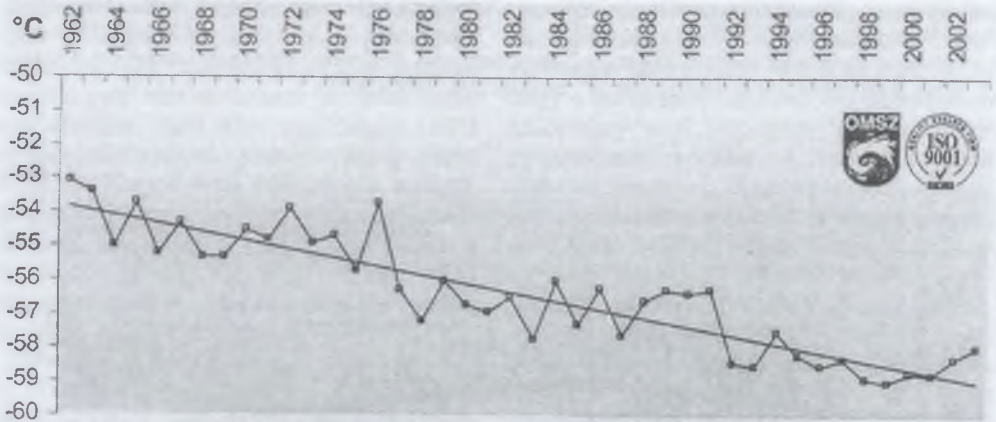
Az éves középhőmérsékletek alakulása Magyarországon, 1901–2003 között

2. ábra



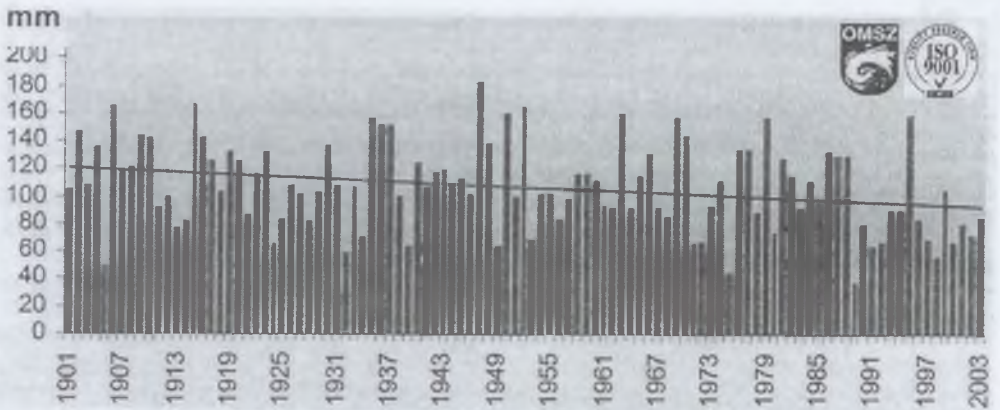
Az éves középhőmérsékletek alakulása Magyarországon, 850 hPa légnyomási felület szintjében (1500 m), 1962–2002 között

3. ábra



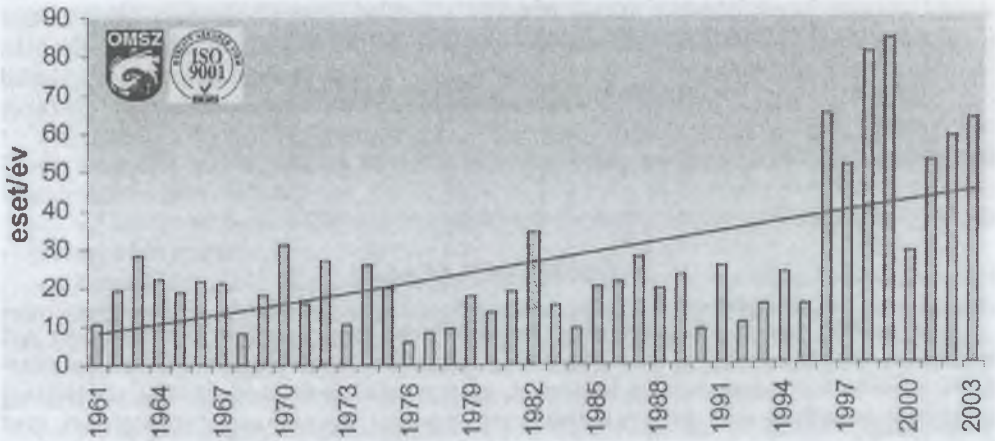
Az éves középhőmérsékletek alakulása Magyarországon,  
50 hPa légnyomási felület szintjében (2200 m), 1962–2002 között

4. ábra



A téli csapadékösszegek alakulása Magyarországon, 1901–2003 között

5. ábra



Az emberi szervezetre veszélyes terhelésű napok számának alakulása Magyarországon, 1961–2003 között

# AZ ÖNTÖZÉSES MEZŐGAZDASÁG KLÍMABEFOLYÁSOLÓ HATÁSA

NAGY JÁNOS – KOVÁCS JÁNOS

## ÖSSZEFOGLALÁS

A termőföld jelenti Magyarország legjelentősebb természeti erőforrását. Az azt hasznosító mezőgazdaságra, mint alapanyag termelőre, jelentős ipari fejlesztés alapozható. Szembe kell nézni azzal a helyzettel, hogy hazánk méretbeli és tőke ellátottsági szintjéből fakadóan csak integrálódási lehetőségekkel számolhat a tudásigényes ipar területén, következésképpen az ország természeti erőforrásaira épített gazdaságfejlesztéssel tudja leginkább biztosítani jövedelemtermelő képességét, javíthatja piaci versenyhelyzetét. A viszonylag magas népsűrűség okán nem közömbös az eltartó képesség alakulása, az ország lakosságmegtartó erejének megőrzése. A klímaváltozási hatások felerősödésével a víz megléte, vagy deficitje élettér minőségi kérdéssé is válik egyben. A felmelegedés, mértékétől függően, az élettér minőségi kérdés jelentőségében akár meg is előzheti a mezőgazdasági termelési vonatkozásokat. A mind valószínűbbé váló klímaváltozás tehát alapjaiban befolyásolja Magyarország jövőjét, határozza meg lehetőségeinek korlátait.

A légkör  $\text{CO}_2$  tartalma az utóbbi 100 év alatt több mint 30%-kal növekedett, az üvegházhatást kiejtő gázok mennyisége pedig megduplázódott. Ilyen jelentős változások a tulajdonságokban is meg kell hogy jelenjenek. Megindult folyamatról van szó, amit tovább táplál a hőhullámokat visszatartó gázok folytatódó dúsulása a légkörben, melynek következtében 1–3 °C-os felmelegedést prognosztizálnak.

Nem esnek mindig egybe a globális, a regionális és a lokális hatások. Kárpát-medence vízháztartásának alakulásában – zárt földrajzi egység jellegéből fakadóan – különös jelentősége van saját vízkészlete kezelésének, az azzal való gazdálkodási lehetőségek kihasználásának. Mindig a gazdasági szempontok szerint alakult, hogy a mezőgazdasági művelésű területek növelése, vagy az élőhely kialakítása, esetleg az ipari üzemek, közművek telepítése volt-e az a fontosabb fejlesztési cél, melynek alárendelték a vízgazdálkodási kérdéseket. Az 1840-es időszakban Magyarország területén hatalmas vízrendezési munkákat végeztek, és a folyószabályozások, vízfelület csökkentések eredményeként 39 ezer  $\text{km}^2$ -rel növelték a mezőgazdasági művelésű területeket. Nem várt hatásként 78 mm-rel csökkent a csapadék mennyisége, romlott a párologtatás klímakiegyenlítő kapacitása, és 1 °C-kal megnőtt az átlaghőmérséklet. A beavatkozás következtében a tavaszi hóolvadással évről-évre jelentős vízmennyiség szalad ki a Kárpát-medence zárt rendszeréből. Kiegyenlítetlenül maradt ez a negatív hatás, amit a klímaváltozás a jövőben csak tovább súlyosbíthat. A probléma legcélszerűbb megoldásának a vízháztartási rendszer természetes folyamatának szabályozottá tétele kínálkozik. A XIX. századi vízrendezés előtt tavaszi hóolvadáskor a hegyekből lezúduló víz a medence ártereit elöntötte, majd elpárologván újra a hegyekben csapódott le, létrehozva a víz belső körforgását a Kárpát-medencében – ezt a folyamatot kell irányítottá



tenni. A mai teendők első lépéseként párologtatás növeléssel vissza kell állítani a légköri vízforgalom egyensúlyát (felszámolva a 100–130 mm-es hiányt), majd globális klímaváltozási hatások diktálta mértékben fokozva a párologtatást, válik csökkenthetővé a hőmérséklet emelkedés mértéke.

Az új vízgazdálkodási rendszer öt pillérré épül:

- a vízgyűjtő terület elfolyó vizeinek tárolása – völgyzáró gáttakkal a hegyek között létesítendő víztározókban;

- a víz közlekedtetése a tározás és a párologtatás helye között – többlépcsős csatorna rendszeren keresztül;

- a Duna kiegyenlítő szerepének kihasználása – amennyiben a Kárpát-medence zárt rendszerében nem képződik a párologtatáshoz elegendő mennyiségű víz, a Duna átfolyó vízkészletként hasznosítható;

- a víz elpárologtatása – mezőgazdasági művelésben tartott területeken, nagy termelési értéket adó, döntően zöldség és gyümölcs kultúrák termesztésével;

- a párologtatás gazdasági folyamatba illesztése – fő szempont a lehető leggazdaságosabb üzemeltetés, melyhez viszonyítva a bekerülési összeg másodlagos, elkerülhetetlen továbbá a közhasznúság valorizálása és költségtérítése.

A rendszer óriási előnye, hogy nem veszi igénybe, háborítatlanul meghagyja a jövő számára, a nemzetközi összehasonlításban is jelentős mélyrétegi vízkészleteket.

A rendszerben a párologtatási folyamat képezi a kulcselemet, mivel a talaj szakaszos feltöltését követően a vízleadás, ezzel együtt a fő funkció teljesülése itt történik meg. A felmelegedési folyamattal felerősödik a mezőgazdaság multifunkciós jellege. A termék-előállítás, a foglalkoztatási kötelezettségen túl, a környezetgazdálkodási szerep mellett a klímakiegyenlítő hatás elérése is alapvetően a mezőgazdasági tevékenységen keresztül valósulhat meg. Fontos, kiegészítő szerepe lesz a települések vízgazdálkodásának, a közvetlen emberi környezet minőségének megőrzésében. A jóléti környezetgazdálkodás részeként javítani kell az élő környezet minőségén. Már a jelenlegi helyzet is tarthatatlan. Városaink, falvaink zöldfelület kezelési gyakorlata korszerűtlen, elmarad a teljes jogú EU tagországtól joggal elvárható, vagy megkövetelhető szinttől.

A folyószabályozások következtében jelentkezett vízmennyiség csökkenés miatt az ország területének mintegy felén már ma is a félsivatagi arányokhoz közelít az ariditási tényező, a talajvíz mennyisége és mozgása egyre kiszámíthatatlanabb jelleget vesz fel. A jelenlegi gyakorlat rontja a mezőgazdasági termelés versenyképességét, akadályozza a technológiai korszerűsítéseknek.

Felértékelődik a víz szerepe a környezeti tényezők között. Versenyképességi kérdés a stabil áruminőség és a szabályozható mennyiség biztosításának megteremtése a mezőgazdasági termelésben, ami a jelenlegi vízhasználati gyakorlattal nem valósítható meg.

A gyümölcs- és zöldségtermesztés, a vetőmag- és szaporítóanyag előállítás, egyes ipari növények jelentik a vízhasznosítás gazdaságossági szempontból leginkább számba jöhető területeit. A termelési kapacitás növelésével párhuzamosan a termékpálya egységes kezelésére, a teljes vertikum komplex fejlesztésére van szükség a megoldás hatékonyságának eléréséhez.

A feltételezett klímaváltozás káros hatásainak mérséklésére megvan a lehetőség a Kárpát-medence zártságából fakadóan. A további 1–3 °C-nyi felmelegedés alapjaiban érinti az ország életét, következésképpen első számú prioritás a káros hatások kivédésének vagy csökkentésének a megszervezése. Már a mai helyzeten való javítás sem tűr halasztást.

## BEVEZETÉS

Magyarország gazdasági életének jövőjében meghatározó jelentőségű a klímahelyzet alakulása. A feltételezett klímaváltozás globális hatásából hazánk a kedvezőtlen irányba történő elmozdulással számolhat a FAO előrejelzései szerint (FAO, 2001). Növénytermesztésünkre vonatkozóan a prognózisok 20–50%-os potenciálcsökkenést tartalmaznak (IIASA, Laxenburg, 2002). Alapvető feladatunk tehát áttekinteni a jelenlegi helyzetet, a valószínűsíthető változásokat, és azok mérséklésének lehetséges módozatait.

A föld éghajlatában a felmelegedések és a lehülések váltogatják egymást. A jelenlegi helyzet – a feltételezett felmelegedés – alapvetően abban különbözik a korábbiaktól, hogy kiváltásában meghatározó szerepet játszik az antropogén hatás. A civilizációs ártalmak közé soroljuk az üvegházhatást előidéző gázok feldúsulását a légkör összetételében. Meg kell jegyezni, hogy éppen az üvegházhatásnak köszönhetően van élet a földön, mert ha a Föld légkörében nem lenne vízgőz, CO<sub>2</sub> és más olyan gázok, amelyek hőhullám visszaverő hatásúak, akkor bolygónk középhőmérséklete –18 °C lenne a jelenlegi 15-el szemben (Hartmann, 1994). A problémát nem maga a jelenség, hanem annak a szokásos keretektől való kilépése, illetőleg eltérési tendenciája képezi. Az 1 °C-os felmelegedés az üvegházhatásban 3%-os változást jelent. Tudni kéne, hogy ez következményeiben sok-e, milyen módon csökkenthetőek a negatív hatások. Ugyanúgy szükséges a tisztán látás a tekintetben, hogy mértékben és időben a jelenlegiről milyen amplitúdóra vált a ciklikusság, mikor és mi módon indul meg az ellentétes folyamat.

A múlt – jelen – jövő, illetőleg a globális változások lokális hatásainak vizsgálata, továbbá a Kárpát-medence, mint földrajzi egység és a helyi környezeti adottságok összefüggésrendszerének feltárása alapján célszerű elindulni Magyarország klimatikus változásainak vizsgálatában. E tekintetben együtt kell szemlélni a hőmérsékletben és a

vízháztartásban bekövetkezhető változásokat, mivel a két tényező szoros kölcsönhatásban van egymással, és együtt képezik a legjelentősebb változó természeti tényezőt az élettér alakulásában.

Magyarország vízgazdálkodása szempontjából döntő jelentőségű, hogy a hidrológiailag zárt Kárpát-medence legmélyebb fekvésű részeit foglalja magában. Ez a helyzet egy időben jelent kitettséget és cselekvési lehetőséget. Részint hatalmas költségeket emészt fel a megelőző védekezés, amellyel elejét lehet venni a jelentős árvíz-károknak, másrésztől viszont meg van a víznyerés lehetősége a gazdasági ellehetetlenüléssel járó mértékű aszálykárok elkerülésére. E tekintetben szerencsés helyzetűeknek mondhatjuk magunkat. A kérdés csupán az, hogy tudunk-e élni a természet adta lehetőségünkkel?

## A HAZAI VÍZGAZDÁLKODÁS FŐBB JELLEMZŐI

Magyarország vízgazdálkodási lehetőségeinek felméréséhez számításba kell venni

- az érkező-,
- a távozó-, valamint
- a tárolt víz mennyiségét.

*Érkező vízmennyiség (szerzők számítása Várallyay, 2001, Alföldi, 2003 adatai felhasználásával):*

Folyókkal beérkező vízmennyiség	120,00 km <sup>3</sup> /év
Csapadék formájában jövő vízmennyiség	55,15 km <sup>3</sup> /év
Az alsóbb talajrétegekből származó vízmennyiség	2,85 km <sup>3</sup> /év
<i>Összesen</i>	<i>178,00 km<sup>3</sup>/év</i>

Magyarország abban a szerencsés helyzetben van, hogy a rajta átfolyó folyók területének több mint háromszorosáról gyűjtik össze a felesleges vizet, mely terület zöme

csapadékfelesleggel rendelkezik, ennél fogva bővelkedik víznyerési lehetőségekben. Ennek megfelelően az átfolyó vízmennyiség több mint kétszerese a légkörből származóknak.

A fő vízgyűjtő területet a szomszédos országok Kárpát hegykoszorút alkotó térségei képezik, ami a vízfelfogás szempontjából biztosít kedvező lehetőséget.

A csapadék formájában jövő nedvesség is viszonylag jó eloszlású (mind térben, mind időben), nincs ún. „száraz évszak”, az év mindegyik szezonjában hullik csapadék.

*Távozó vízmennyiség (szerzők számítása Várallyay, 2001, Alföldi, 2003 adatai felhasználásával):*

a kilépő folyók vizeként	123,15 km <sup>3</sup> /év
közvetlenül a légkörbe jutó páráként	52,00 km <sup>3</sup> /év
az alsóbb rétegekbe szivárog	2,85 km <sup>3</sup> /év
<b>Összesen</b>	<b>178,00 km<sup>3</sup>/év</b>

A távozó vizek nagy része a folyókban lép ki az ország területéről. A bejövő és az elfolyó vízmennyiség közti különbség *Alföldi László (2003)* és *Cselötei László (2004)* adatai alapján számolva 3,15 km<sup>3</sup>/év, azaz 34 mm-es csapadékmennyiséget jelent. Ez az érték megegyezik az átlagos felszíni vizek (tavak, víztározók és folyók) készletével. *Alföldi (1999)* és *Somlyódy (2000)* a kilépő folyóvizek 5%-át származtatják a hazai csapadékbevételekből, ami 6,15 km<sup>3</sup> vízmennyiségnek felel meg.

A közép- és mélyebb rétegekbe szivárgó víz 2,85 km<sup>3</sup>, megegyező az onnan kivett mennyiséggel, így a közép- és a mélyebb rétegek vízmennyisége egyenlegben lévőnek tekinthető.

A párolgás három részből tevődik össze:

– *Az erdők és a természetes növényi takaró által elpárologtatott vízmennyiség.* Magyarország területének 81,7%-át (7 596 000 ha) borítja növényi takaró, melyből 19% az erdő és a természetes biocönózis, amely

önszabályzó módon jutja a nedvességet a talajból a légkörbe. Természeténél fogva változó a párologtatás attól függően, hogy ártéri, mocsaras, vagy éppen dombhát, kopár hegygerinc, arid stb. az adott terület.

– *A kultúrnövények által elpárologtatott vízmennyiség.* A mezőgazdasági művelésben tartott terület nagysága 5 744 000 ha, ami az ország teljes területének 61,8%-a. Ezen terület meghatározott része az, ahol a párologtatás szabályozható, mivel az igényeknek megfelelően történhet a szabad vízmennyiség adagolása. Az innen elpárolgó vízmennyiséget egységesen kezeljük tekintet nélkül arra, hogy a növény által, vagy a talaj felületéről közvetlenül jut a légkörbe, miután egyaránt hozzájárulnak a bioszféra nedvesítőtartalmának biztosításához. *A globális klímaváltozások negatív hatásainak kivédése szempontjából* következképpen a növénytermesztés jelenti az emberi beavatkozás kulcselemét a Kárpát-medencében.

– *Az egyéb felület által elpárologtatott vízmennyiség.* Egyéb felület alatt a nyílt vizeket, a településeket, a különféle létesítményeket értjük. E tekintetben a települések öntözési célú vízfelhasználása jelenti a legfontosabb tényezőt, mivel ezáltal közvetlenül az élő környezet hőháztartására, por- és egyéb szennyezőanyag tartalmának kedvezőbbé tételére tudunk hatni. A települések párologtatási célú vízfelhasználása úgyszintén szabályozható.

Tárolt vízmennyiség:

– Állóvizekben 2,6 km<sup>3</sup> (Balaton – 2–2,5 km<sup>3</sup>, Velencei tó – 0,05 km<sup>3</sup>, Fertő tó – 0,01 km<sup>3</sup>, egyéb – 0,04 km<sup>3</sup>)

– Folyók házáknak területén lévő vízmennyisége 0,6 km<sup>3</sup>

– A talaj felső 1 méterében 26,3 km<sup>3</sup> (átlagérték) – 17,5–35,0 km<sup>3</sup> között változhat (*Várallyay, 2001*)

– Középső rétegekben 47 km<sup>3</sup> (*Thyll Szilárd által rendelkezésre bocsátott adat*)

– Mély rétegekben 5000 km<sup>3</sup> (*Thyll Szilárd által rendelkezésre bocsátott adat*)

– Légrétegekben:  $2,8 \text{ km}^3$  (30 mm csapadéknak megfelelő mennyiség)

A föld édesvíz készletének eloszlását tekintve jég és gleccser formájában található a teljes mennyiség 69,7%-a, a talajban pedig további 30% van, a tavakra, folyókra, és a légkörre összesen csupán 0,3% esik. Amennyiben a jég és a gleccser formában lévő édesvíz mennyiség figyelembe vételétől eltekintünk, mint amelynél igen lassú a körforgása, megállapítható, hogy a talajban van a víz 99%-a (1. táblázat). Saját adottságainkat a világtalaggal összevetve szerencsés helyzetűnek mondhatjuk magunkat, mivel bőséges a közvetlen szabadvíz nyelési lehetőségünk.

#### Vízfelhasználás:

Az ipar  $4,5 \text{ km}^3$  vizet használ fel, amely visszakerül a folyóvizekbe, vagy a talajba. Hasonló a helyzet a mintegy  $1,0 \text{ km}^3$ -nyi lakossági felhasználású vezetékes vízzel is.

A növénytermesztés öntözés céljára  $0,6 \text{ km}^3$  mennyiséget használ fel (Cselötei, 2004) döntően a folyók vizéből, melynek nagy része a légkörbe kerül, viszonylag csekély az elfolyó, illetőleg a talaj mélyebb rétegeibe szivárgó részarány.

Öntözésre, a klimatikus viszonyok javítására a bejövő teljes vízmennyiségnek csupán 0,34%-át hasznosítjuk, ami a folyókban átlag bejövő egy napi vízmennyiségnek, vagy a lehulló csapadék kevesebb, mint 1%-ának (6,4 mm) felel meg. Öntözés az ország kert és szántó területének csupán 3–3,5%-át érinti (Cselötei, 2004).

A jelen helyzetre jellemző, hogy évente ismétlődnek a folyók gyakran tetemes károssal járó tavaszi áradásai, melyeket rövid időn belül aszály követ. A téli csapadék a hegyekből lezúdul a medencébe, azon gátak közé szorítva átrohan, és a Dunában, valamint a Tiszában folyva elhagyja az ország területét. Amikor jön a tavaszi-nyári felmelegedés, már nem rendelkezünk a temperálásához, a levegő kívánatos páratartalmának fenntartásához szükséges vízmennyiséggel.

A talaj felső 1 méterében megcsappan, vagy elfogy a szabad víz, nedvesség hiány keletkezik, fellép az aszály. Ahhoz, hogy a hőmérsékletnek, a levegő páratartalom igényének megfelelő vízforgalom legyen az ország területén, legalább 700 mm vízmennyiségnek kellene a légkörbe párolognia a jelenlegi 530–550 mm-rel szemben. Következésképpen a lehetséges klímaváltozás figyelembe vétele nélkül, már a mai problémák megoldására 100–130 mm-rel több vízmennyiség talaj általi levegőbe juttatására lenne szükség. Az eltérés (a 700 mm és az 530–550 közötti különbséghez viszonyítottan) a víz egyenetlen területi eloszlásból fakad. Szász (1963) és Antal Emánuel (2003) megállapítása szerint a lehetséges párolgáshoz viszonyítva mintegy 0–350 mm/évre tehető a klimatikus vízhiány, amely nem azonos az öntözővíz mennyiségével. A fenti hiányból származtatható az évi öntözővíz-igény, amelynek értéke 0–200 mm közötti az ország különböző területein. Meg kell jegyezni, hogy a tényleges párolgás is kisebb, mint a csapadék évi összege az ország nagyobb területén – kivételt a DNy-Dunántúl képez. A kutatások eredményeként elkészült Magyarország agroklimatológiai térképe, melyen a csapadékeloszlás egyenetlensége alapján a teljes területet 4 csoportba sorolták (Varga-Haszonits, 1977). A megoldás szempontjából szerencsés, hogy éppen a jól csatornázható sík, alföldi térség szenved leginkább a vízhiánytól. Elgondolkodtat, hogy a megállapítást követő több mint 25 év alatt egy lépéssel sem jutottunk előrébb a vízhiány pótlásában. Gazdasági lehetőségeink, főleg a mezőgazdasági termelés, továbbá életterünk kedvező adottságainak kihasználása szenved csorbát azáltal, hogy a hazai vízgazdálkodás jelenlegi helyzetében messze nem használja ki természet adta lehetőségeit. Sajnálatos, hogy a vízgazdálkodás, önálló területként kezelve önmagát, elszakadt a mezőgazdasági hasznosítás és a területgazdálkodás igényeitől, megfeledkezett a komplexitás fontosságáról. Feladatát az árvizek, az árvízkarok megelőzésében látja, felfogá-

sában figyelme elsikkad a vízhasznosítás felett. Mára oda jutottunk, hogy a korábban kiépült vízhasznosítási rendszerek sincsenek kihasználva. Számos helyen betemetésre kerültek a táblák között létesített vizes árkok is. Számos javaslat, terv fogalmazta meg a Duna–Tisza csatornát, amikből kapavágásnyi munka sem valósult meg, holott ez képezheti a vízgazdálkodási rendszer feltöltő eszközét. Míg a világban általános tendencia az öntözéses gazdálkodás terjedése, Magyarországon azzal együtt esett vissza az öntözött mezőgazdaság aránya, hogy közben fokozódik a csapadékhiány. Vízgazdálkodásról csak beszélünk, ehelyett vízelvezetést valósítunk meg. A Vásárhelyi-terv, amely a vízgazdálkodási szakemberek legújabb felfogása szerint került kidolgozásra, sem más, mint árvíz megelőzési módszer. A vízzel való gazdálkodást, az aszályprobléma kezelést meg sem kísérli. A betervezett víztározók létesítése nem több a probléma lényegét megkerülő tüneti kezelésnél. A vízhiány megoldási, a nyáron szükséges temperálási kérdést még csak fel sem teszik.

## **A KÁRPÁT-MEDENCE GLOBÁLIS VÍZ-KÖRFORGALOMHOZ ILLESZKEDŐ HIDROKLIMATOLÓGIAI VÁLTOZÁSAI**

Természetünknel fogva vagyunk hajlamosak tapasztalásunkat elfogadni természetesnek, továbbá az egyedi esetekből vonunk le tanulságokat, általánosítással azokat terjesztjük ki. Ennek alapja, hogy egyénileg a közvetlen hatások kivédésére, az individuális válaszadásra vagyunk képesek. Ezt tápláljuk át hibásan gondolatban a természeti környezetre is, holott társadalmi összefogással nem csak a társadalmi- és a termelési folyamatokat alakíthatjuk kedvezőbbé, hanem környezetünk természeti feltételein is képesek vagyunk jobbitani. A civilizáció fejlődése kedvező változtatási lehetőségeket is kínál, melyekkel akkor tudunk élni, ha a

jelenségeket folyamatukban vizsgáljuk, megállapítva a köztük lévő összefüggéseket térben és időben.

Hazánk területére hulló csapadékkal kapcsolatosan meghatározónak tekintjük az óceáni eredetet, elhanyagolva a Kárpát-medence zártágából eredő lehetőségeket. Megvizsgálva a víz mozgását bolygónk teljes mérete tekintetében, három vízforgalmi ciklus rajzolódik ki világosan:

- az óceán és a szárazföld közötti körforgás,
- a szárazföld belső körforgása és
- az óceánok belső körforgása.

Globális mértékben a szárazföld vízforgalmában nagyobb jelentősége van a belső körforgásnak az óceán-kontinensénél (1. ábra), amiből következik, hogy reálisan kell számba venni a szárazföld feletti légköri vízkörforgalmat. Különösen igaz ez a Kárpát-medencére, melynek zártágából fakadóan belső körforgás alakul ki. Nagyon fontos tehát az e rendszerbe került víz mind nagyobb arányú benntartása. Jelenleg 5,4%-os negatívumot mutat a magyarországi mérleg e tekintetben, miután a lehulló csapadékból 3,15 km<sup>3</sup>-nyi vízmennyiség a folyókkal kikerül a Kárpát-medencéből. A világban számos példa akad hasonló helyzet kihasználására. Valamennyi lényege, hogy megoldották az egyenlőtlenül jövő csapadék tárolási feladatát, és a tartalékolat víz a nedvességhiányos időszakban történő felhasználásának gyakorlati-, alkalmazástechnikai-, szervezési- és közgazdasági kérdéseit. Minden megoldást a nemzeti összefogás, határozott jövőkép felvázolása, a változások hatásának előzetes felmérése, kivitelezési és felhasználási tervek alapján történő megvalósítás jellemez.

Magyarország területének vízháztartására hatással vannak a globális folyamatok, a medence-jellegből fakadó sajátosságok, továbbá az antropogén hatások. Ennek megfelelően az elemzésnek komplex jelleggel valamennyi tényező értékelésére ki kell terjednie. Magyarország vízháztartásának és

átlaghőmérsékleti adatainak változásai az alábbi módon összegezhetők.

Kárpát-medence vízháztartásában az utóbbi legjelentősebb változást az 1840 körüli földéhségtől hajtott nagy vízrendezési, elsősorban folyószabályzási hullám jelentette, melynek során 39 ezer km<sup>2</sup>-rel nőtt a mezőgazdasági terület, következtésképpen ennyivel csökkent a folyómeder, az ártéri terület, valamint az állóvíz felület. A Balaton felszíne például 1100 km<sup>2</sup>-ről 590-re zsugorodott. Ezen változások eredményeként 78 mm-rel csökkent az éves csapadékmennyiség. A vízpárolgás hűtő hatásának csökkenése következtében 1 °C-kal nőtt az átlaghőmérséklet. Az átlag mögött a tavaszvégi, nyári hőmérséklet emelkedés bújik meg, amikor kánikula időszakok alakulnak ki. A folyószabályozásokkal egy időben csökkent az erdőfelület is, ami tovább rontott a terület vízmegtartó képességén. A jobbítás szándékával indított változások máig ható negatív eredménnyel jártak.

A folyómeder szabályozását megelőzően a hegyekből tavasszal lezúduló vízmennyiség előntötte az ártereket, majd a felmelegedést hozó nyári időszakban a víz párolgása részint hűtő hatást, másrészt magasabb víztartalmat eredményezett a rendszerben. A döntő, hogy intenzívebb volt a víz körforgása a medence zárt rendszerében. Nem természetes állapot tehát a jelen helyzet. Az emberi beavatkozás negatív hatása kiigazítás nélkül maradt mind a mai napig.

A vízháztartás egyes összetevőinek értéke és aránya az éghajlat módosulása következtében megváltozott. Az elmúlt 100 évben Közép-Európára jellemzően alakult a hőmérséklet és a csapadék. Míg a hőmérséklet ez idő alatt közel 1 °C-kal emelkedett, addig a csapadékban jelentős mennyiségi csökkenés állapítható meg. A hőmérséklet emelkedésével arányosan nőtt a levegő párolgató képessége – részben közvetlenül a hőhatás következtében, részben pedig a telítési páratartalom emelkedésével. Ez egyidejűleg a potenciális párolgás értékében, vagyis a levegő párolgató-képességének fokozódá-

sában nyilvánul meg. A potenciális párolgás növekedése és a lehulló csapadék csökkenése következtében egyre nagyobb mértékűt ölt a klimatikus vízhiány, melynek értéke jelenleg Magyarországon 0–350 mm között változik, helytől függően. A tendencia folytatódása, netán felerősödése esetén megnövekszik, sőt elkerülhetetlenné válik az öntözés alkalmazásának általánosabbá tétele.

Térségünkre 2050-re az enyhébb éghajlat-változási szcenárió átlag +1 °C hőmérséklet emelkedést és 50 mm csapadékcsökkenést tartalmaz (Antal, 2003). Ebben az esetben, feltételezve a jelenlegi növénytermesztési szerkezet változatlanágát, további 59 mm öntözővíz kijuttatására lesz szükség – figyelmen kívül hagyva a transzspirációs változás vízigény növelését.

A legkedvezőtlenebb, de nagyobb bekövetkezési valószínűséggel jelzett éghajlati jövőkép szerint +3 °C-os felmelegedés önmagában 100 mm-es csapadékmennyiség csökkenésével, és 200 mm-es öntözővíz többlet igénnyel jár (Antal, 2003). A többletigény az első esetben 109, a másodikban 300 mm. Hozzáadva a jelenlegi öntözővíz igényhez – 107 mm (Antal, 2003) – 216–409 mm vízmennyiség öntözéses kijuttatására lesz szükség, ami a várható csapadékmennyiség 72–90%-os kiegészítő öntözésként történő biztosítását jelentené. Ilyen horderejű változásra történő átállás huzamos időszakot igényel. A gondot szaporítja, hogy nem lesz lehetőség a jelenlegi vetésszerkezet fenntartására, továbbá változtatni kell az agrotechnikai módszereken, oly módon, hogy csökkenthetővé váljon a vízszükséglet. A területhasznosítási változtatások egyaránt kihatással lesznek a feldolgozóiparra és a foglalkoztatási lehetőségekre is.

### **A MEZŐGAZDASÁG ÉGHAJLAT BEFOLYÁSOLÓ KÉPESSÉGÉNEK FOKOZOTTABB KIHASZNÁLÁSA**

A jelen gondjainak enyhítése szempontjából legjelentősebb feladatként fogalmazható meg a nagyobb víztömeg megtartása

Kárpát-medence belső vízforgásában, megőrizve ugyanakkor a mezőgazdasági művelésben tartott területek nagyságát.

A vízgazdálkodási rendszer öt eleme:

- a vízgyűjtő terület elfolyó vizeinek tárolása,
- a víz közlekedtetése a tározó és a párologtatás között,
- a Duna vízkészletének rendszer-feltöltő jellegű hasznosítása,
- a víz elpárologtatása,
- a párologtatás gazdasági folyamatba illesztése.

A számos nemzetközi példa közül a kaliforniai Szent-Márk Völgyben alkalmazott megoldás hazai adaptálása látszik célszerűnek. A medencét körülvevő hegylánc vizét a hegyekben emelt völgyzáró gáttal fogják meg, és programozottan adagolják a kiépített csatornarendszerbe a vegetációs időszakban. Ennek felel meg a Kárpát hegylánc országonkat körülölelő vonulata. Második forrásként San Francisco környékéről csatornarendszeren keresztül vezetik le a vizet, ami a rendszeren kívüli vízforrás bekapcsolását jelenti. Ezt a funkciót helyzetünkben a Duna tölti be, amelyet ráadásul ki sem kell építenünk. A felhasználásban döntő jelentőséget kap a mezőgazdaság, ezen belül az intenzív, nagy értéket előállító gyümölcs- és zöldségtermesztés, valamint a jóléti funkciót betöltő lakókörnyezet.

### *1. A vízgyűjtő terület elfolyó vizeinek tárolása.*

A víztöbblet nagyobb részben a hegyekben keletkezik, melynek megfogására és tározására itt kínálkozik a legjobb alkalom. Erre már az Osztrák–Magyar Monarchia idejében történtek próbálkozások Erdélyben. Völgyzáró gátak és leveztető folyamatok rendszerével kiépíthető a programozott felhasználást lehetővé tevő tározó rendszer. A tározói kapacitás ekkénti megépítése a vízkészletezés szomszéd államok területére esését jelenti, így már a létesítéskor megállapodás-

ra van szükség a bekerülési- és a fenntartási költség, valamint a hozadék megosztás feltételeiről. Ezt kívánja meg a gazdasági célszerűség, továbbá, hogy a felmelegedés negatív következményei valamennyi Kárpát-medencében élőt súlytanak. A megoldásban közös az érdekeltség, és már Szlovákia teljes jogú EU tagország, Románia két éven belül szintén az lesz, Ukrajna közeledése is tényként fogadható el, így a korábbi beidegződések kedvező irányú változása egyben az EU integráció próbatétele is.

Magyarország legjelentősebb víztározója maga a talaj, pontosabban annak felső 1 métere, melynek nedvességmegtartó kapacitása 35 km<sup>3</sup> körüli értékű, ami a Balaton vízmennyiségének 14 szerese. A kihasználás szempontjából döntő, hogy a talaj nedvességtartalma változtatható, a szakaszos adagolás mellett is a léghőmérséklet függvényében párologtat, ami alkalmassá teszi a téli csapadék tározására, majd a légkörbe juttatására, illetőleg a szakaszos „utántöltés” elnyújtott leadására.

### *2. A víz párolgása.*

A vízhasznosítás döntően a párologtatás útján valósítható meg. A talajfelület méreténél, természeténél fogva alkalmas a levegő páratartalmának a feltöltésére. Gazdasági haszonnal a növényen, pontosabban a termesztett növényen keresztüli párolgás jár. A hazai talajok fő hasznosítója a mezőgazdaság és az erdészet. A talajok alkalmasak arra, hogy időszakos feltöltéssel (egyenetlen természetes nedvesség utánpótlás és öntözés útján) a tározói kapacitást kihasználva folyamatos ellátást biztosítsanak a növények számára, illetőleg a kívánatos környezeti állapot eléréséhez, fenntartásához. Másik nagy párologtató rendszer maga az emberi élettér, beleszámítva a jóléti környezetet. A települések növényzete jelenti ebben az esetben a párologtató közeget – elsősorban jóléti funkcióval, mint a levegő portalanítása, páratartalom biztosítása, a levegő hűtése stb.). Az, hogy környezetünket alkalmassá tesszük a minőségi élet élésére, pénzben is

kifejezhető, de gazdaságilag nem megtérülő ráfordítás, ami közjót szolgál, így ennek megfelelően kell gondoskodni annak költségviselési feltételeiről.

### *3. A víz közlekedtetése a tározás és a párolgás között.*

A természetes folyamatól eltérően az épített környezetben kettéválik a víztározási és -felhasználási szakasz. A tárolt víz adagolva, a folyók és meglévő, valamint a megépítésre kerülő csatornák rendszerével juttatható el a felhasználási területre. Az összehangolt rendszerben három szakasz – a főművi-, a területi- és a helyi csatorna-rendszer – egymásra épülésére van szükség. Mindháromnak megvan a kiépítési-, fenntartói- és gazdasági sajátossága, viszont közös bennük, hogy csak egységes rendszerben képesek funkciójuk betöltésére.

### *4. A Duna vízkészletének rendszer-feltöltő jellegű hasznosítása.*

A Kárpát-medence zártságán old a Duna, amely keresztülfolyik rajta, lehetőséget teremtve a pótlólagos öntözővíz nyelésére. A rendszerbe szükség esetén kívülről, más területek elfolyó, felesleges vizének felhasználásával vihető be kiegészítő mennyiség ilyen módon. Miután a Duna felső szakasza csapadéktöbbletes területeket fog át, biztosítottak látszik a feltöltő szerep betöltése. A tervekben régóta élő Duna–Tisza csatorna közbeiktatásával eljuttatható a Duna vize az alföldi térség leginkább rászoruló területeire is. a jelenlegi állás szerint még a Duna közvetlen környékén sem tudunk élni az öntözéses gazdálkodás előnyeivel.

### *5. A párolgás gazdasági folyamatba illesztése.*

Országot, sőt az egész Kárpát-medencét egységes keretbe foglaló vízgazdálkodási rendszer megvalósítása jelentős anyagi és szellemi erőforrásokat igényel. A befektetési döntés meghozatalakor szükség van a hasznosítási kérdések tisztán látására is. A tökebefektetés döntő szempontja a megtérülési

biztonság. E tekintetben a mezőgazdasági hasznosítás nálunk is – mint a világon mindenütt – a nagyobb érték előállítására képes intenzív zöldség- és gyümölcsstermesztéssel képzelhető el, amihez járul még a vetőmag- és szaporítóanyag előállítás, egyes ipari növények termesztése. Részint mert értékrenddel nagyobb a területegységre vetített bruttó bevétel mértéke, nő a terület eltartó képessége, nagyobb feldolgozóipar alakítható ki, illetőleg fejlettebb térségi logisztikai tevékenységet bír el az így előállított árualap. Az öntözéssel nő a termelési biztonság mind minőségi, mind mennyiségi vonatkozásban, ami egyben javít az értékesítési folyamat megszervezhetőségén. A biztonságosabb terméskilátások tervezhetőbbé teszik a teljes folyamatot, ami egyben megkönnyíti a kockázatvállalási küszöb meghatározását.

Ehhez tartozik továbbá, hogy a beruházásokkor mindig az olcsóbb, a gazdaságosabb üzemeltetés elérése a vezérelv. A magasabb bekerülési összeg hamar megtérül, ha a használat során alacsony önköltség érhető el. Valamennyi működőképes rendszer ezen elvek szerint épült ki.

Másik oldalról az öntözésnek jelentős, és egyre nagyobb részarányát képezi a közjóléti funkció. Az életminőség nem biztosítható a jelenlegi szinten, amennyiben nem nyer teret a jóléti környezetgazdálkodás, melynek elemeként a társadalom finanszírozza az élet alapját képező élő-környezet működtetését, kifizeti a ráfordítások arányosított részét.

Az Európai Unióban nem létezik a „hiány” fogalma, következésképpen a hiánygazdálkodás sem. Az EU minden igényt képes belső előállítással kielégíteni a nálunk megtermelhető mérsékelt égövi zöldség- és gyümölcs terményekből. Gazdaságilag ebből fakadóan akkor megalapozott a fejlesztési döntés, ha ezáltal a marginális költségnél olcsóbban, vagy jobb minőségű, esetleg egyedi termék előállítására van lehetőség. *A hasznosítás során következésképpen a minőségi, különleges tulajdonságokkal rendelkező árúk előállítására kell összpontosítani. E tekintetben Magyarország hagyományos gyümölcsster-*



mesztési körzetei ökológiai feltételeinek köszönhetően iz- és zamatanyagokban különlegesen gazdag termékek előállítására valósítható meg, amit ki lehet használni. Ahogy Kaliforniában, az öntözés megoldásával páratlan módon futott fel az ültetvényes gazdálkodás, Magyarország is jelentősen növelheti a gyümölcs ültetvények arányát. A cseresznye, a meggy, a kajszibarack, az alma, a boglyások jelentik a fő fejlesztési lehetőségeket. Nem szabad elfelejteni a komplex fejlesztés elengedhetetlenségét. Gyakori probléma, hogy a korszerű ültetvény létesítését nem kíséri a feldolgozás, a piacra juttatási rendszer kifejlesztése. A mai piaci viszonyok között a piacszervezéssel ki kell lépni a nemzeti keretből. Az értékesítő szervezet sikeressége a kínálati bőségtől, és a szállítási időszak hosszától is függ. E tekintetben a különböző termőhelyek összekapcsolásával lehet kedvezőbbé tenni az ajánlati pozíciót. Számunkra e tekintetben az olaszországi termelőkkel való kooperáció kínál előnyöket.

A gyümölcsstermelés sarkalatos problémáját jelenti az egyes évek eltérő csapadékmennyisége. Az alma termése ilyen körülmények között 60–25 t/ha között ingadozik (Kovács et al., 1999). Ekkora eltérés mellett nem tervezhető sem az értékesítés, sem a költségviselő képesség, megvalósíthatatlan a korszerű természetstechnológia. A csepegtető öntözéssel megoldható a gyümölcsfák vízigényének kielégítése, azonban hatástalan a légköri aszályal szemben, továbbá nem teszi lehetővé a füves takarásos módszer alkalmazását, ami a talajművelés, továbbá a környezeti hatások szempontjából kedvezőbb az ugaros művelésnél. Nem szabad szem elől téveszteni, hogy a változtatás fő szempontja a lehetséges klímaváltozás, a

felmelegedés hatásának esetleges kibővítése, vagy legalább mérséklése. A környezeti feltételek ellehetetlenülésének megelőzése, a lakosság egészségi állapotának preventív védelme, ami közcél és egyben határokon, térségen átnyúló, a teljes EU-t érintő közfeladat. A lehetséges védekezési módok kihasználása túlnő a nemzeti kereteken. A szükséges nemzetközi összefogásnak ki kell terjednie a szervezési, a jogi és az anyagi kérdésekre. *Elsősorban a környezeti körülmények kedvezőtlenebbre fordulásának a megelőzése, illetőleg moderálása a fő feladat, a párologtatásra kerülő víz mezőgazdasági hasznosítása „kármentő” jelleggel, a befektetett összeg részbeni megtérülésének igényével történik. A mezőgazdasági tevékenység feladatai tovább bővülnek, mivel a klímakiegyenlítő hatás leginkább a növénytermesztésen keresztül biztosítható gazdaságilag leghatékonyabb módon a Kárpát-medencében.*

Gazdasági kérdés továbbá, hogy a lassan „évig érő” gátrendszereknek is vannak beruházási, fenntartási költségei és hatékonysági mutatói. Hozzászámolva az esetleges árvízcsúcsok alkalmával szükséges terület elárasztással járó károkat, könnyen elkészíthető a jelen helyzetre vonatkozó mérleg. Ehhez kell számítani a prognosztizálható jövőből adódó eshetőségeket, feltéve a kérdést, hogy milyen szélsőségeket bír el a jelenlegi gátrendszer, továbbfejlesztése milyen összegeket igényel.

*A feltételezett klímaváltozás egyre szaporodó jelei arra mutatnak, hogy a jövővel szembeni felelőtlenség, és nem tartható az a helyzet, miszerint a vízhiány pótlásának gondját rendre elmosás az egyre ritkuló, csapadékban gazdagabb évek esői.*

#### FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) Achieving Sustainable Development – The 21<sup>st</sup> Century Imperative, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, Options, Spring 2002, 8–11. pp. (2) ALFÖLDI, L. (1998): Víz, víz, víz. A magyar vízgazdálkodásról. VITUKI, Romai Kiadó és Nyomdaipari Bt. Budapest (3) ALFÖLDI L. (2003): Gondolatok az éghajlatváltozás hidrológiai, vízgazdálkodási vonatkozásairól. „AGRO-21” Füzetek, 32. sz. (4) ANTAL, E. (2003): Az éghajlatváltozás és a növényállományok

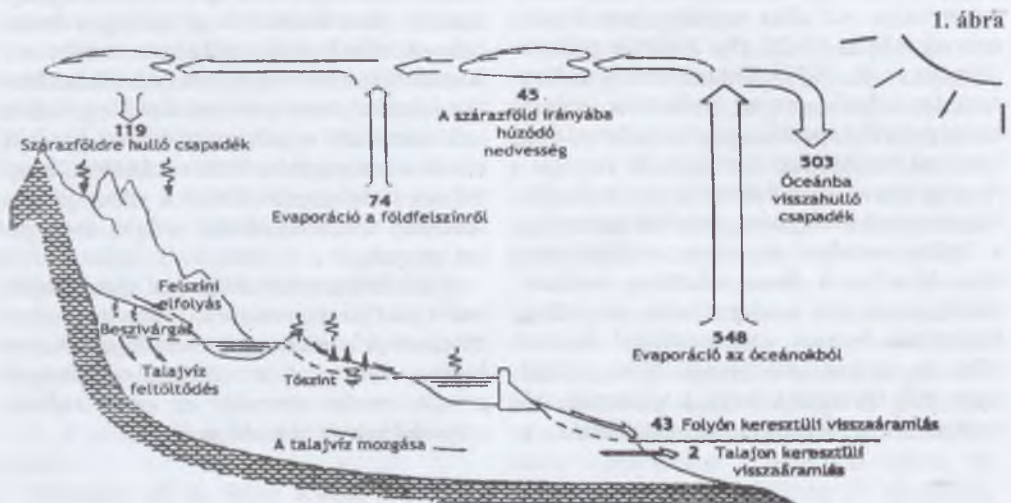
vízellátottságának kérdőjelei a XXI. század elején. „AGRO-21” Füzetek, 32. sz. (5) Crops and Drops: making the best use of water for agriculture. FAO, Róma, 2001 (6) CSELŐTEI L. (2004): A mezőgazdaság vonzásában. Agroinform, Budapest (7) HARTMANN, D. L. (1994): Global Physical Climatology. Academic Press, New York (8) HOLB I. (2004): A légköri CO<sub>2</sub> koncentráció és a hőmérsékletváltozás hatásai a növényi kórokozókra és az állati kártevőkre. „AGRO-21” Füzetek, 34. sz. (9) KOVÁCS J. – NYÉKI J. – SZABÓ Z. – LIGETVÁR F. – SOLTÉSZ M. (1999): The necessity and possibilities of irrigation in fruit growing under conditions of Hungary. Horticultural Science, Agroinform, Budapest (9) KOVÁCS J. (2004): Egyetemes és Magyar Agrárfejlődés. Debrecen (10) SOMLYÓDY L. (2000): A hazai vízgazdálkodás és stratégiai pillérei. Vízügyi Közlemények, LXXXII. 3–4. füzet (11) The State of Food and Agriculture 2001. (2001) FAO, Rome (12) VÁRALLYAY Gy. (2001): A talaj vízgazdálkodása és a környezet. Magyar Tudomány, 7. sz. (13) VARGA-HASZONITS Z. (1977): Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest (14) VARGA-HASZONITS Z. (2003): Az éghajlatváltozás mezőgazdasági hatásának elemzése, éghajlati scenáriók. „AGRO-21” Füzetek, 31. sz.

1. táblázat

Az édesvíz mennyiségének megoszlása a talaj és az atmoszféra, folyók, tavak között

Megnevezés	A világ vízkészlete		Magyarország vízkészlete		Eltérés a világtól %
	millió km <sup>3</sup>	%	km <sup>3</sup>	%	
Teljes vízmennyiség	10,6*	100,0	5075,9	100,0	–
Talajvíz	10,5*	99,1	5070,3	99,9	0,8
Tavak, folyók, atmoszféra víztartalma	0,1*	0,9	5,4	0,1	–0,8

\* = FAO (2001) adat



A víz éves körforgalma  
(FAO, 2001, ezer km<sup>3</sup>-ben)

# A KLÍMAVÁLTOZÁS KÖZGAZDASÁGI ÖSSZEFÜGGÉSEI

SZLÁVIK JÁNOS

*„...én nem mentem fel az emberiséget az alól a felelősség alól, hogy az utóbbi 100–150 évben eltűzelt fosszilis energiahordozó, illetve a világ erdőinek drasztikus csökkentése – a természeti folyamatok hatásával együtt – igenis hozzájárult a klímaváltozáshoz”*

*Láng I., 2004*

## ÖSSZEFOGLALÁS

A klímaváltozás gyökerei a Föld korlátlan használatát feltételező gazdasági felfogásból erednek. K. Boulding ezt a típusú gazdaságot „cowboy gazdaságnak” nevezi. Az egyéni vállalkozó, amikor a haszonmaximalizálásra törekszik, nem értékeli tevékenysége negatív externáliáit és túllépi azt a gazdasági aktivitási szintet, ahol már a nettó társadalmi határhaszon negatív. Az üvegházhatású gázok csökkentésének útjait az energiakínálat, az energiakereslet és a semlegesítő kapacitás (a nyelők) oldaláról célszerű vizsgálni. Az látható, hogy noha az energiahatékonyság növelésére számos út ismert, a gazdasági megvalósítás nagyon lassan halad. A gazdaságilag hatékony üvegházhatású gáz csökkentési módok egyike az ezekkel való kereskedelem. E szabályozó eszköz gyakorlati megvalósításához kezdett az EU és így Magyarország is. A hosszútávon gazdaságos megerősítés azonban csak részletes elemzés mellett hatékony. A Magyarországon is bekövetkező klímaváltozás lehetséges gazdasági következményeinek vizsgálata a kutatás későbbi fázisainak feladata.

## BEVEZETÉS

A klímaváltozás gazdasági összefüggéseinek kutatása keretében két irányba indulhunk el. *Az egyik út*, amikor elfogadva a klímaváltozás tényét, lényeges oknak megjelölve az emberi tevékenységet, azt vizsgáljuk, hogy milyen közgazdasági eszközei vannak az üvegházgáz-csökkentésnek. (Feltételezve, hogy az üvegházgáz kibocsátás csökkentésnek, ha hosszú távon is, de pozitív hatása lesz a klímaváltozásra.) Magyarországot úgy is, mint a Kiotói Jegyzőkönyvhöz csatlakozott országot, és úgy is, mint az EU tagját – amely szervezet kiemelten kezeli az üvegházgáz-csökkentés feladatát, 6%-os csökkentést vállalva magára – feladatok terhelik, amelyek érzékenyen érintik a gazdaságot is. A megoldást keresve mindenekelőtt találunk kell egy költség-

hatékony csomagot, amivel e feladatot végrehajtjuk. Mindezt úgy kell tennünk, hogy készen állunk arra is, hogy a következő periódusban várható újabb üvegházgáz csökkentésre is lesznek költségghatékony megoldásaink.

*A másik út* annak vizsgálata, hogy az erősödő klímaváltozásnak Magyarországra vonatkozóan milyen gazdasági következményei lesznek, és a változásokhoz való alkalmazkodás milyen gazdasági lépéseket követel tőlünk. Ez utóbbi feladat még az előzőnél is bonyolultabb és a válaszadás még kockázatosabb. A földi méretekben globális felmelegedésnek nevezhető folyamat regionális hatásai ugyanis a mai modellekkel megbízhatóan még nem előrejelezhetőek. A nagyobb bizonytalanság miatt a regionális (amilyen pl. a Kárpát-medence) gazdasági-politikai rendszernek még elővigyázato-

sabbnak, és a reagálást tekintve még rugalmasabbnak kell lennie. (Felkészülve a váratlanul bekövetkező eseményekre is.)

## 1. A KÖZGAZDASÁGI GYÖKEREK

A klímaváltozás szorosan összefügg a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásával. Az ipari forradalom tette lehetővé, hogy a gazdaság, ezen belül meghatározóan az ipar „függetlenítse” magát a Nap energiája „lassú csordoglásától”, és szinte korlátlan ütemben használhassa az évmilliárdok során raktározott napenergiát, a fosszilis tüzelőanyagokat. Ez meghatározó fordulat volt az emberiség gazdálkodásában. Addig ugyanis egy emberi léptékkal mérve korlátlan készletből (stock), a Naptól fogyasztottunk egy viszonylag lassú és egyenlőtlen (térben és időben is) áramlást (flow) felhasználva. Ezután viszont a korlátos készleteket (fosszilis erőforrásokat) lehetett – csupán a technológia és a kereslet által befolyásoltan – szinte korlátlanul fogyasztani.

*Kenneth Boulding* amerikai ökológiai közgazdász „A közeledő Föld-Űrhajó gazdasági rendszere” (*Boulding, 1973*) című nagy hatást kiváltott munkájában a nyitott, erőforrásait tekintve korlátlan Földet feltételező gazdaságot „Cowboy gazdaságnak” (cowboy economy), míg egy zárt földi rendszerrel számoló jövőbeli gazdaságot „űrhajós” (spaceman) gazdaságnak nevezte.

Írja: hogy a cowboy a határtalan, korlátok nélküli planéta szimbóluma és fő jellemzői, hogy meg gondolatlan, kizsákmányoló, romantikus és erőszakos. A cowboy gazdaságban a minél nagyobb termelés, a minél gyorsabb fogyasztás az érték, a cél, hiszen látszólag a préri végtelen, vagy tágan értelmetlenül a természet kimeríthetetlen. Ezzel szemben a jövőben „a Föld egyetlen űrhajóvá válik: sem a kiaknázandó erőforrások, sem pedig a kibocsátandó szennyezés tekintetében nem rendelkezik korlátlan lehetőségekkel. Itt kell megtalálnia a helyét az embernek abban a ciklikus ökológiai rendszerben, amely képes az anyagok folyamatos reprodukciójára, még

ha az energiabemeneteket nem is tudja nélkülözni.” (*K. Boulding, 35. o.*)

*David C. Korten* is elemzi ezt a kérdést a „Tőkés társaságok világalma” című munkájában, és mint írja:

„Cowboyokként élni egy űrhajóban tragikus következménnyel jár:

– Túlterheli az életben tartó rendszereket, s ennek eredménye ezek működésképtelensége és az emberi tevékenység szintjének csökkenése, melyet végső soron ezeknek a rendszereknek kellene fenntartaniuk.

– Éles versenyt kelt a legénység erősebb és gyengébb tagjai között a közös, de zsugorodó életben tartó szolgáltatásokért. A legénység egyes tagjai még az alapvető létfenntartási eszközöktől is meg vannak fosztva, a szociális feszültség nő, és a kormányzati rendszer legitimitációja széthullik.” (*D. C. Korten, 1996, 29. o.*)

A kooperáció hiánya és az éles, gazdasági érdek motiválta verseny mind mikro-, mind makro-globális szinten a mai világunkban könnyen nyomon követhető, ugyanakkor fokozottan kockázatos. Ma ugyanis a modern gazdaságnak a földi öko-rendszerre gyakorolt hatása – a nagyságrendet tekintve – sok területen egy szintre került a természeti hatásokkal. Míg korábban a bioszférát ért emberi terhelés a Föld szintjén elhanyagolható volt a természet regeneráló kapacitásához képest, addig ma több esetben közel került e kapacitás határához. Különösen áll ez a hulladéksemlegesítő képességet, a nyelők funkciókat tekintve.

A korlátokra a *Római Klub* irányította rá a figyelmet a 70-es évek elején (ld. *Meadows D. et al., 1972*). Klímaváltozásról, globális felmelegedésről ekkor még nem volt szó. A fő veszélynek az erőforrások kimerülése tűnt.

Noha a 90-es évekre nyilvánvalóvá vált az üvegházgáz-kibocsátásból adódó klímakonfliktus, és meg is születtek az ismert egyezmények, azok érvényre jutása összehasonlíthatóan nehezebben történik, mint más környezetvédelmi egyezményeké. Ez eset-

ben ugyanis az üvegházgázok csökkentésére vonatkozó érdemi fellépés a gazdaságnak, a piacnak a belső köreit érinti, nevezetesen a gazdálkodás hajtómotorját, az energiát (itt az energiakérdést jóval szélesebben értem, mint a statisztikai besorolás szerinti energiaszektor) és a gazdasági növekedést.

A savasodás kérdését többnyire meg lehetett oldani „end of pipe” módon, újabb piacot teremtve ezzel a vállalkozóknak, az ózonpajzsot veszélyeztető anyagokat ki lehetett cserélni más anyagokra úgy, hogy esetenként az új üzlet még az ágazatból sem került ki, vagy az autók kipufogógázait csökkenteni lehetett katalizátorokkal, ezzel is új piacot teremtve az autógyártóknak.

Az üvegházgáz-csökkentés esetében azonban (leszámítva az erdősítést, mint nyelő kapacitásnövelést) nem oldható meg ilyen könnyen a feladat. Bármely megoldás ugyanis alapvető gazdasági érdekeket sért. Az energiahatékonyság növeléssel történő CO<sub>2</sub> kibocsátás pl. sérti a nagyon erős foszszilis energiát kitermelő és gyártó cégek érdekeit, a megújuló energia előtérbe kerülését pedig akadályozza a viszonylag alacsony energiaár. (Ez utóbbi kérdés politikailag is igen kényes, hiszen a fogyasztók érzékenyek az alacsony energiaár megőrzés ígéretére, hiszen rövid távú érdeküknek ez felel meg. Így viszont többnyire gazdaságtalan a megújuló energiaforrások kihasználása.)

A következő megoldás a gazdasági növekedés visszafogása lenne, ez viszont mind mikro-, mind makroszinten ütközik a mai piacgazdaság erős gazdasági növekedési érdekével. Ráadásul mikroszinten a vállalkozók nem is érzékelik tevékenységük valós társadalmi hatását. A negatív társadalmi hatások jelentős része, mint negatív externália, előttük rejtve marad. Ezt az összefüggést érzékelteti az 1. ábra.

A vállalkozók gazdasági aktivitásuk eredményeként hasznuk (MNPB) növelésére törekednek. Csökkenő mértékben ugyan, de ezt a Q<sub>m</sub> pontig meg is tudják valósítani. Gazdálkodásukkal azonban igen gyakran negatív hatásokat is okoznak. Ilyen negatív hatás lehet

pl. az üvegházgázok kibocsátása. Ezt mutatja az externális költséggörbe (MEC). A Q<sub>m</sub> pontig azonban ezek a negatív hatások kisebbek, mint a haszon, ezért eddig a pontig a gazdálkodó tevékenysége a társadalom számára is előnyt jelent, hasznot hoz. (Ezt a pontot nevezi a környezetgazdaságtan az externáliák optimumpontjának.)

Szabályozatlan piacon azonban a vállalkozók itt nem állnak meg, hanem tovább folytatják tevékenységüket, hiszen látható, hogy tevékenységük a Q<sub>m</sub> pontig nekik hasznot hajt. A Q<sub>m</sub> pont utáni gazdálkodás azonban az össztársadalmi hasznokat tekintve már nem a közjót szolgálja, hanem köz-rosszat eredményez. Ez az oka annak, hogy nem lehet a hagyományos piacszabályozókra bízni a probléma megoldását, hiszen azok önmagukban képtelenek megoldani az üvegházgáz-csökkentést.

Amint a példa is mutatja, a probléma lényeges gazdasági kérdés. A megoldás viszont társadalmi-politikai döntéseket is igényel. Csak komplex módon lehetséges a földi rendszerre való pozitív visszacsatolás.

E három összekapcsolt részt nézve viszont azt látjuk, hogy az üvegházgáz-csökkentés és a klímaprobléma megoldása komplex fenntarthatósági feladat.

## 2. AZ ÜVEGHÁZGÁZ-CSÖKKENTÉS ÚTJAI

Az üvegházgáz-csökkentés közgazdasági-piaci eszközeit tekintve fontos megkülönböztetni a piac kínálati és keresleti oldalát, továbbá az üvegházgázokat semlegesítő nyelő, semlegesítő oldalt. (Az üvegházgáz-csökkentés eltérő megoldásainak egy rendszérét mutatja az 1. táblázat.)

### 2.1. Az energiakínálat

Az energiatermelés hatékonyságnövelésére számos műszaki megoldás született. (Ezeket a publikációk és híradások hosszú

sora ismerteti.) A gyakorlati megvalósítás azonban nagymértékben attól függ, hogy milyen viszonyban vannak egymással a hatékonyságot növelő beruházások költségei és a folyó energiatermelési költségek. Amennyiben az energiaárak alacsonyabbak, gyakran nem gazdaságos az energia hatékonyságot növelő beruházás. Az energiatermelés ugyanis a többi termelő ágazathoz képest sajátos helyzetű. Addig, amíg pl. egy számítógépgyártó vagy háztartási eszközök gyártó céget a piaci verseny rákényszerít arra, hogy a termékét fejlessze és ennek érdekében beruházzon, addig az energiát tekintve a fejlesztéssel a végtermék nem sokat változik. (Természetesen ez bizonyos határokon belül értendő, ld. pl. ólmozottólmozatlan benzint.)

A megújuló energiaforrások aránya Magyarországon az EU átlaghoz képest is alacsony, amelynek komplex gazdasági érdekeltiségi okai vannak. (Egyik ok itt is a nem megújuló erőforrások relatíve alacsony árának keresendősége.)

Az olvasó felteheti a kérdést, hogy miért szerepel az „élőmunka” az energia kínálati oldalán. Az ok az, hogy az *élőmunka*, mint gazdasági tényező, a megújuló erőforrások közé tartozik, és amennyiben a gazdasági fejlesztéseknél az élőmunka aránya növekvő, az kettős pozitív hatással bír. Az egyik hatás környezeti hatás. Az élőmunka, az emberi munkaerő gazdasági felhasználása ugyanis nem megújuló anyag- és energiafelhasználást vált ki, és ennyiben pozitív környezeti hatású, másrészt viszont a munkanélküliség csökkenése pozitív társadalmi hatás. (Az, hogy az élőmunka újratermelésének milyen az anyag- és energiaigénye, már az energiakereslet témakörébe tartozik.) Napjainkban az élőmunka költségeit jelentősen megerhelik a ráakódott adók és járulékok. Ezeknek a terheknek az átstrukturálását kezdték el a 90-es években a skandináv országokban. Az energiaadó – szénadó bevezetésével és az élőmunka terheinek csökkentésével az említett kettős pozitív hatást kívánják elérni. Hasonló irányú lépésekbe

kezdett Németország is. A törekvés reménytelő, az eredmény viszont még csekély.

Az élőmunka a relatív alacsony bérszínvonal mellett Magyarországon is túladóztatott, ill. járulékokkal jelentősen megdrágított. Többek között ez is akadályozta annak, hogy pl. a mezőgazdaságban nagyobb mértékben elterjedjenek több élőmunkát, de kevesebb energiát és egyéb anyagokat felhasználó természetbarát technológiák.

## 2.2. Az energiaszerkezet

Az üvegházgáz-csökkentés közgazdasági kezelésére a kínálati oldal mellett meghatározó a keresleti oldal menedzselése. Addig, amíg egy terméket vagy szolgáltatást gyártók és kínálók érdeke az eladott árutömeg és a benne realizálódó profit dinamikus növelése, a vevői oldal érdeke szükségleteinek mind kevesebb költséggel való kielégítése.

Az energiával kapcsolatos fogyasztói szükségletek azonban nem közvetlenül, hanem termékek közvetítésével kerülnek kielégítésre. Ily módon nagyon fontos a fogyasztói igényeket piaci keresleten keresztül kielégítő termékek energiahatékonysága.

Látjuk, a lakás energiafelhasználásban az átlagos modell és a legjobb prototípus között több mint tízszeres a különbség.

Ez a terület az üvegházgáz-csökkentés szempontjából különösen fontos, hiszen a háztartások energiafelhasználása egyre jelentősebb tényező. A klímaváltozással összefüggő egyre melegebb nyarak pl. Európában is megnövelték az utóbbi időben a lakások klimatizálása iránti igényt. A 90-es években több országban előfordult, hogy a lakosság villamosenergia-fogyasztási csúcsa nem valamelyik téli hónapra, hanem nyárra esett.

## 2.3. Az ágazati hatás

Az üvegházgáz-csökkentésben élen járó Európai Unió felbecsülte, hogy az egyes ágazatok hogyan járulnak hozzá a vállalt

8%-os csökkentés valóráváltásához. Az eredményt a 3. táblázat mutatja.

A 3. táblázat azt a meglepő eredményt mutatja, hogy az EU-ban a vállalt csökkenés helyett 2010-re 2,1%-os üvegházgáz-növekedés várható! Ezt a növekedést alapvetően a közlekedés 45,8%-os üvegházgáz-kibocsátás növekedése okozza.

Igen érdekes ezzel kapcsolatban az osztrák autókлуб alábbiakban idézett reagálása:

– A *Verkehrsclub Österreich* (VCO) 2010-ig klímavédelmi programjával 7,5 millió tonnával kívánja csökkenteni a közlekedés szén-dioxid kibocsátását. A program az adóztatás ökológiai szempontok szerinti módosítását, az átlagos üzemanyag-fogyasztás csökkentését és a tömegközlekedésben résztvevő utasok számának növelését irányozza elő. Amennyiben azonban minden marad a régiben, a szén-dioxid kibocsátás megháromszorozódásával kell szembenézni az 1990-es szinthez képest. „A közlekedés a legnagyobb szén-dioxid kibocsátó forrás, ennek ellenére mindenki úgy tesz, mintha a klímavédelemhez semmi köze nem lenne” – jelentette ki *Wolfgang Rauh* a VCO kutatóintézetének képviselőjében. Ösztönzés nélkül ezen a helyzeten nem lehet változtatni. A gépjármű adóztatás egész rendszerét a fogyasztás figyelembevételével kellene átalakítani. Az alacsonyabb fogyasztás alacsonyabb adót, a magasabb fogyasztás magasabb adót kellene, hogy maga után vonjon. A VCO javaslata szerint a benzin minden litere után hét cent, a dízel után pedig tíz cent klímavédelmi hozzájárulást kellene fizetni.

Ausztria csak úgy lesz képes teljesíteni klímavédelmi vállalásait, ha ösztönzi a tömegközlekedési eszközök használatát, illetve a kerékpáros közlekedést. „A tömegközlekedési eszközöket csak akkor veszik majd igénybe többen, ha gyarapodik a járatok és a csatlakozások száma és javul a szolgáltatás minősége” – jelentette ki *Rauh* (APA – Bécs Ismertető: MTI – Környezetvédelmi Hírlével, 2005. 01. 26.).

Az osztrák példa is azt mutatja, hogy az

üvegházgáz-csökkentés szempontjából elhanyagolt közlekedés átalakítása nélkül a probléma csak nagyon nehezen oldható meg. Magyarországon elkészült a *Hosszú távú Közlekedéspolitikai Koncepció*. Munkatársaimmal elvégezve a dokumentum (és a hozzá kapcsolódó programok) stratégiai környezeti vizsgálatát, azt állapítottuk meg, hogy a Koncepció az elvi szintet nézve szerepelteti a „fenntartható fejlődést”, mint stratégiai cél meghatározást. Ehhez kötődve biztató célok találhatók a tömegközlekedés és a közút fejlesztésére vonatkozóan. A programok szintjén azonban a célok nem nyernek realitást, és dominánsan előtérbe kerül az autópálya fejlesztés és a közúti gépjárműforgalom növekedése.

Az üvegházgáz-csökkentéssel a dokumentumok a koncepció szintjén sem foglalkoznak. Látva az EU-s táblázatot és az osztrák példát, a hiányosság még szembetűnőbb.

### 3. MEGOLDÁSI MÓDOK

Költséghatékony megoldásként az Európai Unió az üvegházgáz-emisszió kereskedelem nemzetközi megvalósításának rendszerét építi ki.

A megoldás lényege az, hogy az ÜHG (üvegházhatású gázok) kibocsátók kibocsátási kvótákat kapnak. Akik a kapott kvótától kevesebb üvegházgázt bocsátanak ki, azt eladhatják, akiknek nagyobb az emissziójuk, a büntetést úgy is elkerülhetik, ha kvótát vásárolnak.

Emögött a megoldás mögött az rejlik, hogy az üvegházgáz-csökkentés határköltségei között nagy a különbség. Ezt szemlélteti a 2. ábra.

A 2. ábrából világosan látható, hogy a szennyezés csökkentés határköltségeinek a görbéje (MAC) alacsony szintről indul, de egy idő után hirtelen emelkedik. Amennyiben vannak olyan országok, amelyeknek még a görbe első szakaszán is vannak csökkentési lehetőségei (pl. Oroszország), és van szabad kvótájuk, üzletelhetnek olyan orszá-

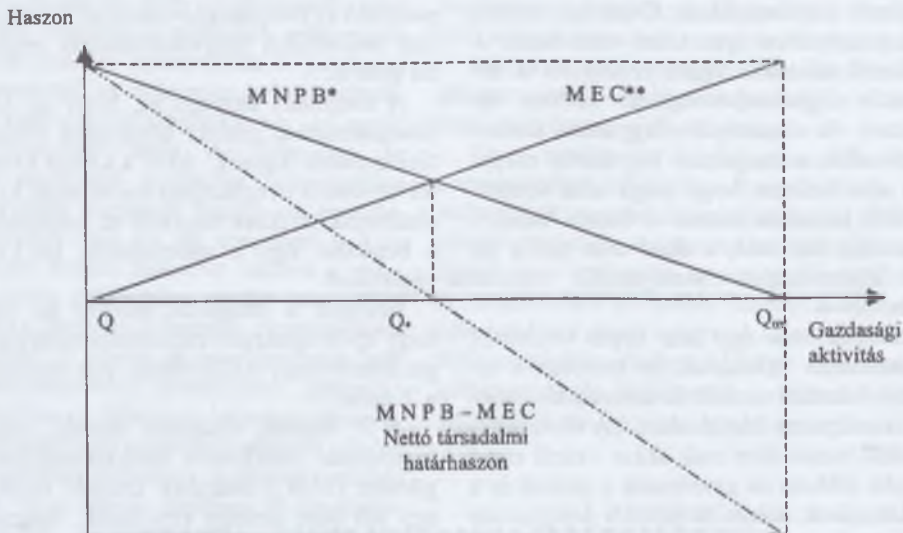
gokkal, ahol már minden olcsó csökkentési módot kihasználtak, és már a MAC görbe meredek, nagyon drága szakaszában vannak (az EU fejlett országainak nagy része ilyen). Megjegyzendő, hogy a szabályozás alapmodellje az USA-ból ered (Marketable Permit System) és  $\text{SO}_2$  kibocsátás szabályozására találták ki és alkalmazzák sikeresen. Kérdéses, hogy a rendszer hogyan válik be nemzetközi méretekben. Gondot okozhat az ellenőrzés, és a nem korrekt teljesítés esetén a szankciók alkalmazása is.

A szabályozó rendszerbe Magyarország is bekapcsolódik, és mivel eladó pozícióban vagyunk, az üzletből gazdasági hasznunk származik. Nagyon oda kell azonban figyelni arra, hogy a 2012 utáni újabb, az eddiginél sokkal szigorúbb és nagyobb mértékű ÜHG csökkentésre is maradjon, illetve teremtődjön kapacitásunk, nehogy abban a szakaszban a MAC görbe meredek szakaszára kerülve, többet veszítsünk az esetleges vásárláson, mint amit most megnyerünk az eladáson.

#### FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BOULDING, K. E. (1993): The Economics of the Coming Spaceship Earth. In: Herman, E. Daly – Townsend, Kenneth N. (eds): Valuing the Earth. The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London  
 (2) CSUTORA M. – KERÉKES S. (2004): A környezetbarát vállalatirányítás eszközei. KJK–Kerszöv, Budapest  
 (3) KORTEN, D. C. (1996): A tőkés társaságok világalma. Kapu  
 (4) LÁNG I. (2004): A klímaváltozás és a környezetvédelem kapcsolata. Természet Világa, II. Különszám  
 (5) MTI Környezetvédelmi Hírlevél (APA-Bécs) 2005. 01. 26.  
 (6) SZLÁVIK J. (2005): Fenntartható környezet- és erőforrás-gazdálkodás. KJK–Kerszöv, Budapest  
 (7) TIETENBERG, T. (2003): Environmental and Natural Resource Economics. (6. Edition) Affison Wesley, New York

1. ábra



\*MNPB = egyéni tiszta határhaszon

\*\*MEC = externális határköltségek

Hasznok, költségek, társadalmi veszteségek



1. táblázat

## Az üvegházgáz csökkentés útjai

1. Energiakínálat
– a termelés hatékonyságnövelése
– a megújuló erőforrások arányának növelése
– energiahordozók
– élőmunka
2. Energiakereslet
– fogyasztási hatékonyságnövelés
– ágazati hatás
3. Nyelők
– erdők
– biomassza

2. táblázat

## Az energiahatékonyság javításának lehetőségei

	Gépkocsi mérőföld/gallon üzemanyag	Lakás 10 <sup>3</sup> Joule/m <sup>2</sup>	Hűtőszekrény kWh/nap	Gázkazán 10 <sup>6</sup> Joule/nap	Lég- kondicionáló kWh/nap
Átlagos modell	18	190	4	210	10
Uj modell	27	110	3	180	7
Legjobb modell	50	68	2	140	5
Legjobb prototípus	77	11	1	110	3

Forrás: Tietenberg: Environmental and..., 564. o.

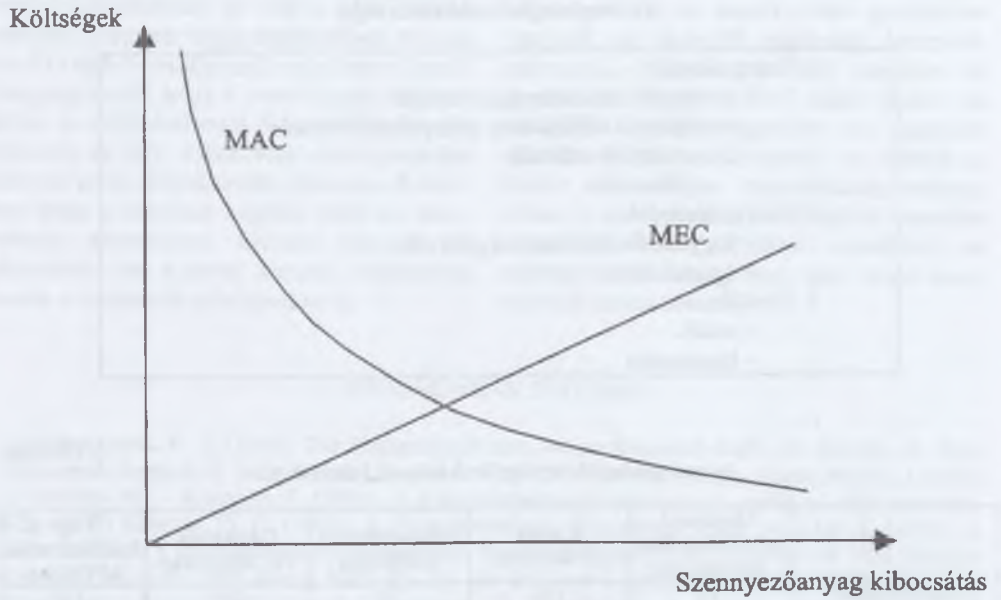
3. táblázat

## Az üvegházgáz kibocsátás változásának becslése 1990–2010 között az EU-ban

CO <sub>2</sub> egyenérték (Mt)	1990	2010	Növekedés
Energiaellátás	1421,7	1276,6	-10,2%
Ipar	757,1	686,1	-9,4%
Közlekedés	753,1	1098,2	45,8%
Háztartások	447,5	440,0	-1,7%
Szolgáltatások (magán és köz)	175,6	188,9	7,6%
Mezőgazdaság	417,0	397,6	-4,7%
Hulladék	166,4	137,3	-17,5%
Összesen	4138,3	4224,8	2,1%

Forrás: Az EU fenntartható fejlődés stratégiája

2. ábra



Az üvegház-emisszió kereskedelme

# TERMÉSSINGADOZÁST KIVÁLTÓ ÉGHAJLATI VÁLTOZÉKONYSÁG A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN

SZÁSZ GÁBOR

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt évtizedek egyik nagy dilemmája az éghajlatváltozás kérdése. Az üvegházhatású gázok aránya a légkörben az 1900-as években rendkívüli mértékben megnövekedett, melyek közül kiemelkedő arányú a levegő  $\text{CO}_2$  tartalma. Ezzel közel egyidejűleg – a korábbi évszázadokhoz viszonyítva – hőmérséklet-emelkedés következett be. A feltételezett éghajlatváltozás számos formában nyilvánul meg a Kárpát-medence éghajlatában is, és ezek közül a fontosabbakat megvizsgálva az alábbi megállapítások statisztikailag bizonyítottak tekinthetők a XX. századra vonatkozóan.

Közép-Európa, így a Kárpát-medence feletti légcirkulációban bizonyos változások ismerhetők fel a különböző makroszinoptikus helyzetek eltérő gyakoriságában. Kiemelkedő fontosságúnak tekinthető, hogy a nyugati áramlási rendszerben a zonális áramlási irányítás mellett az utóbbi 50 évben erősödő meridionális irányítású folyamatok alakultak ki, elsősorban a nyári félév folyamán. Ennek következményeként a klimatikus hőmérsékleti értékek szélsőségesebbé váltak, az átlagos hőmérséklet emelkedett. A zonális irányítás arányának csökkenése, illetve a meridionális és a zonális kontinentális irányítási helyzetek gyarapodása következményeként a csapadék, el nem hanyagolható mértékben, fokozatosan csökkent a század folyamán. Az említett változások jól felismerhetők Európa bárikus rendszerének átrendeződésében, melynek következtében szerteágazó klimatikus tulajdonság módosulása következett be. Ezek közül a fontosabbak az alábbiak:

– A hőmérséklet évi átlagértéke Magyarországon  $0,6\text{--}0,7\text{ }^\circ\text{C}$ -kal növekedett az elmúlt száz évben.

– Az emelkedés trendje az 1900-as évek első negyedében csökkenő volt ( $10, 12\text{ }^\circ\text{C}$ ); azt követően hőmérséklet-emelkedés következett be; az évszázad legmelegebb időszaka – az évi átlagok alapján – 1965–1975 években volt ( $10,4\text{--}10,5\text{ }^\circ\text{C}$ ). A hőmérséklet-emelkedés következtében a telek enyhésege, a vegetációs időszak hosszabbodása jelentősnek tekinthető.

– Legerőteljesebb mértékben a téli felmelegedés tapasztalható a különböző 30 éves átlagok alapján számítva. Nyári szignifikáns hőmérsékletváltozás nem állapítható meg.

– A változás dinamikájának megismerése céljából kidolgozást nyert a kronologikus hőmérsékleti középérték vizsgálati módszer, melynek segítségével a változás folyamatának iránya és értéke nyomon követhető.

– A csapadék évi összegei a vizsgált 130 év alatt változó ütemben csökkentek. A XX. század első felében a csapadék csökkenés nagysága –  $40, 80\text{ mm}$  – átlagban  $40\text{ mm}/100\text{ év}$  ( $0,44\text{ mm}/\text{év}$ ).

– A csapadékcsökkenés mértéke az ország területén egyenlőtlen, délen a legerőteljesebb, az északi peremterületeken szignifikáns csökkenés nem állapítható meg.

– A csapadécsökkenés a két átmeneti évszakban bizonyítható, nyáron a csapadék nélküli időszakok hosszabbodnak (max > 45 nap), a havi összegek változékonysága növekvő tendenciát mutat.

– Harmincéves szakaszokra (1901–1930, 1931–1960, 1961–1990) vonatkozóan megálapítást nyert a nyári félévre a hőmérséklet-csapadék egyidejű eloszlásának négy típusba történő beosztása: meleg-csapadékos, meleg-száraz, hideg-csapadékos, hideg-száraz, valamint a típusok gyakoriságának elemzése. Mivel a két elem közötti korrelációs együtthatók a nyári félévben negatív előjelűek, így a meleg-száraz és a hideg-csapadékos típusok következnek be legnagyobb arányban. Az elmúlt 100 évben egyre inkább erősödő tendenciát mutat a száraz típusú változatok gyakorisága.

– Kidolgozást nyert egy hazánk klíma-karakteréhez illeszkedő vízellátottsági értékszám megállapításának módszere, amely figyelembe veszi mind a csapadékelletlenség mértékét, mind pedig a talaj vízgazdálkodási tulajdonságát. E módszer alkalmazásának eredményei alapján bemutatásra került hazánk átlagos vízellátottsági térképe.

– A löszháti területeken a talaj nedvességtartalma csökken a rendszeres mérések szerint, s ez a mérsékeltebb csapadékhányt sem ellensúlyozhatja, így az aszályos helyzetek gyakoriságának növekedését és súlyosságát fokozza. A talaj kedvezőtlen vízgazdálkodási tulajdonsága e folyamat kibontakozását gyorsítja.

A vizsgálatok többrétűen bizonyították annak a kedvezőtlen folyamatnak a tényét, hogy a XX. században a Kárpát-medence éghajlatának szélsőségei egyre inkább fokozódtak, amelyek cirkulációs okokra vezethetők vissza. E jelenség következménye a terméshozadék fokozódása.

## BEVEZETÉS

A feltételezett éghajlatváltozás korunk egyik legnagyobb dilemmája. Az éghajlat különböző időskála szerinti változása ismert, azonban azt természeti folyamatként szokás tekinteni. Az antropogén hatások az elmúlt évszázadban igen sokrétűvé váltak a környezetre, így a légkörre is. Attól sem lehet eltekinteni, hogy az éghajlat állandóan változik különböző mértékben és az eltérő formában nyilvánul meg. Elsősorban az üvegházhatás fokozódása a legszembetűnőbb, melynek feltételezett következménye a globális felmelegedés. Ez utóbbi folyamat számos éghajlati elem időbeli változását módosította. Az éghajlatváltozás fizikai magyarázata és bizonyítása meteorológiai kutatásokat követelő feladat, melyre vonatkozóan ma még hiányos ismeretekkel rendelkezünk. Okozatként azonban olyan gyors változások következtek be, melyek elsősorban a globális és regionális éghajlati folyamatok gyors változását eredményezték. Részünkről a legfonto-

sabb feladat ez utóbbinak a pontos megismerése, és az ezzel kapcsolatos kérdésekre kell azt a választ megadni, amely egyben az elkövetkező időszak agrár-stratégiájának fontos eleme. Ennek a stratégiának a rendszere felöleli a gazdaság valamennyi ágát, de legnagyobb súllyal a mezőgazdaságot. A vizsgálatok tehát nem az éghajlatváltozás okának felderítését célozzák, hanem a megváltozás következményeinek lehetőleg regionális bontásban történő megismerését.

Az éghajlatváltozás globális és regionális esetleges ténye a fontosabb meteorológiai elemek időbeli változásának trendjével mutatható ki. A műszeres meteorológiai megfigyelések hazánkban mintegy 130 évre nyúlnak vissza, melyek anyaga ugyan szerény, azonban lehetőség nyílik arra, hogy nagyvonalakban eldönthessük kellő statisztikai biztonsággal a trendek létezését, vagyis a változás dokumentálását. Ez egy olyan előzetes felderítő munkának tekintendő, amelynek eredménye nélkül a válaszok nem fogalmazhatók meg. Az alábbiak hazai meg-

figyelési sorozatokon végzett vizsgálatok eredményeit mutatják be. Ezeknek az ismereteknek a birtokában lehetővé válik a változó éghajlati feltételek és a szántóföldi növénytermelés termésátlagai közötti kapcsolat elemzése, elsősorban a termés ingadozására. Ezek az alapok biztosítják a válaszok tartalmát és foglalják rendszerbe azt a stratégiát, amelynek alapján viszonylag nagy biztonsággal összegzik a hátrányokat elhárító társadalmi tennivalókat.

### 1. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS, VÁLTOZÉKONYSÁG HATÁSÁNAK VIZSGÁLATI MÓDSZEREI ÉS ANYAGA

Az éghajlatváltozás lassú folyamat és különböző formában nyilvánul meg: a légkör anyagi összetétele, elsősorban üvegházi gázok mennyiségi és térbeli eloszlásának változása, külső kényszerként a légkör felső határára érkező szoláris energia nagysága, az atmoszféra optikai mélységének átalakulása stb. Ezek mellett viszonylag megfelelő alapot nyújtott a hőmérséklet és csapadék hosszú időre visszanyúló, nagy területre vonatkozó ismerete. A különböző tudományokkal együttműködve körvonalazódott közel *egy félszázaddal ezelőtt a globális klíma megváltozásának feltételezése*. E folyamatban természetesen változó sajátosságú szakaszok alakultak ki, melyeknek időtartama alatt a változás „szerény” formában bontakozott ki, míg más helyen és időben a változás határozott volt.

Amikor a címben szereplő kérdésről beszélünk, egyértelműen a regionális klímaváltozékonyságra kell gondolnunk, így elsősorban arra az utóbbi 100–150 éves időtartamra, amely alatt már műszeres meteorológiai megfigyelések folynak, regionális értelemben pedig a Kárpát-medence éghajlatának sajátosságait kell elemezni. Nem lehet szem elől téveszteni azt sem, hogy az említett időtartam is heterogén, klímátörténeti szempontból, mivel ez idő alatt is kibontakoztak hosszabb-rövidebb időre kiterjedő

változó irányú, tendenciájú időszakok. Ez a magyarázata annak, hogy bár a műszeres vizsgálatok viszonylag hosszú időre terjeszkednek, azonban a tendenciák extrapolálhatósága nem áll fenn, vagy csak korlátozott formában végezhető el.

A regionális klímaváltozékonyság túlnyomórészt valószínűségi összefüggésekkel elemezhető, mivel legtöbb esetben a különböző rövidebb időtartamú időszakok klímaazonosságának kérdése merül fel, melynek eldöntésénél statisztikai módszerek alkalmazása válik szükségessé. Utalva a változás állandóságára hangsúlyoznunk kell, hogy a hazai jelenlegi műszeres megfigyelés tartalma (1870–2000) sem tekinthető éghajlatilag homogénnek.

A vizsgálataink 100–130 éves havonkénti *hőmérsékleti és csapadék idősorok* alapján történtek. Az időbeli változások alakulásának jellemzésére 16 idősor állt rendelkezésre, melynek területi eloszlása az országban közel egyenletesnek tekinthető. Ismerve az idősorok bonyolult vizsgálati módszereit, ez alkalommal elsősorban azokat a módszereket kívántuk alkalmazni, amelyek a változás kimutatására megbízható módon használhatók. Az éghajlati adatok mellett a főbb termesztett növények termésének ingadozása is lényeges kérdést képezett. Sajnálatos módon a *termés-idősorok* száma és tartama lényegesen kevesebb, ennek ellenére lehetőség nyílt 23 talajkörzet hőmérséklet- és csapadékadatainak szembeállítására, továbbá figyelembe vettük néhány olyan tartamkísérlet eredményét, amelyek megállapításai reprezentatív eredménynek tekinthetők. A vizsgálatok körülményeit bonyolulttá teszi az a tény, hogy a termés-idősorok kivétel nélkül heterogének, tekintettel arra, hogy e sorok abból az időszakból származnak (1960–1990), amikor a hazai növénytermelés intenzív fejlesztésen esett át. Ennek ellenére az agroklímológiai és a terméslemező vizsgálatok eredményei között sikerült olyan összefüggéseket találni, melyek az elkövetkező időszak növénytermesztési stratégiájának kidolgozása során figyelembe veendőek.

## 2. TERMÉSSINGADOZÁST KIVÁLTÓ LÉGKÖRI OKOK ÉS FOLYAMATOK

A címben említett kérdéskör rendkívül bonyolult, ugyanis a növénytermesztés ugyan ki van téve a klimatikus szélsőségeknek, változékonyságnak, de nem tekinthetünk el a termelt *növények időjárással szembeni biológiai érzékenységétől* sem, amely genetikus tulajdonság. A szélsőséges környezet elleni védekezés egyik legfontosabb, tudományosan megalapozott eleme a *növénynemesítés*. Fajon belüli új fajták nemesítése meghatározott irányú volt, melynek eredményei részben ellensúlyozhatják a szélsőséges klímahatást. Így megemlíthető az egykori búza nemesítés, amely jelentős sikereket ért el az 1920–40-es években. Tapasztalható volt, hogy közel azonos mértékű klimatikus szélsőségek igen különböző terméssingadozást okoztak. Tehát a növényi reakciók idősora sem homogén, s ez a kérdésekre adott válaszok megítélésében nagy körültekintést követel meg. Ezek mellett feltétlenül meg kell említeni a *termelés technológiai elemeinek fejlődését* és a műszaki fejlesztésnek a növénytermesztést érintő eredményeit.

Az éghajlat „vélt változása” különösen az 1950-es évektől volt tapasztalható a szélsőségek gyakoriságának növekedésében. Ezzel egyidejűleg a növénytermesztés területén felismerhető volt az intenzív fejlesztés, amely egyes esetekben a „rekordok hajhászása” formájában nyilvánult meg. Ennek eredményeként a termésátlagok óriási mértékben növekedtek ugyancsak óriási fosszilis, kémiai, fizikai energiák felhasználásával. Míg egykoron a kukorica termelése során felhasznált energiának és a produkció energiájának aránya 1:5 volt, az 1980-as években ez az arány csak 1:2:3 volt, tehát sokat termeltünk. *Új termelési koncepció szükséges: nem a mindenáron magas termést kell elérni a környezeti tényezőktől függetlenül, hanem a szélsőségek okozta termésminimumok elhárítását kell az alapfeladatnak tekinteni, kihasználva a természet erőforrásait, elke-*

*rülve a környezet károsítását.* Ennek a célnak megvalósítása megköveteli a környezeti, így a klimatikus feltételek részletes megismerését.

Végül, de nem utolsóként kell megemlíteni a *szélsőségek időbeli bekövetkezésének* kérdését. Elsőként a *rendkívüli szárazságról* kell szólnunk, mivel a hazai mező- és erdőgazdasági sikerterületeken ez okozza a nagyfokú terméseszkökenést, az aszályt. A szárazság klimatológiai fogalom: a csapadék tartós hiánya, vagy csekély volta, amely igen sokszor összefüggően több évre is kiterjedhet. A klimatikus szárazság tartósságának magyarázata a légköri események és a talajok vízháztartásának fizikai kölcsönhatásából származik (ld: 3,5). Hasonlóan viselkednek a „nedves évek”, fizikai bekövetkezésük, illetve kialakulásuk is hasonló mechanizmusok útján jön létre.

Összefoglalva, a következők hazánk azon éghajlati szélsőségeinek sajátosságait mutatják be, melyeket a mezőgazdaságban az egyik legfontosabb ember által nem befolyásolható környezeti tényezőnek kell tekinteni, de viselhetné a kézirat a „Magyarország éghajlatának rövid története, 1870–2000” címet is.

A több száz évre visszatekintő növénytermesztési tapasztalatok és kutatások eredményei alapján ma már nagy vonalakban ismert, hogy melyek azok a légköri hatások és folyamatok, amelyek a termések nagyságát évről évre módosítják. Tapasztalatok alapján tájékozottak vagyunk a tekintetben, hogy a különböző hatások és folyamatok milyen mechanizmus szerint hatnak a növényre és szabályozzák a termést. Az alábbiak a fontosabb klimatikus hatások sajátosságairól nyújtanak áttekintést.

### Közép-Európa légköri cirkulációs rendszere, makroszinoptikus helyzetek

Magyarország – mérsékelt égövi elhelyezkedése folytán – a nagy földi légcirkuláció rendszerének a nyugati légáramlás zónájában helyezkedik el. Ennek az áramlási övezetnek képe a sok-

éves, területileg sűrűn végzett mérések alapján jelenik meg, amely egy statikus jelleget fejez ki. E statikus kép mögött valójában olyan dinamikus rendszer alakul ki, melyben a különböző okok (hőmérséklet-, légnyomás-különbség, sur-lódás, eltérítő-erő, orográfiai hatás stb.) az áramlási rendszer mérsékelt égövi zónáját heterogénné teszik. Termikus és dinamikus hatások következtében megmarad ugyan az áramlás nyugatias jellege, de emellett benne az egyenlítő és sarkok közötti kiegyenlítő mozgások is kibontakoznak, melyek a meridionális tulajdonságkülönbségek kiegyenlítésére hivatottak. A meridionális tömeg és tulajdonság cseréit a légkörben kialakuló sebesség- és nyomáskülönbségek *nyomán képződő alacsony, nyugatról kelet felé irányuló, változó pályán mozgó légnyomási képződmények, az ún. ciklonok*, valamint a magasnyomású képződmények (az anticiklonok) bonyolítják le. Mivel ezek a különböző élettartamú képződmények függőleges tengely körüli forgást végeznek és bennük függőleges mozgások alakulnak ki, egy adott ponton, kisebb térségben sajátos, igen különböző jellegű időjárás helyzetet alakíthatnak ki. Mindezek mellett folyamat-irányító hatást fejtenek ki az ún. *stacionárius nyomásképződmények*, melyek kormányozó szerepet töltenek be a mozgó képződmények áthelyeződésének alakulásában. Európának ilyen nyomásképződményei:

- Izlandi minimum (egész éven át),
- Azori maximum (szubtrópusi magasnyomású cella, egész éven át),
- Eurázsiai (szibériai) maximum (téli).

Fentiek közül, különösen az Atlanti-óceán feletti két képződmény szerepét kell kiemelni, ugyanis – mivel egész éven át kifejti hatásukat – az egymás közötti meridionális légnyomási gradiens fontos irányító szerepet tölt be az Atlanti-Európai áramlási rendszerben.

A vándorló ciklonok és anticiklonok mozgáspályája és élettartama ma már numerikusan becsülhető (numerikus előrejelzés). Egy nagyobb térségről alkotott tér áttekintésére szolgáló térképek, az ún. szinoptikus térképek rendkívül változatos képet és helyzetet jelenítenek meg, azonban egy adott helyről elemezve e változatosságban egy rendszer ismerhető fel. A rendszer egységei, az ún. *makroszinoptikus helyzetek* különböző ismérvek alapján tipizálhatók, elsősorban a cirkulációs helyzetet kialakító légnyomás, az advektív

tulajdonságok mennyiségi jellemzői szerint: a levegő hőmérséklete, nedvessége, csapadékszónák elhelyezkedése, egyéb jellegzetes időjárás események. A szélesebb körben elterjedt makroszinoptikus helyzetek rendszerét *Baur (1935)* alkotta meg, amely három fő csoportot alkotó, 17 típust különített el. Később ezt *Hess és Brezowsky (1952)* fejlesztette tovább, amelynek lényege az ismérvek közötti kölcsönhatások figyelembevétele. Az említett rendszerezés szubjektív megkülönböztetésre épül, ezért főként hosszabb sorok elemzésére alkalmasak a hiba állandóságának figyelembevétele mellett. Az újabb megkülönböztetésre további nagy térségre vonatkozó, matematikai módszerekkel történő összefüggésekre épülő vizsgálatok, statisztikai módszerek váltak ismertté, melyek közül egy sajátos eljárást alkalmazott hazánkra *Ambrózy et al. (1983)*. Az utóbbi egzakt vizsgálati módszerekre támaszkodva a makroszinoptikus helyzetek elkülönítésére és érvényességének földrajzi kiterjedésének meghatározására lényegesen megbízhatóbbá vált a korábbiakkal szemben. Az előbbi rendszer főként Ny-Európára tekinthető alkalmasnak, az utóbbi pedig nagy térségek elkülönítésére szolgálhat. Hazánkra vonatkozóan később *Bodolainé* tipizálta a különböző időjárás helyzeteket, elsősorban a csapadék alakulása szempontjából, melyben – *Péczelyvel* szemben – nem csupán a felszíni nyomásmezőt vette figyelembe, hanem az 500 mbar-os szint nyomástopográfiáját, valamint az 500/1000 mbar-os relatív topográfia adataira támaszkodva vizsgálta azokat a szinoptikus situációkat, amelyek *Péczely* szerint a csapadékokat jelentősen befolyásolják.

A makroszinoptikus helyzetek különböző típusainak tartama igen rövid, mindössze 1–10 nap. A típusok egymásutániságában a véletlen az uralkodó, így a követés nagy változatában törvényszerűség alig vonható le. Az egyes típusok gyakoriságában hosszabb időtartamra – évtizedekre – vonatkoztatva sajátos évi menet ismerhető fel, amely a rendszer adatbázis szerinti földrajzi területre jellemzőnek tekinthető. Hazánk területére – figyelembe véve a Közép-Európa feletti folyamatokat – *Péczely (1957, 1961)* dolgozott ki olyan szubjektív rendszert, melynek alapján hazánk áramlási sajátosságai, az advektációs folyamatok jól jellemezhetők, s egyidejűleg a bárikus kép szerint a hőmérséklet, csapadék, s egyéb meteorológiai elem egyidejű alakulása utólagosan is reprodukálható bizonyos hibaintervallummal. Míg *Hess és Brezowsky* helyzet-

rendszere főként Nyugat-Európa területére vonatkozik, addig *Péczeley* Közép-Európára dolgozta ki rendszerét, amely részben orográfiai okokból, részben pedig a kontinentális hatások erőteljesebb kifejezésre jutása szempontjából szükségszerű volt. A részletektől eltekintve *Péczeley* 13 típust különböztetett meg, s azokat 5 csoportba sorolta.

- északi irányítású helyzetek (N)
  - déli irányítású helyzetek (S)
  - nyugati irányítású helyzetek (W)
  - keleti irányítású helyzetek (E)
  - centrális helyzetek (C)
- } meridionális
- } zonális

Az első két típusba sorolható helyzetek kialakulásakor hazánk területe felett a *meridionális* – az Egyenlítő és a sarki terület közötti kiegyenlítő mozgások – az uralkodóak, míg a nyugati és a keleti irányítás az óceán-kontinens közötti kölcsönhatást irányítja és tartja fenn. Centrális irányításról abban az esetben beszélünk, amikor a Kárpát-medencét egy ciklon, vagy anticiklon fedi le. Az irányítási rendszerben az év folyamán erőteljes különbözőségek ismerhetők fel, amely annak eltérő gyakoriságában nyilvánul meg. Ennek bizonyítékául szolgál az 1a. táblázat, amely az említett irányítási típusok havonkénti relatív gyakoriságát mutatja be, több mint 100 évre terjedő időszakra. Minden egyes évszakban az áramlási rendszerbeli különbözőséget a makroszinoptikus helyzetek típusbeli különbsége alakítja ki. Az *N-irányítás* főleg a tavasz és a nyár eleji hónapokban a leggyakoribb, kialakulása áprilisban legvalószínűbb (14,9%), legritkábban decemberben és januárban ismerhetők fel. Az *S-irányítás* gyakorisága az egész évben nagy arányú, de maximális kibontakozásuk az ősz végén és a tél elején következik be. A *nyugati irányítás* uralkodó időszaka a nyár, míg a legritkábban tavasszal és ősszel játszik jelentős szerepet Közép-Európa időjárás folyamatainak szabályozásában. Az *E-irányítás* a vizsgálatok szerint télen, az erőteljes kontinentális hatás következtében válik az említett térség szabályozó tényezőjévé. A centrális helyzetek közül csaknem kivétel nélkül a hazánk feletti anticiklon kialakulása képezi, amely messze meghaladja a Kárpát-medence feletti centrális ciklonok megjelenésének előfordulását. Az anticiklonális helyzetek jelentős aránya tehát egész év folyamán felismerhető, azonban elsősorban a nyár második felében és az ősz kezdetén alakulnak ki legnagyobb gyakorisággal.

Figyelmet érdemel a meridionális és a zonális irányítás gyakoriságának összevetése. Az 1a. táblázat adatai szerint a két irányítási csoport helyzetei az év folyamán karakterisztikusan alakulnak:

- (W–E) irányítás: tél, nyár,
- (N+S) irányítás: tavasz, ősz.

Ennek a megállapításnak a fizikai oka az, hogy az óceán-kontinens közötti nyomáskülönbség a téli és a nyári félévben a legerőteljesebb és ez ciklikusan évenként rendre bekövetkezik, csupán a különbség mértékében találhatunk eltérést. A két fő évszak közötti különbségnek hosszabb ritmusai is kialakulnak, amelyeket az Izlandi minimum és az Azori maximum közötti nyomáskülönbség szabályoz. A *zonális irányítás ciklikus megnyilvánulása elsősorban a téli és a nyári csapadék nagyságának arányában nyilvánul meg*, miként ez a későbbiekben ismertetésre kerül. A *meridionális irányítás az átmeneti évszakokban nyeri el az elsőséget*, mivel az óceán-kontinens közötti különbség instabilitása ekkor a legnagyobb mértékű. Ez utóbbi megállapítás magyarázza azt a jelenséget, hogy a tavasz és az ősz gyakran magára ölti a téli, illetve nyári jellegét, vagy jelentősen eltolódik az átmeneti évszakok kezdete és lezáródása.

A fenti statisztikai összeállítás rövid, de világos képet alkot Közép-Európa, illetve Magyarország körül kialakuló makroszinoptikus rendszer évi alakulásáról, melynek alapján jól rekonstruálható e térség feletti áramlási rendszer évszakokra jellemző alakulása. További kérdésként merül fel, hogy a fenti rendszer *milyen mértékben tekinthető állandónak*, illetve az idő folyamán a makroszinoptikus helyzetek rendszerének *dinamikája*, vagy kimutatható-e valamilyen jellegű változás. Amikor éghajlat-változékonyságról, illetve éghajlatváltozásról beszélünk, feltétlenül *bizonyítani kell a rendszer állandóságát, illetve a rendszer dinamikájában beálló módosulást*. Erre a kérdésre az alábbiakban foglalható össze a válasz lényege.

A napi makroszinoptikus helyzeteket 1901–2000 között két részre bontva két 50 éves sorozat állítható elő. A statisztikai vizsgálatok keretében megállapítást nyert elő éves szakaszokra bontva mind a 13 makroklimatikus helyzet gyakorisága, majd ezt követően pedig a két 50 éves időszak összehasonlítása. A statisztikai vizsgálatok keretében történt meg a havonkénti gyakorisági



értékek összevetése hónapos felbontásban, majd ezt követően a két 50 éves szakaszra vonatkoztatva, a szórások figyelembevételével és t-próbák segítségével, a makroszinoptikus helyzetek típusonkénti különbözőségének, illetve azonosságának megállapítása.

Az 1901–1950., valamint az 1951–2000. évek között néhány időjárási helyzet gyakorisága szignifikánsan különbözik, elsősorban a nyári félévben. A szórásokat, valamint az azok alapján számított típusonkénti t-értékeket a 1b. táblázat foglalja össze. A szignifikánsan különböző típusok nagyobb hányada – 11% – a meridionális irányítási rendszerbe tartozik, míg a zonális rendszerbe csak 8% sorolható. Lényeges kérdés az, hogy a szignifikáns különbözőség milyen változási irányban következik be. Ha az összes helyzet havonkénti gyakoriságát vesszük alapul – 12 hónap  $\times$  13 helyzet – akkor 156 értékpár közötti különbség realizálásának voltát kellett ellenőrizni. Amennyiben ezt 100%-nak tekintjük, ebből 15% szignifikáns változás emelhető ki (24 típus, hónap). Az alábbi egyszerű összeállítás arra vonatkozóan nyújt tájékoztatást, hogy miként alakul a szignifikánsan különböző meridionális és a zonális, továbbá a centrális helyzetek előfordulásának százalékos aránya és abból hány típus mutat emelkedő, illetve süllyedő tendenciát:

Irányítás	$\Sigma$	Tendencia	
		+	-
Meridionális	11	8	3
Zonális	8	3	5
Centrális	5	-	-

A fenti adatok a korábbi eredményeket megerősítik, vagyis a meridionális irányítású jelleg fokozatosan erősödött 1951–2000 között a korábbi 50 évhez viszonyítva. Az egyes típusok bárikus sajátosságának ismertetésétől e helyen el kell tekinteni, azt azonban a vizsgálatok során figyelembe vettük, hogy a meridionális irányítási rendszerbe tartozó típusok csaknem kivétel nélkül a csapadék erőteljes csökkenését credményezték. Ennek magyarázatául szolgál az, hogy a meridionális irányítású rendszerbe sorolt makroszinoptikus helyzetekben hulló csapadék lényegesen a sokéves átlag marad, míg a zonális irányítási rendszer W-kategóriájába sorolható helyzetek a csapadék kismértékű emelkedéséhez vezetnek, de a zonális irányítás E-kategóriája – kontinentális beáramlás keretében – hasonlókép-

pen a csapadék hiányát fokozza. Ezek a statisztikai eredmények arra utalnak, hogy az elmúlt 100 évben Közép-Európára jellegzetes makroszinoptikus helyzetek szerkezetének dinamikája, és annak évi ciklusa bizonyos mértékben módosult, melynek következményeként a klimatikus hőmérsékleti értékek, átlagok emelkedtek, az erősödő meridionális irányítású folyamatok pedig a hőmérsékleti szélsőségek intervallumát szélesítették. A zonális nyugati irányítás aránya csökkent, a zonális kontinentális irányítású helyzetek gyarapodtak, így ezek következményeként csapadék csökkenéssel kell számolni. Sajnálatos módon hasonló jellegű összehasonlítások az európai cirkulációs rendszerre vonatkozóan csak igen szerény keretekben folytak, így az eredmények irodalmi összevetése nem valósítható meg. Viszont ellenőrizhető e megállapítások realitása oly módon, hogy elkülönítve a különböző főbb éghajlati elemeket, meghatároztuk azoknak tendenciáit a XX. századra. Amennyiben egyrészt a dinamikus klimatológiai kutatások eredményei, valamint a trend-analízis által szolgáltatott eredmények egybehangzóak, úgy egyértelműen igazolható bizonyos mértékű klimatikus jellegbeli változás. Ez természetesen önmagában véve nem tekinthető egyértelműen éghajlatváltozásnak, mivel egyelőre még nem tisztáztak a változékonyság és az alapvető változás közötti különbség értékbeli határai sem a csapadékra, sem pedig a hőmérsékletre vonatkozóan. Kérdésként merül tehát fel, hogy a kimutatott cirkulációs különbözőség még besorolható-e a változékonyság fogalmi tartományába, vagy pedig valóban egy korábbtól eltérő éghajlatú időszak kialakulásának kezdetét jelenti.

A makroszinoptikus helyzetek gyakoriságának módosulása alapján természetesen megváltozik az az Európa feletti bárikus mező, amely lényegében véve a cirkulációs rendszer sajátosságának megváltozását okozza.

### A szén-dioxid koncentrációja a légkörben

A földtörténet során a légkörben mindig volt az alkotó állandó gázok mellett változó mennyiségű szén-dioxid. Az egyes geológiai időszakokban kialakult koncentráció igen tág határok között ingadozott. Az ipari forradalom kezdetekor a CO<sub>2</sub>-koncentráció mintegy 280 ppm volt, amely a későbbiek során a növekvő energia felhasználással egyidejűleg fokozódott. Az 1800-

as évek végén, a századforduló tájékán 290–300 ppm-es átlagértéket állapítottak meg. Az 1950-es években egyre erőteljesebb növekedés tapasztalható a nagymennyiségű fosszilis energia felhasználásával, a CO<sub>2</sub>-koncentráció ekkor már 320 ppm volt. A koncentráció növekedése nem állt meg, sőt egyre növekedett, így 1980-ban 339 ppm volt a globális átlagérték. Ismerve nagyvonalakban a szén-dioxid feldúsulásának okait, valamint változásának trendjét, 2030-ra vonatkozó előrejelzés, illetve becslés szerint a térfogatarány várható értéke 450 ppm körüli lesz. Ez utóbbi számok azt jelentik, hogy évenként 2,22 ppm/év értékkel növekszik a koncentráció értéke, vagyis 0,35%/év arányban folyik a szén-dioxid dúsulása.

Tekintettel arra, hogy a szén-dioxid koncentrációjának idő- és térbeli alakulását, valamint a szénkörforgalom ciklusát, a növényi szervezetbe való beépülését számos tudományterület vizsgálja, e helyen csupán utalni kell az ezeket összefoglaló irodalmi munkákra kiemelve azt a fontos tény, hogy a légkörben lévő szén-dioxid növekedése jelenleg is tart, és a hosszú tartózkodási időszak folytán halmozódik, amely hozzájárul az üvegházhatás további fokozódásához. Ennek a folyamatnak a mechanizmusa igen bonyolult, melynek taglalásától el kell tekintenünk. Azt viszont hangsúlyozni kell, hogy a szénkörforgalom említett jellegű alakulásának következménye a növényi élet számos jelenségére szabályozóként hat, amely végül a termések nagyságának mennyiségi módosulásában kifejezésre juthat, természetesen egyéb hatások szintézisében.

### A levegő hőmérséklete

A hőmérsékleti átlagok állandóságának a kérdése az elmúlt időszak vizsgálatának eredménye alapján eldőlt: a hőmérsékletben jelentős változások állapíthatók meg, melyek hosszabb-rövidebb idejű trendeken helyezkednek el. A változások, vagyis az ún. tartós ingadozások nagyobb földrajzi térségek jellemzői. A globális éghajlati analízis keretében kidolgozást nyert az északi félteke évi átlaghőmérsékletének időszora, amely a globális éghajlati változás elemzése sorában egy viszonyítást biztosító adat alapsort képez. A hemiszférikus változás értéksorán

áttekintve egyértelmű tendenciák állapíthatók meg. Ha ennek a 110 éves *hemiszférikus idősor* egyes tagjainak az átlagtól való eltérését tekintjük, szembeűnik a hőmérséklet emelkedése, amely 1880-tól az 1950-es évekig statisztikailag is megbízhatónak tekinthető. Az utóbbi 50 évben a hemiszférikus átlagtól vett évi anomáliák egy csökkenő trend létezésére utalnak, amely nem túlzottan hosszú idejű, ugyanis az 1970-es évek közepétől kezdve egy újólagos felmelegedést mutat. A hemiszférikus anomáliák sora alkalmas arra, hogy azokhoz hasonlítsuk az egyes pontokon, illetve állomásokon mért értékek átlagait. Ezt az összehasonlítást Magyarország néhány állomására megtettük, és ezeknek az idősoroknak a lefutását mutatjuk be az 1. és 2. ábrán. Mind a szegedi, mind a magyaróvári összehasonlítás megerősíti a párhuzamot az 1950-es évekig, noha egyes szakaszokban igen jelentős eltérések állapíthatók meg a *hemiszférikus anomáliáktól*. Hangsúlyozni kell, hogy az utóbbi 50 évben ez a párhuzam fellazult és bár a *tendencia hasonló*, azonban a hazánkban mért hőmérsékleti anomáliák lényegesen a hemiszférikus átlag alatt maradnak. Más szóval ez azt fejezi ki, hogy a Kárpát-medencében az utóbbi 50 évben kialakult hőmérséklet-csökkenés mérsékeltebb méreteket ölt, mint az egész északi félteke átlagában. Attól sem szabad eltekintenünk, hogy a különböző hazai állomások anomáliájának a trendje is eltér egymástól, vagyis erőteljesebben, vagy mérsékeltebben különböznek a standard hőmérsékleti anomáliáktól. Szeged esetében, vagyis Dél-Magyarországra általánosítva megállapítható, hogy a hőmérséklet-csökkenés mérsékeltebb ütemű, mint a hemiszférikus sor szerint. A nyugati hatások alatt álló magyaróvári megfigyelési állomás sorozatában csekélyebb eltérések állapíthatók meg, eltekintve a rendkívüli évektől (pl. 1941–42, 1955, 1963). Ez utóbbi tény arra utal, hogy a különböző állomásokra gyakorolt makroszinoptikus hatás, illetve cirkulációs különbségekből származó következmények iránya azonos, de mértéke különböző.

A hőmérséklet megváltozásának tényleges voltát jól bizonyítják a klimatológiában használatos 30 éves hőmérséklet átlagértékei. A 2. táblázat öt hazai állomás 30 éves évi átlaghőmérsékleteit foglalja össze. A melléklet adataiból is megállapítható, hogy a megfigyelések kezdetétől, vagyis 1871-től az 1960-as évekig a hőmérséklet évi átlagának emelkedése zajlott le. A hőmérséklet-emelkedés értéke  $+0,2 - +0,7$  °C volt, amely abszolút értékben nem nagy, azonban az évi átlag összehasonlításában igen jelentősnek minősül. A legutóbbi 30 éves átlag a korábbiakhoz képest mind az 5 esetben csökkenő tendenciát mutat, vagyis a törzsértékek megváltozása azonos jelenség tényét bizonyítja, mint a hemiszférikus anomáliák lefutása, illetve a hemiszférikus átlagtól vett hazai eltérések alakulása. Statisztikai értelemben tehát a hőmérséklet – a vizsgált 110 esztendő alatt – egy parabolikus pálya mentén fut le, melynek maximális szélső értéke 1940–50-es évekre esik.

Bár az évi értékek említett módon történő változása önmagában véve is jelentős és szemléletes, ennek ellenére különösen a biotikus következmények szempontjából rendkívül fontos az egyes évszakok termikus viselkedése, illetve az azokban bekövetkező változások mértéke. Sorrendben haladva *tavasszal* is hasonló tendenciák ismerhetők fel, vagyis az 1870–1960. évek között az emelkedés ennek az évszaknak az átlagaiban is felismerhető és az utolsó 30 éves átlag többé-kevésbé jelentős hőmérséklet-csökkenést bizonyít. *Nyáron* már nem ennyire egységes a kép, ugyanis a 30 éves átlagok váltakozva először csökkennek, majd újból emelkednek és ismételten csökkennek, vagyis kétperiódusú változásnak lehetünk szemtanúi az átlagértékek alapján. Ezt a megállapítást ugyancsak mind az öt állomás nyári átlaghőmérsékletei bizonyítják. *Ősszel* a korábbiakhoz viszonyított szabályosság már nem állapítható meg, viszont tényként kell kiemelnünk, hogy a legutóbbi 30 éves átlag az öt állomás mindegyikénél a legalacsonyabb hőmérsékletű, egyes esetekben

egy korábbival hasonló értéket vesz fel. *A téli* átlagok állomásonkénti időbeli sorrendje változó, azonban törvényszerűségként állapítható meg, hogy a legutóbbi 30 év téli átlaghőmérséklete a korábbiakhoz képest némi enyhülésre utal. A 30 éves évi és évszakos átlaghőmérsékletek összehasonlításának eredményeként megállapítható, hogy minden évszakban azonos változási tendenciák bontakoznak ki, mint az évi átlagértékben, eltekintve a telek hőmérsékletének alakulásától.

A bemutatott öt állomás 30 éves átlagából levont következtetések helytállóságát további statisztikai vizsgálatok erősítették meg. A vizsgálatok kiszélesítése oly módon történt, hogy hazánk 16 éghajlati megfigyelő állomásának 110 éves idősorán lineáris trendanalízist végeztünk. A trendanalízis keretében meghatároztuk az évi átlag, a tavaszi, a nyári, az őszi, valamint a téli átlaghőmérséklet trend együtthatóját, amely összességében érdekes képet nyújt. Amennyiben az évi középhőmérséklet trendjének együtthatóit hasonlítjuk össze, 9 állomáson az évi átlaghőmérséklet emelkedése állapítható meg, míg 5 állomásnál a trend együttható értéke negatív, valamint 1 állomásra (Kalocsa) hőmérsékletváltozás az említett módszerrel nem mutatható ki. Az együtthatók értéke igen alacsony. Bizonyítja ez azt, hogy a változás lineáris módszerekkel nehezen bizonyítható. Az alacsony görbe nem szimmetrikus, erőteljesebb az emelkedő tendenciájú szakasz, míg a negatív együtthatók egy fordított esetre utalnak. A lineáris trendek pontossága igen csekély, ezt bizonyítja a trend és a mért értékek korrelációs együtthatóinak alakulása. A lineáris trendegyütthatókat, valamint a trend és a mért értékek korrelációs együtthatóit a 3. táblázat foglalja össze. A teljességre törekedve az egyes évszakokra vonatkozólag is előállítottuk a lineáris trendeket és megállapítottuk a trendek illesztésének pontosságát. A legszembetűnőbb az, hogy *a negatív együtthatók száma nyáron a legnagyobb*, ami a nyarak hűlését fejezi ki, ugyanakkor a téli

együtthatók értéke szinte kivétel nélkül pozitív, amely viszont az enyhülésre utal. Az illesztésnek a pontossága a nyári évszakra a legerőteljesebb, azonban a korrelációs együtthatók ebben az esetben is eléggé alacsonyak, noha *csaknem mindegyike meghaladja a szignifikancia határát*. Az illesztés szignifikáns volta azonban elsősorban nem az illesztés pontosságát fejezi ki, inkább a sor tagjai számának nagyságától függő szignifikáns küszöbérték alacsony értékével magyarázható.

A sokéves átlagok alapján bizonyítottnak tekinthető hőmérsékletváltozás teszi indokolttá a változás időbeli dinamikájának elemzését. A hőmérsékletváltozás dinamikájára eddig nem ismert módszer kidolgozása vált szükségessé, s ennek keretében vezettük be a *hőmérsékleti kronologikus átlag fogalmát*. A kronologikus átlag tulajdonképpen egy idősor, amely egy bázisszakasz átlagából, valamint az azt követő további évek átlaghőmérsékletéből képezhető. Az értelmezés módját és eredményét Debrecenre 1871–1900 közötti 30 év átlaga képezi, és ezt az átlagot, illetve ennek alapsorozatát folyamatosan +1 évvel bővítve határozható meg az első kronologikus átlag. Iterálva ezt az eljárást végül is 30, 31, 32... + 89, + 90 évek együttes átlagértékeinek sorozatát kapjuk. Abban az esetben, ha a sorozat trendegyütthatója nulla, úgy ábrázolás esetén az idősort leíró függvényt az X tengellyel párhuzamos fejezi ki, és abban töréspont nem következik be. Feltételezve, hogy az idősor különböző szakaszai hosszabb-rövidebb idejű változásoknak vannak alávetve, ennek következtében az idősort ábrázoló függvény egy olyan trend mentén helyezkedik el, amelyen igen jól elkülöníthetők a hőmérséklet emelkedő és csökkenő szakaszai. Ezt az ábrázolási módot és elemző módszert mutatja be a 3. ábra, amely az 1871–1900 évekre vonatkozó évi középhőmérséklet kronologikus átlagát mutatja be. E módszer rendkívüli előnye, hogy míg a szokásos 30 éves átlag statisztikai értelemben egy statikus paraméternek tekinthető, a

*kronologikus átlag dinamikus folyamatot fejez ki*. Elemezve a debreceni hőmérsékleti évi kronologikus átlagot megállapítható, hogy 1900-tól kezdve az idősor tagjainak növelésével az átlagérték kisebb-nagyobb eltérésekkel közel lineárisan emelkedik. Ez az emelkedő szakasz az 1950-es években lezárult, majd 1950–90-ig csökkenő tendenciát állapíthatunk meg. A 120 éves kronologikus átlagok igen jól szemléltetik a változás tendenciáját, s az említett példából az tűnik ki, hogy az ún. felmelegedés már bekövetkezett a múlt század végén, illetőleg lejátszódott a XX. század első 50 évében, onnantól kezdve – legalábbis a mérések szerint – csökkenés állapítható meg.

A fenti példát alapul véve előállítottuk további megfigyelő helyekre a kronologikus átlag idősorát, amely hasonló képet mutat. Ez arra utal, hogy legalábbis a Kárpát-medencében a változás azonos körülmények között zajlott le. Számokkal ábrázolva, az átlagértékek kardinálisértékei az alábbi módon alakultak:

1871–1900 (n = 30): 9,77 °C

1871–1955 (n = 85): 10,58 °C

1871–1990 (n = 120): 9,98 °C

A fenti átlagértékek jelentősen eltérnek egymástól, melyből levonható az a következtetés, hogy a tendencia-változások az említett időintervallumok utolsó éveikhez köthetők.

Fölmerül a kérdés, hogyan viselkednek az évszakok kronologikus átlagai. A *téli kronologikus átlag* dinamikája alapján különbözik az évi átlagok dinamikájától, ugyanis a téli egy lényegesen rövidebb időre korlátozódik, és ez lezajlik 1900–1930 között. 1930–1990 között igen csekély emelkedő tendencia mutatható ki, amely alig haladja meg az időszak átlaghőmérsékletéhez tartozó szórását. A kardinális pontok az alábbiak:

1871–1902 (n = 32): -1,78 °C

1871–1928 (n = 58): -10,81 °C

1871–1988 (n = 118): -0,96 °C

Az a körülmény ismert, hogy a különböző időtartamokra vonatkozó átlagértékek eltérnek egymástól, azonban a kronologikus átlagértékek alapján meghatározhatók az eltérő tendenciájú időszakok kezdő és végső pontja.

A tavaszi kronologikus átlag igen jól követi az évi átlagos kronologikus átlag idősorát (4. ábra), ugyanis a szélső értékek ugyanabban az időszakban alakulnak ki, a melegebb évszázadunk első 50 évében zajlik le. Viszont míg az évi kronologikus átlag az évszázad második felében csökkenő tendenciát mutat, a tavaszi kronologikus átlag trendegyütthatója nullához közel álló.

A nyári kronologikus átlagok idősorát kifejező görbe az előbbiektől teljesen eltérő lefutású, míg az évi, illetve téli és tavaszi évszakokban az évszázadunk első felére eső időintervallumban a kronologikus átlag emelkedik, nyáron az évszázad első negyedében egy jelentősebb hőmérséklet-csökkenés következik be. Majd egy éles töréspontot követően hőmérséklet-emelkedés állapítható meg, majd ismét hőmérséklet-csökkenésnek lehetünk szemtanúi a mérési adatok alapján (5a. és 5b. ábra). Az átlaghőmérsékletek változásához tartozó töréspontok ideje az alábbi:

1871–1905 (n = 35):	20,56 °C
1871–1925 (n = 55):	23,45 °C
1871–1954 (n = 84):	20,53 °C
1871–1989 (n = 119):	20,27 °C

A nyári kronologikus átlag idősorának a korábbi évszakokra jellemző lefutásától való eltérése arra enged következtetni, hogy valóban rendkívül nehéz a nyári átlag valóságának megfelelő képzése, mivel feltehetően cirkulációs okokból, vagy a különböző makroszoptikus helyzetek relatív gyakoriságában bekövetkező változásból eredően eltérő irányú trendek, illetve tendenciák bontakoznak ki. Ezeket a dinamikus változásokat a mozgóközepek segítségével is sikerült bizonyítani.

Végül az őszi kronologikus átlag görbáját elemezve ismételtelen minden előzőtől eltérő

kép tárul elénk. A század első 20 évében hőmérséklet-csökkenés állapítható meg, míg onnantól kezdve egy másodfokú görbe mentén a hőmérséklet emelkedik, majd a maximális szélső értéktől az időtengely mentén továbbhaladva csökkenő hőmérsékleti tendencia bontakozik ki. Kardinális változások időpontjai közötti időszakok átlaghőmérséklete az alábbi:

1871–1901 (n = 31):	10,41 °C
1871–1922 (n = 52):	10,12 °C
1871–1968 (n = 98):	10,44 °C
1871–1988 (n = 118):	10,34 °C

A kronologikus átlagok idősorának elemzése bizonyítja, hogy az évi átlagok változási tendenciája valójában a számított értékek lefutását fejezi ki, azonban az átlagok azonos értéke eltérő évközi állapotból származik. További következtetés az, hogy az évi átlaghőmérsékletek lényegében önmagukban nem alkalmasak a mérsékeltbb változások kifejezésére, ugyanis az évközi változások eltérő irányúak lehetnek, így azok hatása az átlagképzésben kiegyenlítődik.

Módszertani szempontból szükséges megemlíteni, hogy a kronologikus átlagok idősorának említett módon történő elemzése természetesen csak abban az esetben vezet reális eredményhez, amennyiben az alap idősorok homogenitása fennáll. Vizsgálataink során tapasztaltunk olyan különbségeket az egyes sorok között, amelynek okát nem tudjuk magyarázni, s feltehető, hogy bizonyos törések nem a természetes állapot megváltozásából származnak, hanem a homogenitást biztosító körülmények kritériumainak hiánya folytán alakultak ki.

Agroklimatológiai értékelésekhez a kronológiai átlagok igen kedvező eredményekkel hasznosíthatók. Míg a klimatológiában elsősorban a hosszú időtartamú változások tendenciája képezi a leglényegesebb kérdést, ökológiában és a mezőgazdaságban azonban a néhány tíz évre terjedő időszakok tendencia változása nagyon fontos szerepet tölt be mind a természetes vegetáció szempontjára

ból, mind pedig a szántóföldi növénytermesztés tervezése és szervezése során. A kronologikus átlag alapján megállapítható a *klimatológiai instabilitás*, amely egyúttal az ökológiai instabilitást kelti. A klíma és a növényzet kapcsolatának hőmérsékleti vonatkozásai a kronologikus átlagok segítségével viszonylag nagy pontossággal magyarázhatók. Ezek segítségével jól elkülöníthetők a szélsőséges időjárási szakaszok, amelyek a természetes vegetációt és a természetett növények fejlődését és termését szabályozzák. Az nyilvánvaló, hogy egy lehűlési szakasz idején a napi szélsőségek értékartománya is eltolódik, így következtetni lehet az időjárás kedvezőbbé vagy kedvezőtlenbé válására.

#### A csapadék idősorainak vizsgálata

A feltételezett éghajlatváltozás legerőteljesebb formában a különböző időszakokra vonatkoztatott összegek nagyságával jut kifejezésre. Továbbá a csapadék nagyszámú állomáson történő mérése lehetővé tette a részletesebb elemzés végzését. Tekintettel a csapadék variabilitására a vizsgálatok éves, évszakos, illetve havi összegek alapján történtek, ennél nagyobb időbeli felbontás már nem volt célszerű. A vizsgálati eredmények bemutatása előtt hangsúlyozni kell a csapadék szerepének ökológiai fontosságát. Az abiotikus ökológiai tényezők közül a csapadék az egyik legfontosabb hatást kifejtő tényező, a biotikus folyamatok alakulása, illetve a szántóföldi növények produkciója szempontjából. A csapadék statisztikai vizsgálata az alábbi adatbázis szerint történt:

– 6 állomás havi, évszakos, illetőleg évi összegeinek idősora (1881–1992),

– 50 állomás havi, évszakos és évi idősora (1901–1990).

Az elmúlt évszázadban különböző módon nyert kifejezést a csapadék fokozatos csökkenése. Ez kimutatható az éghajlatkutatás-

ban használatos 30 éves átlagokban és néhány állomás rendanalízisében. Figyelembe véve a hazai, valamint a közép-európai térségekre vonatkozó vizsgálatok eredményeit, a statisztikai biztonság elérése céljából elemeztük az említett évszázad idősorát. Az ország különböző térségéből 15 állomást kiválasztva meghatározást nyert első lépésként az 1901–1945, valamint az 1946–1990 évekre vonatkozó évi összegek, a hozzájuk tartozó szórás (S), illetve a variációs koefficiensek értékei (CV) (4. táblázat). Elfogadva a 15 állomásra vonatkozó vizsgálati eredmények reprezentativitását megállapítható, hogy a század első feléből származó mintákhoz képest a későbbi azonos tartamú időszakokra vonatkozó átlagos összegek jelentős mértékben csökkentek. A csökkenés szélső értékei a táblázat adatai alapján 37, 93 mm/45 év. Az ilyen arányú csökkenések már kiváltó okai lehetnek a biotikus környezet megváltozásának, amely egyrészt az ökotípus kicserélődését, és a növényi fajspektrum átalakulását eredményezheti. Természetesen felmerül a különbségek statisztikai megbízhatósága. A bemutatott 15 állomás két idősora közötti szignifikancia vizsgálatok elvégzése alapján egy állomás kivételével (Kistelep) mindenütt szignifikáns különbség állapítható meg. *A szórás nagyságának mértékét mérlegelve levonható az a következtetés, hogy az ingadozás mindkét időszakban jelentős mértéket öltött, azonban az évszázad második felére vonatkozó átlagérték szórásának nagysága a század első feléhez tartozó szórás-értékek alatt marad.* Ennek a különbözőségnek a jellemzésére szolgálnak a variációs koefficiensek – melyek a szórásnak a középérték százalékban kifejezett értékei. Gyakorta hallani különböző szakterületek köréből, hogy az utóbbi évtizedekben a szélsőségek növekedtek. Ezt a megállapítást a bemutatott minta statisztikai vizsgálatának eredményei nem erősítik meg. Éppen ezért a vizsgálatokat kibővítve 52 megfigyelőhely 90 éves idősorára vonatkozóan bizonyítást nyert, hogy *az átlagérték nagysága és a szórás értéke között szigorú*

*szignifikáns egyenes arányú összefüggés áll fenn.* Így kézenfekvő az a magyarázat, hogy az évszázad második felében a kisebb összegek arányával módosul az ingadozás, vagyis a csapadék csökkenésével a szórás intervalluma szűkebbé válik (Szász, 1968). Ez a magyarázata annak, hogy a variációs koeficiens az összegekkel is arányosan csökkennek. Ismervé a csapadék változékonyság természetét belátható, hogy a csapadék csökkenésével annak szélsőségei nem fokozódtak, hanem a szórás intervalluma egy alacsonyabb értéktartományba tolódott át. A szélsőséges anomáliák nem fokozódtak, hanem gyakoribbá váltak, vagyis a szárazság gyakoribbá válásában nyilvánulnak meg. A szárazság gyakoribb bekövetkezése természetesen nem zárja ki a szélsőségesen nagy csapadékok bekövetkezését – aminek egyébként tanúi is lehetünk az elmúlt évtizedekben –, azonban a bekövetkezési valószínűség mérséklődött.

Miután statisztikailag bizonyítottak tekintjük az évi összegek csökkenését, részletes vizsgálatok folytak annak megállapítására, hogy milyen arányban következik be területileg a csökkenés nagysága és üteme, valamint arra vonatkozóan, hogy e tekintetben hogyan viselkednek a különböző évszakok. A részletes statisztikai vizsgálat 50 állomás 90 éves idősorai alapján nyertek meghatározást azok a trendek, melyek alapján a változás területi eloszlása rekonstruálható. Az erre vonatkozó statisztikai értékeket az 5. táblázat foglalja össze. A trendegyütthatók (X) értékei néhány kivételtől eltekintve negatív előjelűek, melyek a csökkenés tényére utalnak. Az évi átlagos csökkenés csaknem kizárólagosan 1 mm/év alatti. A trendegyütthatóknak az egyes állomásokra vonatkozó értékeit a mellékelt táblázat tartalmazza, mely szerint az átlagos trendegyüttható hazánkban 0,57 mm/év, vagy a szokásos módon dimenzionálva 5,7 mm/10 év, tehát ezzel az átlagos csökkenéssel lehet számolni.

*A trendegyütthatók évi értékeinek területi eloszlásában bizonyos szabályosság ismer-*

hető fel. Általában a nagy csapadékú Nyugat-Dunántúlon és a Kisalföldön a trendegyütthatók értéke megközelíti, vagy egyes esetekben jelentősen meghaladja az 1 mm/év értéket. Hasonlóképpen a Dél-Tisza vidékén találunk hasonló nagyságú trendegyütthatókat. Ugyanezek az értékek az Alföld középső területein már lényegesen kisebbek, különösen a Körösök vidékét, a Nagyunságot, a Hajdúsági-löszhátat és a Jászságot kell kiemelni, ahol az együtthatók értéke általában -0,5 mm/év vagy annál kisebb. A legalacsonyabb trendegyütthatók az északi hegyvidékről származnak, ahol ezek az értékek nem haladják meg a 0,2 mm/év értéket. Természetes, hogy ezek az alacsony értékek már nem szignifikánsak. Nyilvánvaló, hogy ez a látszólagos szabályosság a Kárpát-medence áramlási rendszerével magyarázható, azonban ennek a hatásnak a részletes felderítése még korábbi vizsgálatokat igényel, noha erre már korábban Péczeley (1983) utalt.

*A négy évszak csapadékcsökkenésének alakulása lényegesen különbözik egymástól.* A tavaszi csökkenés csaknem kivétel nélkül minden megfigyelőhelyen kifejezésre jut, helyenként jelentős nagyságú negatív előjelű együtthatók alakjában. A tavaszi csapadék csökkenő trendet nyáron a csapadék mérsékelt fokozása váltja fel, amely az együtthatók pozitív előjelében nyilvánul meg abban az esetben, ha a 90 éves idősorra lineáris trend illesztése történik. Ezt az utóbbi megállapítást azonban fenntartással kell fogadnunk, ugyanis az emelkedő tendencia az utóbbi évtizedekre már nem bizonyítható, de ha a 90 évet egy mintának tekintjük, akkor a korábbi időszak hatása érvényesül. Ebből az a következtetés vonható le, hogy egy hosszú időtartamra vonatkozó trend rendszerint lefedi az egyébként tényleges szélsőséges helyzetek következményeit. Éppen ezért a 6. ábra adatai csupán durva becslésnek tekinthetők, amelyek ugyan megerősítik – különösen az évi trend együtthatói – az általános, regionális tendenciát. Azonban ha az érvényességi időtartam –

évszak, hónap – sajátosságát kívánjuk elemezni, abban az esetben a bemutatott módszer használata nem ajánlható.

A fenti gondolatmenet olyan okot képez, amely indítéka lehet további módszerek kidolgozásának. Miként a hőmérsékletnél, úgy a csapadék idősorokra is meghatározhatók azok a kronologikus átlagok, melynek segítségével a mennyiségek változó tendenciájának szakaszai is felismerhetők. Míg a hőmérsékletnél az egyre szélesebb időszakokra vonatkozó átlagértékek sora az, amelyre e megállapítás vonatkozik, addig a csapadék esetében a kumulált összegek sora biztosítja azokat az igényeket, amelynek alapján a száz év alatti résztendenciák megismerhetők és időben elhelyezhetők.

Első szakaszban 16 állomás 120 éves idősora alapján meghatározott kumulatív csapadékatlag alakulását mutatja be a 7. ábra, melynek alapján megállapítható, hogy a zavartalan csökkenő tendencia az 1970-es évektől indult meg. A század elején egy emelkedő szakasz tűnik ki, majd 1915-től az 1930-as évek elejéig csökkenés, majd ettől az időponttól a 40-es évek végéig emelkedés ismerhető fel, míg az 50–70-es évek intervallumában igen változó a szélesedő átlagos összeg. Ez utóbbi a csapadék nagyfokú variabilitásából származik.

A szóban forgó kronologikus csapadékatlag szerint a század elején 643 mm/év volt az országos átlagos évi összeg, amely valójában az 1800-as évek utolsó 30 éves átlaga volt, míg az 1990-es évek végére ez 612 mm-re csökkent, vagyis az évi átlagos csökkenés eszerint 0,34 mm/év, amely jól közelíti a már korábban említett, de 50 állomás alapján számított 0,57 mm/év értéket. A fennálló különbözőség a megfigyelőhelyek jelentős számbeli (15; 50) eltéréseivel magyarázható.

Igen lényeges kérdés mind a klímadinamika, mind pedig a vízgazdálkodás szempontjából a csapadék havi mennyiségének évi eloszlása. Közismert, hogy hazánk éghajlati adottságai folytán téli csapadék minimum és nyári csapadék maximum követke-

zik be. A téli és a nyári félév csapadék összegeinek aránya ily módon mindig azonos, csupán az egyes félévek összegei között tapasztalható igen jelentős különbözőség. Régebbi vizsgálatok alapján megállapított nyert (1968), hogy nem jelentéktelen azoknak az éveknek az aránya, amikor a csapadék évi menete az említett típussal ellentétes: vagyis téli csapadék maximum, nyári csapadék minimum. *A téli és nyári félév csapadékösszegének aránya mind hidrológiai, mind pedig mezőgazdasági szempontból jelentős*, amellet hogy meteorológiai szémszögből ítélkezve is különleges helyzetnek tekinthető. Sokoldalúan bizonyított, hogy hazánkban az évi menet alakulását óceánikus, kontinentális és mediterrán hatások szabályozzák. A nyári csapadék maximum az óceáni hatásnak a következménye, a kontinentális irányítás alkalmával mindkét félévben alacsony csapadékösszegekkel kell számolnunk, míg mediterrán hatás esetén téli csapadék maximum és nyári csapadék minimum következik be. A tartós kontinentális, vagy az egész évre kiterjedő mediterrán hatás a mezőgazdaságot súlyosan érinti, mivel a termőterület jelentős mélységű szelvényének vízforgalmát és vízkészletét ezek a hatások szabályozzák. A mediterránra jellemző áramlási rendszer alakítja ki azokat a száraz nyarakat, amelyek az elmúlt évtizedekben is nagy gyakorisággal következtek be. A mediterrán irányítású cirkulációs helyzet érinti hazánk területét is, elsősorban annak déli részét. Egy évszázadra visszatekintve a Dél-Dunántúlon és a Duna-Tisza-közén 30–35% gyakoriságú a mediterrán típusú csapadékmenet és északkelet felé haladva, valamint a Nyugat-Dunántúlon csak 4–5%-os gyakorisággal következik be. Eltekintve a meteorológiai okok elemzésétől csupán annyit kell megemlíteni e helyen, hogy a valószínűségi értékeket figyelembe véve az aszály gyakorisága igen nagy; Dél-Magyarországon minden negyedik évjáratban következik be olyan helyzet, hogy a tél nagyobb csapadékú, mint a nyár. Úgy tűnik, hogy az újabb vizsgálatok szerint e szélsősé-



get az Észak-Atlanti Oszcilláció (NAO) váltja ki, többé-kevésbé élesen megjelenő ciklusokban. Egy-egy ciklus tartama 8–14 év. Így érthető módon a kedvezőtlen vízháztartási helyzetek, ha nem is folytonosan, de sűrűn követik egymást, mint ahogyan azt tapasztalatból is tudjuk, és a csapadék évi összegeinek alakulásával bizonyítható.

A csapadékvizonyok jellemzése sokféle módon valósítható meg. Általában a hosszabb-rövidebb időre vonatkozólag a havi összegekkel szokás az ellátottságot reprezentálni. Ezúton azonban csak igen felületlen képalkotható, és az eredmények nem általánosíthatók. Hosszabb idejű csapadéksorok birtokában *variációs statisztika* módszereit szükséges alkalmazni. Ennek legegyszerűbb paraméterei: *szórás és a variációs koefficiens, a megmaradási hajlam paramétere, valószínűségi eloszlás.*

Bármely időtartamra vonatkozóan az összeg és a szórás között szigorú összefüggés áll fenn, amely adott időtartamra és adott földrajzi helyre jellemző statisztikai paraméternek tekintendő, mivel a szórásnak valószínűségi tartalma van, – a szórás numerikus értékének kétszerese normál eloszlás esetén közrezárja a minta 67%-át. E probléma keretében első lépésként érdemes áttekinteni a havi összegek szórásának alakulását az év folyamán. Ennek lehetősége céljából mellékeljük a 6a és a 6b táblázatban a havonkénti összegek szórását 14 állomásra 1901–1950, valamint 1951–2000 időszakokra vonatkozóan. Általánosságban meg kell jegyezni, hogy a szórásnak sajátos évi menete van. Tavasszal és ősszel alakul ki a két maximum, és télen, valamint nyáron egy nyugalmi időszak alakul ki, amikor a szórás értéke valamivel csökken. Az átmeneti évszakokban kialakuló minimum az évszakhatárok közötti ingadozással magyarázható, így a tavaszi maximum a tél meghosszabbodásával, illetve a nyár korai kezdetével magyarázható; hasonlóképpen az őszi nagy szórást a nyár meghosszabbodása, illetve a korai tél bekövetkezése okozza. A változékonyság állandóságának kérdése is felmerül,

ennek kapcsán összehasonlíthatók a két ötven évből számított szórásértékek. Megállapítható, hogy 1951–2000-ben a téli hónapokban közel azonos a szórás, viszont az átlagértékek csökkenése folytán a variációs koefficiens értéke nagyobbodik, vagyis a változékonyság fokozódott. A nyári hónapokban júniusban, de különösen júliusban növekedett a változékonyság, csökkentek az átlagértékek, így a variációs koefficiens ekkor hasonlóan maradtak, vagy növekedtek. A melléklet lehetővé teszi bármely hónapra vonatkozó megállapítás lehetőségét. E megállapítások megegyeznek a makroszinoptikus helyzetek irányításával kapcsolatos eredményekkel (tél, nyár: a zonális irányítás túlsúlya; tavasz, ősz: a meridionális irányítás túlsúlya).

A fentiekhez hasonlóan a 7a. táblázat tájékoztatást nyújt az évszaki szórások alakulásáról, valamint a variációs koefficiens értékéről. A táblázatban közölt statisztikai értékek alapján bizonyítható, hogy *nemcsak az 50 éves átlagok módosulnak az említett formában, hanem a szórások és ennek relatív értékei is változnak*, tehát bizonyos mértékű klímamódosulás lejátszódott, illetve folyamatban van. *Amennyiben a továbbiakban csökken a csapadék-ellátottság, a változó jelleg továbbra is megmarad, vagyis a relatív változékonyság fokozódik.*

Érdelemes kérdés, hogy milyen összefüggés áll fenn az átlagos összeg, a hozzátartozó szórás és a belőlük számítható variációs koefficiens között abban az esetben, ha a vonatkoztatási időtartam növekszik. A vizsgálat abból a feltételezésből indult ki, hogy egy évtized hónapjainak csapadékösszegei véletlenszerűen alakulnak, így a szórás nagysága is tíz véletlenszerű összegből származik, ennek következtében a variációs koefficiens maga is véletlen szám. Megvizsgálva 16 megfigyelőhely 11 évtizedre terjedő 10 éves átlagát, szórását és CV értékét eljuthatunk ahhoz a következtetéshez, hogy az éghajlat jellegzetességének megfelelő értékhatárok között alakulnak a 10 éves átlagok, illetve variációs paraméterek.

Rendkívül fontos annak ismerete, hogy hány esztendő megfigyelési sorozatából számítható olyan átlagos összeg, melynek statisztikai paraméterei reprezentatív jellemzőknek bizonyulnak. Áttekintve a CV értékek nagyságán, az tapasztalható, hogy a vonatkozási időtartam hosszabbodásával rendszerint növekszik a variációs koefficiens értéke. Míg az első tíz évben a CV értéke 10–15%, a 110 éves időtartamú sor által nyújtott CV érték 17–22% közötti, vagyis *a megfigyelési sor hosszabbodásával a variabilitás fokozódik, amely arra utal, hogy a sor további növekedésével olyan szélsőséges variánsok is bekövetkeznek, amelyek az eddigi leghosszabb időtartamú sorban nem találhatók meg.* Ez a megállapítás bizonyos mértékig prognosztikusan hat, mivel nincs kizárva az eddig előfordult szélső értékeknél még kisebb és még nagyobb összeg. Egyúttal levonható az a következtetés is, hogy az átlagérték, a szórás, vagy a CV értéke csak a vonatkoztatási időtartamra tekinthető érvényesnek.

Végül, de nem utolsó sorban egy rövid áttekintést *adunk a csapadékösszegek valószínűségi eloszlásának alakulásáról.* Tekintettel arra, hogy 16 állomás 110, illetve 120 éves idősorának minden egyes hónapjára vonatkozó statisztikai vizsgálatáról már vázolható egy részletes kép, e helyen az adathalmaz bősége végett erre nincs lehetőség. Mivel *a nyári félév* érdemel különösebb figyelmet, ezért ennek és magának a nyári negyedévnek az idősorai valószínűségi jellemzését tekintjük a legfontosabbnak.

Elvégezve a 15 állomás 120 éves havonkénti összegeinek elemzését – 23 040 adat – e helyen részletekben bemutatjuk az eloszlás kardinális pontjaihoz tartozó összegek valószínűségi elemzését. A három vizsgált idő-

1881–2000, 1901–1950, 1951–2000

a fenti időszakokra néhány állomásra vonatkozóan közöljük a minimális, a 90, 75, 50, 25%-os és a maximális összegeket a fenti

három különböző időtartamú sorozatra. A vizsgálatokat részben *a Gumbel-féle* kétparaméteres egyenlet segítségével számítva a 7b. táblázat foglalja össze *a nyári félévre*, illetve a 3 nyári hónap összességére vonatkozóan. A megkülönböztetés abból a célból történt, hogy az eloszlás tekintetében kimutatható-e a csapadék csökkenésének mértéke, és miként módosultak a különböző valószínűségi értékek. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a szélső értékek – a minimum és maximum – alapvetően nem különböznek a két félévszázad hosszúságú idősorok szerint. *A nyári félév csapadékösszegeinek valószínűségi eloszlási görbéi szerint a kis csapadékok valószínűsége általában nagyobb az 1901–1950 éves idősorok szerint, viszont a nagyobb mennyiséget jelentő kisebb valószínűségű összegek nagysága jelentősen csökkent,* ami elsősorban azzal magyarázható, hogy a nyári félévhez még a tavaszi és az őszi hónapok egy része is kapcsolódik, amelyeknek trendértéke eltér a nyári időszakra vonatkozó trendtől. Így egy bizonyos statisztikai valószínűségi kompenzáció következik be, vagyis azonos valószínűségű összegek között jelentős eltérés nincs. Más szóval ez azt is jelenti, hogy *a nagyvalószínűségű kis összegek nem térnek el lényegesen egymástól, azonban a kisvalószínűségű nagy összegek értéke általában alacsonyabb a század második felében, szemben a század első ötvenéves értékeivel.* A nyári félév csapadékösszegeinek valószínűségi értéke a különböző valószínűségi szinteken nem módosul konzekvens módon, így tehát azokból messzemenő következtetéseket nem lehet levonni. Azt viszont tényként kell kiemelni, hogy a félévi összegek különböző irányú trendhez tartozó részösszegekből adódnak, amelyek egymás tulajdonságait kioltják.

*A nyár (VI–VIII) csapadékösszegeinek valószínűségi értékeit elemezve megállapítható, hogy elsősorban 75%-os valószínűségi összegekhez tartozik bizonyos mértékű csökkenés az utóbbi ötven évben a korábbiakhoz képest. Az említett 4 megfigyelő helyről származó valószínűségi eloszlásból*

természetesen nem lehet országos érvényű következtetéseket levonni.

A fentiek ellenére a valószínűségi eloszlások ismerete nagy jelentőségű, elsősorban a szélsőségek alakulása szempontjából. Rendkívüliséggel ugyan mindig lehet számolni, azonban minél jobban eltávolodunk a középső értéktől, annál bizonytalanabbak vagyunk a valószínűség, gyakoriság megítélésében, ezen összegek bekövetkezésének becsülésében. A valószínűségi eloszlás birtokában egzakt alapokra támaszkodva tervezhetünk, illetve ezen az alapon ítéltető meg kellő biztonsággal a növény igényeinek teljesülése, illetve a kedvezőtlen feltételek bekövetkezésének gyakorisága. Minden termelési folyamat bizonyos fokú kockázattal jár, amely abból következik, hogy az igényeknek és a feltételeknek az eloszlása nem azonos. A termelés ökológiai okokra visszavezethető kockázata jól becsülhető, az igények és a feltételek bekövetkezésének arányával vagy különbségével. Az eloszlási sajátosságok elsősorban a térségi elemzéseknél hasznosíthatók hatékonyan. Ezekkel az indokokkal történt meg a hazai csapadéksorok valószínű eloszlásának vizsgálata.

### A havi klimatikus jelleg tipizálása

Mindeddig az elemek elkülönített, egymástól függetlenül jellemzése történt meg. Nagyvonalakban azokat a főbb vonásokat foglaltuk össze, amelyek a hőmérsékleti- és csapadékfeltételek sajátosságait jellemzik. A természetben a légköri folyamatok keretében a különböző elemek egyidejűleg alakulnak, ennek következtében minél több elemre támaszkodunk, annál nagyobb a lehetséges klíma-jellemző variánsainak a száma, amelyen való áttekintés még a statisztikai jellemzők segítségével is csak nehezen valósítható meg. Mind a tudományos igényesség, mind pedig a gyakorlati tájékozottság követelményeinek eleget téve a két legfontosabb időjárási elemnek, a hőmérsékletnek és a csapadéknak az egyidejű alakulása tekinthető a legfontosabbnak.

Az éghajlati tényezők komplex biológiai hatást fejtenek ki a növényi életfolyamatokra, ezért kell azoknak az elemeknek egyidejű variánsait ismerni, amelyek a legfontosabb szerepet töltik be a növényi produkció alakulásában. Ennek lehetősége abból a tényből származik, hogy a hőmérséklet és a csapadék között statisztikailag megbízható valószínűségi összefüggés áll fenn. Közismert, hogy a nyári félévben e két elem értéke fordított arányban alakul, a csapadék növekedésével általában a hőmérséklet csökken, és fordítva, de azt is meg kell említenünk, hogy az átlagtól való eltérés, vagyis az anomáliák előjelének különbözősége nem teljesen konzekvens, így négy variáns-típus különíthető el a legegyszerűbb csoportosítási elv szerint (Szász, 1975).

- H'Cs: átlag feletti hőmérséklet, átlag alatti csapadék ~ meleg-száraz,
- H'Cs': átlag feletti hőmérséklet, átlag feletti csapadék ~ meleg-csapadékos,
- HC's: átlag alatti hőmérséklet, átlag feletti csapadék ~ hűvös-csapadékos,
- HCs: átlag alatti hőmérséklet, átlag alatti csapadék ~ hűvös-száraz.

E variánsok alapján az egyes hónapok klimatikus jellege jól reprodukálható és tipizálható. A már említett, rendelkezésre álló 16 állomás 110 éves sorából  $3 \times 30$  éves átlagokat képezve történt meg a különböző időszakokra vonatkoztatott anomália-típus gyakoriságának vizsgálata. A két elem anomáliájának gyakoriságából következtethetünk a jelleg tartósságára. Mivel a hőmérséklet és a csapadék között közel lineáris összefüggés áll fenn, érthető módon a H'Cs, illetve a HCs' variánsok állnak túlsúlyban az egyéb kombinációkkal szemben. Az említett 4 anomália típus sorrendisége alkotja az anomáliák rendszerét, és ezzel az éghajlat sajátossága kifejezhető.

Megállapítást nyert, hogy az azonos típusú anomáliák százalékos aránya szerinti sorrend időben nem állandó. A három 30 éves szakaszban kialakuló arányok sorrend-

jének változása a rendszer módosulását fejezi ki, más szóval e módszer alkalmazásával az éghajlat változékonysága kifejezhető. Az anomáliák tipizálása során a határértékeket a hőmérséklet havi átlaga, csapadék esetében pedig az átlagos összeg képezi. Az ily módon számított eltérések alapján elvégezve a különböző hónapok csoportosítását, a nyári félév hónapjait tekintve a következő általános arányokhoz jutunk:

H'Cs'	16%	
H Cs'	25%	41%
H'Cs	34%	
H Cs'	25%	59%

A fenti arányszámok közül a H'Cs típus jelentőségét kell kiemelnünk viszonylag nagy nyári gyakorisága miatt. E típus egyenletes eloszlás esetén közelítően minden harmadik év azonos hónapjában bekövetkezik, ami *hazánk éghajlatának szárazsági hajlamát bizonyítja*. Ezek az arányszámok helyről helyre változnak. A különböző típusok gyakorisági megoszlása természetesen valamilyen jelleg, hajlam létezésére utal, bár a hajlam mértéke magából a gyakoriságból nem ismerhető meg.

A fentiek szerint a tipizálás és ábrázolás különböző módon végezhető el:

a) Középvértékek alapján (koordináták metszéspontja: az átlagok szerint),

b) A hőigény elsődlegessége alapján vett határértékek szerint (koordináták metszéspontja: kritikus hőmérséklet, átlagos csapadékösszeg),

c) A csapadékigény szerint vett határértékek szerint,

vagy ezeknek különböző kombinációjaként (koordináták metszéspontja: átlaghőmérséklet, kritikus csapadékösszeg).

Az első változat a klimatikus sajátosság megállapítására szolgálhat, míg a b) és a c) változat a növény által támasztott ökológiai igények szerinti változatokat fejezi ki. A

továbbiakban a klimatikus típusokat kívánjuk bemutatni. A klímátípusok relatív előfordulása a IV–IX. hónapokra vonatkozólag a három 30 éves időszakra az alábbiak szerint alakult:

1.

Típus	1901– 1930	1931– 1960	1961– 1990
<b>Pápa</b>			
H'Cs'	21	23	11
H Cs'	38	37	20
H Cs'	30	24	30
H Cs	12	16	39
<b>Sopron</b>			
H'Cs'	15	18	16
H'Cs	30	38	33
H'Cs'	33	27	19
H Cs	21	18	33
<b>Zalaegerszeg</b>			
H'Cs	23	17	10
H Cs	37	40	20
H Cs	24	30	30
H'Cs	19	19	40
<b>Pécs</b>			
H'Cs'	22	19	9
H'Cs	39	42	20
H Cs'	30	23	33
H Cs	9	16	38
<b>Kecskemét</b>			
H'Cs	19	18	13
H'Cs	31	41	26
H Cs	31	22	29
H Cs	22	19	32

2.

Típus	1901– 1930	1931– 1960	1961– 1990
<b>Szarvas</b>			
H'Cs'	14	26	9
H'Cs	34	40	27
H Cs'	30	19	28
H Cs	21	17	37
<b>Szeged</b>			
H'Cs'	18	20	8
H'Cs	38	40	20
H Cs	29	21	26
H Cs	15	18	40
<b>Debrecen</b>			
H'Cs'	18	21	9
H'Cs	29	37	30
H Cs'	28	26	28
H Cs	25	16	34

Tüzetesen áttekintve a fenti adatokat megállapítható, hogy 1901–1931, valamint 1931–1960 évekbeli arányszámokat tekintve lényegében véve azonosak, más szóval a különböző klímátípusok arányai a két 30 éves szakaszban hasonló elrendeződést mutatnak. Ezzel szemben az 1961–1990-es 30 évben feltűnő, hogy a leggyakrabban HCs klímátípus következik be, s előfordulása azonosává válik H'Cs arányszámmal. E módosulás oka abban kereshető, hogy a csapadékhiányos hónapok továbbra is túlsúlyban maradnak, azonban az ezekhez kapcsolódó hónapok hőmérséklete 50–50%-ban a H'Cs és H Cs variáns között oszlik meg. A csapadékhiányos hónapok számának az uralma tehát változatlan marad, vagyis hazánk éghajlatában a szárazsági hajlam továbbra is felismerhető. Bár a magas hőmérséklet gyakorisága némileg csökkent, azonban az elmúlt 20 év tendenciája szerint ez csupán átmeneti jelenségnek tekinthető, figyelembe véve az 1991–2004. évek klímaeseményeit.

Az uralkodó, illetve a minimális esetben bekövetkező típusok meteorológiai hátterének vizsgálata során bebizonyosodott, hogy a fenti rendszerben bekövetkező változás nem a véletlen következménye. Az első és a második 30 évben a különböző klímátípusokhoz tartozó makroszinoptikus helyzetek identikusak a típus jellegével. Úgy tűnik, hogy a harmadik 30 évben egy olyan átrendeződés zajlott le, amelyet a makroszinoptikus helyzetek gyakoriságának alakulása is megerősített. Mindebből az a következtetés vonható le, hogy bizonyos klímadinamika módosulás a hőmérséklet és a csapadék egyidejű anomáliáinak az átrendeződéséhez vezetett. Vagyis a nyári éghajlati jellegben gyökeres átalakulás zajlott le az utóbbi 30 évben az előző évtizedekhez mérten.

### Vizellátottság, szárazság, aszály

A fenti elemzések egyik végső megállapításának lényege hazánk területének csapadékszegénysége, amely klimatológiai érte-

lemben tekintve is jelentős sajátosság. Ezzel kapcsolatban hangsúlyozni kell, hogy hazánkban az egyényári főbb termelt növények, valamint az évelő takarmánynövények víz-igénye messze meghaladja az átlagos csapadékösszeget. Tekintettel a csapadék jelentős szóródására, érthető módon az igénynövekedés folytán az agronómiai szárazság, vízhiány esetleg az aszály előfordulása gyarapodik. Mivel a modern növénytermesztés egyik célja a termésmennyiségek kellő szinten tartása, valamint a termések stabilizálása, szükségszerűen az érdeklődés a csapadékosság irányába fordul. A túlzottan sok, illetve kevés csapadék egyaránt nagy veszélyeket rejt magában, amelyek mindig a termelési kockázat növekedéséhez vezetnek, ezért az eddiginél sokkal nagyobb jelentőséget kell tulajdonítani a csapadékszélsőségek alakulásának. E célból mutatjuk be a 8. ábrán a csapadékhiány halmozódását, amely alapján nyomon követhető a rövid csapadékszegény időszakok időbeli elhelyezkedése. A hiány halmozódási görbéje meggyőzően bizonyítja, hogy 1880-tól napjainkig mindvégig a hiány volt túlsúlyban a csapadékgazdag évekkel szemben. Az 1950-es évektől napjainkig a vízhiányos évek egyre sűrűbben következtek be, tehát a vízhiány az idő folyamán gyakoribbá vált, míg a víztöbblet csak néhány esetben alakult ki, de nem túlzottan magas értékkel. A csapadékhiány kumulált görbéje igen jó tájékoztatást nyújt arra vonatkozóan, hogy a hazai növénytermesztést – rövid időtartamú kivételekkel – állandóan a csapadékhiány terhelte.

Általánosan ismert, hogy a vízháztartási helyzetet nem csupán a csapadék nagysága, hanem a párolgási feltételek egyidejű alakulása szabályozza. Követve a vízmérleg elvét, szükséges a vízmérleg alakulásának becslése, pontosabban a szárazság mértékének, vagy a túlzottan sok vízbevitelnek a megállapítása. Korábbi kutatásaink során főként a nyári hónapok vizellátottsági problémáival foglalkoztunk. A nyári hónap vizellátásának elemzése nem új keletű kérdés, de vizsgálataink alapján arra a megállapításra jutottunk, hogy

az ökológiai célú vízforgalmi elemzések eredményei a szántóföldi növénytermesztésben csak akkor hasznosíthatók, ha a tenyészidőszak előtti vízháztartási helyzet következményeit is figyelembe vesszük. Szász (1963) részletesen vizsgálta a Kárpát-medence hidroklímájának jellemzőit *Thorntwaite* módszerével, majd hasonló vizsgálatokat folytatott *Szepessiné* (1966) hasonló módszerrel a vízháztartási mérleg összetevőinek megállapítása céljából. Az 1990-es években a *Palmer-féle szárazsági index* használata terjedt el, amely sokak szerint a leghasználhatóbb a szárazság mértékének kifejezésére. Sajnálatos módon azonban az utóbbi érvényességi tartama már egy nagyobb időskálára alig, vagy egyáltalán nem vonatkozatható. Ennek a hiányosságnak az áthidalása céljából dolgoztuk ki a nyári hónapok vízellátottsági értékének becslésére szolgáló formulát, amely egyrészt a nyári klimatikus vízmérlegtől, másrészt a korábbi hónapok csapadéktól, a talajban tárolt vízkészlet nagyságától és annak időbeli eloszlásától függ.

*A vízellátottságot kifejező függvény – VE – két tag összegéből adódik: a nyarat megelőző XI.–IV. hó közötti csapadék, valamint a nyári klimatikus vízmérleg.*

A VE értéket a csapadékon és a párolgáson kívül a talaj vízgazdálkodási sajátossága is befolyásolja a talaj vízvezető és vízvisszatartó képességének értékével. Ennek részletes leírásától e helyen eltekintünk. Csupán utalni kell arra, hogy azonos „csapadék-előzmény” eltérő talajok esetén különböző utóhatást fejt ki. A VE igen tág határok között váltakozhat, száraz években a növény igényéhez mérten  $VE = 20-30$ , közepes vízigénynél és vízellátottságnál  $VE = 20-40$ , míg csapadékos években  $VE = 50-70$  között váltakozik. A VE vízellátottsági értékek átlagainak területi eloszlását a 9. ábra mutatja be, amelyből határozott módon különíthető el az ország területén kialakuló átlagos vízellátottságbeli különbözőség. Ez a kép jelentősen módosul a száraz és nedves évjáratokban.

*A nyári hónapok vízellátottsága és a talaj*

*nedvességtartalma egymással szoros kapcsolatban áll, amelyet saját – 40 éves – megfigyeléseink, illetve talajnedvesség méréseink alapján bizonyítottunk.* Könnyen belátható, hogy az utóbbi formulával számított VE vízellátottsági együttható növekedésével a talaj által raktározott vízkészlet is nagyobbodik. Az említett két valószínűségi változó közötti összefüggés vályogtalajra vonatkoztatva  $r = 0,82$  korrelációs együtthatót biztosított. A vízellátottsági érték és a talaj nedvességtartalma közötti összefüggést a 10. ábra mutatja be, amely egy jó vízgazdálkodású mezősegi vályogtalajra vonatkozik, amelynek minimális vízkapacitása 300 mm/m. Ennek az összefüggésnek az általánosabbá tételét elvégezve a vízellátottsági értékből egy bizonyos hibával terhelve megállapítható a nyári átlagos talajnedvesség tartalom. Ennek az utóbbinak a lehetősége nagy fontosságúnak tekinthető, ugyanis *éghajlati adatok alapján meghatározhatóvá vált utólagosan is a talaj nedvességtartalmának alakulása, és ezen az úton talajnedvességi idősor állítható elő.* A talajnedvesség idősora igen hasznos és értékes információ még abban az esetben is, ha az egy átlagérték, mivel a szántóföldi nyári növényeink (kukorica, cukorrépa, lucerna) vízigényeink kultúráknak tekinthetők, így a termés nagyságát elsősorban a vízellátottság szabályozza.

Ha,  $VE < 20$ , akkor nyári szárazságról kell beszélnünk; ha  $VE > 40$ , viszonylag bőséges vízellátottság következett be. A 11. ábra azokra az évekre vonatkozó vízellátottsági értékeket mutatja be (Debrecen), amelyek szélsőséges értékűek a vízellátottság tekintetében. A nyári vízellátottsági szélső értékek alakulását figyelembe véve megállapítható, hogy míg a nedves helyzetek gyakoriságában jelentős változás nem mutatkozik, a szélsőségesen száraz nyarak gyakoribbá válása viszont egyértelműen megerősíthető. E megállapítás egybeesik azzal a következtetéssel, amelyet a normalizált csapadék időssorról jellemzőként elmondunk. Az 11. ábra az idősort két részre bontva bemutatja, és az idősor két részére számszerűen is meg-

adja a szélsőségek esetszámát. Így az idősor első részére a nedves helyzetek száma  $K_1 = 14$ , míg a második szakaszban a nedves helyzetek előfordulása  $K_1 = 12$ . Az alacsony értékű szélsőségekre vonatkozóan ezek az arányok a következő módon alakultak: az első 65 évben a szélsőségesen száraz nyarak száma  $K_2 = 17$ , míg az ugyanolyan terjedelmű második szakaszban ugyanez  $K_2 = 18$  esetben fordult elő. Az időszakok nyári vízellátottsági indexei a száraz és a nedves helyzetek arányát fejezik ki számszerűen, amelyet nyári vízellátottsági indexnek neveztünk el ( $VEX = \text{nedves helyzetek száma} / \text{száraz helyzetek száma}$ ):

$$1854-1923: VEX = 14/17 = 0,82$$

$$1924-1992: VEX = 12/28 = 0,43$$

A két szélsőséges helyzet előfordulási számértékeinek hányadosai utalnak a két helyzetnek egymáshoz viszonyított arányára, s ez 1,0-nál minél kisebb, annál nagyobb a szélsőségesen száraz nyarak gyakorisága és fordítva. Ez az elemzési módszer lehetővé teszi bármely helyre vonatkozóan a nyári vízellátottság értékének és a nyári vízellátottsági indexnek a megállapítását.

Tájékoztatásként előállítottuk a már említett 16 állomásra az általános vízellátottsági értékek idősorát, majd ennek alapján az átlagos nyári talajnedvesség-készletet, valamint a szélsőséges, száraz relatív értékét 100 évre redukálva. A számítások eredményeit a 8. táblázat foglalja össze. A táblázat jobb oldali oszlopai azokat az esetszámokat mutatják, amelyekben a  $VE < 20$ . Ennek alapján megállapítható, hogy néhány helytől eltekintve a szélsőségesen száraz nyarak száma jelentős mértékben növekedett, főként az ország középső és déli területein, mérsékelt formában Nyugat-Dunántúlon.

A vízellátottsági érték, a vízellátottsági index és a VEX értékeinek kidolgozásával, valamint a módszer segítségével kapott értékek alapján megállapítható, hogy a mérsékelt hőmérséklet-emelkedés a jelentősebb mértékű csapadékcsökkenés egyidejű bekö-

vetkezésével olyan klímaváltozékonyságot eredményez, melynek eredményeként a kedvezőtlen vízforgalmi helyzetek hazánkban egyre gyakoribbá válnak, különösen a Nagyalföldön, mérsékelt formában pedig a Dunántúl nyugati területén.

Nem érdektelen megjegyezni, hogy nemcsak a csapadékcsökkenés, valamint a gyakori kedvezőtlen vízháztartási helyzet sújtja a szántóföldi növénytermesztést, de rendkívüli károkat okoznak a tartós csapadékmentes periódusok is, melyeknek közel 90%-a a nyári félévben következik be. Ez irányú vizsgálataink megerősítik azt az említett jelenséget, hogy a vízhiány intenzívebb időszaka az 1950-es évektől számítható. A csapadéknélküli időszakok tartamának gyakorisága növekszik, és a leghosszabb csapadék nélküli időszak is egyre hosszabbá válik. A vizsgált adatbázis szerint már 45 napra terjedő száraz időszak is bekövetkezett, sőt 2003 nyarán ennél hosszabb tartamú szárazság is kialakult a nyár folyamán. Ez a jelenség önmagában véve elgondolkodtató, mivel a hosszú időtartamú csapadékmentesség súlyos terhe csak öntözéssel enyhíthető.

A fent összefoglalt kutatási eredmények megerősítik azt a nézetet, hogy a szántóföldi növénytermelés romló ökológiai körülmények között folyik, és a kutatásnak továbbra is, de nagyobb részletességgel foglalkozni kell a szántóföldi vízmegőrzés technológiájának fejlesztésével, beleértve az öntözésnek olyan technológiai megoldását is, amely segítségével a vízhiány csökkentésének lehetősége fokozott mértékben valósítható meg. A vizsgálatok eredményeiből levonható végkövetkeztetések lényege az, hogy az időjárás komplex megnyilvánulásainak szélsőségei fokozódó tendenciát mutatnak, amely a termékek ingadozásának növekedéséhez vezet. Az ingadozás abszolút értékének növekedéséhez nagymértékben hozzájárul a termesztett növények termőképessége, vagyis azonos kedvezőtlen hatás egyre nagyobb mértékű termésingadozást vált ki. Az éghajlat változékonyságával azonban a szélsőségek fokozódása és a növények időjárás

érzékenységének növekedése a termésingadozás intervallumát egyre jobban kiszélesíti. Az elemenkénti és a komplex klíma-analízis eredménye egyértelműen bizonyítja a légköri kedvezőtlen hatások gyakoribbá válását, amely visszavezethető a cirkulációs okokra. Arra vonatkozóan azonban egyelőre nem tudunk végérvényű kijelentést tenni, hogy ez a XX. században kétségtelenül kibontakozott változás továbbfolytatódik-e, de arra vonatkozóan sem áll bizonyíték a rendelkezésünkre, hogy az ingadozás a jelenlegi szinten marad, vagy esetleg mérséklődik. Ha figyelembe vesszük a változás tendenciájának lassú kibontakozását (1870–2000) feltételezhető, hogy e tendencia néhány évtizedig még fokozódik, s csekély annak a valószínűsége, hogy a jelenlegi szinten marad. Továbbra is kérdésként merül fel az a dilemma, hogy a

már bizonyított ingadozások fokozódása még mindig az éghajlat változékonyságának kategóriájába sorolható, vagyis az éghajlat alapvető tulajdonsága az említett területre vonatkoztatva lényegében változatlan, csupán a rendszer határai tágulnak, avagy ténylegesen egy éghajlatváltozás küszöbén zajlottak le az elmúlt mintegy 150 év folyamatai, amelyek egy hosszabb időszakra kiterjeszkedő éghajlatváltozás kezdetét jelentik. E dilemma megoldása a közeljövőben alig várható, de egy válasz a feltett kérdésekre megfogalmazható, melynek az a lényege, hogy egy szélsőségesebbé váló éghajlati feltételek között kell a mezőgazdasági termelést továbbfolytatni, melynek keretében egyre inkább számítani lehet a kedvezőtlen, káros klimatikus feltételekre, amely a termelési kockázat fokozódását vonja maga után.

#### FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) AMBRÓZY P. et al. (1983): Évszakos bontású makroszinoptikus típusok kialakítása Cluster-analízissel az Atlanti-Európai térségre. OMSZ, Meteorol. Tanulm., No. 39. Budapest (2) BAUR, F. (1942): Einführung in der Grosswetterforschung. Teubner Verl., Leipzig–Berlin. (3) BAUR, F. (1947): Einführung in der Grosswetterkunde. Dietrichsche Verl., Wiesbaden. (4) BODOLAINÉ, J. E. (1983): Synoptical condition of floods on the basin of the Rivers Danube and Tisza. OMSZ. Hiv. Kiadv. LVI., Budapest (5) DEFANT, A. – DEFANT, F. (1958): Physikalische Dynamik der Atmosphäre. Frankfurt a. Main., 527 p. (6) NAMIAS, J. – CLAPP, Ph. F. (1951): Observational studies of general circulation patterns. 551–567. pp. In: Malone, Th. F. (ed.): Compendium of Meteorology. Am. Met. Soc., Boston. (7) PÉCZELY, Gy. (1957): Grosswetterlagen in Ungarn. Zentralanstalt für Meteorologie. Budapest, 86 p. (8) PÉCZELY Gy. (1961): Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek éghajlati jellemzése. OMI. Budapest, 128 p. (9) SCHERHAG, R. (1948): Neue Methoden der Wetteranalyse und Wetterprognose. Berlin, 424 p. (10) STARR, V. P. (1951): The physical basis for the general circulation. 541–550. pp. In: Malone, Th. F. (ed.): Compendium of Meteorology. Am. Met. Soc., Boston. (11) SZASZ G. (1973): A hőmérséklet és csapadék egyidejű alakulása Magyarországon. Agrártud. Egyetem Tud. Kut., Debrecen (12) SZASZ G. (1998): Agrometeorológia – általános és speciális. Mezőgazd. Kiadó, Budapest, 451 p.

1a. táblázat

A különböző irányítású helyzetek havonkénti relatív gyakorisága (1881–1983)

Irányítás	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
N-irányítás	10,1	14,6	15,0	19,4	16,8	21,9	18,9	14,5	13,4	10,0	10,1	9,6
S-irányítás	32,3	21,4	36,9	36,1	29,4	16,7	12,7	17,4	26,9	38,1	41,1	36,2
W-irányítás	24,4	22,4	21,9	18,9	19,9	30,3	36,9	31,8	22,7	19,6	20,0	23,1
E-irányítás	25,3	28,0	15,4	16,7	25,0	18,3	14,6	18,3	16,0	15,0	13,5	14,3
C-helyzetek	17,8	12,8	9,8	8,7	9,1	12,9	16,9	17,9	21,0	16,2	15,2	16,5
(N+S)-irányítás	42,4	36,0	51,9	55,5	46,2	38,6	31,6	31,9	40,3	48,1	51,2	45,8
(W+E)-irányítás	49,7	50,4	37,3	35,6	44,9	48,6	51,5	50,1	38,7	34,6	33,5	37,4



1b. táblázat

## A Kárpát-medence térségére érvényes makroszinoptikus helyzetek rendszere Péczeley szerint

Hónap	Makroszinoptikus helyzet	Irányítási rendszer	Tendencia		„t”
			°C	mm	
Január	mCc	N-M	+	-	2,16
Április	mCw	S-M	+	-	2,21
	zC	W-Z	+	-	3,05
	C	-	-	+	2,62
Május	mCc	N-M	-	+	2,02
	Ae	S-M	+	-	2,48
	As	W-Z	+	-	2,12
Június	CMc	N-M	-	+	3,70
	Ae	S-M	+	-	3,02
	mCw	S-M	-	+	4,14
	zC	W-Z	+	-	2,28
	As	W-Z	+	-	2,98
	AF	E-Z	-	-	2,37
	C	-	-	+	2,91
Július	Ae	S-M	+	0	3,70
	CMw	S-M	-	+	4,11
	CMw	S-M	-	+	3,31
Augusztus	C	-	-	+	2,47
	C	-	-	+	2,00
Szeptember	C	-	-	+	2,00
Október	Aw	W-Z	-	-	2,45
November	CMw	S-M	+	+	3,18
	Aw	W-Z	-	-	3,46
December	Aw	W-Z	+	-	4,29
	C	-	+	+	2,02

N, W, S, E: irányok;

M: meridionális irányítás,

Z: zonális irányítás;

„t”-próba eredménye 1901–1950. és 1951–2000. évek két gyakorisági eloszlása között

„+”: emelkedő tendencia;

„-”: csökkenő tendencia

Északi irányítású helyzetek: mCc meridionális irányítású ciklonális hátoldali helyzet  
 AB anticiklon a Brit szigetek vagy az Északi tenger fölött  
 CMc mediterrán ciklon hátoldali áramrendszere

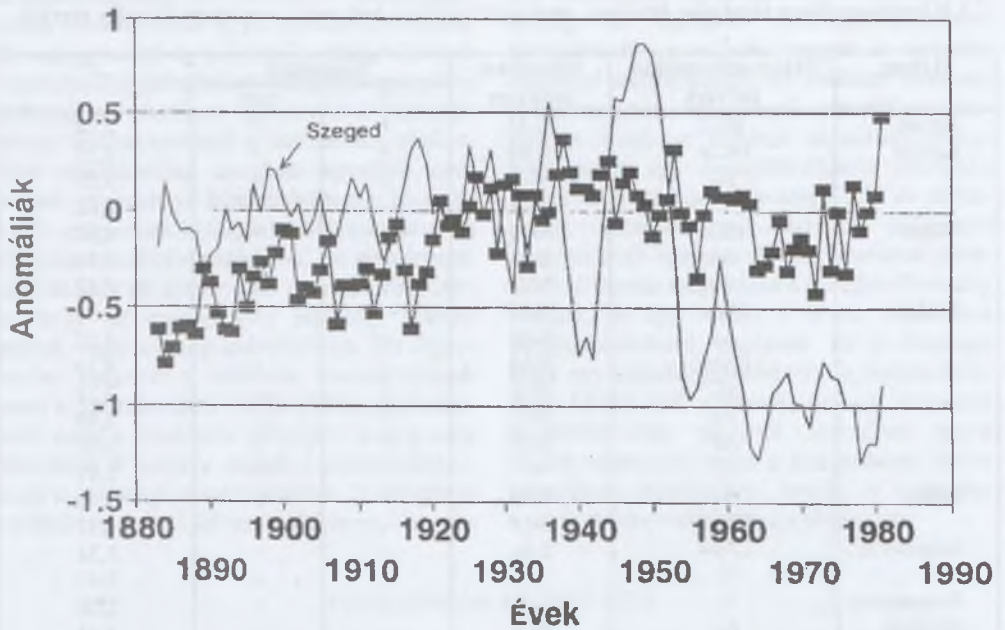
Déli irányítású helyzetek: mCw meridionális irányítású ciklonális előoldali helyzet  
 Ae anticiklon Magyarországtól keletre  
 CMw mediterrán ciklon előoldali áramrendszere

Nyugati irányítású helyzetek: zC zonális nyugati irányítású ciklonális helyzet  
 Aw anticiklon Magyarországtól nyugatra  
 As anticiklon Magyarországtól délre

Keleti irányítású helyzetek: An anticiklon Magyarországtól északra  
 AF Fennskandináv anticiklon

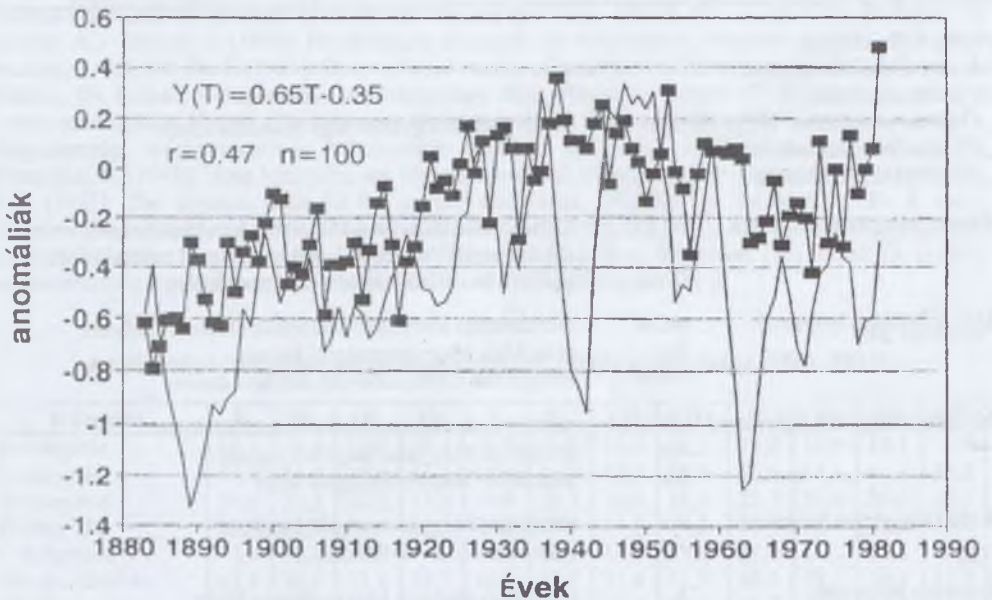
Centrum helyzetek: A anticiklon centrum Magyarország fölött  
 C cikloncentrum Magyarország fölött

1. ábra



Szegedi hőmérsékleti anomália és az északi hemiszférikus anomália kapcsolata

2. ábra



Magyaráróvári és az északi hemiszférikus anomália kapcsolata

2. táblázat

## A 30 éves átlagos hőmérséklet értékei

Allomás	Év	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
<b>Szeged</b>					
1871–1900	11,3	11,4	21,7	12,1	-0,1
1901–1930	11,4	11,7	21,3	11,9	0,9
1931–1960	11,5	11,7	22,0	21,1	0,2
1961–1990	10,6	11,1	20,1	11,0	0,3
<b>Debrecen</b>					
1871–1900	9,8	9,9	20,5	10,4	-1,9
1901–1930	10,1	10,6	20,2	10,2	-0,4
1931–1960	10,3	10,7	20,8	10,5	-0,9
1961–1990	9,8	10,5	19,5	10,2	-0,9
<b>Pécs</b>					
1871–1900	11,0	11,2	21,5	11,4	-0,3
1901–1930	11,3	11,5	21,2	11,5	1,0
1931–1960	11,6	11,7	21,8	12,0	0,8
1961–1990	10,4	10,5	19,5	10,9	0,5
<b>Keszthely</b>					
1871–1900	10,1	10,4	20,2	10,5	-0,8
1901–1930	10,6	10,9	20,0	10,7	0,6
1931–1960	10,8	11,0	20,6	11,3	0,3
1961–1990	10,2	10,5	19,3	10,5	0,3
<b>Magyaróvár</b>					
1871–1900	9,5	9,7	19,5	9,9	-1,1
1901–1930	9,8	10,1	19,1	9,8	0,2
1931–1960	10,1	10,3	19,8	10,5	-0,3
1961–1990	9,7	10,0	18,8	9,9	0,1

3. táblázat

## Hőmérséklet lineáris trend értéke (°C/év)

Allomás	Év	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
Baja	0,003	0,002	0,001	0,002	0,006
Budapest	0,010	0,009	0,006	0,010	0,016
Debrecen	0,002	0,005	-0,005	0,000	0,007
Kalocsa	0,000	-0,002	-0,008	-0,001	0,009
Kecskemét	-0,002	-0,002	-0,009	-0,003	0,005
Keszthely	0,002	0,001	-0,003	0,002	0,008
Magyaróvár	0,004	0,003	0,001	0,003	0,007
Nyíregyháza	0,003	0,007	-0,002	-0,003	0,010
Pápa	-0,002	-0,003	-0,009	-0,002	0,003
Pécs	-0,005	-0,007	-0,014	-0,004	0,003
Sopron	0,004	0,003	0,000	0,005	0,008
Szarvas	-0,001	0,001	-0,006	-0,004	0,006
Szeged	-0,009	-0,007	-0,013	-0,015	-0,003
Szombathely	0,003	0,001	0,001	0,005	0,006
Túrkeve	0,003	0,002	-0,003	0,003	0,009
Zalaegerszeg	-0,002	-0,005	-0,010	-0,002	0,005

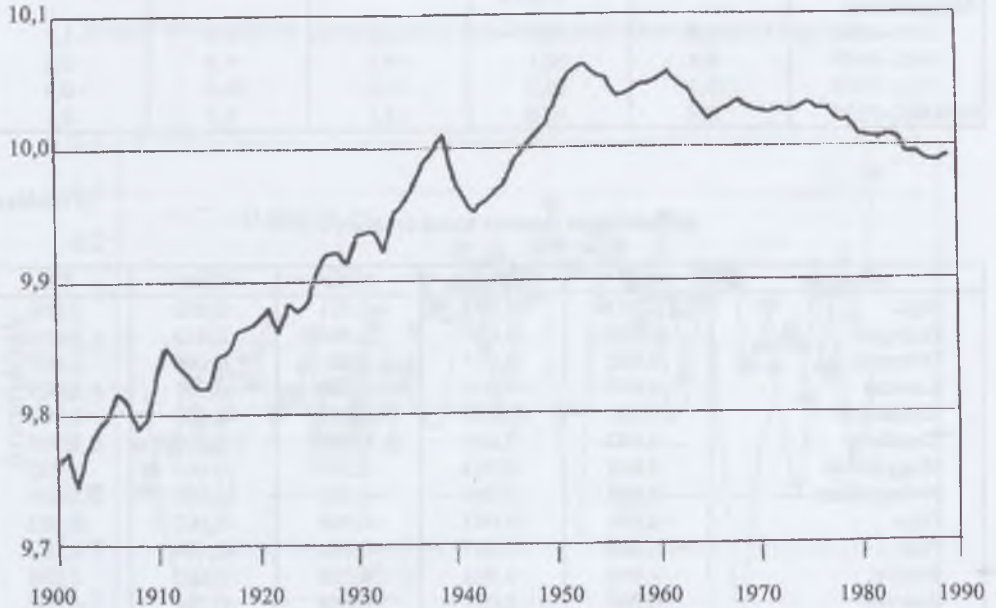
## 3. táblázat folytatása

## A hőmérséklet lineáris trendje és a mért értékek korrelációja

Allomás	Év	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
Baja	0,14	0,07	0,03	0,06	0,09
Budapest	0,47	0,26	0,22	0,29	0,28
Debrecen	0,10	0,15	0,16	0,00	0,11
Kalocsa	0,01	0,05	0,25	0,02	0,14
Kecskemét	0,10	0,06	0,31	0,09	0,08
Keszthely	0,10	0,03	0,10	0,05	0,14
Magyaróvár	0,19	0,09	0,05	0,08	0,13
Nyíregyháza	0,14	0,20	0,06	0,07	0,15
Pápa	0,11	0,07	0,27	0,04	0,05
Pécs	0,22	0,20	0,41	0,10	0,05
Sopron	0,19	0,07	0,02	0,12	0,15
Szarvas	0,03	0,02	0,20	0,09	0,10
Szeged	0,38	0,19	0,38	0,37	0,04
Szombathely	0,17	0,03	0,04	0,13	0,12
Túrkeve	0,13	0,05	0,11	0,08	0,14
Zalaegerszeg	0,10	0,10	0,29	0,04	0,09

3. ábra

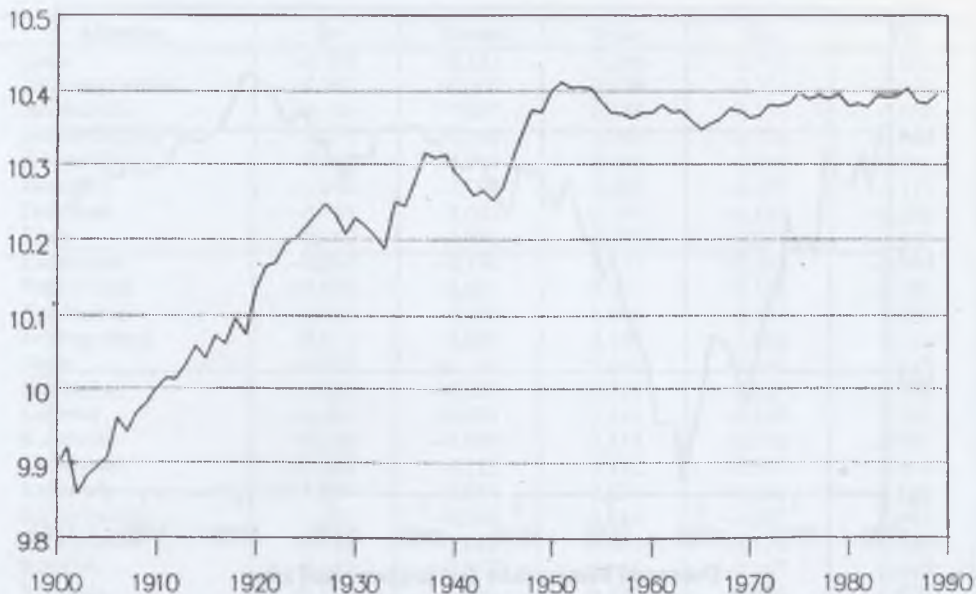
Hőmérséklet (°C)



Debreceni évi átlagos kronológikus átlag

4. ábra

Hőmérséklet (°C)



Debreceni hőmérséklet tavaszi kronologikus átlag

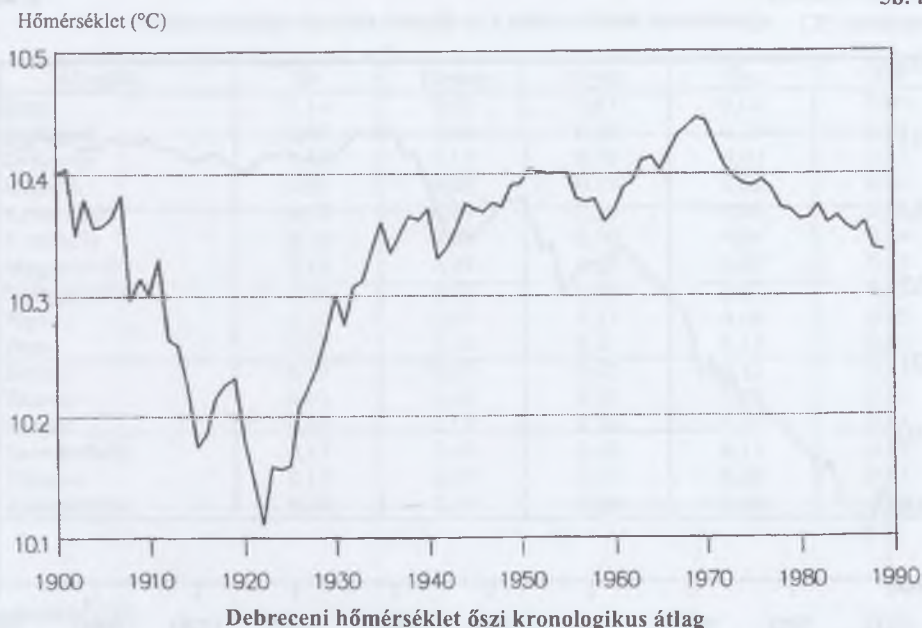
5a. ábra

Hőmérséklet (°C)



Debreceni hőmérséklet nyári kronologikus átlag

5b. ábra



4. táblázat

A csapadék évi összege, szórása (S) és a relatív változékonyság (CV) értéke

Allomás	1901–1945			1946–1990			Δ	Szignifikancia „t”
	átlag	S	CV	átlag	S	CV		
Budapest	626	120	19,2	576	108	18,8	-50	2,08+
Dunaföldvár	605	115	19,0	545	95	17,4	-60	2,70++
Fegyvernek	553	119	23,5	499	95	19,0	-54	2,38+
Felsőbabad	583	106	18,2	523	100	19,1	-60	2,76++
Keszthely	728	148	20,3	647	124	19,2	-81	2,81+++
Királyhalom	605	127	21,0	547	105	19,2	-58	2,36++
Kistelek	571	122	21,4	534	89	16,7	-37	1,66
Mohács	665	127	19,1	598	124	20,7	-67	2,53+
Nagykanizsa	817	166	20,3	724	126	17,4	-93	2,99++
Nyíregyháza	592	115	19,4	534	123	23,0	-58	2,31+
Sopron	717	130	18,1	664	115	17,3	-53	2,05+
Szakály	721	140	19,4	641	140	21,8	-80	2,71++
Szeged	577	114	19,8	494	77	15,6	-83	4,05+++
Szentes	580	122	21,0	518	92	17,8	-62	2,72++
Székesfehérvár	582	110	18,9	521	89	17,1	-61	2,89++

$t_{10\%} = 1,66$

$t_{5\%} = 1,99+$

$t_{1\%} = 2,63++$

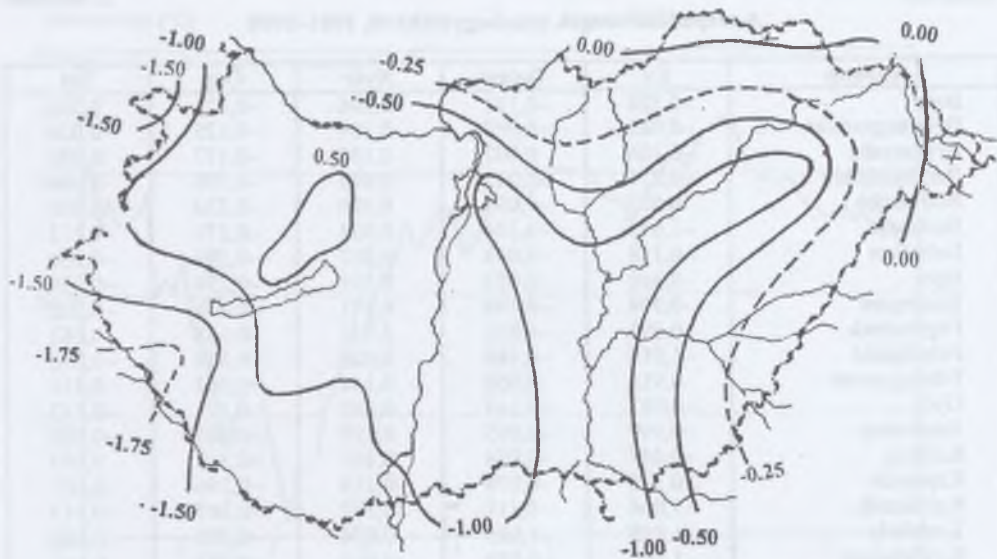
$t_{0,1\%} = 3,40+++$

5. táblázat

## A csapadékösszegek trend-együtthatói, 1901–1990

Allomás	Év	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
Baja	-0,528	-0,121	0,296	-0,326	0,066
Balassagyarmat	-0,088	-0,090	0,289	-0,125	-0,020
Békéscsaba	-0,106	0,002	0,185	-0,177	0,056
Berettyóújfalu	-0,271	-0,049	0,040	-0,108	-0,009
Bódvarákó	0,507	-0,070	0,306	-0,230	-0,016
Budapest	-1,045	-0,194	0,054	-0,273	-0,112
Debrecen	-0,158	-0,043	0,207	-0,192	-0,036
Eger	-0,360	-0,051	0,115	-0,274	-0,059
Esztergom	-0,594	-0,194	0,171	-0,248	-0,030
Fegyvernek	-0,691	-0,061	0,031	-0,168	-0,082
Felsőbabad	-1,019	-0,180	0,026	-0,333	-0,076
Fehérgyarmat	0,913	0,060	0,144	-0,062	0,110
Győr	-0,983	-0,149	0,048	-0,391	-0,143
Jászberény	-0,199	-0,095	0,198	-0,285	-0,028
Kalocsa	-0,447	-0,074	0,161	-0,317	0,053
Kaposvár	-0,378	-0,079	0,214	-0,256	-0,007
Kecskemét	-1,064	-0,111	0,192	-0,367	-0,019
Keszthely	-1,595	-1,085	0,074	-0,350	-0,089
Királyhalom	-1,203	-0,080	-0,016	-0,383	0,042
Kiskunhalas	0,932	0,040	0,181	-0,178	0,240
Kistelek	-0,659	-0,077	0,158	-0,167	0,047
Kisvárda	-0,170	-0,002	0,039	-0,074	-0,030
Lillafüred	-0,272	-0,148	0,180	-0,413	-0,018
Miskolc	-0,537	-0,006	0,065	-0,276	-0,114
Mohács	-1,354	-0,214	0,165	-0,403	-0,102
Mosonmagyaróvár	-0,674	-0,133	0,118	-0,372	-0,094
Mór	-0,104	-0,227	0,239	-0,303	0,008
Nagykanizsa	-1,931	-0,190	0,184	-0,253	-0,185
Nyíregyháza	-1,065	-0,085	0,032	-0,180	-0,088
Orosháza	0,164	-0,081	0,245	-0,120	0,042
Pápa	-0,974	-0,161	0,095	-0,366	-0,037
Pécs	-0,911	-0,154	0,243	-0,234	-0,032
Püspökladány	-0,399	-0,020	-0,117	-0,127	-0,018
Putnok	-0,092	-0,001	0,113	-0,271	-0,081
Salgótarján	-0,139	-0,061	0,213	-0,139	0,009
Sopron	-1,660	-0,098	0,092	-0,380	-0,252
Szakály	-1,494	-0,089	0,051	-0,358	0,066
Szeged	-1,155	-0,158	0,023	-0,240	-0,036
Székesfehérvár	-0,774	-0,079	0,084	-0,236	-0,049
Szentés	-1,141	-0,091	0,093	-0,250	0,003
Szentgotthárd	-0,889	-0,010	0,008	-0,380	-0,127
Szombathely	-0,710	-0,005	0,204	-0,284	-0,172
Tarcal	0,530	0,035	0,177	-0,152	0,079
Terény	0,114	-0,096	0,348	-0,094	0,007
Tihany	-0,586	-0,038	0,129	-0,333	0,022
Tiszafüred	-1,008	0,111	0,135	-0,314	-0,088
Túrkeve	-0,506	0,004	-0,027	-0,155	0,003
Vilmány	-0,192	-0,031	0,192	-0,192	-0,036
Zalaegerszeg	-0,720	-0,069	0,110	-0,164	-0,076
Zirc	-0,290	-0,192	0,309	-0,416	0,042

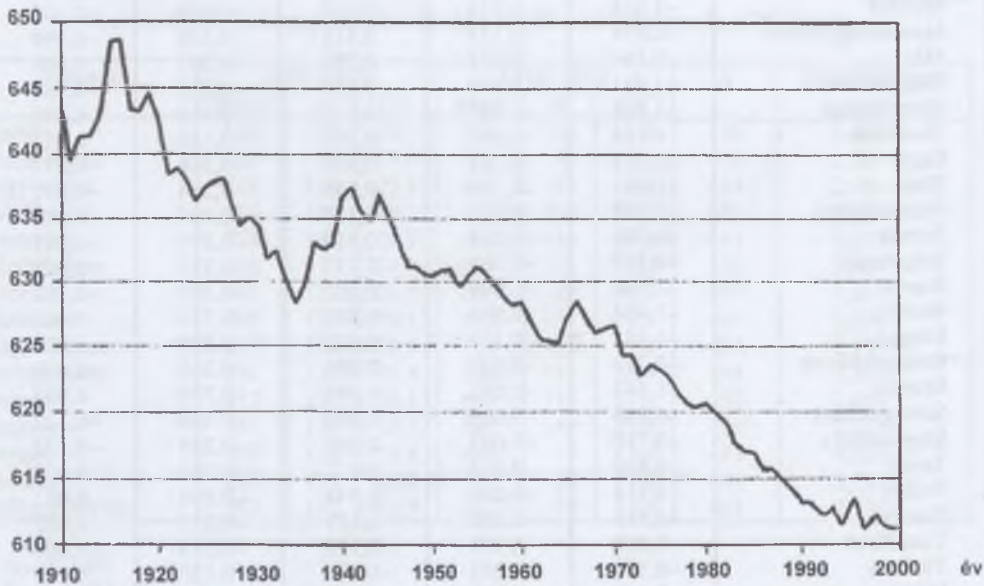
6. ábra



A csapadék évi összegei trendjének együtthatói (mm/év) (1901–90)

7. ábra

éves csapadék (mm)



Magyarország kronologikus csapadékátlagja 16 állomás adatai alapján



6a. táblázat

## A havi átlagos csapadékösszegek, szórások, CV értékek (1901–1950)

## A havi átlagos csapadékösszegek (1901–1950)

Ssz.	Allomás	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	12.
1.	Baja	34	31	39	58	67	66	54	50	50	57	59	43
2.	Budapest	39	39	43	52	69	67	50	48	45	54	61	50
3.	Debrecen-Pallag	32	32	34	45	59	69	61	60	46	53	51	41
4.	Kecskemét	27	30	34	48	58	57	51	47	50	49	52	39
5.	Keszthely	38	37	41	57	75	75	72	79	66	65	60	50
6.	Magyaróvár	37	34	38	43	66	58	65	59	52	49	52	49
7.	Nyíregyháza	32	32	33	44	61	71	65	68	46	52	50	39
8.	Pápa	36	36	40	52	67	69	74	63	64	60	52	45
9.	Pécs	39	40	46	65	69	68	60	58	56	68	67	47
10.	Sopron	36	36	41	54	73	77	94	74	69	58	55	49
11.	Szeged	32	34	38	49	60	67	50	48	46	51	50	40
12.	Szombathely	30	29	35	49	68	73	90	82	64	54	50	42
13.	Túrkeve	27	29	33	45	56	68	55	53	44	49	48	38
14.	Zalaegerszeg	39	38	43	62	74	81	87	81	70	65	59	49

## A havi csapadékösszegek szóródása (1901–1950)

Ssz.	Allomás	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	12.
1.	Baja	19,6	23,3	27,0	29,2	38,9	31,2	33,0	30,6	33,0	40,5	39,7	22,4
2.	Budapest	22,8	28,2	32,4	25,2	36,9	40,1	34,4	29,1	32,5	36,5	39,7	25,1
3.	Debrecen-Pallag	19,0	21,6	25,5	27,4	29,8	33,3	38,1	38,5	30,5	33,7	29,8	27,6
4.	Kecskemét	17,0	22,9	24,6	28,7	31,3	32,3	34,9	30,9	31,3	34,1	37,2	24,6
5.	Keszthely	20,5	27,2	29,4	33,3	35,8	41,4	46,8	45,2	35,4	45,6	36,1	25,9
6.	Magyaróvár	19,5	20,3	28,8	25,8	39,1	29,5	37,2	38,3	37,0	34,3	35,0	24,6
7.	Nyíregyháza	17,8	20,3	24,3	24,2	32,7	33,6	36,1	36,6	31,4	33,4	28,8	23,4
8.	Pápa	20,4	23,8	29,3	28,8	41,4	37,0	50,5	34,3	38,6	38,6	32,0	23,7
9.	Pécs	20,4	27,5	29,1	34,0	33,4	29,2	35,2	27,1	36,6	45,3	44,3	25,3
10.	Sopron	24,9	24,7	24,8	33,9	42,9	30,8	57,0	41,3	44,2	37,8	42,7	29,5
11.	Szeged	18,6	26,1	24,4	28,3	34,2	31,6	31,0	28,8	29,1	36,2	30,9	22,9
12.	Szombathely	20,1	22,9	28,8	27,5	37,9	34,6	41,1	41,5	37,1	33,6	32,9	27,9
13.	Túrkeve	14,3	20,3	22,8	25,1	33,0	32,8	35,9	34,6	30,7	35,5	28,0	25,6
14.	Zalaegerszeg	23,0	28,6	30,5	33,3	42,6	35,7	53,7	49,3	42,0	42,6	40,9	29,2

## A variációs koefficiens havi értékei (1901–1950)

Ssz.	Allomás	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	12.
1.	Baja	58	75	69	50	58	47	61	61	66	71	67	52
2.	Budapest	59	72	75	48	54	60	69	61	72	68	65	50
3.	Debrecen-Pallag	59	68	75	61	51	48	62	64	66	64	58	67
4.	Kecskemét	63	76	72	60	54	57	69	66	62	7	72	63
5.	Keszthely	54	74	72	59	48	55	65	57	54	70	60	52
6.	Magyaróvár	53	60	76	60	59	51	57	65	71	70	67	50
7.	Nyíregyháza	56	64	74	55	54	47	56	54	68	64	58	60
8.	Pápa	57	66	73	55	62	54	68	55	60	64	62	53
9.	Pécs	52	69	63	52	48	58	59	47	65	67	66	54
10.	Sopron	69	69	61	63	59	40	61	56	64	65	78	60
11.	Szeged	58	77	64	58	57	47	62	60	63	71	62	47
12.	Szombathely	67	79	82	56	56	47	46	51	58	62	66	67
13.	Túrkeve	53	70	69	56	59	48	65	65	70	72	58	67
14.	Zalaegerszeg	59	75	71	54	58	44	62	61	60	65	69	60

6b. táblázat

## A havi átlagos csapadékösszegek, szórások, CV értékek (1951–2000)

## A havi átlagos csapadékösszegek (1951–2000)

Ssz.	Allomás	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	12.
1.	Baja	34	36	33	47	59	79	58	55	44	40	55	52
2.	Budapest	37	34	32	41	62	70	55	52	41	39	59	48
3.	Debrecen	33	32	29	44	59	77	60	58	38	33	45	45
4.	Kecskemét	29	29	28	41	55	67	54	45	37	34	49	44
5.	Keszthely	31	32	36	47	62	81	79	64	56	46	62	48
6.	Magyaróvár	33	33	36	43	54	66	69	57	45	43	53	44
7.	Nyíregyháza	28	30	26	41	52	75	63	56	44	35	43	41
8.	Pápa	33	28	34	44	56	74	71	67	56	46	57	42
9.	Pécs	36	34	34	54	62	83	67	61	53	44	58	48
10.	Sopron	31	29	43	50	73	92	79	70	59	50	55	40
11.	Szeged	28	27	28	40	52	66	53	51	37	31	43	43
12.	Szombathely	25	23	35	42	68	79	80	69	55	49	51	34
13.	Túrkeve	33	32	30	41	60	71	55	49	41	32	48	46
14.	Zalaegerszeg	31	31	42	52	72	86	84	74	64	54	63	45

## A havi csapadékösszegek szóródása (1951–2000)

Ssz.	Allomás	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	12.
1.	Baja	20,3	23,6	17,3	19,4	31,6	40,6	40,2	37,8	36,2	33,7	35,2	30,2
2.	Budapest	20,7	26,1	17,2	21,0	34,9	37,4	32,0	42,6	31,0	34,8	38,4	28,1
3.	Debrecen	18,4	19,0	18,5	19,4	34,9	40,0	33,5	37,8	28,9	30,0	27,5	22,9
4.	Kecskemét	18,1	20,8	16,5	19,6	31,6	36,7	31,0	29,2	27,8	30,9	32,5	24,2
5.	Keszthely	17,8	22,0	21,1	28,9	29,5	40,3	47,5	39,9	35,5	35,6	35,2	27,0
6.	Magyaróvár	19,9	22,2	19,9	26,0	30,0	36,3	44,4	32,2	29,4	30,2	30,6	22,9
7.	Nyíregyháza	18,5	22,5	16,6	20,7	25,7	46,1	40,6	33,9	34,8	32,8	26,2	23,2
8.	Pápa	19,3	22,2	15,6	25,6	28,6	35,4	41,4	35,5	37,9	35,0	34,2	23,2
9.	Pécs	21,8	20,7	16,6	29,5	30,6	38,9	40,9	35,4	40,3	32,5	37,2	29,2
10.	Sopron	19,5	18,9	23,4	33,6	42,8	42,3	43,7	38,9	38,4	35,2	30,1	22,5
11.	Szeged	17,9	19,7	18,0	18,8	33,4	36,3	32,9	31,4	25,7	27,7	29,7	27,8
12.	Szombathely	15,9	15,2	16,3	26,3	35,7	32,3	39,0	30,6	29,2	38,1	28,2	16,9
13.	Túrkeve	20,9	19,7	19,5	20,2	35,8	36,7	33,2	33,2	30,0	29,9	35,2	26,3
14.	Zalaegerszeg	20,2	21,5	22,1	29,8	32,6	45,3	43,5	42,1	34,7	41,9	34,4	26,4

## A variációs koefficiensek havi értékei (1951–2000)

Ssz.	Allomás	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.	10.	11.	12.
1.	Baja	60	66	53	41	53	51	69	69	83	84	64	58
2.	Budapest	55	76	53	51	56	53	58	83	76	90	65	59
3.	Debrecen	56	60	63	44	59	52	56	66	75	90	61	51
4.	Kecskemét	63	73	60	47	57	55	57	64	74	92	66	55
5.	Keszthely	56	68	58	61	48	50	60	62	63	77	57	56
6.	Magyaróvár	60	68	55	61	56	55	64	56	65	71	58	52
7.	Nyíregyháza	66	76	63	50	49	61	64	60	79	93	61	57
8.	Pápa	60	78	46	58	51	48	58	53	68	77	60	55
9.	Pécs	61	61	49	55	49	47	61	58	76	74	64	61
10.	Sopron	63	65	55	67	59	46	55	56	65	70	55	57
11.	Szeged	64	72	65	47	64	55	63	62	70	90	69	65
12.	Szombathely	65	67	47	63	53	41	49	44	53	78	56	50
13.	Túrkeve	64	63	65	49	60	52	61	67	72	94	73	58
14.	Zalaegerszeg	66	70	53	57	45	53	52	57	54	78	55	58

7a. táblázat

## Átlagos csapadékösszegek évszakonként (1901–1950)

	Átlagos csapadékösszegek			
	Tél	Tavasz	Nyár	Ősz
Békéscsaba	101,1	141,0	177,0	141,0
Budapest	128,1	164,1	165,0	155,1
Debrecen	105,0	138,0	189,9	150,0
Eger	99,0	146,1	191,1	153,0
Győr	123,0	150,0	182,1	158,1
Jászberény	87,9	135,0	159,9	138,0
Kalocsa	112,5	150,0	152,1	138,0
Kecskemét	96,0	140,1	155,1	150,9
Magyaróvár	120,0	147,0	182,1	153,0
Nagykanizsa	150,9	203,1	234,9	216,9
Nyíregyháza	102,9	138,0	204,0	157,8
Pécs	126,0	180,0	186,0	126,0
Szeged	105,9	147,0	165,0	147,0
Zalegerszeg	126,0	179,1	249,0	194,1

	Tél		Tavasz		Nyár		Ősz	
	s	CV	s	CV	s	CV	s	CV
Békéscsaba	36,3	35,9	49,6	34,8	85,3	26,6	49,5	35,1
Budapest	50,9	39,8	53,6	32,7	93,1	28,1	65,7	41,0
Debrecen	43,9	41,8	51,5	37,2	93,2	27,8	48,0	32,0
Eger	45,3	45,8	46,4	31,8	90,3	25,7	56,2	26,7
Győr	42,3	34,7	50,5	33,7	103,9	29,8	65,9	42,2
Jászberény	37,7	42,8	54,9	40,7	96,0	30,7	53,2	38,6
Kalocsa	40,1	35,8	41,1	27,4	76,8	23,2	64,0	40,8
Kecskemét	42,8	44,6	44,4	31,7	88,4	28,4	53,4	35,4
Magyaróvár	39,5	32,9	53,2	36,2	90,5	26,4	61,6	40,2
Nagykanizsa	65,2	43,2	65,7	32,4	121,4	26,4	89,9	41,4
Nyíregyháza	45,7	44,4	45,6	33,3	90,5	25,5	54,0	36,5
Pécs	43,4	34,4	54,1	30,1	92,9	24,7	71,8	37,6
Szeged	38,9	36,7	52,0	35,4	84,0	26,3	57,8	39,3
Zalegerszeg	54,4	43,2	48,4	27,0	115,9	25,5	77,2	39,8

## Átlagos csapadékösszegek évszakonként (1951–2000)

	Átlagos csapadékösszegek			
	Tél	Tavasz	Nyár	Ősz
Baia	121,1	139,0	191,8	139,2
Budapest	119,4	136,2	176,6	138,1
Debrecen	109,7	133,0	194,0	117,0
Kecskemét	100,9	124,1	166,7	120,1
Keszthely	111,0	145,4	224,1	164,7
Magyaróvár	109,6	132,7	192,9	140,5
Nyíregyháza	98,3	119,8	194,8	122,1
Pápa	102,9	134,3	212,2	158,4
Pécs	117,7	150,2	211,0	155,4
Sopron	100,0	166,3	241,4	163,7
Szarvas	99,7	120,4	163,5	112,1
Szeged	97,8	119,4	169,3	110,3
Szombathely	81,1	144,4	228,2	154,8
Túrkeve	109,7	130,4	174,9	120,9
Zalaegerszeg	106,6	165,8	244,0	180,1

7a. táblázat folytatása

	Tél		Tavasz		Nyár		Ősz	
	s	CV	s	CV	s	CV	s	CV
Baja	46,0	38,0	41,0	29,7	74,0	38,5	59,0	42,1
Budapest	49,0	41,2	41,0	29,8	73,0	41,1	65,0	47,0
Debrecen	38,0	34,5	42,0	31,6	81,0	41,6	52,0	44,6
Kecskemét	38,0	37,7	41,0	33,2	62,0	37,1	52,0	43,6
Keszthely	39,0	34,9	52,0	35,4	71,0	31,5	65,0	39,7
Magyaróvár	37,0	33,6	41,0	31,3	68,0	35,1	45,0	31,9
Nyíregyháza	41,0	41,6	38,0	32,1	85,0	43,7	59,0	48,0
Pápa	42,0	40,5	45,0	33,2	65,0	30,5	57,0	36,0
Pécs	46,0	38,8	51,0	34,1	72,0	33,9	70,0	44,8
Sopron	36,0	35,6	59,0	35,7	82,0	33,8	56,0	34,0
Szarvas	39,0	39,5	38,0	31,6	67,0	41,2	55,0	49,4
Szeged	43,0	43,7	40,0	33,4	64,0	38,0	50,0	45,6
Szombathely	30,0	37,1	51,0	35,1	61,0	26,7	54,0	34,7
Túrkeve	43,0	38,9	49,0	37,5	64,0	36,7	56,0	46,3
Zalaegerszeg	40,0	37,3	53,0	32,0	76,0	31,1	59,0	32,9

7b. táblázat

## Csapadékösszegek valószínűsége (M. e.: mm)

Nyár (VI–VIII.)				Nyári félév (IV–IX.)			
P%	1881–2000	1901–1950*	1951–2000	P%	1881–2000	1901–1950*	1951–2000
<b>Debrecen</b>				<b>Debrecen</b>			
Min.	59	66	59	Min.	161	164	161
90	110	110	107	90	227	205	238
75	133	131	126	75	285	276	280
50	184	182	189	50	338	344	332
25	237	249	250	25	402	414	382
Max.	510	331	510	Max.	682	526	682
<b>Szeged</b>				<b>Szeged</b>			
Min.	44	63	44	Min.	111	171	111
90	102	105	194	90	201	203	190
75	121	123	119	75	251	275	222
50	160	158	162	50	308	316	299
25	206	203	223	25	369	393	356
Max.	301	284	301	Max.	569	505	506
<b>Túrkeve</b>				<b>Túrkeve</b>			
Min.	47	47	76	Min.	143	141	144
90	90	85	88	90	245	185	202
75	130	127	111	75	256	252	243
50	164	158	162	50	312	312	295
25	220	240	240	25	392	401	367
Max.	322	375	305	Max.	590	482	552
<b>Zalaegerszeg</b>				<b>Zalaegerszeg</b>			
Min.	81	81	108	Min.	221	224	221
90	146	157	134	90	319	331	279
75	188	188	178	75	385	385	381
50	236	236	244	50	436	451	434
25	281	293	296	25	495	501	487
Max.	512	512	416	Max.	854	854	661

\* Kéri M. – Kulin I. (1953) nyomán

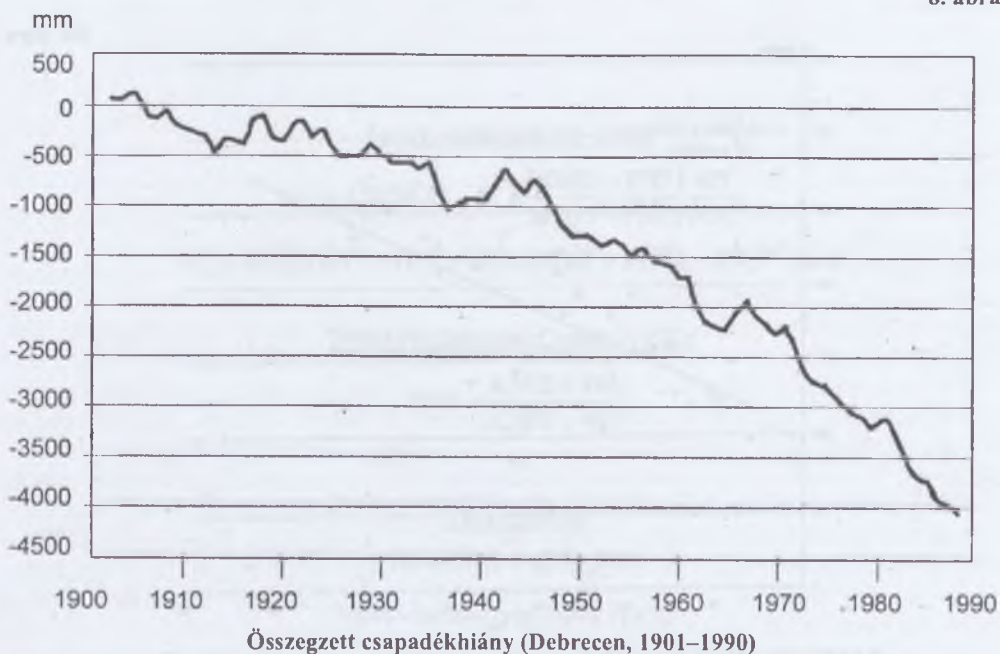
8. táblázat

## Az alacsony vízellátottság relatív gyakorisága

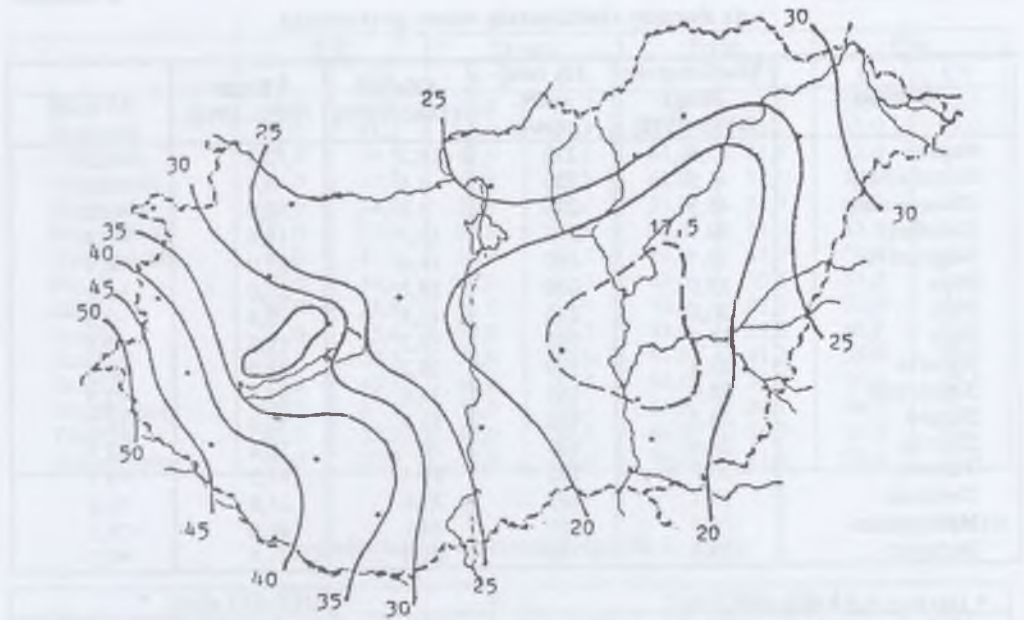
Állomás	Vízellátottság átlaga (1882–1992)	Átl. talaj- nedv. mm/m	VE $\leq$ 20* (1882–1959)	VE $\leq$ 20* (1961–1992)	$\Delta$ VE $\leq$ 20
Sopron	43,8	230	10,2	12,5	+2,3
Szombathely	41,5	225	3,8	9,4	+5,6
Zalaegerszeg	45,8	235	3,8	0,0	-3,8
Keszthely	39,7	218	10,2	15,6	+5,4
Magyaróvár	32,7	190	16,6	25,0	+8,4
Pápa	35,0	200	19,2	25,0	+5,8
Pécs	36,6	210	12,8	9,4	-2,6
Baja	31,0	195	19,2	18,8	-0,6
Kalocsa	28,4	190	28,2	21,9	-6,3
Kecskemét	24,9	165	34,6	37,5	+2,9
Szeged	24,5	160	33,3	50,0	+16,7
Szarvas	24,6	105	30,7	50,0	+19,3
Túrkeve	26,7	175	29,4	37,5	+8,1
Debrecen	31,1	185	23,0	25,0	+2,0
Nyíregyháza	31,7	185	14,1	40,6	+26,5
Budapest	29,5	180	21,8	31,3	+9,5

\* 100 évre redukált érték

8. ábra

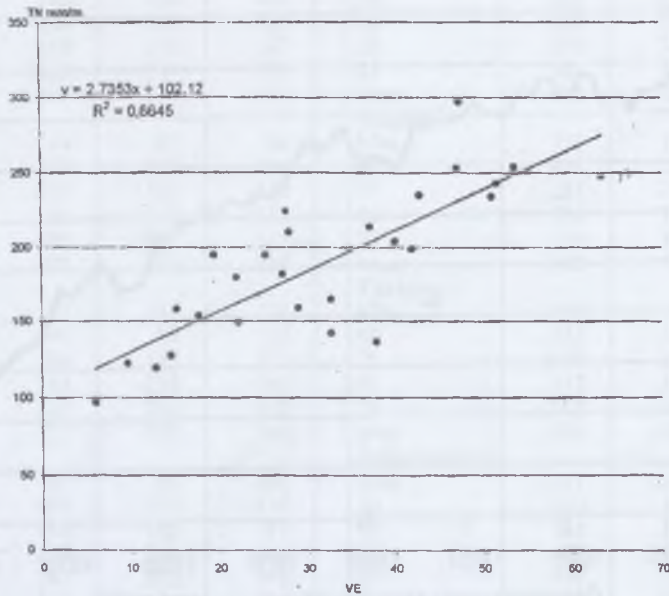


9. ábra

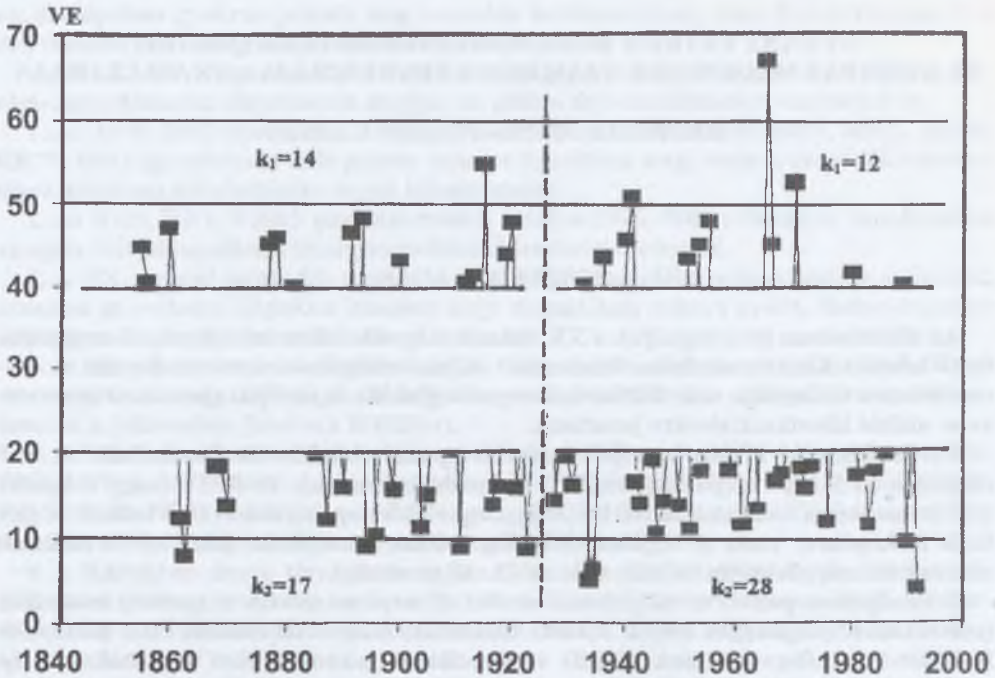


A nyári hónapok (VII–VIII.) vízellátottsági értékei (Szász-féle egyenlettel számolva)

10. ábra

A nyári vízellátottsági érték és a talajnedvesség kapcsolata (DATE Obsz.)  
(min. vízkap.: 300 mm/m)

11. ábra

Nyári vízellátottsági érték:

$$VE = f[\Sigma Cs(XI - IV)] \frac{\Sigma Cs(VI - VIII) RN}{\Sigma P_0(VI - VIII) RN_0}$$

$$\Sigma P_0 = 0.2 [\Sigma T(VI - VIII)] \sim \alpha \Sigma [0.0053(T + 21)^2 (1 - RN)^{0.67}] \text{ mm}$$

Nyári vízellátottsági index (VEX):

$$VEX = \frac{k_1(VE < 20)}{k_2(VE > 40)}$$

VEX értékei:

$$1854-1923: 14/17 = 0.82$$

Nyári vízellátottsági index (VEX)

# NÉHÁNY EXTRÉM ÉGHAJLATI PARAMÉTER GLOBÁLIS ÉS A KÁRPÁT-MEDENCÉRE SZÁMÍTOTT TENDENCIÁJA A XX. SZÁZADBAN

BARTHOLY JUDIT – PONGRÁCZ RITA

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az alábbiakban összefoglaljuk a XX. század második felére vonatkozó, 12 csapadék- és 14 hőmérsékleti extrémindex tendenciáit elemző vizsgálataink eredményeit. Az extrémindexek definíciója után különböző szerzők globális és európai elemzéseit összevetve az alábbi következtetésekre jutottunk.

1. Mindkét nagy térség trendjeit összevetve pozitív tendenciák dominálnak az Rx5 (legnagyobb 5 napi csapadék), az SDII (csapadékinzultás), az R95T (nagy csapadékok évi aránya), valamint az RR10 (nagy csapadékos napok száma) indexeknél. A globális térképeken Ázsia térségében, míg Európában a kontinens középső és délkeleti részén találunk ellentétes előjelű, azaz csökkenő trendeket.

2. Európában pozitív trend jellemzi az Rx1 (1 napi maximális csapadék) és az R75 (mérsékelt csapadékos napok száma) indexeket, melyeknél szintén csak Közép- és Délkelet-Európában találunk negatív tendenciát. E paraméterekre a globális skálán nem készült vizsgálat.

3. Az RR20 (extrém csapadékos napok száma) és az R95 (nagyon csapadékos napok száma) indexek európai vizsgálatánál egyértelmű pozitív trend mutatható ki az egész kontinensen (globális vizsgálat ezekre az indexekre nem készült).

4. Az egymást követő száraz napok száma (CDD) index globális elemzésénél Ázsia keleti partvidékét kivéve a negatív trend dominál. Ez az eddigiektől eltérő előjel ellenére nem áll ellentmondásban azok jelentésével, hiszen ez a paraméter a száraz periódusok hosszára vonatkozik. Erre a paraméterre készült ugyan európai elemzés, de a trend nem szignifikáns.

5. A globális melegedés hatása megmutatkozott a hőmérsékleti extrémindexek elemzése során. Példaként bemutattuk a fagyos napok évi számának egyértelmű csökkenő tendenciáját mind a közel 300 állomást tartalmazó globális, mind a részletesebb, 140 állomást összefogó európai hálózat adatsorai alapján.

6. A csapadéktól eltérően – ahol a tendenciák előjele és nagysága jelentős területi változékonyságot mutatott – a hőmérsékleti extrémindexek globális és európai trendjei általában egyeznek.

Az Európára és a Kárpát-medencére általunk végzett regionális vizsgálatok eredményeinek összehasonlítása alapján a következőket foglalhatjuk össze.

1. Külön vizsgáltuk az 1946–2001 és az 1976–2001 időszakokra az extrém-csapadékindexek trendjeit. Megállapíthatjuk, hogy mindkét térségben területileg egységesebb és intenzívebb trendek jelentkeznek a XX. század utolsó negyedében, mint a század második felében.

2. Elemzésünkben lehetővé tettük Európa vagy a Kárpát-medence egy, kettő (zonálisan vagy meridióálisan), illetve négy kisebb régióra való felosztását abban az



esetben, ha az állomásonként számított trendek a térségben nem homogén viselkedésűek. Európában gyakran jelenik meg a zonális kettéosztottság, azaz Észak-Európa és a déli mediterrán térség különböző tendenciákat mutat.

A CCI/CLIVAR munkacsoport ajánlásai alapján a Kárpát-medencére végzett extrém-csapadékindex elemzéseink alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le.

1. Az 1976–2001 időszakban a vizsgált indexek csaknem felénél (SDII, R95T, RR20, RR75, R95) egyenletesen erős pozitív trendet figyeltünk meg, mely a csapadékextrémítások általános növekedésére enged következtetni.

2. Az RR5, RR1, RR0.1 paramétereknél a teljes 1946–2001 időszakra vonatkozóan az egész Kárpát-medence térségére csökkenő tendencia jellemző.

3. A XX. század negyedik negyedében a nagy csapadékú napok száma csökkent, azonban az ezeken a napokon lehullott nagy csapadékok aránya az évi, illetve évszakos összeghez viszonyítva jelentősen megnövekedett.

4. A Kárpát-medence térségében a XX. század időszakában vizsgált hőmérsékleti extrémindexek nagy többségére a teljes negyven évet tekintve melegedésre utaló tendenciák a jellemzőek (kivéve a HWDI-t).

5. A XX. század második fele két egymástól eltérő tendenciájú időszakra bomlik: 1961–1975 és 1976–2001. Az extrémindexek többségénél (HWDI, Tx90, SU, Tx30GE, Tx35GE, Tn20LT) a hetvenes évek közepéig hűlésre utaló tendenciák érvényesültek, majd ezt követően napjainkig melegedést regisztrálhatunk.

6. A Kárpát-medence térségének egyik állomásán sem vitatható egyik extrém hőmérsékleti paraméter esetén sem az erős növekedő tendencia. A legintenzívebb növekedési arányokat (általában évtizedenként több mint 6 napos nagyságrenddel) a meleg éjszakák aránya (Tn90), a meleg napok aránya (Tx90), a nyári napok száma (SU), a hőségnapok száma (Tx30GE) és a hóhullámok hossza (HWDI) indexeknél találtunk.

## BEVEZETÉS

A globális felmelegedés következtében a szélsőséges éghajlati események regionális skálán bekövetkező gyakorisági vagy intenzitásbeli változásai lényeges szerepet játszanak az éghajlati rendszer ökológiai és társadalmi rendszerekre gyakorolt hatásaiban. Így a klimatológiai extrémumokban nyomon követhető módosulások alapvetően meghatározzák ezen rendszerek alkalmazkodóképességét. Kutatásainkban napi maximum-, minimum- és középhőmérsékletek, valamint a napi csapadékösszegek alapján arra a keressük a választ, hogy a XX. század során történt-e a szélsőséges klímaeseményekben detektálható változás a Kárpát-medence térségében.

Cikkünkben először definiáljuk a szélsőséges éghajlati eseményeket jellemző legfön-

tosabb extrémindexeket az 1990-es évek végén nemzetközi összefogással alakult WMO-CCI/CLIVAR munkacsoport ajánlásai alapján. Majd összefoglaljuk ezek globális, európai, valamint a Kárpát-medencére vonatkozó tendenciáit a XX. század második felére. A vizsgálatainkban szereplő extrémindexek a következők: hóhullámok hossza (HWDI), vegetációs periódus hossza (GSL), éves hőmérsékleti ingás (ETR), hideg napok évi aránya (Tx10), meleg napok évi aránya (Tx90), hideg éjszakák évi aránya (Tn10), meleg éjszakák évi aránya (Tn90), fagyos napok száma (FD), nyári napok száma (SU), hőségnapok száma (Tx30GE), forró napok száma (Tx35GE), túl meleg éjjelek száma (Tn20GT), téli napok száma (Tx0LT), zord napok száma (Tn-10LT), egymást követő száraz napok száma (CDD), 1 napi maximális csapadékmennyiség (Rx1), legnagyobb 5

napi csapadékösszeg (Rx5), csapadékintenzitás (SDII), nagy csapadékok évi aránya (R95T), nagy csapadéku napok száma (RR10), extrém csapadéku napok száma (RR20), mérsékelt csapadékos napok száma (R75), nagyon csapadékos napok száma (R95), 5 mm-nél nagyobb csapadéku napok száma (RR5), 1 mm-nél nagyobb csapadéku napok száma (RR1), 0,1 mm-nél nagyobb csapadéku napok száma (RR0.1).

A Kárpát-medencére vonatkozó trendelemzések alapján a XX. század második felében a hőmérsékletben egyértelműen megjelenik a melegedő tendencia, s a csapadékextrémumok gyakorisága és mértéke szintén egyértelmű növekvő tendenciát mutat, ezzel szemben a teljes lehullott csapadék mennyisége csökken.

A nemzeti meteorológiai szolgálatok általában csak az adott országra, illetve régióra követik az éghajlati paraméterek átlagos menetét, s az extrémértékek tendenciáit. Az egész Földre egyértelműen az 1995-ös IPCC jelentés deklarálta elsőként, hogy a XIX. század második felétől antropogén eredetű globális klímaváltozás következett be, mely napjainkra a Föld évi felszíni középhőmérsékletét 0,7 °C-kal emelte meg. Ugyanez a jelentés tűzte ki célul az extrém hőmérsékleti és egyéb éghajlati paraméterek változásának vizsgálatát, melyek esetlegesen az átlaghőmérséklet változásával szintén módosulnak. Ha az emberi társadalmakra és a különböző ökoszisztémákra az átlaghőmérsékletek eltolódásának vannak hatásai, akkor értelemszerűen az extrémértékek megváltozásának akár hatványozott következményei is lehetnek ezekre a rendszerekre. Ennek jegyében szerte a világon számos nagyobb térségre vonatkozó klíma-extrém vizsgálat indult (pl.: *Nicholls et al., 1996; Folland et al., 2000; Easterling et al., 2000; Klein Tank – Wijngaard, 2000*), melyek egy széleskörű nemzetközi összefogáshoz vezettek (*Peterson et al., 2002*). 1997. június 3–6. között került sor az amerikai Észak-Karolina állambeli Asheville-ben az *Éghajlati extrémumok indexei és indikátorai* című munkakon-

ferenciára (*Karl et al., 1999*), melynek fő céljai között szerepelt annak meghatározása, hogy milyen egységes adatbázis és milyen extrémindexek lennének legalkalmasabbak az éghajlati extrémumok változékonyságának vagy esetleges nagytérségű tendenciáinak vizsgálatára. Ezt követően, 1998-ban alakult meg a WMO-CCI/CLIVAR közös munkacsoportja (*Working Group on Climate Change Detection* néven), mely már a globális és regionális éghajlati változások detektálását tűzte ki céljául. A teljes munkacsoport részfeladatonként (az optimális extrémindexek meghatározása, hőmérsékleti és csapadék extrémumok idősorainak elemzése, viharok és egyéb veszélyes szélsőséges időjárási események elemzése stb.) kisebb alcsoportokban nemzetközi szakembergárda bevonásával tevékenykedik.

E cikk első fejezetében a fenti munkacsoport kezdeményezésére létrejött globális és európai egyesített adatbázisokon végzett kutatások eredményeit foglaljuk össze, összehasonlítva az extrémindexek tendenciáit, illetve paraméterenként kiemelve az általános trendektől eltérő térségeket. A második fejezetben az Európára és az általunk hasonló módszertannal a Kárpát-medencére végzett részletes vizsgálatokat hasonlítjuk össze, az alfejezetek közül kettő a csapadék-idősorok extrémindexeinek tendenciáit elemzi, egy pedig a hőmérsékletre vonatkozó extrémindexek vizsgálatát tárgyalja. Végül a harmadik fejezetben összefoglalásként a legfontosabb következtetéseket emeljük ki.

## AZ EXTRÉM KLÍMAINDEXEK BEMUTATÁSA, GLOBÁLIS ÉS EURÓPAI ANALÍZISEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Az extrémindexekkel foglalkozó CCI/CLIVAR munkacsoport az adatbázis-építés során megkereste a nemzeti meteorológiai szolgálatokat, s összegyűjtötte a legfontosabb éghajlati paraméterek – a napi maximum-, minimum- és középhőmérsékle-

tek, valamint a napi csapadékösszegek – idősorait az 1946–1999 időszakra. Az így létrejött, egész Földre vonatkozó egyesített adatbázis forrásai közt a nemzeti szolgáltatóktól gyűjtött adatok mellett nagy súllyal szerepeltek az amerikai NOAA NCDC (Amerikai Éghajlati Adatközpont) által korábban összeállított adatsorok (Peterson – Vose, 1997), az európai ECA (Európai éghajlati értékelés) projekt keretében elkészített adatbázis (Klein Tank et al., 2002a; 2002b), valamint az Ausztrál Meteorológiai Szolgálat adatbázisa (Trewin, 1999). Az adatokon végzett minőségellenőrzési és inhomogenitási szűrések után minden állomásnál egyedi elbírálás alapján dönt el, hogy bekerülhet-e az adatbázisba az adott állomás idősora vagy sem. Az elbírálás általános szempontjai alapján az az állomás került be az adatbázisba, ahol az 1946–1999-es időszak minimum 40 évéből volt adat, valamint az alábbi három feltétel is teljesült: (i) összességében nem hiányzott az adatok több mint 10%-a, (ii) egy-egy évből nem hiányzott 20%-nál több, (iii) évenként 3 hónapnál hosszabb összefüggő adathiány nem volt.

Mind a globális, mind az Európára vonatkozó vizsgálatoknál a rácspontokra interpolált térképes megjelenítést elvetette a munkacsoport, hiszen egy-egy régió extrém viselkedése (pl.: kisebb területek árvizei, aszályai, hőhullámok, lokálisan nagy hidegek) az interpoláció alkalmazásával eltűnhetne. Ennek megfelelően ebben a cikkben is az állomásonkénti ábrázolást követtük.

A több éves nemzetközi kutatómunkának globális és Európára vonatkozó átfogó eredményei először 2002–2003-ban jelentek meg, melyekről e cikk is rövid áttekintést ad. Az 1. táblázatban összefoglaljuk a Ccl/CLIVAR extrémindex munkacsoport ajánlásában szereplő azon fontosabb paraméterek definícióit, melyekre vagy a globális, vagy az európai, vagy pedig a Kárpát-medencére végzett vizsgálatok megtörténtek. Az 1. táblázatban szereplő 26 paraméter közül 10-re készült értékelés az egész Földre vonatkozóan (Frich et al., 2002), míg Európára 13

index elemzése készült el (Klein Tank – Können, 2003). A Kárpát-medencére általunk végzett elemzés az 1. táblázat mind a 26 paraméterére elkészült. Ebben a szakaszban csak a globális és európai vizsgálatok eredményeivel foglalkozunk.

Példaképpen az extrémindexek közül a fagyos napok ( $T_{\text{min}} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) számának megváltozására készített elemzéseket mutatjuk be az 1–3. ábrákon. Míg az 1. és 2. ábra a globális, addig a 3. ábra az európai elemzés része.

Az 1. ábra a fagyos napok számának a teljes Földre vonatkozó tendencia analizisét mutatja be a XX. század második felére. A térképen az állomások földrajzi helyénél megjelenő kitöltött körök színe a változás előjelére (a szürke a negatív, a fekete a pozitív irányú), míg a körök négyféle mérete a változás mértékére utal. Az üres karikák a nem szignifikáns változást mutató állomásokat jelölik. A XX. század két időszaka, az 1946–1975 és az 1976–1999 közötti változás %-ban kifejezett mértéke jelenik meg a térképen. Az ábra nagyszámú szürke kitöltött karikája alapján, valamint hogy fekete kör szinte nincs is, egyértelműen arra következtethetünk, hogy a vizsgált időszakban a fagyos napok száma jelentős mértékben csökkent. A 2. ábra a fagyos napok számának globális éves anomáliáit mutatja grafikon formájában. Az 1961–1990-es normálértékhez viszonyítva ugyancsak %-ban kifejezve láthatjuk a változások évenkénti értékeit az 1950–1999 időszakban. A görbére illesztett lineáris trendfüggvény a teljes időszakra vonatkozó tendencia jobb megjelenítését szolgálja. Az ábra jobb felső sarkába illesztett kis grafikon a vizsgálathoz használt állomások számának éves értékeit mutatja, mely az időszak legelején és legvégén lévő adathiányoktól eltekintve egyenletesen 300 körül van.

A 3. ábra a vizsgált extrémindex európai tendencia analizisét mutatja. A fagyos napok számának évtizedenkénti átlagos változásai jelennek meg állomásonként a térképen az 1946–1999 időszakra. Itt is egyértelmű a

negatív trend. Összefoglalásképpen elmondhatjuk, hogy az adott időszakban a fagyos napok száma jelentős mértékben lecsökkent a XX. század végére, mindkét vizsgált térségben.

A 2. táblázatban összefoglaltuk a Földre (Frich et al., 2002 munkája alapján) és Európára (Klein Tank – Können, 2003 munkája alapján) végzett extrémindex elemzésekben az 1946–1999 közötti időszakra meghatározott trendeket. A táblázatban az adott indexeknél megjelenő „+”, „-” és „0” jelek rendre az időszak növekvő, csökkenő, illetve nem szignifikáns trendjére utalnak. Dupla jelek az erős, nagy meredekségű trendeket jelentik. Amikor megosztott jelek jelennek meg (pl.: -/+, +/-, vagy +/-0), az minden esetben a vizsgált térség nem homogén viselkedésére hívja fel a figyelmet, és itt az általánostól eltérő trendű földrajzi térségeket is mindig felsoroltuk. A globális és európai trendek leggyakrabban megegyeznek, s csak néhány kisebb terület tendenciája tér el ettől. Globálisan nem számottevő, de számunkra lényeges különbségeket találunk az SDII-nél (napi csapadékontenzitás index) és az R95T-nél (nagyon csapadékos napok csapadékösszegének évi aránya a normálidőszakhoz viszonyítva). Ugyanis mindkét paraméter mind a két térségre növekvő trendet mutat, de a hazánk régiójában egyik esetben sincs szignifikáns trend. Az általunk végzett részletesebb elemzés (melyet a következő fejezetekben mutatunk be) egyik célja, hogy pontosabb regionális eredményeket kapjunk a mi érdeklődésünk közép-pontjában álló Kárpát-medence térségére.

### A KÁRPÁT-MEDENCÉRE ÉS EURÓPÁRA SZÁMÍTOTT EXTRÉMINDEXEK TENDENCIÁINAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Amennyiben a XXI. századra is kitekintést kívánunk adni a fontosabb éghajlati paraméterek alakulásáról, úgy a Kárpát-medencére végzett regionális tendencia-

elemzéseinket célszerű összehasonlítani néhány Európára, vagy még ennél is nagyobb térségre vonatkozó modellbecsléssel, illetve más szerzők mérési adatokon alapuló vizsgálatainak eredményeivel. Elsőként *Giorgi és Francisco (2000)* munkáját tekintjük át, mely a Föld szárazföldi körzeteire modelleredmények alapján elemzi a regionális hőmérsékletek és csapadékösszegek 1961–1990 közötti értékeihez viszonyított megváltozását. E vizsgálatokban a nemzetközi szakirodalom által öt legmegbízhatóbbnak ítélt AOGCM (légkör-óceán globális cirkulációs modell) szcenáriónkénti eredményeit értékelték. Az öt modell felhasználásával elkészítették a XIX. század végétől a XXI. század végéig terjedő időszakra az előrejelzéseket a kontinensekre. A szárazföldi területeket összesen 23 régióra osztották fel, melyek közül kettő fedi le Európát: Észak-Európa (NEU) és a Földközi-tenger térsége (MED).

A 4. ábra összefoglalja a csapadékra, illetve a hőmérsékletre vonatkozó modelleredményekből a 2071–2100-ra várható változások erősségét, előjelét, s konzisztenciáját. Az ábrán régióként különválasztva láthatjuk a téli (december–január–február) és a nyári (június–július–augusztus) évszakra várható változásokat, valamint a modellek GG és GS szcenárióit (a GG csak az üvegházhatású gázok koncentrációváltozását, a GS viszont az üvegházhatású gázok mellett az aeroszolok hatását is figyelembe veszi). A kis négyzetekben megjelenő „+”, vagy „-” jelek nagysága az 1961–1990-es referencia időszakhoz viszonyított változás erősségét jelölik. Hasonlóan, ha a mező fekete vagy szürke, úgy rendre jelentősebb vagy csekélyebb mértékű a várható változás. A „0” jelenti a normálidőszakkal megegyező éghajlati viszonyokat, míg „i”-vel a modelleredményekben megjelenő nagy különbségeket jelöltük. A baloldali ábrán mindkét szcenárióra látható a téli csapadékösszegek jelentős emelkedése az északi régióban, s kisebb mértékű csökkenése a Földközi-tenger térségében a nyári időszakban. Az

északi körzet nyári, s a déli körzet téli időszakában az öt modell becslései inkonzisztensek a GG scenárió esetére, míg a GS becslések nem mutatnak változást. A hőmérséklet esetén mindkét európai régióban mindkét évszak mindkét scenáriójára egyértelmű növekvő tendencia várható, kivéve az északi (NEU) térség téli GG becslését, mikor a modelleredmények nem konzisztensek. Ezen háttérinformációk ismeretében nézzük meg külön-külön a csapadék és a hőmérséklet Kárpát-medencére vonatkozó 26 extrémindexének tendenciáit, s ellenőrizzük konzisztenciájukat a fenti, s az európai extrémindexekre végzett *Klein Tank és Können (2003)* vizsgálattal összevetve.

### A csapadékra vonatkozó extrémindexek összehasonlító elemzése

A Kárpát-medence csapadék-extrémindex analíziséhez használt 31 hazai és külföldi állomás elhelyezkedését, földrajzi paramétereit az 5. ábrán mutatjuk be. Az általunk összeállított adatbázisban a 10 külföldi állomás adatsorainak forrása a szabad hozzáférésű európai idősorokat tartalmazó *ECA (Klein Tank, 2003)* adatbázis (melynek honlapjáról a kiválasztott adatok korlátozás nélkül letölthetők), míg a 21 hazai állomás adatsorait az Országos Meteorológiai Szolgálat Archivumából vásároltuk. Az állomások válogatásánál két szempontot vettünk figyelembe: teljesüljön a domborzati és éghajlati homogenitási viszonyokhoz igazodó egyenletes területi lefedettség, valamint a kiválasztott idősorokban lehetőleg minimális legyen az adathiány.

A 6. ábrán – melyen az állomásonkénti adathiányoknak a teljes idősorhoz viszonyított százalékos értékei jelennek meg – látható, hogy a fenti szempontok egyikét sem tudtuk maradéktalanul érvényesíteni. Adatbázisunkba a napi csapadékösszeg idősorokat az 1901–2001 időszakra gyűjtöttük össze. E szakaszban az európai vizsgálatok eredményeivel (*Klein Tank et al., 2002a*;

*Klein Tank – Können, 2003*) való összehasonlításához csak az 1946–2001 időszakot használtuk, mivel az európai (és a hazai) adatbázisban eleve meglévő század eleji hiányosságok behatárolták az elemzéseket. A 6. ábrán bemutatjuk az egyes állomások értékes adatainak arányát a teljes évszázadra, s a XX. század második felére vonatkozóan egyaránt. Ezt jelölik az állomásoknál megjelenő kettős karikák, ahol a világosszürke alsó korong az 1901 és 2001 közötti teljes időszakra, míg az azt takaró felső sötétebb rész az 1946 utáni időszakra adja meg az adathiány mértékét.

E fejezetben a XX. század második felének két részidőszakára (1946-tól és 1976-tól) végeztünk összehasonlító elemzéseket a Kárpát-medencére és Európára. A 3. táblázatban összefoglaljuk a 12 extrém-csapadékindex trendjeinek területi eloszlását. Az állomásokra meghatározott évtizedes skálájú trendegyütthatók előjele és nagysága alapján a trendek szerkezeti képét vázoljuk a kis térképeken. A teljesen homogén mezőknél a térkép közepére helyeztett egyetlen előjel mutatja a változás irányát, a komplexebb esetekben kettő, illetve négy jel utal a regionális trendek területi elhelyezkedésére. A térképeken megjelenített előjelű változások mértékét a térkép alatti három kategóriával (gyenge, közepes, erős) jeleztük. Előzetes vizsgálatok alapján (*IPCC, 2001*) a XX. század utolsó negyedének tendenciái mind a csapadék, mind a hőmérséklet esetén jelentősen eltérnek az évszázados trendektől. Ezért választottuk vizsgálatunk két célidőszakának az 1946–2001 (illetve Európa esetén 1946–1999), s az 1976–2001 (illetve Európa esetén 1976–1999) közötti periódust.

A 3. táblázatban összegzett térképek alapján nagyon kevés olyan extrém-csapadékindex van, ahol mindkét időszakban egységesen pozitív vagy negatív tendencia jelenik meg mind a két térségben. Elsőként együttes hatásukban tekintjük a 12 extrém-csapadékindex tendenciáit, s a trendelőjelek területi súlyozott összegeit hasonlítjuk össze (a szárazságot jellemző CDD indexet ellen-

tetés előjellel figyelembe véve). Míg a Kárpát-medencében az elmúlt 56 évben csökkent a csapadékextremitás mértéke, addig az elmúlt 26 évben a szélsőséges csapadékok összességében növekedtek. Az európai kontinens egészén mindkét vizsgálati időszakban ezzel ellentétes tendenciák figyelhetők meg, azaz az utolsó négy és fél évtizedben növekedett, illetve az utolsó két és fél évtizedben csökkent a csapadékextremitási trend.

Mindössze két paramétert emelünk ki példaként a 3. összehasonlító táblázatból, melyeket a továbbiakban részletesebben elemezünk. A 7. ábrán a XX. század utolsó negyedére a 10 mm-t meghaladó nagy csapadékú napok számának (RR10) összehasonlítását láthatjuk Európa és a Kárpát-medence térségére. Az állomásokhoz helyezett körök az 1961–90-es referencia-időszakhoz viszonyított évtizedes trendek előjelét és erősségét jelenítik meg: a sötétebb szín a pozitív, a világosszürke a negatív trendeket jelöli; a körök mérete pedig a jobb oldalt látható kategóriák szerint az eltérések nagyságával arányos. Jól látható az európai térség megosztottsága: az északi területeken a nagy csapadékú napok száma az utolsó két-három évtizedben növekedett, míg a Földközi-tenger vidékén csökkent. A Kárpát-medence a két régió határterületén helyezkedik el, s a részletesebb vizsgálatokat tartalmazó térképből kiténik, hogy csak néhány délebbre fekvő állomás esetén jelenik meg a negatív tendencia. Az abszolút értékben 0,4-nél nagyobb trendegyütthatók 95%-os szinten szignifikánsak, vagyis csak a kis számú legkisebb méretű kör jelöl nem szignifikáns változást.

Az *adott csapadékú napok száma* elnevezésű paraméterek között néhány nem extrém csapadékindex is szerepel. Ilyen például az 1 mm-nél nagyobb csapadékú napok száma (RR1) index, melynek az 1961–90-es referencia-időszakhoz viszonyított értékeit elemeztük. A 8. ábra az RR1 paraméter trend-anomáliáinak területi eloszlását és időbeli menetét mutatja be a XX. század második

felére. A felső két térkép a 7. ábrához hasonló elrendezésben Európára és a Kárpát-medencére mutatja az RR1 paraméter évtizedes trendjeinek előjelét és erősségét állomásonként. Az RR10-hez hasonlóan e paraméter esetén is Európa zonálisan megosztott: északon pozitív, délen negatív tendencia jelentkezik. Az egész Kárpát-medencét itt egy erős negatív trend jellemzi, azaz az 1 mm-t meghaladó csapadékú napok számának erőteljes csökkenése látható.

A 8. ábra alsó grafikonja az RR1 index anomália idősorát mutatja a Kárpát-medencére az 1961–90-es referencia-időszakhoz viszonyítva. E grafikon jobb felső sarkában az átlagszámításhoz felhasznált értékes adattal rendelkező állomások évenkénti számát látjuk. A Kárpát-medencére vonatkozó térképhez hasonlóan e grafikon is a csapadéknapok számának egyértelmű csökkenését jeleníti meg: szembevető a görbére illesztett lineáris trend csökkenő jellege.

### A Kárpát-medence csapadékindexeinek elemzése

Az *IPCC-jelentés (2001)* feltevése szerint több régió éghajlatát, mezőgazdaságát is jelentősen befolyásoló veszélyforrás lehet a XXI. században a csapadékszélsőségek gyakoriságának növekedése. Az összefoglaló jellegű 3. táblázat alapján számos extrém csapadékindex erősen növekvő tendenciája figyelhető meg a Kárpát-medencében. Ezek az eredmények jó egyezést mutatnak korábbi vizsgálatainkkal (*Bartholy – Pongrácz, 1998; Pongrácz – Bartholy, 2000; Bartholy et al., 2003*). Különösen a vizsgált időszak második felében, az 1976 és 2001 közötti években találunk több helyen növekvő tendenciát. A nagy csapadékintenzitást, vagy a nagy csapadékot jelző extrémindexek (különösen az SDII, R95T, RR20, RR75, R95) esetén találtuk a legerősebb pozitív trendet. A 9–11. ábrákon bemutatjuk néhány erősebben változó index trendjének területi eloszlását.

A 9. ábra a 20 mm-t meghaladó extrém csapadékú napok számának (RR20) tendenciáit elemzi 1976 és 2001 között. Szembetűnő az egész Kárpát-medencét jellemző egyöntetű erős pozitív trend. Ha csupán a hazai állomásokat tekintjük, a Dunántúlon intenzívebben növekedett a 20 mm-nél nagyobb csapadékú napok száma, mint az Alföld térségében.

A 10. ábrán a nagy csapadékok évi arányának (R95T) alakulását láthatjuk a Kárpát-medencében. A bal oldali térkép a teljes XX. század második felének (1946–2001) megosztott trendjét illusztrálja, melyre a Dunántúlon enyhe csökkenő, míg a térség többi részén közepes erősségű növekvő tendencia jellemző. A jobb oldali térképen az évszázad utolsó negyedében jelentkező erős pozitív tendencia látható, mely azt jelzi, hogy a teljes év csapadékösszegeiből ( $R_{\text{total}}$ ) a nagy csapadékok formájában lehulló részarány ( $SR_{\text{nap}}/R_{\text{total}}$ ), ahol  $SR_{\text{nap}}$  az  $R_{95\%}$ -nél, azaz az 1961–90-es normál-időszak napi csapadékainak 0,95-ös kvantilisénél nagyobb napi csapadékok összege) jelentősen megnövekedett.

Végül a 11. ábra a 0,1 mm-t meghaladó csapadékú napok számának (RR0.1) alakulását mutatja a Kárpát-medencében a XX. század második felében. Bár definíciója alapján ez a mennyiség nem tartozik az extrém csapadékindexek kategóriájába, mégis szerepeltettük az „adott küszöbértéket meghaladó csapadékú napok száma” indexek között, az elemzés teljesebbé tétele érdekében. A bal felső térképen az 56 éves, a jobb felső térképen a 26 éves idősor egész évi adatai alapján határoztuk meg a tendenciákat. Az alsó két térkép az évszázad utolsó negyedére a téli (DJF) és a nyári (JJA) hónapokra külön-külön mutatja e trendeket. Mind a négy térképen közepes vagy nagy erősségű negatív trend dominál. A legerősebb évtizedenkénti trend az 1976–2001 közötti időszakban figyelhető meg a teljes évi adatok alapján, de a Dunántúli térség megosztott, erős negatív és pozitív trendek egyaránt megjelennek az ország rész külön-böző pontjain. Ugyanebben az időszakban a

téli negatív tendenciák (a bal alsó térképen) lényegesen meghaladják a nyári hónapokét (a jobb alsó térképen).

A 10. és 11. ábra információit együtt értékelve a XX. század negyedik negyedére levonható az a következtetés, hogy bár kevesebb napon hullott csapadék, mint korábban, mégis a csapadékos napokon az ún. nagy csapadékok aránya jelentősen megnövekedett.

### A hőmérsékletre vonatkozó extrémindexek összehasonlító elemzése

A Kárpát-medence hőmérsékleti extrémindex analíziséhez használt 13 hazai és külföldi állomás elhelyezkedését, földrajzi paramétereit a 12. ábrán mutatjuk be.

Az általunk összeállított adatbázisban a nyolc külföldi állomás adatsorainak forrása a szabad hozzáférésű európai idősorokat tartalmazó *ECA* (Klein Tank, 2003) adatbázis (melynek honlapjáról azok korlátozásmentesen letölthetők), míg az öt hazai állomás adatsorait az Országos Meteorológiai Szolgálat Archívumából vásároltuk. Az állomások válogatásánál két szempontot vettünk figyelembe: teljesüljön a domborzati és éghajlati homogenitási viszonyokhoz igazított, relatívan egyenletes területi lefedettség, valamint a kiválasztott idősorokban lehetőleg minimális legyen az adathiány. Adatbázisunkba a napi maximum-, minimum- és középhőmérséklet idősorokat az 1961–2001 időszakra gyűjtöttük össze.

Mind a középhőmérsékletek, mind az extrém hőmérsékleti paraméterek idősorait tanulmányozva (Pongrácz – Bartholy, 2000) szembetűnő a hetvenes évek közepétől napjainkig jelentkező erős melegedő tendencia. Ezért a hőmérsékleti extrémindexek tendencia-vizsgálatait a teljes 1961–2001-es időszakon kívül annak két részidőszakára (1961–1975, 1976–2001) is elvégeztük, melyet a 4. táblázat foglal össze. A táblázatban a 13 hőmérsékleti extrémindex emelkedő, illetve csökkenő trendjei a részidőszakok oszlopaiban megjelenő „+” illetve „-” jelöl-

léssel láthatók. Mivel például a hideg napok arányának *csökkenése* („-” jel), s a hőségnapok számának *növekedése* („+” jel) egyaránt *melegedésre* utal, ezért a megfelelő mezők sötétebb, illetve világosabb színezésével jelöltük az adott időszakok melegedést, illetve hűlést jelentő tendenciáit. A fehér szín jelzi az ETR index (éves hőmérsékleti ingás) tendenciáit, hiszen itt sem a pozitív, sem a negatív trend nem utal melegedésre vagy hűlésre. A táblázat alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

– A táblázat három oszlopában megjelenő trendek előjelei szinte egyik extrémindex esetén sem mindannyian pozitívak vagy negatívak.

– A melegedést jelentő (sötétebb mezőben megjelenő) trendek dominálnak a táblázatban.

– Négy index esetében mind a három vizsgált időszakban egyaránt melegedést jelző trendeket találtunk. Ez a Tn10 (hideg éjszakák aránya), Tn-10LT (zord napok száma), FD (fagyos napok száma) indexek esetén csökkenő tendenciát jelent, míg a Tn90 (meleg éjszakák aránya) paraméternél növekvő gyakoriságot.

– Az extrémindexek többségénél (HWDI, Tx90, SU, Tx30GE, Tx35GE, Tn20LT) a hetvenes évek közepéig hűlésre utaló tendenciák érvényesültek, majd ezt követően napjainkig melegedést regisztrálhatunk.

– Regionális átlagban csupán két index esetén (Tx10, Tx0LT) jelent meg ezzel ellentétes viselkedés, vagyis az 1961–1975-ös időszakban melegedő, s az 1976–2001-es időszakban hűlő trend. Ez utóbbi hűlés mértéke azonban csekély.

– A vizsgált extrémindexek nagy többségére a teljes negyven évet tekintve melegedésre utaló tendenciák a jellemzőek (kivéve a HWDI-t).

Az utolsó negyedévszázad erősen melegedő szakaszát vizsgáljuk a továbbiakban. Összehasonlítjuk, s néhány extrémindex esetén térképen is megjelenítjük ezen idő-

szak állomásonkénti tendenciáit Európára, illetve a Kárpát-medence térségére.

A meleg éjszakák (Tn90) és a meleg napok (Tx90) arányait jellemző indexek évtizedes tendenciáit jelenítettük meg Európára és a Kárpát-medencére a 13. ábra felső és középső részén. A Tn90 és Tx90 paraméterek ábrázolásakor a térképeken az állomásokhoz helyezett körök színe és mérete rendre a minimum- és maximum-hőmérsékletek felső deciliseit meghaladó esetek tendenciáit jelöli. Látható, hogy egyik térképen sem találunk egyetlen hűlő tendenciáit mutató (azaz világosabb színnel jelzett) állomást. Az ábra alsó két grafikonja is az indexek időbeni monoton növekedését mutatja.

A nyári időszak napi maximumhőmérsékleteinek alakulását három extrémindex követi: (1) nyári napok száma (SU:  $T_{\max} > 25\text{ °C}$ ), (2) hőségnapok száma (Tx30GE:  $T_{\max} \geq 30\text{ °C}$ ), (3) forró napok száma (Tx35GE:  $T_{\max} \geq 35\text{ °C}$ ). A 4. táblázatból látható, hogy ezek az indexek mind a teljes 1961–2001-es, mind az 1976–2001-es időszakban növekedő tendenciájúak, s a kezdeti 1961–1975-ös időszakban negatív trendűek. A Kárpát-medence állomásonkénti évtizedes tendenciáit térképes formában a nagyobb esetszámú SU és Tx30GE indexekre mutatjuk be a 14. ábrán az 1976–2001-es időszakra. Az erős növekedő tendencia (általában évtizedenként több mint 6 napos nagyságrenddel) egyik állomáson sem vitatható egyik paraméter esetén sem.

A növekvő évtizedes trend a 15. ábrán bemutatott hóhullámok hossza (HWDI) hőmérsékleti extrémindex esetén is egyértelmű. Mégis az európai térképen az eddigi paraméterekhez képest sokkal több nem szignifikáns állomás jelenik meg. A jelenség pontos magyarázata nem ismert, de feltételezhető, hogy összefügg a hóhullám időszakok definíciójával. Ugyanis míg a kontinentális területeken megfelel az átlagos napi maximum-hőmérsékletet  $5\text{ °C}$ -kal meghaladó küszöbérték, addig az óceán közeli, illetve a pólushoz közeli területek kisebb napi ingása talán  $5\text{ °C}$ -nál kisebb értéket igényelne.



## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatásainkat az OTKA T-026629, T-038423, T-034867 számú pályázatait, az NKFP-3A/0006/2002 és az NKFP-3A/0082/2004 pályázatok, valamint az MTA-KVM VAHAVA projektje támogatta.

További segítséget nyújtottak az EU 5. keretprogram EVK2-CT-1999/0013 és EVK2-CT-2002/00163 számú projektjei, továbbá az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíja. A térképek megrajzolásához az ESRI térinformatikai szoftverét használtuk fel.

## FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. (1998): Hazai csapadék idősorok eltérő trendjei, a szélsőséges csapadékok területi és időbeni változásai. In: Tar K. – Szilágyi K. (szerk.): II. Erdő és Klíma Konferencia. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 62–66. pp. (2) BARTHOLY, J. – PONGRÁCZ, R. – MATYASOVSKY, I. – SCHLANGER, V. (2003): Expected regional variations and changes of mean and extreme climatology of Eastern/Central Europe. In: Combined Preprints CD-ROM of the 83<sup>rd</sup> AMS Annual Meeting. Paper 4.7 American Meteorological Society. 10 p. (3) EASTERLING, D. R. – MEEHL, G. A. – PARMESAN, C. – CHAGNON, S. A. – KARL, T. – MEARNES, L. O. (2000): Climate extremes: Observation, modelling and impacts. *Science*, 289, 2068–2074. pp. (4) FOLLAND, C. K. – FRICH, P. – RAYNER, N. – BASNETT, T. – PARKER, D. E. – HORTON, B. (2000): Uncertainties in climate datasets: A challenge for WMO. *WMO Bulletin*, 49 (1), 59–68. pp. (5) FRICH, P. – ALEXANDER, L. V. – DELLA-MARTA, P. – GLEASON, B. – HAYLOCK, M. – KLEIN TANK, A. M. G. – PETERSON, T. (2002): Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, 193–212. pp. (6) GIORGI, F. – FRANCISCO, R. (2000): Evaluating uncertainties in the prediction of regional climate change. *Geophys. Res. Letters*, 27, 1295–1298. pp. (7) IPCC, 2001: *Climate Change 2001: Third Assessment Report. The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. (8) KARL, T. R. – NICHOLLS, N. – GHAZI, A. (1999): *Clivar/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary*. *Climatic Change*, 42, 3–7. pp. (9) KLEIN TANK, A. M. G. (2003): *The European Climate Assessment and Dataset project*. <http://www.knmi.nl/samenw/eca/index.html>. (10) KLEIN TANK, A. M. G. – KÖNNEN, G. P. (2003): Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *J. Climate*, 16, 3665–3608. pp. (11) KLEIN TANK, A. M. G. – WIJNGAARD, J. B. (2000): European Climate Assessment. In: Falchi, M. A. – Zorini, A. O. (eds.): *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European Conference on Applied Climatology, 16–20 October, 2000, Pisa, Italy*. CD-ROM (12) KLEIN TANK, A. M. G. – WIJNGAARD, J. B. – VAN ENGELEN, A. (2002b): *Climate of Europe; Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes*. KNMI, De Bilt, the Netherlands, 36 p. (13) KLEIN TANK, A. M. G. ET AL. (2002a): *Daily dataset of 20<sup>th</sup>-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment*. *Int. J. Climatol.*, 22, 1441–1453. pp. (14) NICHOLLS, M. – GRUZA, G. W. – JOUZEL, J. – KARL, T. R. – OGALLO, L. A. – PARKER, D. E. (1996): Chapter 3, *Observed climate variability and change*. In: Houghton J. T. et al. ( eds.): *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution to Working Group I to IPCC SAR*. Cambridge Univ. Press, 137–192. pp. (15) PETERSON, T. C. – VOSE, R. S. (1997): An overview of the global historical climatology network database. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78, 2837–2849. pp. (16) PETERSON, T. – FOLLAND, C. K. – GRUZA, G. – HOGG, W. – MOKSSIT, A. – PLUMMER, N. (2002): *Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs, 1998–2001*. World Meteorological Organisation Rep. WCDMP–47. WMO-TD 1071. Geneva, Switzerland. 143 p. (17) PONGRÁCZ R. – BARTHOLY J. (2000): *Változási tendenciák Magyarország éghajlatának szélsőségeiben*. In: Kiresi A. (szerk.): *III. Erdő és Klíma konferencia, Debrecen, 38–44*. pp. (18) TREWIN, B. C. (1999): *The development of a high-quality daily temperature datasets for Australia and implications for the observed frequency of extreme temperatures*. In: *Meteorology and Oceanography at the Millenium: AMOS'99 Proceedings of the 6<sup>th</sup> National Australian Meteorological and Oceanographic Society Congress, Canberra, 1999*, 87 p.

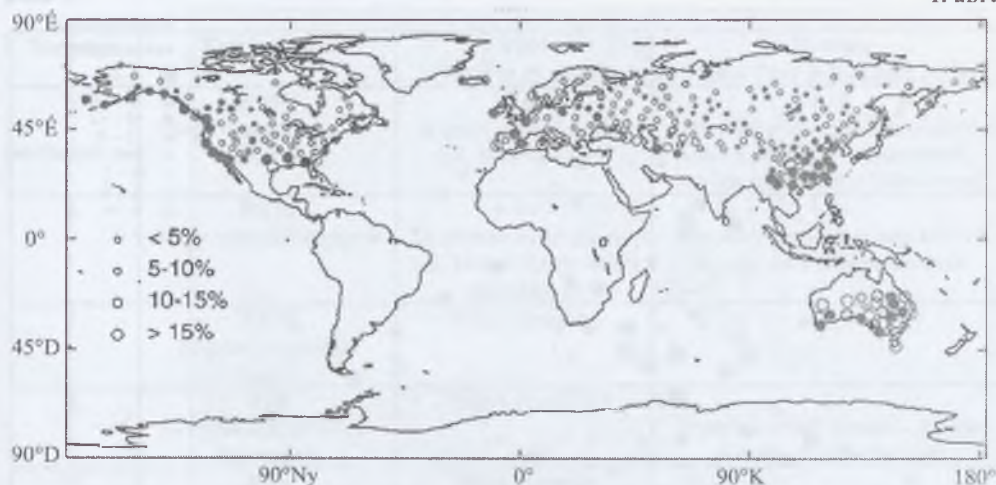
## Az extrém éghajlati paraméterek definíciója, jele

Sor-szám	Jelölés (ECAD)	Föld*	Európa <sup>+</sup>	Kárpát-medence	Az extrémindex definíciója	Egység
1.	CDD	x		x	Az egymást követő száraz napok maximális száma ( $R_{\text{nao}} < 1$ mm)	nap
2.	Rx1		x	x	Az év során mért legnagyobb 1 nap alatt lehullott csapadékmennyiség	mm
3.	Rx5	x	x	x	Az év során mért legnagyobb 5 nap alatt lehullott csapadékösszeg	mm
4.	SDII	x		x	Napi csapadékintenzitás index (teljes csapadékösszeg/összes csapadékos ( $R_{\text{nao}} \geq 1$ mm) napok száma)	mm/nap
5.	R95T	x	x	x	Nagyon csapadékos napok csapadékösszegének évi aránya az 1961–90-es normálidőszak 0.95-ös kvantiliséhez ( $R_{95\%}$ ) viszonyítva ( $SR_{\text{nao}}/R_{95\%}$ ), ahol $SR_{\text{nao}}$ az $R_{95\%}$ -nél nagyobb napi csapadékok összege)	%
6.	RR10	x	x	x	Nagy csapadékú napok száma ( $R_{\text{nao}} \geq 10$ mm)	nap
7.	RR20		x	x	Extrém csapadékú napok száma ( $R_{\text{nao}} \geq 20$ mm)	nap
8.	R75		x	x	Mérsékelt csapadékos napok száma ( $R_{\text{nao}} > R_{75\%}$ ), ahol $R_{75\%}$ az 1961–90-es normálidőszak napi csapadékainak felső kvartilise)	nap
9.	R95		x	x	Nagyon csapadékos napok száma ( $R_{\text{nao}} > R_{95\%}$ ), ahol $R_{95\%}$ az 1961–90-es normálidőszak napi csapadékainak 0.95-ös kvartilise)	nap
10.	ETR	x		x	Éves hőmérsékleti ingás (az év során mért $T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$ )	°C
11.	GSL	x		x	Vegetációs periódus hossza (kezdet: amikor $>5$ napon át $T > 5$ °C, vége: amikor $>5$ napon át $T < 5$ °C)	nap
12.	HWDI	x		x	Hőhullám hossza (legalább 5 egymást követő napon át $T_{\text{max}} = T_{\text{max}}^N + 5$ °C, ahol $T_{\text{max}}^N$ az 1961–90-es normálidőszak átlagos $T_{\text{max}}$ értéke)	nap
13.	Tx10		x	x	Hideg napok aránya ( $T_{\text{max}} <$ az 1961–90-es normálidőszak napi maximumhőmérsékleteinek alsó decilise)	%
14.	Tx90		x	x	Meleg napok aránya ( $T_{\text{max}} >$ az 1961–90-es normálidőszak napi maximumhőmérsékleteinek felső decilise)	%
15.	Tn10		x	x	Hideg éjszakák aránya ( $T_{\text{min}} <$ az 1961–90-es normálidőszak napi minimumhőmérsékleteinek alsó decilise)	%
16.	Tn90	x	x	x	Meleg éjszakák aránya ( $T_{\text{min}} >$ az 1961–90-es normálidőszak napi minimumhőmérsékleteinek felső decilise)	%
17.	FD	x	x	x	A fagyos napok száma ( $T_{\text{min}} < 0$ °C)	nap
18.	SU		x	x	Nyári napok száma ( $T_{\text{max}} > 25$ °C)	nap
19.	RR5			x	Adott csapadékú napok száma ( $R_{\text{nao}} \geq 5$ mm)	nap
20.	RR1			x	Adott csapadékú napok száma ( $R_{\text{nao}} \geq 1$ mm)	nap
21.	RR0.1			x	Adott csapadékú napok száma ( $R_{\text{nao}} \geq 0,1$ mm)	nap
22.	Tx30GE			x	Hőségnapok száma ( $T_{\text{max}} \geq 30$ °C)	nap
23.	Tx35GE			x	Forró napok száma ( $T_{\text{max}} \geq 35$ °C)	nap
24.	Tn20GT			x	Túl meleg éjjelek száma ( $T_{\text{min}} > 20$ °C)	nap
25.	Tx0LT			x	Téli napok száma ( $T_{\text{max}} < 0$ °C)	nap
26.	Tn-10LT			x	Zord napok száma ( $T_{\text{min}} < -10$ °C)	nap

\* (Frich et al., 2002)

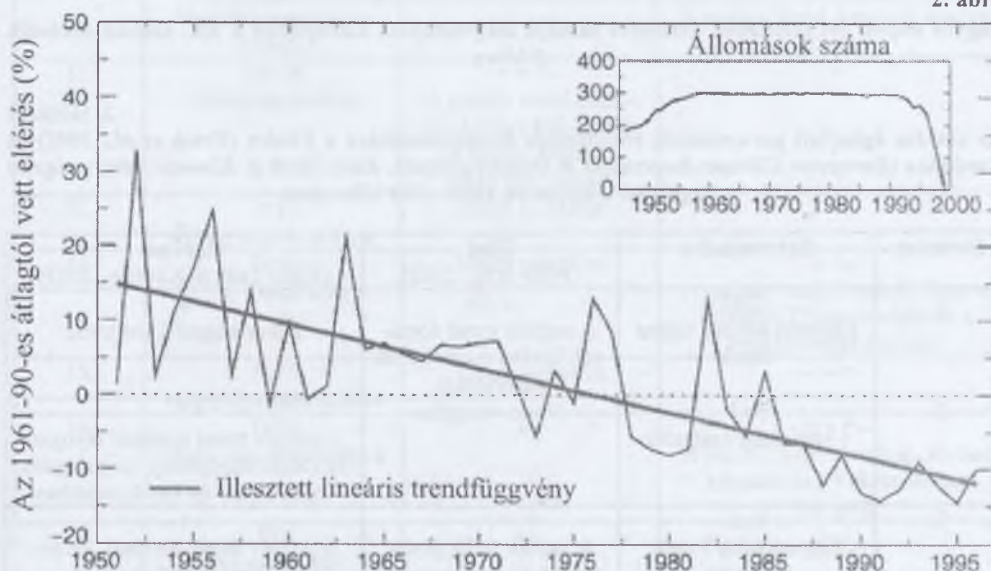
+ (Klein Tank – Können, 2003)

1. ábra



Fagyos napok évi számának változása a Földön a XX. század második felében (százalékban kifejezve). A kitöltött körök a 95%-os szinten szignifikáns változásokat jelölik. A szürke a negatív, a fekete a pozitív változásokat jelöli. A körök mérete a változás mértékével arányos

2. ábra



Fagyos napok évenkénti számának globális változása az 1961–90 normálidőszakhoz viszonyítva a XX. század második felében (százalékban kifejezve), a görbe fölötti kisebb grafikon azon állomások évenkénti számát mutatja, melyek alapján a globális átlagot meghatározták. A trendek súlyozott lineáris regresszióval lettek meghatározva, s 95%-os szinten szignifikánsak

3. ábra



Fagyos napok évi számának évtizedes skálájú megváltozása Európában a XX. század második felében

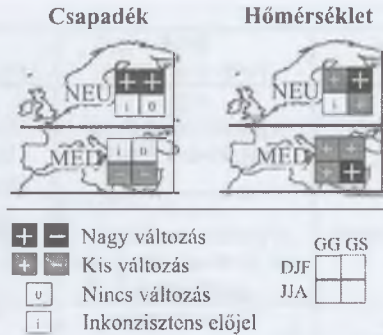
2. táblázat

Az extrém éghajlati paraméterek trendjeinek összehasonlítása a Földre (Frich et al., 2002) és Európára (European Climate Assessment & Dataset projekt, Klein Tank & Können, 2003) végzett vizsgálatok alapján az 1946–1999 időszakra

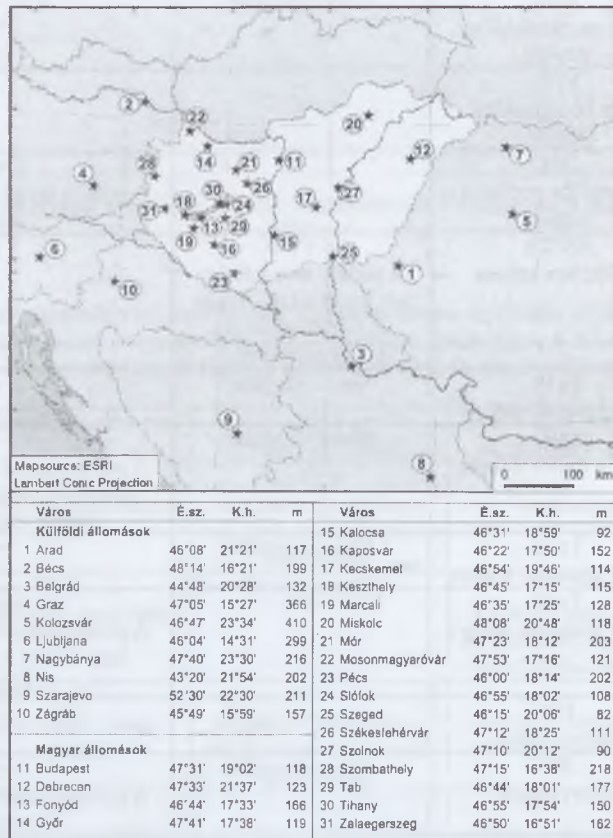
Sorszám	Extrémindex	Föld (Frich et al., 2002)	Európa (Klein Tank & Können, 2003)
1.	CDD Egymást követő száraz napok	- / + A negatív trend dominál, kivéve Ázsia keleti partvidékét	0 Nincs szignifikáns trend
2.	Rx1 1 napi max. csapadék	Nincs vizsgálat	+ / - A pozitív trend dominál Nyugat- és Észak-Európában, míg negatív trend Kelet- és Dél-Európában
3.	Rx5 Legnagyobb 5 napi csapadék	+ / - A pozitív trend dominál, kivéve Ázsia keleti partvidékét	+ / - A pozitív trend dominál, kivéve Közép- és Dél-Európát
4.	SDII Csapadékinzentázás	+ / - A pozitív trend dominál, kivéve Ázsiát	+ / 0 Nyugat- és Észak-Európában a pozitív trend dominál, másutt nincs szignifikáns trend

2. táblázat folytatása

Sorszám	Extrémindex	Föld (Frich et al., 2002)	Európa (Klein Tank & Können, 2003)
5.	R95T Nagy csapadékok évi aránya	+ / - A pozitív trend dominál, kivéve Ázsiát	+ / 0 Észak-Európában és az Alpokban a pozitív trend dominál, másutt nincs szignifikáns trend
6.	RR10 Nagy csapadéku napok	+ + / - A pozitív trend dominál, kivéve Ázsia keleti partvidékét	+ / - A pozitív trend dominál, kivéve Közép- és Délkelet-Európát
7.	RR20 Extrém csapadéku napok	Nincs vizsgálat	+
8.	R75 Mérsékelt csapadékos napok	Nincs vizsgálat	+ + / - A pozitív trend dominál, kivéve Közép- és Dél-Európát
9.	R95 Nagyon csapadékos napok	Nincs vizsgálat	+
10.	ETR Éves hőmérsékleti ingás	-	-
11.	GSL Vegetációs periódus hossza	+	+ + / - A pozitív trend dominál, kivéve Izlandot
12.	HWDI Hőhullám hossza	+ + / - A pozitív trend dominál, kivéve DK-Ázsiát és Észak-Amerika keleti partvidékét	+
13.	Tx10 Hideg napok aránya	Nincs vizsgálat	+
14.	Tx90 Meleg napok aránya	Nincs vizsgálat	+ / - A pozitív trend dominál, kivéve Izlandot, Olaszországot és a Fekete-tenger körzetét
15.	Tn10 Hideg éjszakák aránya	Nincs vizsgálat	+ +
16.	Tn90 Meleg éjszakák aránya	+ +	+ + / - A pozitív trend dominál, kivéve Izlandot és a Fekete-tenger körzetét
17.	FD Fagyos napok	--	--
18.	SU Nyári napok	Nincs vizsgálat	+ / - A pozitív trend dominál, kivéve Kelet-Európát

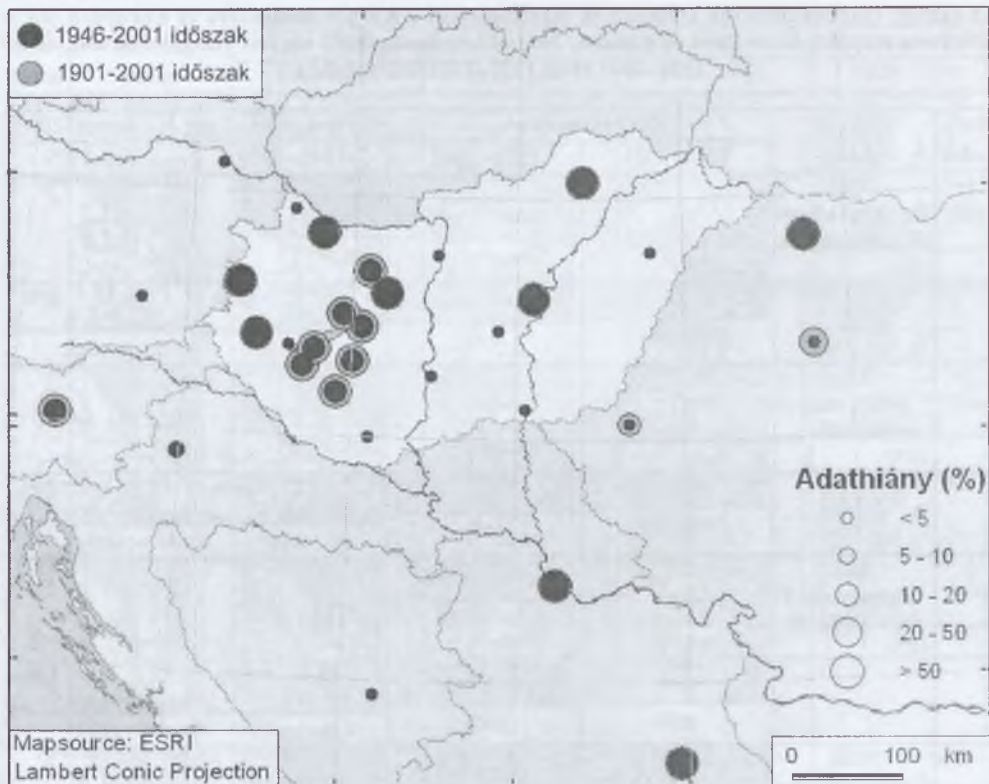


Európa két régiójára, Észak-Európára (NEU) és a Földközi-tenger térségére (MED) végzett tendencia és konzisztencia elemzéseinek összefoglalása két évszakra (tél, nyár) és két klímaszcenárióra (GG, GS) *Giorgi és Francisco (2000)* munkája alapján



A Kárpát-medencére vonatkozó extrémindex elemzés alapjául szolgáló állomások földrajzi elhelyezkedése, paraméterei









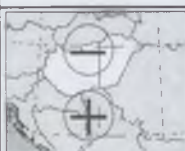



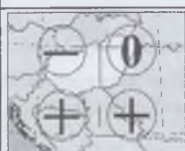



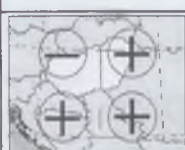







6. ábra



A Kárpát-medence csapadékának extrémindex-elemzésében szereplő állomások adathiányának mértéke (százalékban) az 1901–2001 (világosszürke színnel jelölve) és az 1946–2001 (sötét színnel jelölve) időszakra
















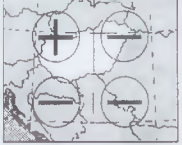




3. táblázat

Az extrém csapadékindexek trendjeinek összefoglalása a Kárpát-medencére és Európára (ECA adatbázis alapján, *Klein Tank és Können, 2003; Klein Tank, 2003*) végzett vizsgálatok alapján az 1946–2001 és az 1976–2001 időszakokra

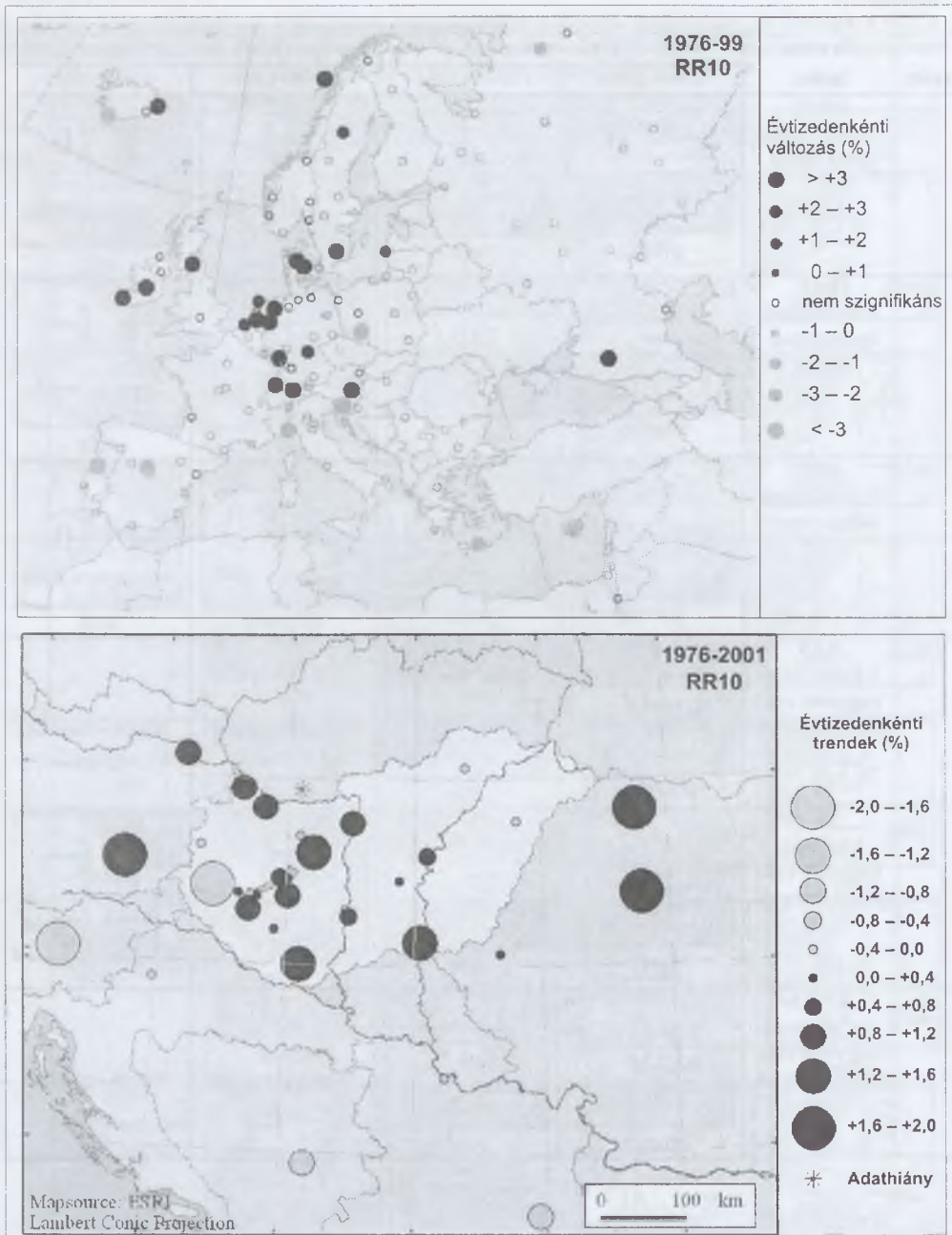
Sor-szám	Extrém index	Kárpát-medence		Európa (Klein Tank & Können, 2003)	
		1946–2001	1976–2001	1946–1999	1976–1999
1.	CDD Egymást követő száraz napok	 közepes	 erős	 gyenge	 gyenge
2.	Rx1 1 napi max. csapadék	 közepes	 erős	 erős	 erős
3.	Rx5 Legnagyobb 5 napi csapadék	 erős	 erős	 közepes	 erős
4.	SDII Csapadékinzítás	 közepes	 erős	 közepes	 erős
5.	R95T Nagy csapadékok évi aránya	 közepes	 erős	 közepes	 erős
6.	RR10 Nagy csapadékos napok	 közepes	 erős	 erős	 erős



3. táblázat folytatása

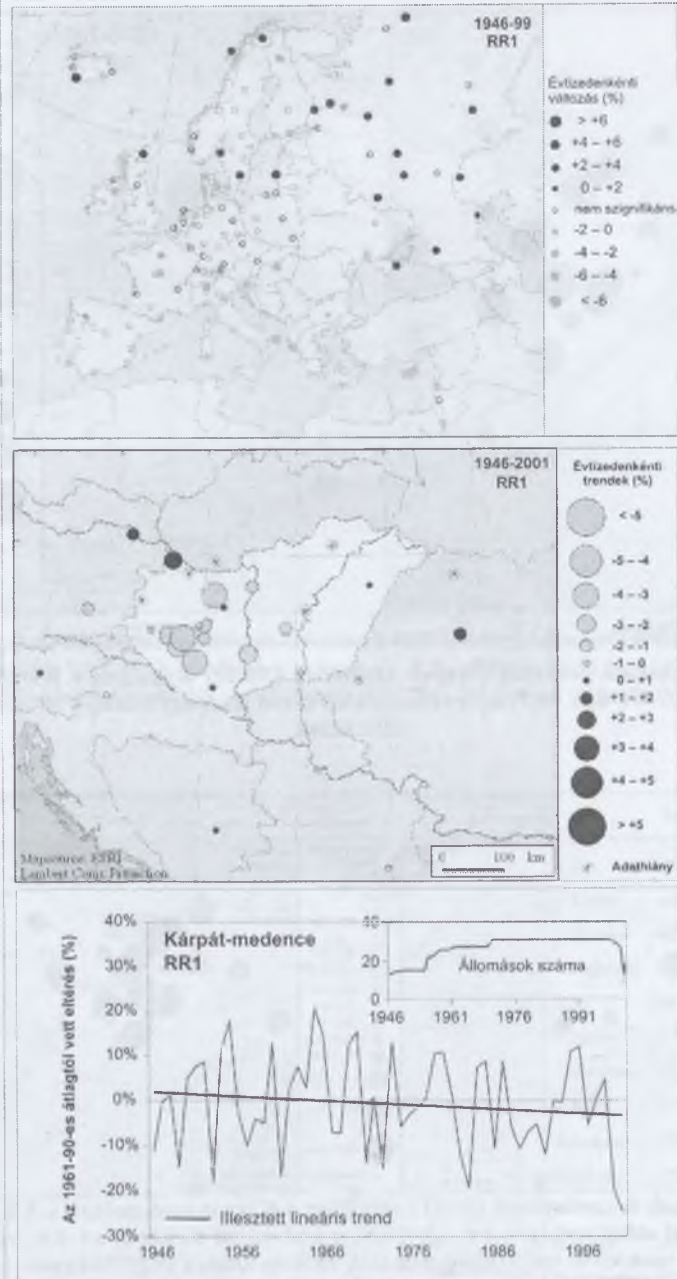
Sor-szám	Extrém index	Kárpát-medence		Európa (Klein Tank & Können, 2003)	
		1946–2001	1976–2001	1946–1999	1976–1999
7.	RR20 Extrém csapadéku napok	 gyenge	 erős	 közepes	 erős
8.	R75 Mérsékelt csapadékos napok	 közepes	 közepes	 erős	 erős
9.	R95 Nagyon csapadékos napok	 gyenge	 erős	 közepes	 erős
10.	RR5 5 mm-nél nagyobb csapadéku napok	 közepes	 erős	Nincs vizsgálat	Nincs vizsgálat
11.	RR1 1 mm-nél nagyobb csapadéku napok	 erős	 erős	 erős	 erős
12.	RR0.1 0,1 mm-nél nagyobb csapadéku napok	 közepes	 erős	Nincs vizsgálat	Nincs vizsgálat

7. ábra



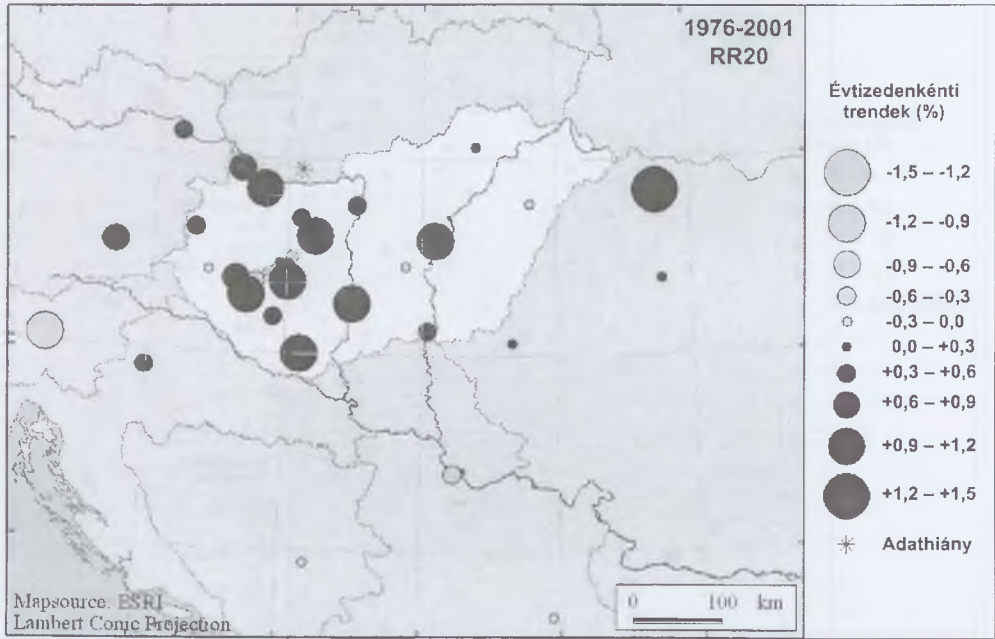
A 10 mm-t meghaladó csapadékú napok számának (RR10) alakulása Európában és a Kárpát-medencében a XX. század utolsó negyedében. A  $(-0,4; +0,4)$  intervallumon kívül eső trend-együtthatók a Kárpát-medencében 95%-os szinten szignifikánsak

8. ábra



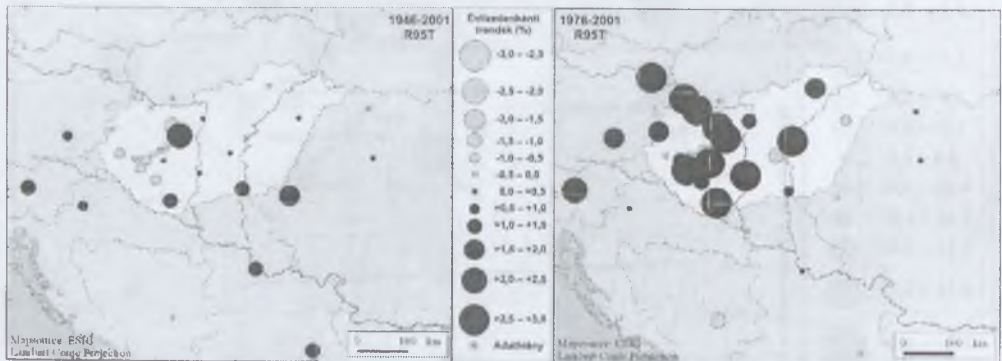
Az 1 mm-t meghaladó csapadékú napok számának (RR1) alakulása Európában és a Kárpát-medencében a XX. század második felében. A  $(-0,3; +0,3)$  intervallumon kívül eső trendegyütthatók a Kárpát-medencében 95%-os szinten szignifikánsak

9. ábra



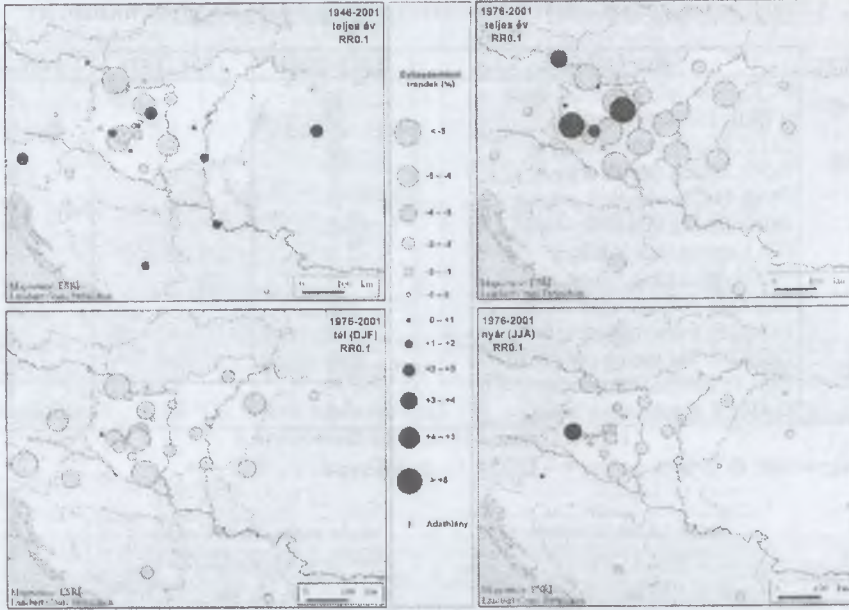
A 20 mm-t meghaladó csapadékú napok számának (RR20) alakulása a Kárpát-medencében 1976–2001 között. A  $(-0,3; +0,3)$  intervallumon kívül eső trendegyütthatók 90%-os szinten szignifikánsak

10. ábra



A nagy csapadékok évi arányának (R95T) alakulása a Kárpát-medencében a XX. század második felében. A bal oldali térképen a  $(-0,3; +0,3)$ , a jobb oldali térképen a  $(-0,4; +0,4)$  intervallumon kívül eső trendegyütthatók 95%-os szinten szignifikánsak

11. ábra



A 0,1 mm-t meghaladó csapadékú napok számának (RR0.1) alakulása a Kárpát-medencében a XX. század második felében. A bal felső térképen a  $(-0,3; +0,3)$ , a többi térképen a  $(-0,4; +0,4)$  intervallumon kívül eső trendegyütthatók 95%-os szinten szignifikánsak

12. ábra



A Kárpát-medencére vonatkozó extrémindex elemzéshez használt állomások földrajzi elhelyezkedése, paraméterei

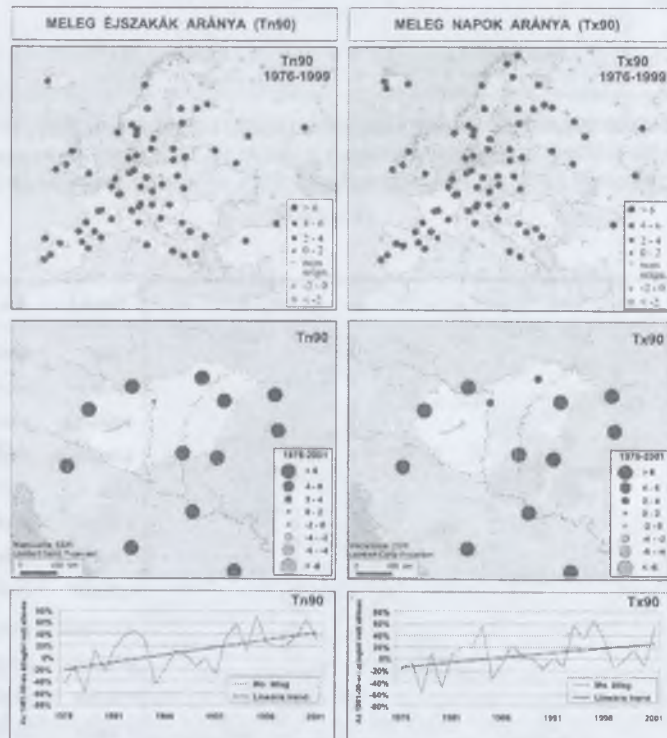
4. táblázat

A hőmérsékleti extrémindexek trendjeinek összefoglalása a Kárpát-medencére

Sorszám	Extrémindex	1961–2001	1961–1975	1976–2001
1.	ETR: Eves hőmérsékleti ingás	–	–	+
2.	HWDI: Hőhullám hossza	–	–	⊕
3.	Tx10: Hideg napok aránya	⊖	⊖	+
4.	Tx90: Meleg napok aránya	⊕	–	⊕
5.	Tn10: Hideg éjszakák aránya	⊖	⊖	⊖
6.	Tn90: Meleg éjszakák aránya	⊕	⊕	⊕
7.	FD: Fagyos napok száma	⊖	⊖	⊖
8.	SU: Nyári napok száma	⊕	–	⊕
9.	Tx30GE: Hőségnapok száma	⊕	–	⊕
10.	Tx35GE: Forró napok száma	⊕	–	⊕
11.	Tn20GT: Túl meleg éjjelek száma	⊕	–	⊕
12.	Tx0LT: Téli napok száma	⊖	⊖	+
13.	Tn-10LT: Zord napok száma	⊖	⊖	⊖

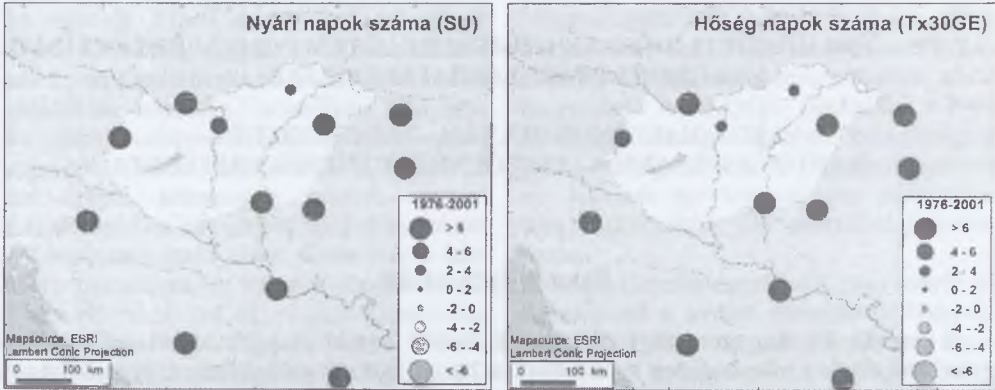
Jelmagyarázat: ⊕ ⊖ Melegedés; + – Hűlés; + – Indifferens

13. ábra



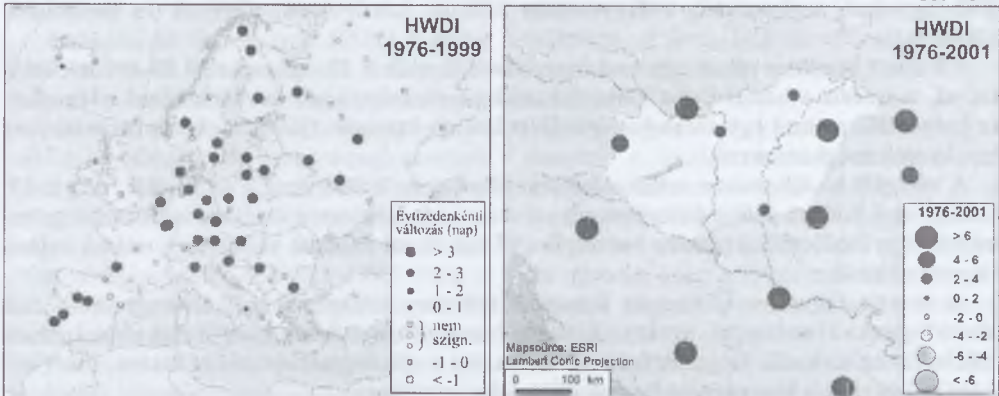
Az utolsó negyedszázadban a meleg éjszakák arányában ( $T_{min} >$  az 1961–90-es normálidőszak napi minimum-hőmérsékleteinek felső decilise), illetve a meleg napok arányában ( $T_{max} >$  az 1961–90-es normálidőszak napi maximumhőmérsékleteinek felső decilise) megjelenő tendenciák Európában és a Kárpát-medencében

14. ábra



A nyári napok ( $T_{\min} > 25\text{ °C}$ ), illetve a hőségnapok ( $T_{\min} > 30\text{ °C}$ ) számának növekvő tendenciái a Kárpát-medencében 1976–2001 között

15. ábra



A hőhullámok hosszának (HWDI) tendenciái Európában és a Kárpát-medencében az utolsó negyedszázadban

# AZ 1951–2000 KÖZÖTTI IDŐSZAK HŐMÉRSÉKLETI MINIMUM ÉRTÉKEINEK AGROKLIMATOLÓGIAI ELEMZÉSE

VARGA-HASZONITS ZOLTÁN – VARGA ZOLTÁN –  
LANTOS ZSUZSANNA – ENZSÖLNÉ GERENCSÉR ERZSÉBET

## ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők 14 magyarországi megfigyelőállomás adatai alapján azt vizsgálták, hogyan alakultak a hőmérsékleti szélsőségek a 20. század második felében. A szélsőségek változásait először havi és évi értékek alapján elemezték. A havi adatok alapján meghatározták az évi menetet, amely az értékek téli nagyobb szóródásával jár együtt. A szóródás nyáron a legkisebb.

Külön megvizsgálták a mezőgazdasági szempontból fontos minimum értékeket: az őszi gabonák és a gyümölcsfák áttelelését befolyásoló téli minimumokat, a tavaszi és őszi fagyokat, s elemezték a fagymentes időszak kezdetének, végének és hosszának alakulását.

A kapott eredményeket egyrészt összehasonlították a 20. század első 50 évének adataival, másrészt a hangszúlyt a változási tendenciák irányának és mértékének elemzésére helyezték, s ezzel egy esetleges éghajlatváltozás szempontjából fontos információkat igyekeztek meghatározni.

A vizsgált 14 állomáson a téli minimumok nem haladták meg a  $-27$  fokot, míg a 20. század első felében előfordultak ennél alacsonyabb minimum értékek is. Az őszi gabonák és a gyümölcsfák számára veszélyes  $-15$  fok alatti értékek viszonylag ritkán voltak tapasztalhatók.

A tavaszi fagyok esetében az átmeneti március hónapban kell elsősorban  $-5$  fok alatti fagyokkal számolni, április és május hónapokban  $-5$  fok alatti értékek már csak ritkán fordulnak elő. Ez azért fontos információ a növénytermesztés számára, mert a  $-5$  foknál enyhébb kisugárzási fagyok ellen lehet védekezni.

Az őszi fagyok ugyan kisebb fontosságúak, de a még szabadban lévő növényzetet károsíthatják. Szeptember és október hónapokban többnyire még a kisebb intenzitású fagyok fordulnak elő, novembertől azonban a fagyoknak mind az intenzitása, mind pedig a gyakorisága növekedett.

## BEVEZETÉS

Az alacsony hőmérsékletek az éghajlat kockázati tényezői közé sorolhatók. Különösen a mérsékelt éghajlati övben okoznak jelentős károkat a tavaszi és őszi fagyok, valamint a téli minimum hőmérsékletek, melyek az aszály mellett a legnagyobb termésveszteségekéért tehetőek felelőssé. Ezért is

érdekes Linden (2001) vizsgálata, mely hét évtizedes adatsorokat elemezve összefüggést talált a két fő rizikófaktor: a nyári aszály és a károsított növényeknél az aszályt követő nagyobb fagy által okozott termés kiesés között.

A hőmérsékleti szélsőségek a klimatológia számára azért fontosak, mert megadják azokat a határokat, amelyek között az adott



lakóhelyen vagy termőterületen a hőmérséklet változik. Mivel az éghajlati jelenségek rendkívül változékonyak, a változások határait kijelölő szélsőértékek is eltolódhatnak az időszakok folyamán valamilyen irányban. Ez utóbbi szempont különösen a 20. század második felében vált jelentőssé, amikor a szén-dioxid antropogén eredetű légköri felhalmozódása az éghajlat megváltozásának a lehetőségét vetíti előre. Ezért erre a kérdésre hazánkban is fokozott figyelem irányult (Bartholy et al., 2003; Domonkos, 2001; Mika, 1988; 1991; Mika et al., 2001).

A hőmérsékleti szélsőségek változékonyasága érzékenyen érinti a növénytermesztést is, elsősorban a zöldség- és gyümölcsstermesztést, bár e növények érzékenysége is számottevő különbségeket mutat (Varga et al., 2001; Varga, 2003; Tsipouridis – Thomidis, 2005).

A tavaszi és őszi fagyok főként a kertészeti növények szempontjából kedvezőtlenek, de a szántóföldi növények számára is veszélyesek lehetnek. A téli alacsony hőmérsékletek elsősorban az őszi gabonákat veszélyeztetik (Whaley et al., 2004). Ennek hatásmechanizmusával és törvényszerűségeivel kapcsolatos vizsgálatok hazánkban főként Martonvásáron folynak (Veisz, 1993; Veisz et al., 2001). Az ilyenkor jelentkező fagy különösen akkor jelent nagy kockázatot, ha tél folyamán a tartósabb felmelegedéseket erős lehűlések követik.

A növénytermesztés számára a természetes kedvező szakaszát jelenti a fagymentes időszak, amikor már a negatív hőmérsékletek nem jelentenek veszélyt a növények számára. Vannak azonban olyan melegigényes növények, amelyek a nulla fok közeli pozitív hőmérsékletekre is érzékenyek (Mavi – Tupper, 2004).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatok az OMSz által működtetett megfigyelőhálózat 14 állomásának (Békéscsaba, Budapest, Debrecen, Győr, Ireg-

szemcse, Kecskemét, Kompolt, Miskolc, Mosonmagyaróvár, Nyíregyháza, Pécs, Szeged, Szolnok és Szombathely) 1951 és 2000 közötti időszakra meghatározott adataira épültek. A szükséges adatbázist a Nyugat-Magyarországi Egyetem mosonmagyaróvári Mezőgazdasági és Élelmiszertudományi Karának agroklimatológiai adatbankjában rendelkezésre álló adatokból állítottuk össze.

A 14 állomás megfelelő, nagyvonalú áttekintést ad a területi eloszlásról. Nagyobb részleteket bemutató, a domborzatot is figyelembe vevő térképeket ezzel az állomássűrűséggel nem lehet készíteni. Makroklimatológiai szempontból azonban jól használható területi képet kapunk.

Az időbeli változásokat egyrészt mint éven belüli változásokat vizsgáltuk, hogy megismerjük az évszakos ingadozásokat, másrészt az évek közötti változásokat elemeztük a változások tendenciájának megismerése céljából.

Az évenkénti változások esetében meghatároztuk a lineáris trendet, amely az évi átlagos minimumok tendenciáját írja le. A lineáris összefüggésben a változó paramétere a független változó időegységre eső változást mutatja, ezért a lineáris trend nemcsak a változás irányáról, hanem annak mértékéről is tájékoztat (Kerékgyártóné – Mundruczó, 1996). Mindennek azonban csak akkor lehet jelentőséget tulajdonítani, ha az összefüggés szignifikáns. A szignifikancia vizsgálatot a korrelációs koefficiens alapján végeztük el (Sváb, 1981). Az ábrákon megadott korrelációs koefficiensek a 95%-os szinten szignifikánsak.

Az IPCC (2001) jelentés az éghajlati viszonyok változásánál három változatot különböztet meg:

- (1) A középérték tolódik el, az értékek szóródása változatlan marad.
- (2) Az értékek szóródása változik, a középérték változatlan marad.
- (3) A középérték is és az értékek szóródása is változik.

Meg kell említeni érdekességként, hogy az 50 éves időszak két részre (1951–1980 és 1981–2000) bontása során olyan gyakorisági eloszlást kaptunk, amelyben az értékek kezdeti eltolódása úgy mutatkozik meg (mint az a 4. ábrán látható), hogy még sem a középérték, sem a szóródás változása nem tapasztalható.

### A HAVI ÉS ÉVI MINIMUM HŐMÉRSÉKLETEK

Először a hónapok hőmérsékleti minimum értékeinek a változékonyságát vizsgáltuk. Ezzel képet kaptunk a minimum értékek éven belüli változékonyságáról. Ezután tértünk rá az évek közötti változékonyság elemzésére, amelynek segítségével az előfordult változási tendenciákat a változási irány és a változás üteme alapján különböztethetjük meg; majd a minimum hőmérsékletek elemzését agroklimatológiai szempontból jól elkülöníthető időszakok alapján végeztük. Ezek az időszakok: az áttelelési időszak, a tavaszi fagyok időszaka, a fagymentes időszak és az őszi fagyok időszaka.

*Az éven belüli változékonyság.* A minimum hőmérsékletek évi menete a havi átlagos minimum értékek alapján elemezhető. Az évi menetük követi a havi középhőmérsékletek évi menetét, amely a különböző éghajlati tanulmányokból közismert (Bacsó et al., 1953; Bacsó, 1959; Varga-Haszonits et al., 2004). Az egyes hónapokra vonatkozóan meghatároztuk a szórás nagyságát is, amely arról tájékoztat, hogy az egyes értékek mennyire szorosan vagy mennyire lazán helyezkednek el a középérték körül. A minimum hőmérsékletek átlag körüli szóródása a téli hónapokban a legnagyobb és május-június hónapokban a legkisebb, amit a legmagasabb és legalacsonyabb minimum értékek közötti különbség változása is jól mutat (1. ábra).

Az ábrából látható, hogy hazánkban a havi átlagos hőmérsékleti minimumok január hónapban voltak a legalacsonyabbak,

értékeik ekkor –4,6 fokok középérték körül ingadoztak. Jól kivehető, hogy a téli hónapokban a legnagyobb a havi átlagos minimum érték ingadozása, a tavaszi hónapokban és a nyár elején pedig a legkisebb. A szórásértékek viszont a nyári hónapokban a legkisebbek. Tudjuk, hogy a szélsőértékeknek van egy olyan tulajdonságuk, hogy egyegy – néha nem könnyen értelmezhető – kiugró érték jelentős befolyást gyakorol a havi középértékre. A legalacsonyabb havi átlagos minimum érték és a legmagasabb havi átlagos minimum érték között közel 20 fokos különbség van. A 20. század első felében a minimum hőmérsékletek évi ingása ugyancsak 20–25 fokos volt (Bacsó et al., 1953).

A vizsgált 14 állomáson az 50 év folyamán az előfordult legalacsonyabb hőmérséklet –26,9 fok volt, amelyet Miskolcon mértek 1987. január 13-án. A kapott eredményeket összehasonlítva az 1901–1950 közötti időszak adataival (Bacsó et al., 1953; Bacsó, 1959), azt mondhatjuk, hogy a 20. század első 50 évében –27 foknál alacsonyabb minimumok az egész ország területén előfordultak. Egyes esetekben a minimum hőmérséklet –30 fok alá süllyedt. A legalacsonyabb értéket ebben az időszakban Baján mérték (–34,1 fok), 1942. január 24-én.

*Az évek közötti változékonyság.* Az évek közötti változékonyság a legegyszerűbben a hőmérsékleti minimumok évi átlagai alapján tanulmányozható. A vizsgálatba bevont 14 állomás minimum hőmérsékleteinek évi középértékeiből területi átlagot számítottunk, hogy megvizsgáljuk az évenkénti változások mutattak-e valamilyen irányú tendenciát a vizsgált 50 évben.

A 2. ábrán lévő egyenletből látható, hogy ha a változások tendenciáját lineáris trendfüggvénnyel írjuk le, akkor 10 évenként 0,1 fokos emelkedést lehet regisztrálni a minimum hőmérsékletek évi átlagértékeiben. Az is érzékelhető az ábrán, hogy a változások lényegében nem-lineáris jellegűek. Jól kivehető az 1950-es évek kezdetén egy süllyedő tendencia, majd az 1950-es évek közepétől

az 1980-as évek közepéig egy viszonylag egyenletes ingadozású szakasz található, míg végül az 1980-as évek közepétől az emelkedés meredekebbé vált. Ha az 1981–2000 közötti két évtizedet külön vizsgáljuk, akkor a 3. ábrán látható meredekebb emelkedésű egyenest kapjuk, amely már évtizedenként 0,4 fokos emelkedést mutat!

Azt látjuk tehát, hogy egy csökkenő tendenciájú szakaszt egy viszonylag egyenletes és mérsékelt ingadozású szakasz követett, majd az utolsó két évtizedben egy meredekebben emelkedő tendencia mutatkozott. A gyakori változások jelentősége abban van, hogy egyrészt lehetőséget adnak arra, hogy a különböző változási tendenciák növényekre gyakorolt hatását megvizsgáljuk, másrészt rámutatnak arra, hogy az éghajlat-ingadozás okozta évenkénti változások – amint az ábrából is kivehető – még évi átlagos minimum értékeket tekintve is, közel 3 fokos eltérést mutatnak a legalacsonyabb és a legmagasabb értékek között. Az is látható, hogy az 1950-es években a minimum hőmérsékleteknek ez az eltolódása mintegy 5 éven belül játszódott le. A növények termesztése tehát ebben az 50 évben is jelentős hőmérsékleti ingadozások mellett ment végbe.

A minimum hőmérsékleti értékek változási trendjéből természetesen nem lehet arra következtetni, hogy mi lesz a jövőben. Még ha hosszabb távon emelkedő tendencia érvényesülne is, azon belül is számolni kell éveken át tartó kisebb-nagyobb visszaesésekkel, majd újabb emelkedési tendenciákkal, ami megkönnyíti az alkalmazkodást. Ezt láthatjuk a 3. ábrán bemutatott, s az elmúlt század utolsó két évtizedére jellemző gyorsabb emelkedési szakaszra vonatkozóan is.

A növénytermesztés szempontjából az is érdekes, hogy ez utóbbi, a magasabb értékek felé történő elmozdulás hogyan jelentkezett az évi átlagos minimumok eloszlásában. A 4. ábrán látható, hogy sem a leggyakoribb értékekben, sem a leggyakoribb értékek körüli ingadozásban nem mutatkozik különbség, csupán az alacsonyabb értékek gyakorisága

csökkent egy kissé, a magasabb értékeké pedig növekedett, vagyis az eloszlás elmozdult a magasabb értékek felé. Valószínű, hogy ha a melegedés folytatódik, akkor a gyakorisági eloszlás tovább tolódik a magasabb értékek felé, s ennek következményeként a leggyakoribb érték is a magasabb értékek felé fog elmozdulni.

*Területi eloszlás.* Az 1. és 2. táblázatok a napi minimumok előfordulásának időbeli törvényszerűségei mellett a területi eloszlásról is tartalmaznak információt. Az áttekinthetőség miatt csupán 5, az ország különböző részeit reprezentáló állomás adatait jelenítettük meg.

Az 1. táblázat a napi hőmérsékleti minimumok előfordulásának statisztikáit mutatja be egy átlagos, illetve az 50 év során tapasztalt szélsőséges minimumú években. A legalacsonyabb minimumok (egyezően a 2. ábrával) valamennyi állomás esetén 1956-ban voltak tapasztalhatóak, míg a legmagasabb átlagos minimum a dunántúli állomásokon 1994-ben, a Dél-Alföldön és Kelet-Magyarországon pedig 1951-ben adódott.

A fagypon alatti hőmérsékletek három kategóriája ( $-5\text{ °C}$  alatt,  $-2$  és  $-5\text{ °C}$  között,  $0$  és  $-2\text{ °C}$  között) egyaránt kb. 27–37 napon fordulhat elő, míg egyes években ettől jelentős lehet az eltérés. Az alacsony hőmérsékleti stresszel számolni kell nálunk, hiszen átlagosan 100 körüli  $0\text{ °C}$  alatti minimumú nap van.

A 2. táblázat a minimumhőmérsékleti kategóriák átlagos előfordulásának évtizedenkénti változásait szemlélteti. A vizsgált 6 kategóriából egy esetben sem állapítható meg olyan egyértelmű változási tendencia a 20. század második felében, melyet valamennyi állomás mutatna.

Arra vonatkozóan is végeztünk vizsgálatokat, hogy a minimum értékek az egyes, növénytermesztési szempontból fontos időszakokban hogyan változtak. Amint már említettük, négy kiemelten fontos időszak van, amelyeket külön-külön elemeztünk.

## A TÉLI HÓNAPOK MINIMUM HŐMÉRSÉKLETEI

A téli hónapokban kialakuló minimumok elsősorban az áttelelő növények (az őszi gabonák, a gyümölcsfák és a szőlő) szempontjából fontosak. Mindegyik növény számára létezik egy olyan hőmérsékleti minimum küszöbérték, amelynél alacsonyabb értékeket már károsodás nélkül nem tud elviselni és egy olyan, amely pedig már a teljes pusztulását okozza. Ezek a küszöbértékek természetesen növényenként különbözőek lehetnek (*Varga-Haszonits, 1987*).

Tudjuk azonban, hogy az áttelelés folyamán a  $-15$  foknál alacsonyabb értékek már veszélyesek a növényekre (*Veisz, 1993*), ezért megvizsgáltuk, hogy a különböző napi minimum értékek milyen gyakorisággal fordultak elő.

Látható az 3. táblázatból, hogy a téli hónapok 90–91 napján leggyakrabban a 0 és  $-5$  fok közötti értékek fordulnak elő. A vizsgált időszakban átlagosan 35–45 ilyen nap volt. Még a  $-5$  és  $-10$  fok közötti értékek is 15–20 napon léptek fel. A  $-10$  és  $-15$  fok közötti értékek átlagosan csupán 5–10 alkalommal tapasztalhatók. A  $-15$  fok alatti értékek hótakaró nélkül már veszélyesek az őszi gabonák számára, de viszonylag ritka az ilyen eset hazánkban. A  $-15$  fok alatti hőmérséklet (leginkább hótakaróval) általában 1–4%-os valószínűséggel jelentkezhet.

## TAVASZI ÉS ŐSZI FAGYOK

*A tavaszi fagyok.* A tavaszi fagyok mezőgazdasági jelentősége abban van, hogy azok a fiatal növényeket érik, s képesek jelentős károkat okozni. A tavaszi három hónapot azonban célszerű úgy kezelni, hogy abból a március a télből a tavaszba való átmeneti időszak. Ezért előfordulhat, hogy márciusban még jellegzetes téli viszonyok uralkodnak, de olyan eset is lehetséges, hogy már tavaszias viszonyok uralkodnak. A március hónapot általában a gyakori fagyok jellemzik.

Március folyamán a napi középhőmérsékletek 5 fok fölé emelkednek, ami azt jelenti, hogy a hűvöst kedvelő (alacsony bázishőmérsékletű) növényeknél megkezdődik a vegetációs periódus. A napi középhőmérsékletek 5 fok fölé emelkedésének időpontja és az utolsó tavaszi fagy időpontja között tehát van egy fagyveszélyes időszak, amely a korai vetésű (kiültetésű) növények, valamint a virágzó gyümölcsfák szempontjából jelent gondot. Ismeretes azonban, hogy a kisugárzási fagyok (*Varga-Haszonits et al., 2000*) ellen lehet védekezni, ha a minimum hőmérséklet nem süllyed  $-5$  fok alá.

Március folyamán egész hónapban lehet számolni fagyokkal. Ilyenkor még  $-5$  fok alatti fagyok is fellépnek. Április és május hónapban azonban a fagyok jelentős része 0 és  $-5$  fok közé esik, s  $-5$  foknál alacsonyabb értékek csak ritkán fordulnak elő. Ez azt jelenti, hogy ebben az időszakban hazánkban már hatékonyan lehet védekezni a fagyok ellen, mivel a fagyok zöme kisugárzási vagy keverék fagy (*Varga-Haszonits et al., 2000*).

Természetesen az is fontos, hogy a növények hogyan reagálnak az alacsony hőmérsékletekre. Vannak olyan növények, amelyek már a közvetlen nulla fok feletti hőmérsékletre is érzékenyek, vannak olyan növények, amelyek a különböző nulla fok alatti hőmérsékletekre érzékenyek és vannak fagytüró növények, amelyek képesek hosszabb nulla fok alatti szakaszokat is elviselni (*Larcher, 2003*). A fagyérzékenységet természetesen az is befolyásolja emellett, hogy a fagnak kitett növények milyen fejlődési szakaszban vannak. A fejlettségi állapot szerinti küszöbértékeket egy korábbi munkában táblázatban foglaltuk össze (*Varga-Haszonits, 1977*).

Az utolsó tavaszi fagy bekövetkezésének évenkénti változásait vizsgálva csökkenő tendenciát figyelhetünk meg, ami azt jelenti, hogy az utolsó tavaszi fagyok egyre korábbi időpontokra esnek. Meg kell azonban jegyezni, hogy az egyenessel történő közelítés nem ad szignifikáns összefüggést, még a 90%-os szinten sem. Így a 10 évenkénti 8 nappal korábbi időpontra tolódás csak az

időszakra meghatározott, de gyenge kapcsolatot alapján mutatható ki.

*Az őszi fagyok.* Az első őszi fagyok már szeptemberben előfordulhatnak. Szeptember és október hónapokban azonban  $-5$  foknál erősebb fagyokkal csak ritkán kell számolni. Ezek ellen a fagyok ellen is lehet tehát védekezni. Ősszel a november az átmeneti hónap, annak minden jellegzetességével. Ekkor a fagyok intenzitása és gyakorisága egyaránt növekszik.

Az első őszi fagyok évenkénti változékonysága azt mutatja, hogy az első őszi fagyok időpontja kissé későbbre tolódott. Az illesztett egyenes ebben az esetben sem jelent szignifikáns kapcsolatot, inkább csak a folyamatot érzékelteti. Összehasonlítva azonban a tavaszi korábbi időpontra tolódási tendenciával, azt mondhatjuk, hogy a tavaszi tendencia az erősebb, hiszen ott az egyenes korrelációs együtthatója közel van a 90%-os szint szignifikancia határához.

## A FAGYMENTES IDŐSZAK

Ez a vegetációs periódusnak az a szakasza, amikor az éjszakai hőmérsékletek nem süllyednek nulla fok alá. Az időszak az utolsó tavaszi fagy utáni napon kezdődik és egészen az első őszi fagyig tart.

Az 1951–2000 közötti időszakban az utolsó tavaszi fagy átlagos időpontja április 5. és április 23. között volt. A déli területeken előfordulhatnak azonban olyan évek is, amikor már a március jelentős része vagy akár az egész március (például Pécsen 1989-ben) is fagymentes. De akadhatnak olyan évek is, amikor az utolsó tavaszi fagyok csak május utolsó dekádjában fejeződnek be. Különösen a kisugárzási fagyok esetében arra is figyelni kell, hogy azok előfordulása helyi tényezőktől is függ, emiatt előfordulásukban jelentős mértékű ingadozás lehetséges.

A tavaszi fagyok megszűnése azt jelenti a fejlődő növényzet számára, hogy az alacsony hőmérsékletek károsító hatásával a

továbbiakban már nem kell számolni. Ennek a növények számára kedvező időszaknak a hossza a vizsgált időszakban meglehetősen nagy változékonyságot mutatott. A 14 állomáson midősze két esetben volt megfigyelhető 140 napnál rövidebb fagymentes időszak. Ugyanakkor 245 napnál hosszabb időszak is csak 3 esetben fordult elő az 50 év folyamán. A fagymentes időszak hossza tehát lényegében 140 és 245 nap között változott, s átlagosan 190 nap hosszúsággal lehet számolni. Megemlítjük, hogy a 20. század első ötven évében kisebb volt a fagymentes időszak hosszának a változékonysága (Bacsó, 1959).

Ha megvizsgáljuk a 20. század második felében a fagymentes időszakok területi átlagainak évenkénti változásait (5. ábra), akkor azt láthatjuk, hogy ha a változást lineáris függvényként ábrázoljuk, akkor 5 évenként 1 nappal hosszabbodó fagymentes időszakokkal számolhatunk. Az 50 év alatt tehát hozzávetőlegesen 10 napos hosszabbodást észlelhetünk. Természetesen látható az ábrán az is, hogy a 14 állomásból számított területi átlagok is jelentősen ingadoztak, nagy vonalakban 160 nap és 220 nap között, s a leg-hosszabb fagymentes időszakok leginkább az 1960-as évekre voltak jellemzőek. Az is látható, hogy 1990 után ismét egy gyenge emelkedő szakasz kezdődött. Ez utóbbi változások párhuzamosnak tekinthetők az átlaghőmérsékletekben lejátszódott változásokkal.

*Összefüggés az évi középhőmérséklet és a fagymentes időszak hossza között.* Az évi középhőmérsékletek évenkénti változásai és a fagymentes időszak hosszának évenkénti változásai között – mint említettük – felismerhető párhuzamosság létezik. Célszerű tehát megvizsgálni, hogy milyen összefüggés van közöttük. Ha ugyanis létezik ilyen összefüggés, akkor megállapíthatjuk, hogy egy fokos hőmérséklet-változás hány napos változást idéz elő a fagymentes időszak hosszában. Ennek ismeretében egy lehetséges éghajlatváltozás hatása is felbecsülhetővé válik.

Megvizsgáltuk az összefüggést az évi középhőmérséklettel és a nyári félév középhőmérsékletével is. Mindkét esetben csak gyenge összefüggést kaptunk. Ezután azt feltételeztük, hogy a nyári hónapok középhőmérséklete nagyobb jelentőségű ebből a szempontból (6. ábra), mivel a magas hőmérsékletek nagy hatással vannak a meleg időszakok alakulására.

A 6. ábrából leolvasható, hogy ha a nyarak középhőmérséklete 19 és 21 fok között ingadozik, akkor a fagymentes időszak hossza gyakorlatilag 190 nap körüli marad. Ha azonban a nyarak középhőmérséklete 19 fok alá süllyed, akkor a fagymentes időszak a nyarak középhőmérsékletének 1 fokos változása esetén 10 nappal rövidebb lesz. Érdekes módon hasonló rövidülés jelentkezett a 21 fok fölötti tartományban is. Látható azonban az ábrán lévő egyenletből, hogy ez az összefüggés is csak a 90%-os szinten szignifikáns.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A minimum hőmérsékletek alakulását a 20. század első felében *Bacsó és munkatársainak* vizsgálatai (*Bacsó et al., 1953; Ba-*

*csó, 1959*) alapján követtük nyomon. Amennyire az eltérő vizsgálatok összehasonlításából következtetni lehet, nincsen jelentős különbség a század első és második felének minimum hőmérsékleti viszonyai között. Csupán azt emelnénk ki, hogy az első 50 évben alacsonyabb minimum értékek is előfordultak, s akkor voltak napok, amikor a minimum értékek –30 fok alatt maradtak.

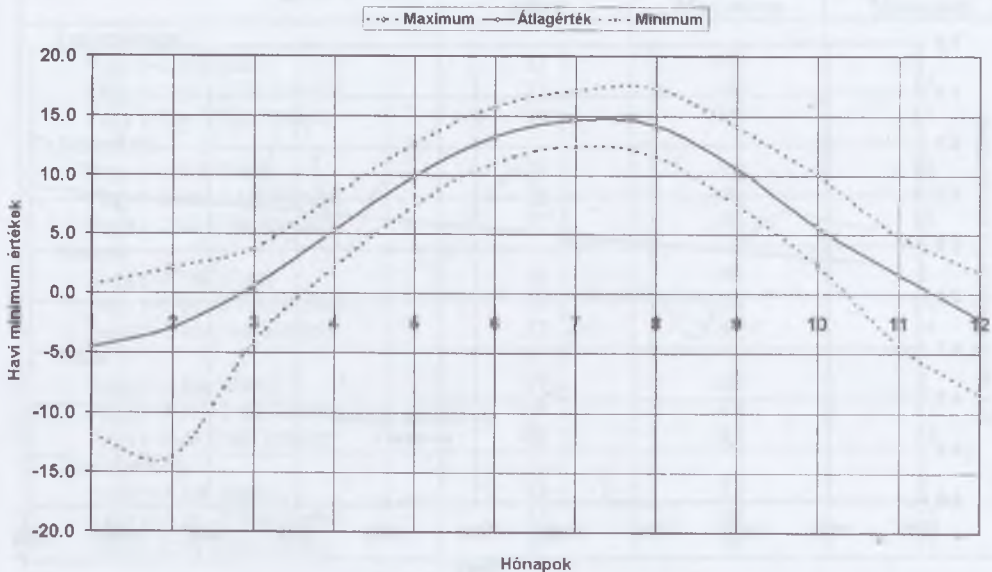
Mivel a légkörben az üvegházhatású gázok felhalmozódása tapasztalható, ezek pedig elsősorban a kisugárzást mérséklék, emiatt várható az éjszakai és téli minimum hőmérsékletek magasabb értékeinek gyakoribb előfordulása (*Kalma et al., 1992*). Feltehetően ezzel van összefüggésben az a tény, hogy a 20. század második felének minimum hőmérsékleteit hazánkban a mérséklődő tendencia jellemzi. Ez a károsító hatás csökkenését feltételezi, bár *Beerling et al. (2002)* paleoökológiai elemzései azt sugallják, hogy hosszabb távon a növények fagyérzékenységük fokozódásával reagálnak a magasabb hőmérsékleti viszonyokra, ilyen módon ellensúlyozva egy esetleges klímaváltozás növényzetre gyakorolt befolyását, s biztosítva a vegetáció viszonylag nagyobb mértékű állandóságát.

## FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BACSÓ N. – KAKAS J. – TAKÁCS L. (1953): Magyarország éghajlata. Országos Meteorológiai Intézet Hivatalos Kiadványai, XVII. kötet, Budapest, 226 p. (2) BACSÓ N. (1959): Magyarország éghajlata. Akadémiai Kiadó, Budapest, 302 p. (3) BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – MATYASOVSKY I. – SCHLANGER V. (2003): A globális klímaváltozás várható tendenciái a Kárpát medence területére. In: IV. Erdő és Klíma Konferencia, Bakonybél, 2003. június 4–6. (4) BEERLING, D. J. – TERRY, A. C. – HOPWOOD, C. – OSBORNE, C. P. (2002): Feeling the cold: atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment and the frost sensitivity of terrestrial plant foliage. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 182 (1–2) 3–13. pp. (5) DOMONKOS P. (2001): A napi léghőmérséklet extrém anomáliáinak időbeli struktúrái. *Éghajlati és Agrometeorológia Tanulmányok* 8. 104 p. (6) IPCC (2001): *Climate Change 2001: Scientific Basis*. University Press, Cambridge (7) KALMA, J. D. – LAUGHLIN, G. P. – CAPRIO, J. M. – HAMER, P. J. C. (1992): *The Bioclimatology of Frost*. Springer Verlag, Berlin, 144 p. (8) KERÉKGYÁRTÓ Gy.-né – MUNDRUCZÓ Gy. (1996): *Statisztikai módszerek a gazdasági elemzésben*. 3. kiadás. Aula Kiadó, Budapest, 571 p. (9) LARCHER, W. (2003): *Physiological Plant Ecology*. Springer Verlag, Berlin, 513 p. (10) LINDEN, L. (2001): Re-analyzing historical records of winter injury in Finnish apple orchards. *Canadian Journal of Plant Science*, 81 (3) 479–485 pp. (11) MAVI, H. S. – TUPPER, G. J. (2004): *Agrometeorology. Principles and Applications of Climate Studies in Agriculture*. Food Products Press, New York, 364 p. (12) MIKA J. (1988): A globális felmelegedés regionális sajátosságai

a Kárpát-medencében. Időjárás 92. 178–189. pp. (13) MIKA J. (1991): Nagyobb globális fölmelegedés várható magyarországi sajátosságai. Időjárás 96, 265–278. pp. (14) MIKA J. – BARTHOLY J. – SZEIDL L. – SZENTIMREI T. (2001): Éghajlati idősorok szélsőségeinek alakulása Magyarországon. Légkör XLV. évf. 4. sz., 9–13. pp. (15) SVÁB J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 557 p. (16) TSIPOURIDIS, C. – THOMIDIS, T. (2005): Effect of 14 peach rootstocks on the yield, fruit quality, mortality, girth expansion and resistance to frost damages of May Crest peach variety and their susceptibility on Phytophthora citrophthora. Scientia Horticulturae, 103 (4), 421–428. pp. (17) VARGA-HASZONITS Z. (1977): Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 224 p. (18) VARGA-HASZONITS Z. (1987): Agrometeorológiai információk és hasznosításuk. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 248 p. (19) VARGA-HASZONITS Z. – VARGA Z. – LANTOS Zs. – VAMOS O. – SCHMIDT R. (2000): Magyarország éghajlati erőforrásainak agroklimatológiai elemzése. Lóripriint, Mosonmagyaróvár, 223 p. (20) VARGA-HASZONITS Z. – VARGA Z. – LANTOS Zs. (2004): Az éghajlati változékonyság és az extrém jelenségek agroklimatológiai elemzése. Monocopy Kft, Mosonmagyaróvár, 264 p. (21) VARGA Z. (2003): Fagyok előfordulásának bioklimatológiai jellemzői az 1951–1990 közötti időszakban. Acta Agronomica Óváriensis, 45 (2) 167–177. pp. (22) VARGA Z. – VARGA-HASZONITS Z. – LANTOS Zs. (2001): A kukorica hőmérsékleti és nedvességi igényének meghatározása a terméshozamokra gyakorolt hatás alapján. Növénytermelés, 50 (2–3), 345–358. pp. (23) VEISZ O. (1993): A fagy károsító hatása a búza termésére. Növénytermelés, 42 (3) 205–211. pp. (24) VEISZ, O. – BRAUN, H. J. – BEDŐ, Z. (2001): Plant damage after freezing, and the frost resistance of varieties from the facultative and winter wheat observation nurseries. Selected papers from the 6<sup>th</sup> International Wheat Conference, Budapest, Hungary, 5–9 June 2000. Euphytica. 119 (1–2) 179–183. pp. (25) WHALEY, J. M. – KIRBY, E. J. M. – SPINK, J. H. – FOULKES, M. J. – SPARKES, D. L. (2004): Frost damage to winter wheat in the UK: the effect of plant population density. European Journal of Agronomy 21 (1) 105–115. pp.

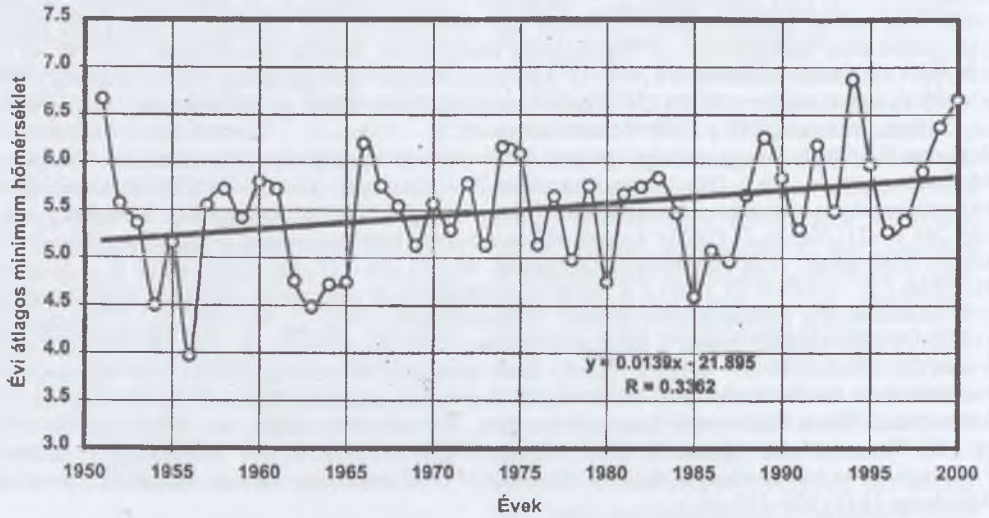
1. ábra

14 állomás területi átlaga  
1951–2000

A havi legkisebb, legnagyobb és átlagos minimum értékek évi menete

2. ábra

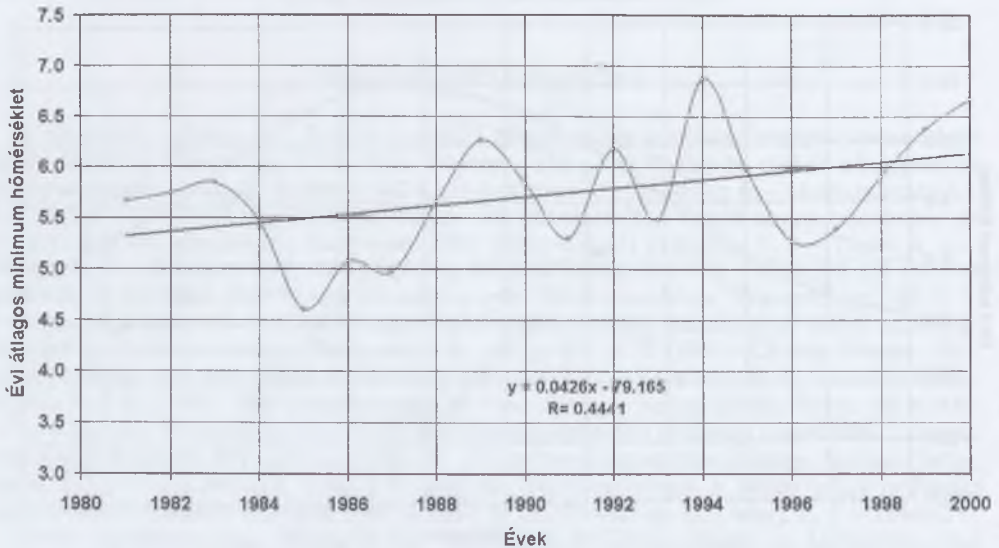
14 állomás minimum hőmérsékleteinek  
évi középértékeiből számított területi átlag



Az évi átlagos minimum hőmérsékletek változásai 1951–2000 között

3. ábra

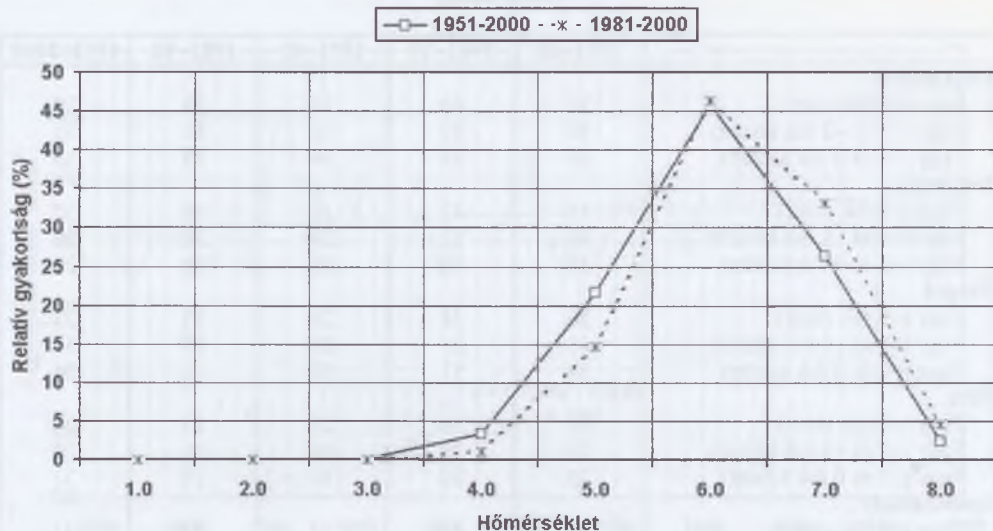
14 állomás minimum hőmérsékleteinek  
évi középértékeiből számított területi átlag



Az évi átlagos minimum hőmérsékletek változásai 1981–2000 között



## Az évi átlagos minimum értékek gyakorisága



Az évi átlagos minimum értékek eloszlása az 1951–2000 és az 1981–2000 közötti időszakban

1. táblázat

Napi hőmérsékleti minimum értékek évenkénti előfordulásának statisztikája (1951–2000)

	Átlag	Maximum	Minimum
<b>Iregszemcse</b>			
Fagy (–5 fok alatti)	32	67	1
Fagy (–5 és –2 fok között)	31	49	17
Fagy (–2 és 0 fok között)	34	55	17
<b>Debrecen</b>			
Fagy (–5 fok alatti)	36	66	13
Fagy (–5 és –2 fok között)	32	46	12
Fagy (–2 és 0 fok között)	32	48	18
<b>Szeged</b>			
Fagy (–5 fok alatti)	33	66	2
Fagy (–5 és –2 fok között)	29	50	10
Fagy (–2 és 0 fok között)	33	51	14
<b>Pécs</b>			
Fagy (–5 fok alatti)	27	68	1
Fagy (–5 és –2 fok között)	28	48	13
Fagy (–2 és 0 fok között)	29	45	12
<b>Szombathely</b>			
Fagy (–5 fok alatti)	33	73	1
Fagy (–5 és –2 fok között)	35	60	17
Fagy (–2 és 0 fok között)	37	59	24

2. táblázat

Napi hőmérsékleti minimum értékek évtizedenkénti átlagos előfordulásának statisztikája (1951–2000)

	1951–60	1961–70	1971–80	1981–90	1991–2000
<b>Iregszemcse</b>					
Fagy (–5 fok alatti)	31	40	27	33	27
Fagy (–5 és –2 fok között)	30	30	33	31	31
Fagy (–2 és 0 fok között)	38	34	34	33	33
<b>Debrecen</b>					
Fagy (–5 fok alatti)	35	42	32	38	35
Fagy (–5 és –2 fok között)	30	32	29	31	36
Fagy (–2 és 0 fok között)	34	30	35	34	29
<b>Szeged</b>					
Fagy (–5 fok alatti)	30	38	28	35	33
Fagy (–5 és –2 fok között)	26	27	29	27	35
Fagy (–2 és 0 fok között)	34	31	35	32	34
<b>Pécs</b>					
Fagy (–5 fok alatti)	28	36	21	25	26
Fagy (–5 és –2 fok között)	28	29	26	30	29
Fagy (–2 és 0 fok között)	30	26	31	26	31
<b>Szombathely</b>					
Fagy (–5 fok alatti)	33	42	27	33	31
Fagy (–5 és –2 fok között)	35	36	35	34	36
Fagy (–2 és 0 fok között)	42	36	39	33	36

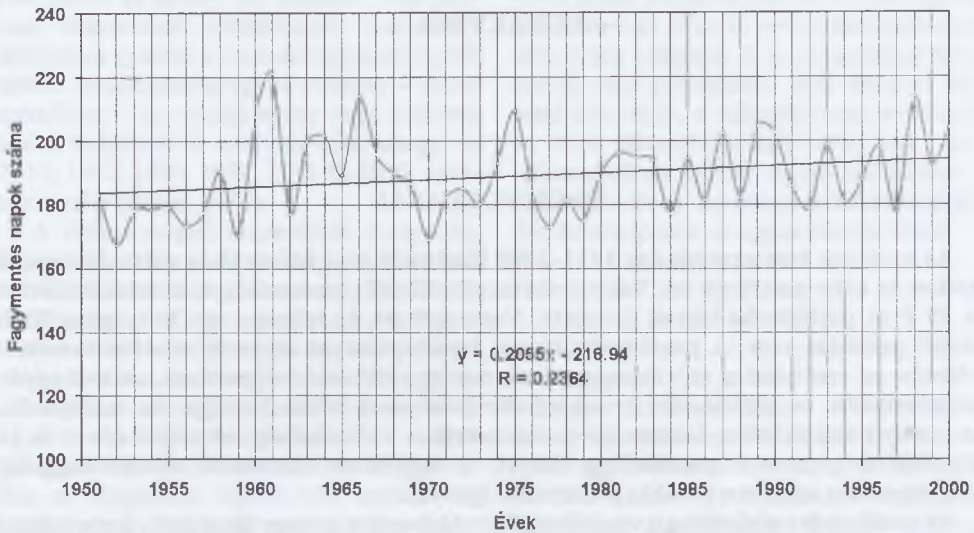
3. táblázat

A téli hónapok minimum értékeinek átlagos gyakorisága (1951–2000)

Állomások	Gyakorisági osztályok					
	0,0– (–4,9)	(–5,0)– (–9,9)	(–10,0)– (–14,9)	(–15,0)– (–19,9)	(–20,0)– (–24,9)	(–25,0)– (–29,9)
Békéscsaba	35,4	16,6	8,1	3,5	0,6	0,1
Budapest	39,4	16,5	5,4	1,1	0,2	0,0
Debrecen	37,6	18,6	8,3	2,9	0,6	0,0
Győr	37,0	15,8	5,8	1,9	0,7	0,0
Iregszemcse	40,3	17,2	6,4	2,4	0,4	0,0
Kecskemét	38,4	16,8	7,1	2,1	0,5	0,0
Kompolt	39,4	18,6	7,8	2,4	0,4	0,0
Miskolc	38,9	20,1	9,1	3,3	0,9	0,1
Mosonmagyaróvár	38,7	16,0	6,1	1,8	0,4	0,0
Nyíregyháza	37,7	18,6	9,6	2,7	0,5	0,1
Pécs	37,9	16,4	5,5	1,3	0,2	0,0
Szeged	37,6	17,1	6,7	2,5	0,7	0,0
Szolnok	38,0	17,3	7,4	2,7	0,6	0,0
Szombathely	43,5	17,9	7,3	2,3	0,2	0,0

5. ábra

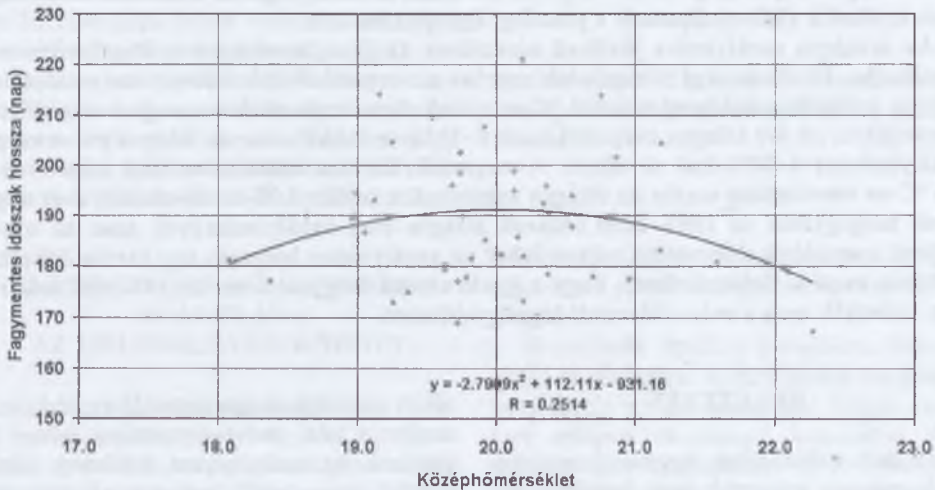
A fagymentes időszak hosszának területi átlagai  
1951-2000



A fagymentes időszak hosszának változásai az 1951–2000 közötti időszakban

6. ábra

Összefüggés a nyár középhőmérséklete  
és a fagymentes időszak hossza között  
1951-2000



A nyár középhőmérsékletének hatása a fagymentes időszak hosszának változására

# HOGYAN TOVÁBB ASZÁLY?

NOVÁKY BÉLA

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az országos éves aszályindex 1931–2000 közötti 70 éves idősorában változást igazoló tendencia nem ismerhető fel. Valószínűsíthető különböző hosszúságú, mindenekelőtt 20 és 35 éves periódushullámok jelenléte. Nem zárható ki teljesen egy hosszabb, 70 év körüli periódus sem. A periódushullámok leválasztásával maradó véletlen összetevő jelentős, az aszályindex szórásnégyzetének mintegy 80%-át magyarázza, amiből egyúttal következik az aszályindex évenként előrejelzésének lehetetlensége. Az aszályindex, az aszályindex véletlen összetevője aszimmetrikus valószínűségi eloszlást követ és jól közelíthető gamma-3 eloszlásfüggvénnyel, a legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény megválasztása azonban további pontosítást igényel.

Az aszályindex alakulása a vizsgált éveinket követően erősen függ attól, hogy miként alakul az éghajlat. Amennyiben nem következik be éghajlatváltozás, az aszályindex időbeli alakulását továbbra is kisebb részt a periodikus ingadozás, nagyjából a véletlen határozza meg. Kérdéses a felismert periódusok stabilitása. Ha ez utóbbit feltételezzük, úgy becslés adható az aszályindexnek a periodicitást is figyelembe vevő várható ingadozási tartományára. A periodikus (determinisztikus) összetevő figyelembevétele a várható ingadozási tartományt némileg növeli ahhoz képest, ha az aszályindex folyamatát csupán véletlennek tekintjük. Úgyis fogalmazható, hogy az aszályindex folyamatának csupán a jelenlegi struktúrájából adódóan is a ténylegesen észleltnél szélsőségesebb értékei is előfordulhatnak a jelenlegi éghajlat mellett.

Az országos aszályindex jövőbeli alakulását az éghajlatváltozás számottevően módosíthatja. Erzékenységi vizsgálatok szerint a tenyészidőszak középhőmérsékletének átlagos értékében bekövetkező 0–2 °C-os növekedése és az október–augusztusi időszak (lényegében az év) átlagos csapadékának 0–15%-os csökkenése az átlagos évi országos aszályindexet 0–30%-kal növelheti. A csapadék 15%-os csökkenése és a hőmérséklet 1,5 °C-os emelkedése esetén az átlagos aszályindex értéke 6,37-re növekszik, ami nagyjából megegyezik az 1991–2000 időszak átlagos éves aszályindexével, azaz az utolsó évtized nagyjából előrevetíti, milyen lehet az aszályindex helyzete egy tartós éghajlatváltozás esetén. Feltételezhető, hogy a gyakrabban megjelenő rendkívüli aszályok ritkán haladják meg a már előfordult legnagyobbakat.

## BEVEZETÉS

Hazánk időjárásában egyszer csapadékosabb, másszor szárazabb évek fordulnak elő. Szárazabb években, főleg magasabb hőmér-

séklet esetén, gyakorta alakul ki *aszályhelyzet*, amikor a talaj nedvességtartalma erősen lecsökken. Az aszályhelyzet, a növény szárazságtűrő képességétől, természetű növényeink esetében a természetstechnikától is függően,

sokszor *aszályba* fordul és nemegyszer jelentős károkat okoz. Tapasztalatok szerint az országban nagyjából minden tíz évből háromban alakul ki aszály. Az aszályos évek sokszor csoportosan jelentkeznek. Az aszály különösen gyakori a csapadéokban szegényebb alföldi területeinken; egyes években – eltérő mértékben – az ország egész vagy csaknem egész területére is kiterjed, mint ahogy ez 1935, 1952, 1990, 1992, 1993 és 2000. években történt (Pálfai, 2002).

A meteorológiai tényezőktől (csapadék, hőmérséklet) függő aszályhelyzet számszerű mérésére hazánkban elsősorban a *Pálfai-féle aszályindex* (PAI) terjedt el. Az index figyelembe veszi a tenyészidőszak átlaghőmérsékletét, a tenyészidőszak és az azt megelőző hónapok csapadékát havi megoszlásával együtt, a hőségnapok számának, a csapadékmentes időszak hosszának és a talajvíznek az átlagoshoz viszonyított értékét. Az aszályindex a szokásos meteorológiai észlelések alapján könnyen számítható előbb az egyes meteorológiai állomásokra, az állomási értékek területi átlagolásával pedig adott területre. Az aszályindex országos átlagainak értékeit az 1931–2000. évekre 68 meteorológiai állomás adatai alapján állították elő (Pálfai, 2002). Az országos aszályindex éves értéke az 1940. évi 1,78 és az 1952. évi 10,52 értékek között változott, miközben a sokévi átlagos érték 4,97 volt (1. ábra).

Az éves aszályindexet 70 év idősora alapján vizsgáltuk, keresve az aszályindex alakulásában meglévő törvényszerűségeket, hogy azok alapján kitekintést adhassunk az elkövetkező években várható aszályhelyzetről.

## AZ ORSZÁGOS ASZÁLYINDEX ALAKULÁSA AZ 1931–2000. ÉVEK KÖZÖTT

### Módszertani alapok

Az évenkénti országos aszályindex időbeli alakulása, a hidrológiai és meteorológiai folyamatokhoz hasonlóan, véletlen szto-

chasztikus folyamatnak tekinthető. Az ilyen folyamatokat a hosszabb-rövidebb ideig tartó tendenciaszerű változás és az ismétlődésre utaló, bizonyos ritmust követő ingadozás mellett az előre ki nem számítható változékonyság jellemzi. A sztochasztikus folyamatok, akár folyamatos, akár diszkrét idősorral írhatók le, e változásoknak megfelelően több összetevőre fejthetők szét. Az  $i$  időintervallum szerint diszkrétén változó  $Y_i$  idősor általános formában a következő módon bontható szét az egyes összetevőkre:

$$Y_i = T_i + P_i + A_i + V_i \quad (1)$$

ahol  $T_i$  a trend,  $P_i$  a periodikus,  $A_i$  az autoregresszív,  $V_i$  a véletlen összetevő. A bizonyos korlátok között előrejelzésre is lehetőséget adó trend- és periodikus összetevőket együttesen *determinisztikus*, az előrejelzésre nem vagy korlátozott mértékben lehetőséget adó két utóbbi összetevőt együtt *véletlen, sztochasztikus összetevőnek* is nevezik (Kontur et al., 1993).

A véletlen sztochasztikus folyamatok összetevők szerinti szétválasztásának *első lépése* többnyire a trendösszetevő leválasztása, ami különböző függvények illesztését jelenti. Leggyakoribb a

$$T_i = d_0 + d_1 i \quad (2)$$

lineáris trend illesztése. A trendösszetevő leválasztásával az eredeti időorból előállítható az

$$y_i = Y_i - T_i \quad (3)$$

különbség idősor. A további idősor-vizsgálatot az  $y_i$  különbségérték szerint szokás végezni.

A *második lépés* a periodikus összetevő(k) leválasztása. A periódusok megléte, a periódusok hossza némelykor fizikai alapon nyugvó ok-okozati hatásokkal függ össze és előre kiválasztható. A havi meteorológiai és hidrológiai változók idősorában jól felismerhető a 12 havi periódushossz, ami az

éghajlat évszakosságával, végső soron bolygónk periodikus mozgásával van kapcsolatban. A meteorológiai és hidrológiai folyamatokban vélelmezhető a napfolttevékenységgel összefüggő ritmikus változékonyság is. Amennyiben a periódushossz 'a priori' nem ismert, értékeiről többnyire az idősor autokorrelációs függvénye alapján lehet és szokásos tájékozódni. A periódushossz ismeretében az  $Y_i$  idősor a Fourier-sorfejtéshez hasonlóan a  $\tau_j$  periódushossz szerinti cosinus és sinus függvények összegeként állítható elő a

$$P_i = a_0 + \Sigma [a_j \cos (2\pi i/\tau_j) + b_j \sin (2\pi i/\tau_j)] \quad (4)$$

egyenlet szerint. A (4) képlet  $a_0$ ,  $a_j$  és  $b_j$  Fourier-együtthatói megfelelő képletek alapján számíthatók. Az  $y_i$  eltérés idősorának Fourier-sorba fejtésénél az  $a_0$  értéke természetesen 0. A (4) egyenlet felírható

$$P_i = K_j \cos [(2\pi/\tau_j) (i - \Phi_j)] \quad (5)$$

alakban is, ahol  $K_j$  a

$$K_j = (a_j^2 + b_j^2)^{0.5} \quad (6)$$

egyenlet szerint számítható *amplitúdó*,  $\Phi_j$  a

$$\Phi_j = \arctg (b_j/a_j) \quad (7)$$

képlet szerint számítható radiánban kifejezett *fázisszög*. Mivel az amplitúdóból számítható  $K_{j/2}$  az adott  $\tau_j$  periódushosszhoz tartozó periodikus összetevő szórásnégyzete (varianciája), a  $K_j$  értéke alapján számítható, hogy az adott periodikus hullám milyen mértékben járul hozzá az eredeti változó, esetünkben az aszályindex szórásnégyzetéhez, vagyis az, hogy az adott periodikus hullám szerinti változékonyság milyen mértékben magyarázza az eredeti idősor változékonyságát.

A periódusok kiválasztásának másik módja lehet a spektrumfüggvény előállítása. Ebben az esetben az első, a legnagyobb

periódushosszt az  $N$  évből álló észlelési időszak hosszával megegyezően választják ki, azaz  $\tau_1 = N$ , a második periódushullám hosszát az előző felében, azaz  $\tau_2 = N/2$ , majd általában a  $j$ -dik periódus hosszát a  $\tau_j = N/j$  összefüggés szerint. Az így kiválasztott periódusok egymásnak alharmonikusai. A  $K_j$  amplitúdó a periódushossznak megfelelően valamennyi  $j$  értékre számítható, és így előállítható a

$$K_j = f(j) \quad (8)$$

spektrumfüggvény. A spektrumfüggvény tájékoztat az adott periódushullámnak az eredeti idősor változékonyságában betöltött szerepének súlyáról, hasonlóan ahhoz, ahogy a látható fény spektrumfüggvénye tájékoztat arról, hogy az egyes hullámhosszú (és színű) fény milyen arányban szerepel a teljes fehér fényben.

#### A szétfejtés nélküli aszályindex idősor valószínűségi jellemzése

Az éves országos aszályindex sokévi átlagos értéke és szórásnégyzete a vizsgált 70 év alapján 4,97, illetve 3,46. Amennyiben a trendet és a periódusokat figyelmen kívül hagyva az aszályindex időbeli változását kizárólag véletlen folyamatnak tekintjük, az éves aszályindex idősora a  $M[PAI]$  átlagérték és a  $PAI(\xi_j)$  véletlen összetevő

$$PAI_i = M[PAI] + PAI(\xi_i) \quad (9)$$

összegeként írható fel. A  $PAI(\xi_i)$  véletlen összetevő empirikus eloszlása jelentős aszimmetriát mutat, ezért eloszlását a normális valószínűségi eloszlás mellett gamma-3 valószínűségi eloszlás függvényrel is közelítettük (1. táblázat). A  $PAI(\xi_i)$  valószínűségi eloszlásának ismeretében mindkét változatban számítottuk az éves aszályindexek adott valószínűséggel meghaladott értékeit is (1. táblázat).

### Az aszályindex idősor szétfejtése trend, periodikus és véletlen összetevőre

Az aszályindex idősorának trend-, periodikus és véletlen összetevőkre való szétfejtésével az aszályindex a

$$PAI_t = PAI(t) + PAI(\tau_t) + PAI(\zeta_t) \quad (10)$$

összegként írható fel, ahol  $PAI(t)$ ,  $PAI(\tau_t)$  és  $PAI(\zeta_t)$  rendre a trend-, periodikus és véletlen összetevő. A determinisztikus összetevő leválasztásával maradó  $PAI(\zeta_t)$  véletlen összetevő, értelmezésének megfelelően természetesen eltér a (9) egyenlet szerint értelmezett véletlen összetevőtől, azaz  $PAI(\zeta_t)$  és  $PAI(\xi_t)$  nem egyazonos értékek.

Az aszályindex 1931–2000. évek közötti 70 éves idősorára a

$$PAI(i) = 5,348 + 0,00775i \quad (11)$$

alakú lineáris trend illeszthető. A *trendösszetevőnek* az idősorban elsőként megjelenő értéke,  $PAI(1) = 4,68$ ; utolsó értéke  $PAI(70) = 5,26$ , azaz a vizsgált 70 évben a növekmény éves üteme mindössze 0,008. A teljes 70 éves idősoron belül a második 35 évben az átlagos aszályindex 5,11, ami mintegy 6%-kal nagyobb, mint az első 35 év 4,83 átlagos értéke. Nincs lényeges eltérés a két 35 éves időszak szórásnégyzeteinek értékei között sem: a második időszakban a szórásnégyzet 3,76, ami csak kissé magasabb, mint az első időszak 3,24 értéke. A lineáris trend nem mutat lényegi változást az aszályindex 70 éves idősorában, ami megerősíti a korábbi hasonló vizsgálatok eredményét (Pálfai, 2002).

A trendösszetevő leválasztása után maradó idősor szórásnégyzete 3,43; alig különbözik az eredeti idősor szórásnégyzetének 3,46 értékétől. A lineáris trend tehát alig észrevehetően, csupán 1%-kal csökkenti és magyarázza az eredeti idősor szórásnégyzetét.

Az éves aszályindex idősorában esetleg meglévő periódusok keresése az autokorrelációs függvény (2. ábra) alapján történt. A periódusok keresése szempontjából közömbös, hogy a függvényt az eredeti vagy a trendmentes időorból állítjuk elő. Természetesen a lépésköz növelésével az egyre rövidülő adatsorból számítható korrelációs tényezők megbízhatósága csökken. Az autokorrelációs függvény alapján 10 lehetséges periódushosszt választottunk ki további vizsgálatra, közelebről a  $\tau_j = 2, 4, 9, 13, 18, 20, 23, 28, 35$  és  $39$  éveket. Az autokorrelációs függvény alapján kiválasztott periódushosszakat kiegészítettük az észlelési időszak hosszával megegyező, feltételezett periódushosszal, a  $\tau_j = 70$  év értékkel.

A periódushullámok  $\tau_j$  periódushossznak megfelelően számított  $a_j$  és  $b_j$  Fourier-együtthatóit,  $K_j$  amplitúdóit, adott periódushullámnak a PAI, aszályindex szórásnégyzete csökkentéséhez való százalékos hozzájárulását a 2. táblázat foglalja össze, a kiválasztott periódushosszakhoz tartozó  $K_j$  értékek szerint felrajzolt spektrumfüggvény (pontosabban a függvénynek a bevont periódushosszakhoz tartozó értékei) a 3. ábrán látható. Ez utóbbi szemléletesen mutatja a periódushullámoknak azt a sorrendjét, amilyen mértékben járulnak hozzá a PAI aszályindex szórásnégyzetének csökkenéséhez, azaz az aszályindex változékonyságának magyarázatához. A  $\tau_j$  periódushossz szerinti sorrend a következő: 20, 70, 39, 35, 23, 18, 2, 28, 4, 13, 9 év. A 9 éves periódus gyakorlatilag nem játszik érdemleges szerepet a szórásnégyzet csökkentésében.

A kiválasztott periódushullámok egymásnak nem, pontosabban csak részben alharmonikusai. Nagyjából alharmonikusok sorrendben a 70, 35, 18, 9, 4 és 2 éves periódushullámok, de ebbe a sorba nem illeszkedik be a többi fel nem sorolt periódushullám. Ezt azért érdemes tudni, mivel csak az egymás közt alharmonikus periódushullámok Fourier-együtthatói felelnek meg az ortogonalitás feltételének, ami viszont szükséges ahhoz, hogy a periódushullámok egy-

mástól függetlenek legyenek, amikor a szórásnégyzetet egyenként csökkentő hatások egyúttal additív is.

Figyelemreméltó, hogy a periódushullámok között a 70 éves periódus hatása számottevő, a 20 éves periódushossz után a második legnagyobb mértékben járul hozzá az aszályindex szórásnégyzetének csökkenéséhez. Csupán e periódushullámnak az aszályindex idősorából történt leválasztása után maradó idősor szórásnégyzete 3,24, mintegy 6–7%-kal kisebb, mint az eredeti idősoré. Összehasonlítva ezt az értéket a lineáris trenddel elért alig 1%-os csökkenéssel, megkockáztathatjuk a vélekedést, miszerint az aszályindex 70 éves idősorában mutatkozó emelkedő tendencia egy hosszúhullámú periódus adott időszakban emelkedő szakasza, azaz az aszályindexben kimutatott emelkedés inkább ingadozásra, mint változásra utal. Ezt felismerve, vagy inkább feltételezve, vizsgálatainkat két úton folytattuk. Az egyik úton haladva követtük az idősorok klasszikus szétfejtési eljárását és a lineáris trendtől megszabadított idősorral folytattuk a periódusvizsgálatot, aminél csupán az autokorreláció függvény szerint vélelmezhetően meglévő periódushosszakat vettük figyelembe. A másik út az volt, hogy eltekintettünk a lineáris trendtől és csak periódusokat vizsgáltunk az eredeti aszályindex idősoron, miközben számoltunk a 70 éves periódussal is.

Az első utat követve a trendösszetevő leválasztása után maradó idősor periódusvizsgálatának következő lépéseként minden lehetséges változatban számítottuk, hogy két periódushullám együttes figyelembevételével milyen mértékben csökkenti tovább az aszályindex lineáris trendtől mentesített idősorának szórásnégyzetét (3. táblázat).

A legnagyobb mérvű csökkenést a 20 és 35 év hosszúságú periódusok együttes figyelembe vétele jelenti: e két periódushullám együtt az aszályindex 3,47 értékű szórásnégyzetét 2,83-ra, mintegy 18%-kal csökkenti. A 20 és 39 éves, valamint a 20 és 28 éves periódusok együttes figyelembe vétele

13–14%-kal csökkenti a szórásnégyzetet. Az előzőeknél kisebb, de még 10% feletti csökkenést eredményez, ha a 20 éves periódus mellett a 2, 4, 9 vagy 13 éves periódushullám egyikét vesszük figyelembe. A két periódushullámot figyelembe vevő, az aszályindex szórásnégyzetét legnagyobb mértékben csökkentő 9 változatra a már kiválasztott két periódus mellé további harmadik periódus bevonásával folytattuk a periódusvizsgálatot, összesen 49 változat elemzésével (4. táblázat).

A 4. táblázat összegyűjtött értékei alapján a következő megállapítások tehetők. A harmadik periódushullám bevonása egyetlen változatban sem javítja a valamennyi között legjobbnak bizonyuló két periódusból álló változatot, azaz a három periódushullámot feltételező közelítések egyike sem jobb, mint a 20 és 35 éves periódusokból álló közelítés. Több, két periódusból álló közelítést a harmadik periódus bevonása javít ugyan, de ezekkel együtt is a szórásnégyzet csökkenésének mértéke alatta marad a csupán két periódussal történt legjobb közelítésnek. Feltűnő, hogy a periódushullámok közül gyakran a rövidebb periódusok bevonása vezet a két periódushullámmal történt közelítéssel elért szórásnégyzet csökkenéséhez (5. táblázat).

A periódushullámokkal történt legjobb közelítések esetén a periódusok figyelembe vétele az aszályindex szórásnégyzetét 12–18%-kal mérsékli, azaz nagyobb mértékben, mint tette ezt a lineáris trend. A legjobb közelítést a 4. ábra mutatja be.

Az aszályindex idősorának vizsgálatában követett másik eljárásnál lineáris trenddel nem számoltunk, pontosabban azt a 70 éves periódushullámmal „váltottuk ki”, mi több, az idősor periódusok szerinti szétfejtését a 70 éves periódussal kezdtük. A továbbiakban az eljárás lényege ugyanaz volt, mint az első vizsgálatban: az elsőként kiválasztott 70 éves periódus mellé másodikként bevontunk egyet abból a 10 periódushullámból, amelyek egyenkénti figyelembe vétele – korábbi vizsgálataink szerint (2. táblázat) – a legna-



gyobb mértékben járul hozzá az aszályindex szórásnégyzetének csökkentéséhez. A 70 éves periódusból kiindulva a periódushullámok figyelembevételének összesen 21 lehetséges változatát vizsgáltuk (6. táblázat).

A periódus vizsgálatok 6. táblázatban összefoglalt eredménye alapján megállapítható, hogy a 3 periódushullám kiválasztásával kapott változatok között 4 olyan van, amelyek nagyobb mértékben csökkentik az aszályindex szórásnégyzetét, mint a 20 és 35 éves periódushullámok adta közelítés (7. táblázat). Figyelemre méltó, hogy a 70 éves hullámokból kiinduló periódusvizsgálatban is az aszályindex változékonyságát legjobban magyarázó periódusok között lényegében azok szerepelnek, amelyek a trendösszetevő leválasztását követően is legjobbaknak bizonyultak, azaz a 20, 35, 39 és 4 éves periódusok. A 70 éves hullámot figyelembevevő periódusvizsgálat szerint a periódushullámok az aszályindex szórásnégyzetét 17–22%-ban csökkentik, ami nagyobb mértékű, mint a 70 évvel nem számoló hasonló vizsgálat.

A lineáris trendösszetevő leválasztását követő, vagy anélkül történt periódusvizsgálat egymáshoz hasonló eredményt ad. Az index idősorának periódushullámokkal történt mindkét közelítése jól kirajzolja az 1931. évi kezdet utáni 21-dik és 61-dik (azaz 1952 és 1992-ben) jelentkező helyi maximumokat (4. ábra).

Az évi országos aszályindex idősorának a fentiek szerint végzett szétfejtése azt mutatja, hogy az index 1931–2000. évek közti alakulásában emelkedő tendencia nincs, a periódushullámok – a periódusok megválasztásától függően – a PAI aszályindex szórásnégyzetének legfeljebb 17–20%-át, átlagosan mintegy 20%-át magyarazzák. A periódusok leválasztása után maradó idősor erősen véletlen jellegű ingadozást mutat (5. ábra), amiben sem trend, sem számottevő csoportosulás nem ismerhető fel. Az aszályindex változékonyságában messze a legnagyobb szerepet, a változékonyság mintegy 80%-át az előre ki nem számít-

ható véletlen játssza. A véletlen magas szerepe erősen korlátozza az aszályindexnek, ezzel együtt az aszálynak az előrejelezhetőségét.

A periodikus összetevőknek a (10) egyenlet szerinti leválasztásával kapott PAI( $\zeta_i$ ) maradék idősor, azaz a véletlen összetevő szórása 1,63 szemben az eredeti aszályindex 1,81 szórásával. A szórásnégyzet 3,28-ról 2,66-ra, mintegy 20%-kal csökken. A PAI( $\zeta_i$ ) véletlen összetevő eloszlását – hasonlóan a (9) szerint értelmezett PAI( $\xi_i$ ) véletlen összetevő eloszlásához – normális és gamma-3 eloszlásfüggvénnyel egyaránt közelítettük (8. táblázat). Meg kell jegyezni, hogy a determinisztikus (periodikus) összetevő után maradó PAI( $\zeta_i$ ) véletlen összetevő kevésbé aszimmetrikus.

## AZ ORSZÁGOS ASZÁLYINDEX JÖVŐBENI ALAKULÁSA

Az aszályindex alakulása a vizsgált éveinket követően erősen függ attól, hogy miként alakul az éghajlat, lesz-e éghajlatváltozás, s ha igen, milyen mértékű.

### Az aszályindex alakulása éghajlatváltozás nélkül

Amennyiben nem következik be éghajlatváltozás, az aszályindex időbeli alakulását minden bizonnyal továbbra is kisebb részt a periodikus ingadozás, nagyobb részt a véletlen határozza meg, hasonlóan ahhoz, ahogy azt az aszályindex 70 év alatti viselkedéséből is kiolvashattuk.

A periodikus és az átlag érték összegéből álló PAI( $i$ ) + PAI( $\pi_i$ ) determinisztikus összetevő elvileg tetszőleges időtávra előre jelezhető. Az előrejelzésnek azonban alapvető feltétele a feltárt periódusok jövőbeli stabilitása. Az aszályindex 70 éves idősorában, a végtelen folyamat véges mintájában fellelt periódusok – hasonlóan más statisztikai jellemzőhöz – mintafüggők, azaz függnek a

minta hosszától, a mintának az abszolút időskálán elfoglalt helyétől, a mintába kerülő évek viselkedésétől, az évek megfigyelt csoportosulásától. Nem zárható ki, hogy a megfigyelttől eltérő mintákból más periódusok lettek volna kiolvashatók. A periódusok stabilitási megkérdőjelezhetőségére saját vizsgálati eredményeink is utalnak, ami szerint az adott mintában is több, egymással egyenértékű vagy legalábbis közel egyenértékű periodikus felbontás lehetséges. A feltárt periódusok stabilitása, azaz a 70 éves időszak alapján feltártak szerinti folytatódása sokkal inkább feltételezett, mint egyértelműen igazolt tény. Ugyanakkor az is feltételezhető, hogy ha a periódusok változnak is (pontosabban más periódusok válnak felismerhetővé), a periódusok váltása hosszabb időt vesz igénybe, a mintából feltárt periódusok minden bizonnyal egy ideig még fennállnak, változásuk pedig a periódusvizsgálat folyamatos felújításával kellő pontossággal nyomon kísérhető. A stabilitás feltételének elfogadásával a determinisztikus összetevő – mint fentebb utaltunk rá – teljes biztonsággal adott évre megmondható.

Az aszályindex véletlen összetevőjének a determinisztikus összetevőhöz hasonlóan adott évekre történő előrejelzése nem lehetséges, az összetevő csak a valószínűségi eloszlás függvényével jellemezhető. A periódusok leválasztásával a véletlen összetevő ingadozásának tartománya ugyan csökken, de ez nem olyan mértékű, hogy lehetővé tenné adott évekre az előrejelzést. Az aszályindex alakulásában a determinisztikus összetevő figyelembe vétele ellenére is olyan mértékű a véletlen szerepe, hogy adott év(ek)re előrejelzés nem tehető. Becsülhető ugyanakkor az aszályindex ingadozási tartománya. Ebben alapvető kérdés, hogy az aszályindex idősorának periodikus felbontása miként változtatja meg az eredeti idősből kapott ingadozási tartományt. A következőkben ezt a kérdést tekintjük át.

Az éves aszályindex a múlt tanúsága szerint széles határok között ingadozik. Jellemezzük az aszályindex valószínűségéhez

köthető lehetséges ingadozását – egyfajta megközelítésben – a  $p$  meghaladási valószínűséghez és komplementeréhez, az  $1 - p$  meghaladási valószínűséghez (amikor  $p > 1 - p$ ) tartozó  $PAI_p$  és  $PAI_{1-p}$  értékekkel kijelölt tartománnyal. Ebben az esetben  $p - (1 - p) = 2p - 1$  a valószínűsége annak, hogy az éves aszályindex a  $PAI_p$  és  $PAI_{1-p}$  értékekkel kijelölt  $[PAI_p, PAI_{1-p}]$  tartományban van. Ha az aszályindex idősorát véletlen folyamatnak tekintjük és sem trend-, sem periodikus összetevővel nem számolunk, úgy ez a tartomány a (9) egyenletnek megfelelően a

$$PAI_p = M[PAI] + PAI(\xi_p) \quad (12)$$

és

$$PAI_{1-p} = M[PAI] + PAI(\xi_{1-p}) \quad (13)$$

értékhatárok között jelölhető ki. Ha viszont tekintetbe vesszük a determinisztikus összetevőt, úgy a hasonlóan értelmezett valószínűségi tartomány a (10) egyenletet is figyelembe véve

$$PAI_p^* = M[PAI] + PAI(\pi_{\min}) + PAI(\zeta_p) \quad (14)$$

és

$$PAI_{1-p}^* = M[PAI] + PAI(\pi_{\max}) + PAI(\zeta_{1-p}) \quad (15)$$

értékek között jelölhető ki. (A \* jellel utalunk arra, hogy az így számított aszályindex értékek a periodikus összetevőt figyelembe vesszük.) A (14) és (15) képletek azt fejezik ki, hogy a  $2p - 1$  valószínűséggel várható tartomány alsó határát az az érték jelöli ki, amikor a  $p$  meghaladási valószínűségű  $PAI(\zeta_p)$  véletlen összetevő a determinisztikus összetevőnek az ingadozásból lehetséges minimális értékével, azaz  $PAI(\pi_{\min})$  értékkel, a tartomány felső határát pedig az az érték, amikor az  $1 - p$  meghaladási valószínűségű  $PAI(\zeta_{1-p})$  véletlen összetevő a determinisztikus összetevőnek az ingadozásból lehetséges maximális értékével, azaz  $PAI(\pi_{\max})$  értékkel találkozik és adódik össze. Az összegzés

egyébként azért lehetséges, mivel a periodikus és a véletlen összetevő független (vagy elfogadható függetlennek).

Az ingadozási tartomány ilyen értelmezése után a kérdés az, hogy a determinisztikus összetevő figyelembevétele hogyan és milyen mértékben módosítja a csak véletlennek tekintett idősről megállapítható ingadozási tartományt, azaz mit mutat a  $[PAI_p, PAI_{1-p}]$  és a  $[PAI_p^*, PAI_{1-p}^*]$ , vagy az ezzel egyenértékű  $[PAI(\xi_p), PAI(\xi_{1-p})]$  és  $[PAI(\zeta_p) + PAI(\pi_{\min}), PAI(\zeta_{1-p}) + PAI(\pi_{\max})]$  tartományok összehasonlítása. Általánosan fennáll, hogy a  $[PAI(\xi_p), PAI(\xi_{1-p})]$  tartomány tágabb, mint a  $[PAI(\zeta_p), PAI(\zeta_{1-p})]$  tartomány, mivel a determinisztikus összetevő leválasztása szűkíti az eredeti idősről véletlen összetevőjének ingadozását. Mindebből következik, hogy a  $[PAI(\xi_p), PAI(\xi_{1-p})]$  és  $[PAI(\zeta_p) + PAI(\pi_{\min}), PAI(\zeta_{1-p}) + PAI(\pi_{\max})]$  tartományok tágasságának viszonyát a  $PAI(\pi_{\min})$  és  $PAI(\pi_{\max})$  értékek, azaz a determinisztikus (periodikus) összetevő ingadozási tartománya szabja meg, amit minden esetben, minden idősről külön kell vizsgálni.

Lássuk ezek után, hogyan alakul az éves országos aszályindex ingadozási tartománya a jövőben az 1931–2000. évek közötti minta alapján. Hasonlítsuk össze az aszályindex  $2p - 1 = 98\%$  valószínűséghez tartozó ingadozási tartományát az aszályindex alakulását egyszer csupán véletlen folyamatnak tekintve, másszor figyelembe véve a determinisztikus összetevőt is.

Az előbbi esetben a  $p = 0,99$  és  $1 - p = 0,01$  valószínűségekhez tartozó véletlen összetevő – az összetevő normális eloszlása esetén –  $PAI(\xi_p) = -4,33$ ,  $PAI(\xi_{1-p}) = 4,33$  és így  $[PAI_p, PAI_{1-p}] = [0,64, 9,30]$ , azaz  $PAI$  98%-os valószínűséggel van a 0,64–9,30 tartományban. Amennyiben a véletlen összetevő eloszlását gamma-3 eloszlással közelítjük – hasonló gondolatmenetet követve – a  $PAI$  ingadozási tartománya 98%-os valószínűséggel 1,89–10,59 között van és ezt mondhatjuk a jövőre vonatkozóan is.

A determinisztikus összetevővel is számolva, normális eloszlás esetén  $PAI(\zeta_p) = -$

$3,80$ ,  $PAI(\zeta_{1-p}) = 3,80$ ,  $PAI(\pi_{\min})$  és  $PAI(\pi_{\max})$  értékei a 20, 70 és 35 éves periódushullámok figyelembevétele esetén  $-1,58$  és  $1,92$ , amiből következően  $[PAI_p^*, PAI_{1-p}^*] = [-0,41, 10,69]$ , azaz az aszályindex 98%-os valószínűséggel van a  $-0,41$  és  $10,69$  értékek között. Amennyiben az eloszlás gamma-3 eloszlás, úgy  $PAI(\zeta_p) = -3,12$ ,  $PAI(\zeta_{1-p}) = 5,00$ , és – miután a véletlen összetevőt közelítő eloszlásfüggvény megválasztása a periodikus összetevőt nem érinti –  $PAI(\pi_{\min}) = -1,58$  és  $PAI(\pi_{\max}) = 1,92$ . A (14) és (15) képleteknek megfelelően pedig  $[PAI_p^*, PAI_{1-p}^*] = [0,27, 11,89]$ . Bármely valószínűségi eloszlást is tekintjük, az ingadozási tartomány szélesebbre adódik, mint amilyent akkor kapunk, ha a determinisztikus összetevőt nem vesszük figyelembe.

A normális valószínűségi eloszláshoz tartozó tartománnyal kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy annak alsó határértéke,  $-0,41$ -es érték – jóllehet fizikailag értelmezhető, hiszen a tenyészidőszak hőmérséklete elméletileg lehet negatív – hazai éghajlati adottságaink melletti megjelenése teljesen kizárt mind a jelenlegi és minden lehetségesen elképzelt éghajlati változás esetén. Nagyon valószínű, hogy az aszályindex alulról korlátos és ez felveti a normális eloszlás jogosságát, amivel szemben tehát előnyben kell részesíteni az aszimmetrikus eloszlásokat, mint a gamma-3 eloszlást. Ez már a véletlen összetevő empirikus eloszlásából is sejthető volt. A várható ingadozási tartomány alsó határa a gamma-3 eloszlás esetén ugyan pozitív, és alacsony értéke ebben az esetben is megkérdőjelezhető.

Minden említett probléma ellenére erősen vélelmezhető, hogy a determinisztikus (periodikus) összetevő figyelembevétele a lehetséges ingadozási tartományt némileg növeli ahhoz képest, ha az aszályindex folyamatát csupán véletlennek tekintjük. Úgyis fogalmazhatni, hogy az aszályindex folyamatának múltban megismert értékeiből, megismert struktúrájából adódóan is, a periodikus és a véletlen összetevők szélsőséges értékeinek nem kizárható „szerencsés” ösz-

szetalálkozása esetén a ténylegesen észlelt-nél szélsőségesebb értékei a jelenlegi éghajlat további fennmaradása mellett is előfordulhatnak.

### Az aszályindex alakulása éghajlatváltozás esetén

Az országos aszályindex jövőbeli alakulását az éghajlatváltozás számottevően módosíthatja.

Az éghajlatváltozás nem zárható ki. Az üvegházgázok, mindenekelőtt a szén-dioxid légköri koncentrációjának az ipari forradalmat követően megindult és mára felgyorsult növekedése az üvegházhatás erősödéséhez vezet, aminek következtében nő a Föld hőmérséklete, változnak a globális légköri folyamatok. A globális változások regionális következményei bizonytalanok, és a bizonytalanság egyre növekszik, ahogy térben és időben egyre kisebb léptékre váltunk. Mai ismereteink szerint a Kárpát-medencében és hazánkban az éghajlat mediterránosodása a legvalószínűbb, azaz a téli és nyári félév hőmérsékletének növekedése mellett a téli csapadék növekedése és a nyári csapadék csökkenése valószínűsíthető (Mika, 1999). A hőmérséklet és a csapadék ilyen változása hatással van az aszályindex alakulására. Amennyiben nem egyetlen éghajlati állapot hatását elemezzük, hanem különböző feltételezett éghajlati – csapadék és hőmérsékleti változás – hatását, úgy lehetőségünk van az *aszályindex éghajlati érzékenységének* vizsgálatára. Hasonló vizsgálatot az országos éves aszályindex átlagos értékére végeztünk a következők szerint.

Az aszályindexnek csupán a hőmérsékletet és csapadékot figyelembe vevő egyszerűbb alakja a

$$PAI = 100T_{IV-VIII}/P_{X-VIII}, \quad (16)$$

ahol  $T_{IV-VIII}$  a tenyészidőszakkal lényegében megegyező április–augusztus időszak közepes hőmérséklete,  $P_{X-VIII}$  az október–augusz-

tus időszak csapadékösszege. (Az index fejlettebb változatában a csapadékösszeg a havi csapadékoknak, a csapadék megoszlását is figyelembe vevő súlyozott összege.) Legyen az április–augusztus hónapok átlagos középhőmérsékletének változása az éghajlat megváltozása esetén  $\Delta T$  [°C], az átlagos csapadék változása  $\Delta P$  [mm]. Ez utóbbinál a  $100\Delta P/P$  a csapadék %-ban kifejezett változását jelenti. E feltételekkel az új éghajlati állapotban a tenyészidőszak átlagos középhőmérséklete

$$T_{IV-VIII}^* = T_{IV-VIII} + \Delta T, \quad (17)$$

átlagos csapadéka

$$P_{X-VIII}^* = P_{X-VIII} + \Delta P. \quad (18)$$

A (16)–(18) képletek felhasználásával, megfelelő behelyettesítéssel és átrendezéssel az aszályindexnek a hőmérséklet- és csapadékváltozásból eredő módosulása a

$$PAI^*/PAI = [(T + \Delta T)/T][P/(P + \Delta P)] \quad (19)$$

illetve

$$PAI^*/PAI = (1 + \Delta T/T) (1 + \Delta P/P)^{-1} \quad (20)$$

képlettel számítható. A felépítésében egyszerű képlet előnye, hogy csupán a hőmérséklet és a csapadék hosszabb időtartamra (nyári és téli félév) vonatkozó átlagértékei megváltozásának ismeretét igénylik, azon változásokat, amelyeket az éghajlati forgatókönyvek – az általában vett bizonytalanságok ellenére – a leginkább megbízhatóan képesek előre jelezni. A (20) képlet felépítéséből látható, hogy a PAI változásának mértéke nemcsak a hőmérséklet és csapadék változásának mértékétől függ, de attól is, hogy a változás a mai éghajlat milyen csapadék és hőmérséklet értékénél következik be.

Az országos éves aszályindex átlagos értékére végzett éghajlati érzékenységi vizsgálatunkban a jelenlegi éghajlat következő jellemzőiből indultunk ki: az április–augusz-

tus hónapok átlagos középhőmérséklete  $T = 16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , az október–augusztus hónapok csapadéka 570 mm országos átlagban (Szász–Tőkei, 1999). Az érzékenységi vizsgálatokban feltételeztük a hőmérséklet  $\Delta T = 0,5, 1,0, 1,5$  és  $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  növekedését, illetve a csapadék 2,5, 5, 10 és 15% csökkenését. Ez utóbbiak  $\Delta P = 14,25, 28,5, 57$  és  $85,5$  mm/időszak csökkenésnek felel meg. Az érzékenységi vizsgálatok eredményét a 9. táblázat foglalja össze.

Az érzékenységi vizsgálatok szerint a hőmérséklet legfeljebb  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  növekedése és egyidejűleg a csapadék legfeljebb 15%-os csökkenése az átlagos éves országos aszályindex legfeljebb 30%-os növekedéséhez vezet.

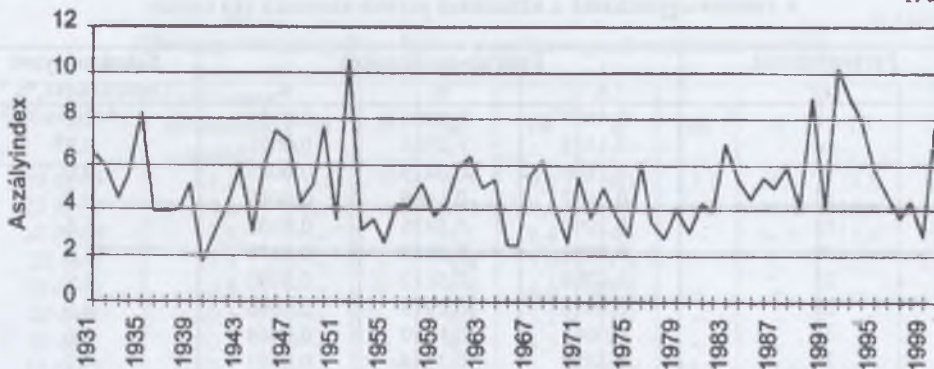
A csapadék 15%-os csökkenése és a hőmérséklet  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os emelkedése esetén az átlagos aszályindex értéke 6,37-re növekszik. Ez megegyezik az 1991–2000. évek közötti évek átlagos aszályindexével, azaz az utolsó évtized nagyjából előrevetíti, milyen lehet az aszályindex helyzete tartós éghajlat-

változás esetén. Tájékozódhatunk a szélsőségekről is. Feltételezve, hogy a véletlen összetevő éghajlatváltozást követően is hasonlóan alakul, amint az 1931–2000. években, és elfogadva a véletlen összetevő gamma-3 eloszlását (1. táblázat), azt mondhatjuk, hogy a megváltozó éghajlat esetén az aszályindex ingadozási tartománya 98%-kal, 3,08 és 11,99 között lesz, szemben a mai éghajlatot jellemző 1,89 és 10,59 közötti tartománnyal. Az alsó határérték számottevő megnövekedése arra utal, hogy általában véve növekszik az aszályos évek gyakorisága, a felső határérték növekedése pedig arra, hogy növekszik a rendkívüli aszályos évek gyakorisága is. Nagy valószínűséggel feltételezhető az is, hogy a gyakrabban megjelenő rendkívüli aszályok a jövőben is csak ritkán haladják meg a már előfordult legnagyobbakat, és így általában elegendőnek mutatkoznak az aszály elleni küzdelem azon eszközei, amelyek a múltban is többnyire eredményesnek bizonyultak.

#### FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) KONTUR I. – KORIS K. – WINTER J. (1993): Hidrológiai számítások. Akadémiai Kiadó. Budapest (2) MIKA J. (1999): A hazai vízgazdálkodási stratégia alakításánál figyelembe vett éghajlati scenáriók (kézirat). A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései (témavezető: Somlyódy L.). MTA Stratégiai Kutatások Programja, Budapest (3) PÁLFAI I. (2002): Magyarország aszályosságai zónái. Vízügyi Közlemények, 3. füzet (4) SZÁSZ G. – TŐKEI L. (szerk.): Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek. Mezőgazda, 1997

1. ábra

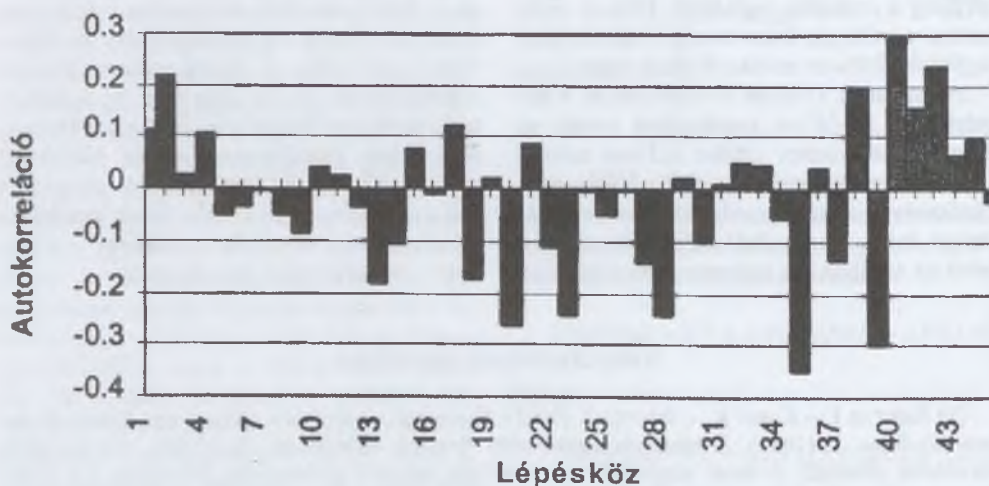


Az éves országos aszályindex alakulása 1931–2000 között (Pálfai, 2002 nyomán)

1. táblázat  
A PAI aszályindex és (8) szerinti véletlen összetevőjének valószínűségi eloszlása

Meghaladási valószínűség, %	0,1	1	5	10	30	50	70	90	95	99
Normális eloszlás										
PAI( $\xi_i$ )	5,75	4,33	3,06	2,38	0,95	0,00	-0,98	-2,38	-3,06	-4,33
PAI	10,72	9,30	8,03	7,35	5,92	4,97	3,99	2,58	1,91	0,64
Gamma-3 eloszlás										
PAI( $\xi_i$ )	10,56	5,62	3,47	2,47	0,72	-0,29	-1,12	-2,10	-2,51	-3,08
PAI	15,43	10,59	8,44	7,44	5,69	4,68	3,85	2,87	2,46	1,89

2. ábra

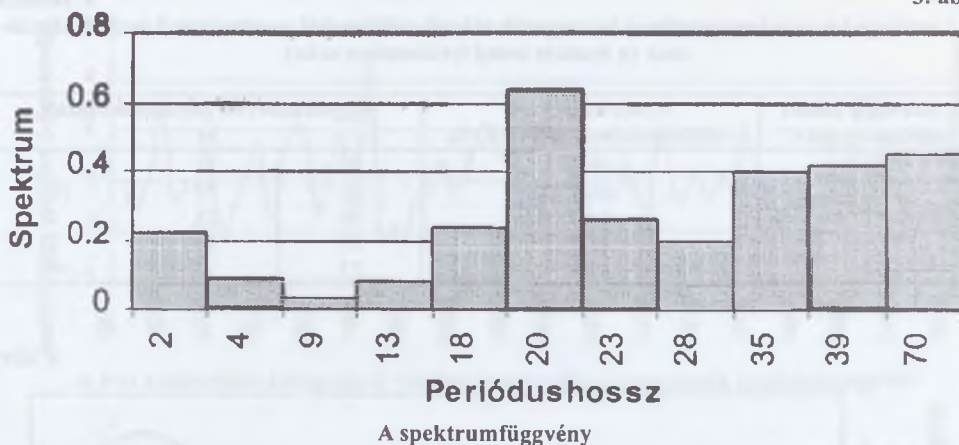


A PAI országos éves aszályindex idősorának autokorrelációs függvénye

2. táblázat  
A Fourier-együtthatók a különböző periódushosszak ( $\tau_i$ ) szerint

Periódushossz ( $\tau_i$ )	Fourier-együtthatók			Szórásnégyzet csökkenése, %
	$a_i$	$b_i$	$K_i$	
2	0,4651	0,0000	0,0135	1,3
4	-0,1528	0,2503	0,0021	0,2
9	0,1806	-0,0413	0,0003	0,0
13	-0,2457	0,1465	0,0019	0,2
18	0,2797	0,3976	0,0161	1,6
20	0,7981	-0,0349	0,1176	11,8
23	-0,0798	-0,5012	0,0192	1,9
28	0,3016	0,2919	0,0090	0,9
35	0,0061	-0,6330	0,0464	4,6
39	-0,5354	-0,3544	0,0491	4,9
70	0,6703	-0,0182	0,0583	5,8

3. ábra



3. táblázat

A különböző periódusok együttes csökkentő hatása a szórásnégyzetre, %

	20	39	35	23	18	2	28	4	13
20									
39	14,2								
35	18,2	1,3							
23	6,5	8,4	10,4						
18	4,7	10,7	9,8	6,9					
2	10,5	6,3	6,7	4,7	4,6				
28	12,8	8,3	6,1	9,3	6,0	3,6			
4	11,4	7,8	8,0	6,0	5,5	2,1	4,7		
13	10,9	8,1	8,2	6,3	4,7	1,9	4,5	3,3	
9	10,6	7,0	7,2	5,1	4,9	1,4	4,0	2,6	2,7

Megjegyzés: Kiemelve a legnagyobb csökkenést eredményező periódus-pár

4. táblázat

Három periódus együttes hatása a szórásnégyzet csökkentésére (%)

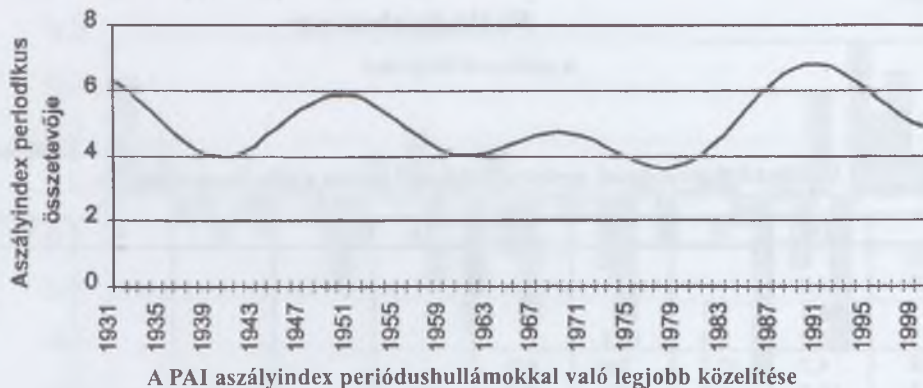
Periódusok, év	Csökkenés két hullám esetén	39	35	23	18	2	28	4	13	9
20 és 35	18,2	6,8	-	9,8	7,9	14,1	13,1	15,0	14,8	14,2
20 és 39	14,2	-	-	8,7	9,6	14,5	16,0	15,6	15,5	14,7
20 és 28	12,8	-	-	11,1	6,4	13,2	-	14,0	13,4	13,2
20 és 4	11,4	-	-	7,8	5,9	11,8	-	-	12,2	11,8
20 és 13	10,9	-	-	7,6	4,6	11,1	-	-	-	11,5
20 és 9	10,6	-	-	6,8	5,2	11,1	-	-	-	-
20 és 2	10,5	-	-	6,8	5,3	-	-	-	-	-
39 és 18	10,7	-	5,2	11,4	-	10,8	11,6	12,0	11,4	11,3
23 és 35	10,4	2,9	-	-	12,1	10,2	11,5	11,5	12,1	10,6

5. táblázat

Az aszályindex szórásnégyzetének legnagyobb mérvű csökkenését eredményező periódushullámok (a lineáris trend leválasztása után)

A maradék idősor szórásnégyzete	A szórásnégyzet csökkentésének mértéke, %	Figyelembevett periódushosszak, év		
2,8334	18,2	20	35	
2,9080	16,1	20	39	28
2,9779	14,0	20	28	4
3,0664	11,5	20	13	9
3,0455	12,1	23	13	35

4. ábra



6. táblázat

A különböző periódusok együttes hatása a szórásnégyzet csökkentésére (%) a 70 éves periódus figyelembe vételével

Periódusok	20	39	35	23	18	2	28	4	13	9
70	17,1	11,3	13,0	11,1	10,8	17,2	10,2	10,8	10,1	8,8
70, 20		19,7	20,8	13,5	11,8	18,1	18,1	18,7	17,6	17,7
70, 20, 35		12,3						21,7		

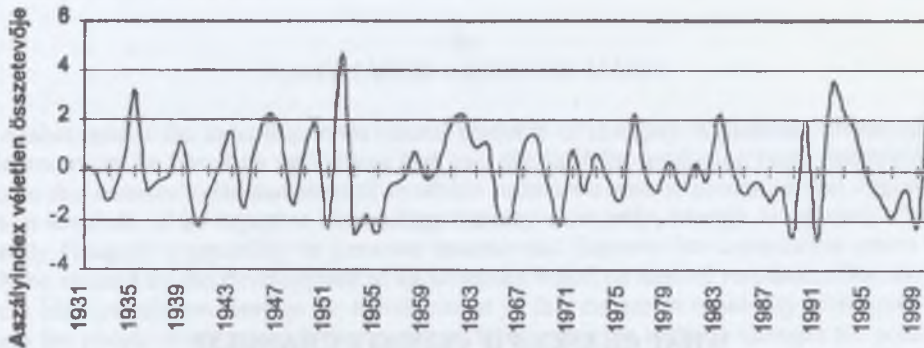
7. táblázat

Az aszályindex szórásnégyzetének legnagyobb mérvű csökkenését eredményező periódushullámok (lineáris trend leválasztása nélkül)

A maradék idősor szórásnégyzete	A szórásnégyzet csökkentésének mértéke, %	Figyelembevett periódushosszak, év			
2,8727	17,1	70	20		
2,7813	19,7	70	20	39	
2,7447	20,8	70	20	35	
2,8176	18,7	70	20		4
2,7126	21,7	70	20	35	4



5. ábra



A PAI aszályindex idősorának véletlen összetevője a periódusok leválasztása után

8. táblázat

A PAI aszályindex és (10) szerinti véletlen összetevőjének valószínűségi eloszlása

Meghaladási valószínűség, %	0,1	1	5	10	30	50	70	90	95	99
Normális eloszlás										
PAI( $\zeta_i$ )	5,05	3,80	2,71	2,09	0,86	0,00	-0,86	-2,09	-2,71	-3,80
PAI	10,02	8,77	7,68	7,06	5,83	4,97	4,11	2,88	2,26	1,17
Gamma-3 eloszlás										
PAI( $\zeta_i$ )	6,19	5,00	2,93	2,20	0,75	-0,15	-0,97	-2,00	-2,49	-3,12
PAI	11,16	9,97	7,90	7,17	5,72	4,82	4,00	2,97	2,48	1,85

9. táblázat

Az aszályindex éghajlati érzékenysége

A hőmérséklet növekedése $\Delta T, ^\circ C$	Csapadék csökkenése, %				
	0	2,5	5,0	10,0	15,0
0,0	1,000	1,026	1,053	1,111	1,176
0,5	1,030	1,056	1,084	1,144	1,211
1,0	1,059	1,087	1,115	1,177	1,246
1,5	1,089	1,117	1,147	1,210	1,282
2,0	1,119	1,148	1,177	1,243	1,317

## WHAT CHANGES IF CLIMATE CHANGES?

By  
CZELNAI, RUDOLF

Since much evidence indicates that climate has changed in the past on all time scales, we have to expect that it would also change in the future. Therefore it is important to examine the course of change during the earth's geologic past and understand their causes. This can be accomplished on the one hand by paleo-climatic studies and on the other hand by computer modeling of the circulation of atmospheric air streams and oceanic water currents. This is because any change in climate is necessarily accompanied by the rearrangement of circulatory systems. Weather fronts and migratory cyclones may alter their course depending on how the circulation of air streams reacts for example to increasing greenhouse effects. This is the key problem in predicting climate change in temperate zones.

Hitherto climate changes in mid-latitudes of the northern hemisphere are indicated by three observations, confirmed also by data collected at 13 domestic weather stations: average temperature is rising, precipitation is declining and the frequency of extreme weather phenomena is on the increase. The consequence of these is that extreme heat due to global warming could become the number one environmental burden. Domestic and foreign organizations engaged in shielding against or controlling catastrophes indicate that in recent years natural catastrophes due to extreme weather are becoming increasingly more frequent and severe.

We still owe it to ourselves to take seriously the task of preparations for climatic change. There is need to develop a comprehensive national climate strategy and bring it to the attention of politicians. The strategy should include not only measures to deal with a scenario of slow and gradual development of a warmer and drier climate, but also preparations for sudden unexpected events. A part of the recommendations for development lists the obvious tasks at present, but decisive emphasis has to be placed on the creation of conditions for prompt reaction capability.

**THE EFFECTS OF IRRIGATIONAL AGRICULTURE ON CLIMATE CHANGE**

By  
NAGY, JÁNOS – KOVÁCS, JÁNOS

Arable land is the most important natural resource of Hungary. Significant industrial development can be based on agriculture that uses the land for producing basic commodities. Due to this country's size and level of available capital we have to recognize that opportunities in the field of an expertise demanding industry exist only through integration. Consequently Hungary's capability to generate income and improve her competitive status can only be assured by the development of an economy based on natural resources. Due to relatively high population density the development of this country's capability to support and retain her people is not an irrelevant problem. With gathering climatic changes the presence or absence of water is a problem that concerns the quality of living space. The significance of this problem depending on the extent of climate warming may overshadow those arising in agricultural production. Therefore the probable climatic changes may fundamentally affect Hungary's future, restricting her scope.

The CO<sub>2</sub> content of the atmosphere increased by 30% during the last 100 years, and the quantity of gases causing the greenhouse effect doubled. Such significant changes are bound to manifest themselves in the characteristics of atmosphere. This is a continuous process fed by constantly rising concentrations of heat retaining gases, leading to a prognosticated increase of 1–3 °C in global temperatures.

Global, regional and local effects do not always coincide. Due to its enclosed geographic location, the development of water housekeeping in the Carpathian basin depends especially on the management of own water reserves and the application of economy measures. The objectives of development has always depended on economical considerations such as whether to release land for agricultural use or for settlements or for the constructions of industrial plants or public utilities rather than the economic management of water resources. In the 1840's works were undertaken in the territory of Hungary involving the regulation of rivers and drainage of huge areas of marshland, releasing 39 000 square kilometer of land for agriculture. An unexpected result of the undertaking was, however, that precipitation over the locality has declined by 78 mm per annum and the average temperature has increased by 1 °C due to deterioration of the tempering effects of evaporation. Because of the intervention every year in spring a significant quantity of snowmelt water escapes from the enclosed system of the Carpathian basin. The effect was left uncounteracted and future climate changes may only worsen the situation. The regulation of the natural processes of water housekeeping offers a suitable resolution of the problem. Before drainage in the 19<sup>th</sup> Century snowmelt water coming down from the Carpathian ranges flooded the marshlands and plains, than having evaporated there the water again precipitated in the mountains, thereby spawning an internal circulation of water within the basin. This process needs to be restored. As a first step evaporation needs to be increased sufficiently to reinstate earlier atmospheric water transport inside the basin thereby correcting a present precipitation deficit of 100–130 mm. Then as the effects of global climate change are felt, evaporation needs to be further increased in proportion to the change to counteract any temperature rise.

The new water management system is based on five pillars:

- reservoirs for storing the water draining from the catchments areas; dams in mountainous regions,
- transport of water between reservoirs and place of evaporation, via stepped canal systems,

- role of the Danube as a buffer; if not enough water is collected for evaporation in the Carpathian basin, it may be supplemented from the Danube,
- evaporation on land cultivated mainly for vegetables and fruits yielding produce of high value, and
- evaporation needs to be fitted into the farming process; the main objective is an optimally high efficiency, compared with which costs are a secondary matter, although valorization of utility and compensation cannot be avoided.

A great advantage of the system is that it does not involve the use of aquifers, leaving these internationally significant deep-ground water reservoirs untouched for the future. The process of evaporation forms the key element in the system, as the ground fills up in stages, water evaporation occurs, fulfilling its main function.

The multifunctional character of agriculture strengthens as climatic temperatures increase. In addition to crop production, employment commitments and environmentally friendly farming, climate stabilization can be accomplished also via agricultural activities. Water management in settlements will have an important complementary role in preserving the quality of immediate human environment. Improved well-fare in environmentally friendly farming has to be accompanied by improved quality of environment. Even the present conditions are untenable. The management of green surfaces in villages is anachronistic, lags behind the level that can be rightly expected, indeed demanded of a state, which is a full member of the EU.

Due to a decline of available water as a consequence of regulating rivers and draining marshlands 160 years ago the aridity factor in half of the country is beginning to resemble that of semi-deserts and the quantity and movement of ground water is becoming increasing unreliable. The present practice depreciates the competitive status of agricultural production and is a hindrance to technological modernization.

Of factors affecting the environment the role of water has appreciated. The assurance of stable crop quality and predictable quantity is the bases of a competitive status in agricultural production that cannot be achieved under the present practices of water usage.

From the economic point of view of water usage fruit growing, vegetable cultivation, seed and propagating materials production and the cultivation of some industrial plants represent the areas of agricultural activities that should be taken into consideration. To attain an effective resolution of the problem, there is a need to manage uniformly the whole product chain and develop the entire vertical structure in parallel with increases in production capacity.

The harmful effects of presumed future climatic changes in the Carpathian basin may be ameliorated because of the enclosed nature of the basin. A further temperature rise of 1–3 °C will affect the foundations of life in this country; therefore, preparations for shielding against or reducing the harmful effects should carry top priority. Improvements even on the present conditions cannot be delayed much longer.

## THE ECONOMIC CONNECTIONS OF CLIMATE CHANGE

By  
SZLÁVIK, JÁNOS

Climate changes are rooted in an economic concept that presumes an unlimited use of Earth. K Boulding called this type of economy a “cowboy economy”. When optimizing his/her profits, the individual entrepreneur does not perceive the external effects of his/her

activities and tends to extend them beyond an economic level, where the net social profit is no longer a positive value. Ways to reduce greenhouse gases may be approached from an angle of energy supply, energy demand and the capacity to absorb emitted gases (siphons). Although there are numerous ways to increase the efficiency of energy use, its economic implementation is making a slow progress. An economically effective way to reduce emissions of greenhouse gases is to use them in trading. The EU and also Hungary began to implement this regulatory device. Detailed analysis is required, however, for the long-term economic confirmation of the efficiency of this process. The likely economic consequences of climate changes in Hungary are the subject of the next phase of our investigations.

### CLIMATIC INSTABILITY CAUSING VARIABILITY IN CROP OUTPUT IN THE CARPATHIAN BASIN

By  
SZÁSZ, GÁBOR

One of the greatest quandaries of the last decades is the problem of climate change. During the 20<sup>th</sup> Century green house gases, especially CO<sub>2</sub>, in the atmosphere increased markedly. Nearly concurrently with this, relative global temperatures compared with temperatures of the 19<sup>th</sup> Century increased somewhat. It is generally believed that these global temperature increases were caused directly by the presence of extra greenhouse gases in the atmosphere. Certain indications of climate change are perceivable in these days, but physically the change per se cannot be proven. A number of precursors of climate changes have been observed in the Carpathian basin. We have investigated the more significant of these signs and the following statements can be considered statistically proven at least in relation to the 20<sup>th</sup> Century. Certain changes in air circulation patterns above Central Europe, including the Carpathian Basin, have been observed at variable incidences in different macro-synoptic circumstances. Especially significant are the meridian orientated processes that strengthened over the last 50 years primarily during the summer half of the year in addition to the orientation of zonal streams within the westerly trade winds system. Because of these changes climatic temperature values became relatively more extreme and the average temperature increased. The ratio of zonal orientation declined, or rather meridian and zonal continental orientations increased in frequency and therefore precipitation during the 20<sup>th</sup> Century declined gradually but not to a negligible extent. The changes described are clearly identifiable in Europe's rearranged baric system and because of this far-reaching climatic character modifications occurred. Of these the most important changes are as follows:

- During the last Century the average annual temperature in Hungary increased by 0.6–0.7 °C.
- During the first quarter of the 1900's temperature declined somewhat (10, 12 °C), then it increased; the warmest period on the basis of annual averages occurred between 1965–1975 (10.4–10.5 °C). Due to the rise in temperature, increased mildness of winters and lengthened growing seasons may be regarded as significant.
- Comparing various averages calculated over a period of 30 years, winters were found markedly warmer, but summer temperatures did not show a significant trend.
- For the purpose of determining the dynamics of change a method has been developed

for chronologically investigating temperature mid-values to assess the orientation and value of change.

– Amounts of annual precipitation during the study period of 130 years declined at variable rates. In the first half of the 20<sup>th</sup> Century precipitation decreased by –40 to –80 mm, on average by 40 mm/100 years (0.44 mm/annum).

– The scale of precipitation deficiency varies within the country; it is the most marked in southern Hungary and there is hardly any change near the northern borders.

– Precipitation decline during the two intervening seasons (spring, autumn) can be proven; in summer the length of dry season is increasingly extended (maximum >45 days) and monthly averages tend to be increasingly variable.

– The temperature-precipitation variable during summer months has been classed into four types: warm-wet, warm-dry, cold-wet and cold-dry. The distribution of these types over 30 year periods (1901–1930, 1931–1960, 1961–1990) has been studied. As the correlation coefficient between temperature and precipitation during the summer half of the year is negative, the warm-dry and cold-wet types of summer months occur the most frequently. In the last 100 years, however, dry summers tended to be increasingly the dominant type.

– We have developed an index of water supply fitting the climatic character of this country, integrating the scale of precipitation supply and the character of soil relevant to water management. Based on this index a map has been drawn displaying the distribution of water supply in this country.

– In loess covered areas the water content of soil is on the decline according to regular monitoring. Water loss in such a soil would not be compensated even if precipitation were moderately deficient, exacerbating both the frequency and scale of droughts. Soil characteristics unfavorable to water management accelerate the process of drying out.

Our investigations have in many different ways proven the proposition that climatic extremes in the Carpathian basin have worsened during the 20<sup>th</sup> Century and the cause of this was a change in the regional weather pattern. The consequence of this phenomenon is the increased variability in crop output.

## **GLOBAL AND REGIONAL TENDENCIES OF EXTREME INDICES CALCULATED ON BASIS OF DAILY TEMPERATURE AND PRECIPITATION FOR THE 20<sup>TH</sup> CENTURY**

By

BARTHOLY, JUDIT – PONGRÁCZ, RITA

As both human and natural systems may be severely affected by extreme climatic events, the main objective of our research was to detect possible changes in intensity and frequency of these extreme events. Several indices of climatic extremes have been analyzed and compared for the 20<sup>th</sup> Century with those of the world, the European continent and the Carpathian Basin according to guidelines set out by the joint WMO-CCI/CLIVAR Working Group on climate change detection (formed at the end of 1990's). Indices of climatic extremes defined on the basis of observed daily maximum, minimum and mean temperature and daily amounts of precipitation include the following parameters: the heat wave duration (HWDI); the growing season length (GSL); the intra-annual extreme temperature range

(ETR); the annual numbers of cold days (Tx10), warm days (Tx90), cold nights (Tn10), warm nights (Tn90), frost days (FD), summer days (SU), hot days (Tx30GE), extremely hot days (Tx35GE), hot nights (Tn20GT), winter days (Tx0LT), and severe cold days (Tn10LT); the maximum number of consecutive dry days (CDD); the highest 1-day precipitation amount (Rx1); the greatest 5-day rainfall total (Rx5); simple daily intensity index (SDII); the annual fraction due to extreme precipitation events (R95T); the annual number of wet days using several threshold values, i.e., 20 mm (RR20), 10 mm (RR10), 5 mm (RR5), 1 mm (RR1), 0.1 mm (RR0.1), the upper quartile and the 95th percentile of the daily precipitation for the base period 1961–90 (R75 and R95).

Similarly to global and continental trends, our results suggest that regional temperature in the Carpathian Basin has increased during the second half of the 20<sup>th</sup> Century. Furthermore, regional intensity and frequency of extreme precipitation has risen, while total precipitation has declined in the Carpathian Basin and the climate has on average become drier.

### THE AGRO-CLIMATOLOGIC ANALYSIS OF MINIMUM TEMPERATURE VALUES OBSERVED IN THE PERIOD BETWEEN 1951–2000

By

VARGA-HASZONITS, ZOLTÁN – VARGA, ZOLTÁN – LANTOS, ZSUZSANNA –  
ENZSÖLNÉ GERENCSÉR, ERZSÉBET

Based on data collected at 14 weather stations in Hungary the authors studied the distribution of temperature extremes in the second half of the 20<sup>th</sup> Century. Changes in extreme values were first cataloged using monthly and annual averages. The annual order was determined on the basis of monthly values, which displayed the greatest scatter around winter values. Scatter was the smallest in summer. Minimum values important from the point of view of agriculture were examined: winter minima affecting the wintering of autumn cereals and fruit trees, autumn and spring frosts and analyzed the beginning, end and duration of frost free periods. The findings were compared with those of the first 50 years of the 20<sup>th</sup> Century on the one hand, but emphasis was placed on the examination of orientation and scales of change on the other hand, trying to extract important information about possible climate change.

At the 14 weather stations included in the survey winter minima did not drop below –27 °C, while temperature values lower than this have been recorded in the first half of the 20<sup>th</sup> Century. Temperature values under –15 °C, which are dangerous for autumn cereals and fruit trees, have occurred only on rare occasions. As for spring frost, temperatures under –5 °C may be expected during March, but during April and May such low values are rare. This is an important piece of information for plant cultivators, because cultivars can be protected against mild frosts due to radiation deficiency (above –5 °C).

Autumn frosts are less dangerous, but they do damage plants still in the fields. Frosts were usually mild in September and October, but after that both the severity and frequency of frosts increased.

## WHAT NEXT, DROUGHT?

By  
NOVÁKY, BÉLA

No statistically significant trend could be recognized for the national annual aridity index in the 70 years between 1931–2000. The presence of arid periods of various periodicity (primarily 20 and 35 years) can be assumed, but a longer periodicity of 70 years cannot be entirely excluded either. Random component remaining after separating periodic changes is significant, accounting for about 80% of the square of scatter around the aridity index, indicating at the same time that the use of aridity index as an annual drought alarm is not possible. The aridity index, the random component of aridity index is distributed along an asymmetric probability curve and a gamma-3 distribution function approximates it well, but the best fitting distribution function is still to be found.

The behavior of aridity index beyond the investigated years will depend very much on the development of climate. If the climate remains unchanged, the aridity index as a function of time will depend to some extent on periodic oscillations but to a larger extent on random fluctuation. The stability of observed periodicities is questionable. However, if periodicity is assumed, estimation can be made of the expected range of variability taking into account any periodicity of the aridity index. If a periodic (deterministic) component is taken into account the expected range of variability is somewhat greater than if variability is considered to be due entirely to random events. In other words, on the basis of present structure the variability of aridity index can be naturally higher than that actually observed in the present climate.

Future values of national aridity index will be considerably affected by climate change. Sensitivity studies indicated that an increase of 0–2 °C in average mid-temperature during the breeding season and a decline of 0–15% in average precipitation during the period from October to August (practically the entire year) may increase the average annual national aridity index by 0–30%. A 15% decline in precipitation and 1.5 °C rise in mid-temperature increases the value of aridity index to 6.37, which is about the same as that during the 1991–2000 drought years. This indicates what the aridity index will be in case the climate changes permanently. Droughts may in future occur increasingly more frequently but will rarely exceed in intensity the severest cases of the past.



## CONTENTS

## STUDIES

<i>Czelnai, Rudolf</i> : What changes if climate changes? .....	3
<i>Nagy, János – Kovács, János</i> : The effects of irrigational agriculture on climate change .....	14
<i>Szlávik, János</i> : The economic connections of climate change .....	25
<i>Szász, Gábor</i> : Climatic instability causing variability in crop output in the Carpathian basin .....	33
<i>Bartholy, Judit – Pongrácz, Rita</i> : Global and regional tendencies of extreme indices calculated on basis of daily temperature and precipitation for the 20 <sup>th</sup> century .....	70
<i>Varga-Haszonits, Zoltán – Varga, Zoltán – Lantos, Zsuzsanna – Enzsölné Gerencsér, Erzsébet</i> : The agro-climatologic analysis of minimum temperature values observed in the period between 1951–2000 .....	94
<i>Nováky, Béla</i> : What next, drought? .....	1056
Summary .....	120





## SZÁMUNK SZERZŐI

- Bartholy Judit**, az ELTE Meteorológiai Tanszék egyetemi tanára, tanszékvezető (1117 Budapest, Pázmány sétány 1/A, Tel.: 209-0555/6645, Fax: 372-2904, E-mail: bari@ludens.elte.hu)
- Czelnai Rudolf**, az MTA rendes tagja (8244 Dörgicse, Fő u. 50., Tel.: 87/444-505, Fax: 87/444-391, E-mail: czelr@axelero.hu)
- Enzsölné Gerencsér Erzsébet**, a NyME Mezőgazdasági és Élelmiszertudományi Kar Matematika-Fizika Tanszék egyetemi tanársegéde (9200 Mosonmagyaróvár, Vár 2., Tel.: 96/566-677, Fax: 96/566-610, E-mail: enzsolne@mtk.nyme.hu)
- Kovács János**, a DE ATC Mezőgazdaságtudományi Kar Erőforrásgazdálkodási Tanszék egyetemi tanára, tanszékvezető (4032 Debrecen, Böszörményi út 138., Tel.: 52/508-345, Fax: 52/413-385, E-mail: jan.kovacs@freemail.hu)
- Lantos Zsuzsanna**, a NyME Mezőgazdasági és Élelmiszertudományi Kar Matematika-Fizika Tanszék egyetemi docense (9200 Mosonmagyaróvár, Vár 2., Tel.: 96/566-677, Fax: 96/566-610, E-mail: lantos@mtk.nyme.hu)
- Nagy János**, a Debreceni Egyetem rektora, egyetemi tanár (4032 Debrecen, Böszörményi út 138., Tel.: 52/508-310, Fax: 52/508-460, E-mail: nagyjanos@agr.unideb.hu)
- Nováky Béla**, a SZIE Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet Tájökológiai Tanszék egyetemi docense (2100 Gödöllő, Páter K. u. 1., Tel.: 28/410-131, Fax: 28/410-804, E-mail: novaky.bela@kti.szie.hu)
- Pongrácz Rita**, az ELTE Meteorológiai Tanszék egyetemi adjunktusa (1117 Budapest, Pázmány sétány 1/A, Tel.: 209-0555/6645, Fax: 372-2904, E-mail: prita@elte.hu)
- Szász Gábor**, a DE ATC Agrometeorológiai Observatórium professor emeritusa (4032 Debrecen, Böszörményi út 138., Tel.: 52/413-850, Fax: 52/413-385, E-mail: gszasz@helios.date.hu)
- Szlávik János**, BME Gazdasági- és Társadalomtudományi Kar Környezetgazdaságtan Tanszék egyetemi tanára, tanszékvezető (1111 Budapest, Stoczek u. 2., Tel.: 463-1941, Fax: 463-1149, E-mail: szavikj@eik.bme.hu)
- Varga-Haszonits Zoltán**, a NyME Mezőgazdasági és Élelmiszertudományi Kar Matematika-Fizika Tanszék professor emeritusa (1181 Budapest, Margó T. u. 82., Tel.: 292-2101, E-mail: vargahz@mtk.nyme.hu)
- Varga Zoltán**, a NyME Mezőgazdasági és Élelmiszertudományi Kar Matematika-Fizika Tanszék egyetemi adjunktusa (9200 Mosonmagyaróvár, Vár 2., Tel.: 96/566-677, Fax: 96/566-610, E-mail: varzol@mtk.nyme.hu)