

3 1 9.8 6 9

"AGRO-21" Füzetek

KLÍMAVÁLTOZÁS – HATÁSOK – VÁLASZOK

3 8 / 2 0 0 5



A hegyhátsági mérőtorony 82 m-es szintjén lévő eddy-kovariancia módszer alkalmazásának műszeregyüttese

A TARTALOMBÓL

A katasztrófavédelem alkotmányjogi alapjai

Gázok emissziója az USA-ban

A légköri szén-dioxid mérések szerepe

A globális szén ciklusról

A klímaváltozás növénytermelési hatásai

Éghajlati változékonyság és a terméshozadék

Klímahatások a marhatartásban

A globális felmelegedésről más szemmel

2005. 38. 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>Lenkovics Barnabás: A katasztrófavédelem alkotmányjogi alapja</i> | 3 |
| <i>Nagy Árpád Zoltán: Az üvegházhatású gázok emissziója az Egyesült Államokban 2002-ben</i> | 8 |
| <i>Haszpra László – Barcza Zoltán: A magyarországi légköri szén-dioxid mérések szerepe az éghajlati modellek megalapozásában</i> | 13 |
| <i>Demény Attila: A globális szén ciklus a stabilizotóp-összetételek tükrében</i> | 27 |
| <i>Harnos Zsolt: A klímaváltozás növénytermelési hatásai</i> | 38 |
| <i>Szász Gábor: Az éghajlat változékonysága és a szántóföldi növények terméshozama</i> | 59 |
| <i>Patkós István: Klímahatások a szarvasmarhatartásban</i> | 78 |

VITA

| | |
|--|----|
| <i>Koppány György: A globális fölmelegedésről és éghajlatváltozásról egy kissé más szemmel</i> | 82 |
| Summary | 89 |
| Contents | 95 |

A KATASZTRÓFAVÉDELEM ALKOTMÁNYJOGI ALAPJA

LENKOVICS BARNABÁS

ÖSSZEFOGLALÁS

A katasztrófavédelemnek, különösen lehetséges a biztosítási megoldásoknak komoly európai uniós és alkotmányos háttere van. Az Európai Unió három pilléren nyugszik: a szabadságon, az igazságosságon és a szolidaritáson. A szabadságot, mint a piacgazdaságokban bárhol a világon, a magántulajdon szabadsága garantálja, azonban a magántulajdoni különbségekből, különösen a káresemények, katasztrófák átvészelési, elviseelési képességeiből adódó különbségek miatt ezen a területen az igazgatóság és a szolidaritás elvei erősödnek fel. Az igazságosság megköveteli, hogy aki nagyobb károkat okoz, az nagyobb mértékben vállaljon kötelezettséget a veszélyek elhárításában, az azokból eredő károk fedezésében is. Ugyanígy megköveteli ezt a katasztrófák miatt nincstelenné válókkal szembeni társadalmi szolidaritás felerősítése, megteremtése is.

A károk fedezésének egyik megoldása Magyarországon a Nemzeti Katasztrófavédelmi Alap létrehozása lehet. Ennek érdekében mindenekelőtt az alaphoz való hozzájárulás alanyi körének, továbbá a tárgyi körnek, valamint kezelő szervnek a megjelölése sürgető feladat.*

Amikor 2001-ben és 2002-ben két egymást követő évben is súlyos tiszai árvizek voltak, az egyik legnagyobb biztosító társaság több mint 10 ezer tiszamenti vályogház biztosítási szerződését felmondta. Ezek a szerződések 20–30 éve fennálló szerződések voltak, és ez a felmondás akkor történt, amikor a legsúlyosabb katasztrófa fenyegette a biztosítottakat. Nemcsak az ombudsman és nemcsak az érintett állampolgárok, hanem sokan mások is úgy tették fel a kérdést, vajon jogos-e, és főleg hogy tisztességes-e, az ilyen régi biztosítási szerződéseket éppen akkor felmondani, amikor jön az árvíz. Ezen – egyébként látszólag könnyen és egyértelműen megválaszolható – kérdés alkotmány-

jogi háttérének feltárása céljából hivatalból indítottam vizsgálatot és a vizsgálat végeredményeként alkotmányos visszásságnak minősítettem az ilyen tömeges méretű felmondást. Álláspontomat számos jogi érveléssel támasztottam alá. Azon kívül, hogy az eljárás nem tisztességes, nem felel meg a szerződő felek között elvárható együttműködési kötelezettségnek: nem tett kísérletet a biztosító a szerződés módosítására, nem próbálta meg bevonni a biztosítási szektor többi résztvevőjét, hogy a kockázatot egymás között megosszák, nem próbálkozott az állam bevonásával sem a krízishelyzet olyan módon történő kezelése céljából, hogy a szerződések fenntarthatók legyenek stb. Nagy súllyal érveltem azzal, hogy *a biztosításnak éppen az a társadalmi és jogi rendeltetése, hogy az állampolgárok tulajdonának biztonságát szavatolja a legsúlyosabb kockázatok, különösen az árvízi katasztrófák esetére.*

* Elhangzott előadás az Országos Katasztrófavédelmi Konferencián (Gyula, 2004. 11. 5–7.) a VAHAVA Projekt, a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, a GTE Békés Megyei Szervezete rendezésében.

Jogi okfejtésemet sem a Magyar Biztosítók Szövetsége, sem a Pénzügyi Szervezetek Állami Felügyelete, sem az igazságügy-miniszter, sem a pénzügyminiszter nem fogadta el. Az elutasító válaszok lényege az volt, hogy egy profitérdekeltséggel működő gazdasági társaságnak nem funkciója, nem rendeltetése a katasztrófákból adódó súlyos kockázatok, veszteségek átvállalása, ezeket a kockázati körükből jogosan kizárhatják.

JAVASLAT NEMZETI KATASZTRÓFAVÉDELMI ALAPRÓL

Ezekkel az elutasító álláspontokkal én a magam részéről ugyan azóta sem értek egyet, de tudomásul kellett vennem, hogy magánjogi, gazdasági-társasági, profitérdekeltségi alapon ez a súlyos társadalmi probléma nem kezelhető. Ezért jelentésem végén, mintegy a kiútkeresés jegyében, ajánlást tettem a *Miniszterelnöki Hivatalt vezető miniszternek és a pénzügyminiszternek*, hogy kezdeményezzék egy *Nemzeti Katasztrófavédelmi Alap* létrehozását. A világ számos más országában, piacgazdaságokban, ahol a profitérdekeltségű szektorok által nem kezelhető kockázatosztás, kárelosztás felmerül, alkalmazták ezt a fajta kárfedezési technikát, nagy pénzügyi alapok létrehozását, az érintettek (veszélyeztetettek) és esetleg a társadalom szélesebb rétegeinek bevonásával.

Mindennek alapja Magyarországon az – akárcsak más fejlett decentralikus országokban –, hogy a Magyar Köztársaság Alkotmánya biztosítja a tulajdonhoz való jogot. A tulajdon szűk értelemben a materiális javak, dolgok birtoklását, az azokkal való szabad rendelkezést, tágabb értelemben azonban az állampolgárok létfenntartásának és létbiztonságának, szükségleteik kielégítésének anyagi alapját jelenti. Vagyis nem csak az egyes embernek, hanem összességében a társadalom egészének, így az azt lefedő államszervezetnek is, és a jogrendnek is elemi érdeke, hogy minden egyes állampol-

gár rendelkezzen a létfenntartásához nélkülözhetetlen javak mennyiségével, és ezen javakat biztonságban tudja. A tulajdon biztonsága ebben az értelemben a jobbiztonságot is szolgálja, a jobbiztonság pedig a jogállam egyik sarkalatos ismérve. A magyar Alkotmánybíróság a tulajdonhoz való jogot kiterjeszti a javak széles körére, mégpedig abból a célból, hogy azzal az egyéni autonómia materiális alapját garantálja, vagyis a tulajdont az egyéni szabadság biztosítékának tekinti. Más megfogalmazásban ez az indoklás azt takarja, hogy a tulajdon nélküli, azaz nincstelen ember lényegében teljes mértékben kiszolgáltatott, létbizonytalanságban él, ezért jogait sem képes gyakorolni, mert hiányoznak a joggyakorlás tényleges lehetőségei. Anyagi értelemben nem tudja finanszírozni a saját pusztá megélhetését sem, vagy legfeljebb azt, de semmilyen más kibontakozáshoz, cselekvéshez, kezdeményezéshez nincs materiális lehetősége.

A SZOCIÁLIS BIZTONSÁGHOZ VALÓ JOG

Tulajdon hiányában az állampolgár egy másik joga kerül előtérbe, ez pedig a szociális biztonsághoz való jog. Sokféle okból kerülhet szociálisan kiszolgáltatott helyzetbe egy állampolgár (pl. betegség, baleset, ezekből eredő megrokkanás, átmeneti, vagy tartós munkanélküliség stb.). Ilyen esetekben legalább a megélhetéséhez szükséges ellátáshoz joga van, ezt az ellátást, ennek a pénzügyi, azaz materiális anyagi feltételeit köteles garantálni az állam. Vagyis javakra az állampolgárnak ilyenkor is szüksége van, de mert azokat saját tulajdonából nem képes biztosítani, ezért a szociális ellátó rendszeren keresztül az államra, az állam mögött természetesen az egész társadalomra hárul e javaknak a biztosítása.

A tulajdonhoz való jog és a szociális biztonsághoz való jog így egymás mellett és együttesen lényegében a szociális piacgazdaság összetett fogalmának két elemét tük-

rözik. A társadalom mint olyan tehát nem tudja megúszni, hogy az egyes ember létfelteletéinek biztosításához szükséges materiális javakról gondoskodjon, a tét „csak” az, hogy a saját tulajdonából önmagáról való gondoskodás előmozdításával teszi ezt, vagy az állami (paternalista jellegű) szociális gondoskodás keretében biztosítja. Nyilvánvaló, hogy az előbbi, az önmagáról való gondoskodás képessége, készsége és annak biztonsága előnyt élvez az utóbbival szemben. Ezért az államot terhelő, ún. intézményes alapjogvédelmi kötelezettség keretében is olyan jogintézményeket kell alkalmazni, amelyek favorizálják a tulajdonhoz való jog biztonságát, érvényesülését és annak alapján az állampolgárok számára az önmagukról való gondoskodás tényleges lehetőségét. Az intézményi gondoskodás tehát ebben az esetben egy olyan új jogintézmény, kárfedezési jogtechnikai eszköz létrehozását jelenti, amit Nemzeti Katasztrófavédelmi Alapnak nevezhetünk. Ennek az intézményes jogvédelemnek része lesz aztán, hogy ennek az alapnak kezelőre van szüksége, az alap kezeléséhez szükséges szervezeti, személyi és dologi feltételeket is biztosítani kell.

JOGINTÉZMÉNYEK PÁRHUZAMOS MŰKÖDTETÉSE

Természetesen szóba jöhetnek más jogintézmények is, és ezek egymással párhuzamosan is működtethetők, mintegy egymást kiegészítve. Így pl. bizonyos kockázatfajták és kockázatmértékek tekintetében fennmarad a vagyombiztosítás döntően önkéntes alapon, amilyen a lakásbiztosítás, nyaralóbiztosítás, mezőgazdasági biztosításfajták, vagy mondjuk a Casco biztosítás, hogy a legértékesebb ingatlan és ingó vagyontárgyakra vonatkozó biztosításokat említsük. De ide sorolható a nem önkéntes, hanem kötelező biztosítások egy része is, amilyen pl. a gépjármű felelősségbiztosítás vagy a vadászokat, orvosokat, ügyvédeket terhelő kötelező felelősségbiztosítás is. Ugyanígy a létbiztonságot szolgál-

ja a legátfogóbb biztosítási rendszer, a *társadalombiztosítás* is. Hiszen ha egy katasztrófa során állampolgárok egészségkárosodást szenvednek, akkor az egészségügyi ellátórendszert vehetik igénybe a társadalombiztosítás alapján, ha pedig megrokkannak, akkor esetleg rokkantnyugdíjasként jutnak bizonyos fokú biztonsághoz rokkantnyugdíj formájában.

Éppen a legnagyobb és legsúlyosabb katasztrófáké, elemi csapások esetére azonban ezek a tradicionális – egyébként nagyon fontos, nagy súlyú – jogintézmények nem bizonyultak elegendőnek. Ezért vált szükségessé mintegy ezeket kiegészítendő a *Katasztrófavédelmi Alap létrehozása*. A kezdeményezés óta az is kiderült, hogy nemcsak a tiszai, majd következő évben a dunai, aztán a Hernád folyó árvizei miatt van szükség ilyen kárfedezési technikára, hanem nagy ipari katasztrófa történt pl. a törökbalinti petárdaraktár felrobbanása során, számos ház romba dőlt, vagy súlyosan károsodott. Az özönszerű esőzések nyomán sárlavinák, földcsuszamlások okoztak súlyos károkat, löszfal omlás történt, vasúti és közúti veszélyes szállítmányok robbanása vagy tüzesete, vagy súlyos közlekedési balesete okán ugyan ilyen súlyos katasztrófák következnek be, amelyek mind emberéletben, mind dologi javakban súlyos károkat okoznak. A klímaváltozás előre vetíti hasonló súlyos környezeti katasztrófák veszélyét, és ez az Alap alkalmasnak tűnik az ebből eredő károk legalább részleges, utólagos kezelésére, de finanszírozhat megelőző intézkedéseket is.

A KATASZTRÓFAVÉDELMI ALAP LÉTREHOZÁSÁNAK ELSŐDLEGES FELADATAI

Természetesen, mint minden új jogintézmény létrehozása, a *Nemzeti Katasztrófavédelmi Alap létrehozása* is számos fontos és nehéz megoldandó kérdést vet fel. Ezek közül csak a fontosabbakat említem. *Először*

is törvényileg körül kell határolni azt az alanyi kört, akikre az alaphoz való hozzájárulás kötelezettsége kiterjed. Így pl. a veszélyeztetett helyen élő állampolgárok, akár jogosan építkeztek egy földcsuszamlásos, vagy árvízveszélyes területen, akár különösen, ha jogellenesen építkeztek oda, kötelezhetők a részvételre. De kötelezhetők a veszélyes anyagokat szállító közlekedési eszközök tulajdonosai, üzemeltetői, a fokozottan veszélyes tevékenységet folytató ipari üzemek, vegyi üzemek, olajfinomítók, robbanószer gyártók, légi közlekedési, szállítási eszközök tulajdonosai stb. is. A klímaváltozásból eredő kockázatok, veszélyek miatt meg kell határozni azon gazdálkodó szervezetek, üzemek, akár családi gazdaságok, vállalkozások körét is, akiknek ebben kötelező részt venni. Különösen érintettek a mezőgazdasági termelők, kereskedők és feldolgozó üzemek, a mezőgazdaság természeti katasztrófák általi fokozott érintettsége miatt. Az alanyok esetében külön-külön differenciáltan és pontosan szabályozni kell a kötelezettség törvényi feltételeit és főleg a hozzájárulás mértékét. Ezzel szorosan összefüggő kérdés, hogy az alapokból való részesedés, azaz a kártalanítás tekintetében kik válnak jogosulttá, ugyanígy differenciáltan és pontosan rögzítve a jogosultak körét, a jogosultság feltételeit és a jogosultság mértékét. Ezt függővé lehet tenni a kötelezettségteljesítés mértékétől, mert úgy igazságos, hogy aki nagyobb mértékben járul hozzá kötelezettként az alaphoz, az nagyobb mértékben részesedjen is belőle.

A katasztrófavédelem ösztársadalmi ügy, ezért az is kivitelezhető, hogy alanyi értelemben kötelezettként szerepeljen az összes állampolgár egy általános, kötelező katasztrófabiztosítás keretében, vagy ennek differenciáltabb megoldásaként mondjuk a lakásbiztosítások tekintetében minden egyes biztosított néhány %-os részesedéssel legyen részt a Katasztrófavédelmi Alap feltöltésében. Ugyanígy a veszélyes üzemi tevékenységek körében a kötelező felelősségbiztosítás egy néhány %-os díjmeléssel kiegészíthető egy kötelező katasztrófavédelmi

szíthető egy kötelező katasztrófavédelmi biztosítási hányaddal.

A második fontos szabályozási kör a tárgyi kör: milyen katasztrófa károokra, milyen káreseményekre terjedne ki az alap kárfedezeti védelme. Szó volt a klímaváltozásból adódó természeti eseményekről, a hagyományos, klasszikus „vis maiornak” tekintett elemi csapásokról, mint árvizek, földrengések, de külön szabályozandó részletesen és differenciáltan a viharkárok, tornádó jellegű károk, jégverések köre, amikor az önkéntes vagyonbiztosítás mellett (esetleg helyett) ez az Alap nyújtana fedezetet. Pontosán és differenciáltan kell szabályozni a közlekedési, ipari, mezőgazdasági tevékenységek körét, amelyekre az alap védelme kiterjed.

A harmadik fontos kérdés a kezelő szerv kijelölése, meghatározása, hogy ez egy állami, profitérdekeltségű, vagy nonprofit jellegű biztosítási vagy inkább közalapítvány jellegű szervezet legyen, netalántán a kezelés jogtechnikai, szervezési, lebonyolítási részéhez szükséges szakértelem miatt pályáztatással valamelyik nagy biztosító társaságra lehet-e ezt bízni. Ez lesz talán az egyik legnehezebb kérdés. Én magam inkább az állami tulajdonban tartást és a speciális állami szerv létrehozatalát támogatom, ezáltal is garantálva egyrészt az alap költségvetési kapcsolatát, másrészt nonprofit jellegét.

Összefoglalásul azt lehet mondani, hogy ennek a megoldásnak igen komoly európai uniós és alkotmányos háttere van. Az Európai Unió három nagy pilléren nyugszik: a szabadság, az igazságosság és a szolidaritás pillérein. A szabadságot ugyanúgy, mint a piacgazdaságokban bárhol a világon, a magántulajdon szabadsága garantálja, azonban a magántulajdoni különbségekből, különösen a káresemények, katasztrófák átvészelési, elviselési képességeiből adódó különbségek miatt ezen a területen az igazságosság és a szolidaritás elvei erősödnek fel. Az igazságosság megköveteli, hogy aki nagyobb veszélyeket okoz, az nagyobb mértékben vállaljon kötelezettséget a veszélyek elhárításában, az azokból eredő

károk fedezésében is. Ugyanígy megköveteli ezt a katasztrófák miatt nincstelenné válókkal szembeni társadalmi szolidaritás felerősítése, megteremtése is.

FENNTARTHATÓSÁG, KLÍMAVÁLTOZÁS, KATASZTRÓFAVÉDELEM

Van azonban ennek az alapnak egy másik nyomós alkotmányos indoka és háttere is, ez pedig a *fenntartható fejlődés problémája*. Hiszen a növekedés-kényszeres gazdálkodás, az ipari társadalom, a haszonelvűség és a fogyasztói társadalom eddigi fejlődési irányát és mértékét korrigálni kell, hosszú távon ez az út járhatatlan. Olyan új természeti korlátok keletkeztek, amelyeket az embernek kötelező figyelembe venni és a jövője tervezésekor ezen korlátokra nagyobb figyelmet fordítani. *Különösen élesen veti fel ezeknek a természeti korlátoknak a jogrendszerbe való beépítését a klímaváltozás jelensége*, az ebből adódó fokozott katasztrófaveszélyek, amelyek nyilvánvalóan fokozott figyelmet követelnek mind a törvényhozóktól, mind az egyes állampolgároktól. Ennek a fokozott figyelemnek és előrelátásnak lehet az egyik, és nem is a legfontosabb megnyilvánulási formája a Katasztrófavédelmi Alap. Ez ugyanis utólag reagál a bekövetkezett katasztrófákra és megpróbálja

azoknak a súlyos, nemkívánatos hátrányait kiküszöbölni. Ennél azonban sokkal fontosabb elébe menni a problémáknak és olyan jogrendet, azon belül környezet és természetvédelmi szabályokat, az ipar, a közlekedés, gazdaságfejlesztés, az építésügy szabályozása terén is olyan szabályokat alkotni és alkalmazni, amelyek megelőzik, előre kivédik az esetleges katasztrófákat és azok súlyos következményeit.

Mindez összefügg a jövő generációk jogával is. A változások egy olyan társadalom- és gazdaságszerkezet és olyan új értékrend irányába való fejlődést hozhatnak, amely hosszú távon garantálja gyermekeinknek, unokáinknak, és unokáink unokáinak is az ember és a természet harmonikus viszonyát, az élhető életet, az igazságos és szolidáris társadalmat. Amikor tehát a katasztrófavédelem részletkérdéseiről beszélnek, akkor valójában a háttérben ilyen súlyos és nagy összefüggésekben kell gondolkodni, és ezekre a súlyos stratégiai jellegű kérdésekre kell keresni a választ – akár a legapróbb részletekben (szervezeti, működési, finanszírozási, elosztási stb. kérdések tekintetében) is. Ezért is üdvözlendő minden olyan szakmai együttműködés, minden konferencia, minden olyan tudományos kutatási projekt, amilyen a *VAHAVA Program* is, amelyek ezen a területen közelebb visznek bennünket a hosszú távú, biztonságos, megelőző jellegű és utólagos kezelési technikákhoz egyaránt.

AZ ÜVEGHÁZHATÁSÚ GÁZOK EMISSZIÓJA AZ EGYESÜLT ÁLLAMOKBAN 2002-BEN

NAGY ÁRPÁD ZOLTÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

Az Amerikai Energia Törvény (Energy Policy Act of 1992) előírja, hogy minden évben nemzeti leltárt kell készíteni mindennemű üvegházhatású gáz agregált emissziójáról. A címben megnevezett tanulmány időrendben a tizedik, amely szerint 2002-ben az USA emberi tevékenységből eredő üvegházhatású gázemissziója 6862 millió tonna széndioxiddal egyenértékű. Ez a szám, az 1990 évi leltárhoz képest (6156 millió tonna széndioxiddal egyenértékű gázemisszió) 10,9%-kal magasabb. Az éves átlagos növekedés 0,9%. A fenti üvegházhatású gázemisszió-egyenértékből, az emberi tevékenységből eredő tényleges szén-dioxid (CO₂) emisszió 5796 millió tonna, ami 1581 millió tonna szénnel egyenértékű.

A fenti jelentés nem foglalkozik a nyílt vizek, különösen a kontinenst körülvevő óceánok felszíni és mélységi vizeinek karbon-ciklusával, annak szén-dioxid gázkibocsátási és elnyelési folyamataival, illetve más globális hatásokkal. Ebben a nemzeti tanulmányban figyelembe veszik az *Inter-governmental Panel on Climate Change (IPCC)* módszertani alapjait (*The Scientific Basis, Cambridge University Press, 2001*). Ez a módszer, pl. korrekciós eljárást ad az egyéb üvegházhatású gázok (metán, nitrogén-oxidok, HFC, PFC, SF₆ stb.) széndioxid egyenértékének kiszámításánál a globális felmelegedési potenciálnak (global warming potential – GWP) nevezett faktor segítségével. Bár az egyéb üvegházhatású gázok csak mintegy 17%-ban szerepelnek az emisszióban, a karbon-ciklusban való részvételük, élettartamuk az atmoszférában esetenként sok év is lehet. Így pl. 4 ppm koncentrációjú kén-hexafluorid (SF₆) 3200 év alatt ürül ki a légkörből. Az *Egyesült Államok Energia Minisztériumának (DOE)* az Energy Information Administration (EIA) hivatala által készített, az *Az üvegházhatású gázok emissziója az Egyesült Államokban 2002 c. tanulmánya* széles körben tanulságos

és betekintést ad a globális folyamatok megértését célzó nemzeti műhelymunkákba. A tanulmányról készült alábbi kivonat (recenzió) egy interdiszciplináris téma iránti figyelem-felkeltést szolgálja, és közvetlenül csatlakozik *A világ primer energiafogyasztása 2002-ben c. dolgozathoz*.

A végső felhasználó energiafogyasztó ágazatok szén-dioxid emissziójának növekedése 2002-ben (1990=100): 35% a *kereskedelmi* ágazatban, a *háztartási* ágazatban 25%, a *közlekedésben* 18%. Az *ipari termelésben*, egy 1997-es csúcstól, visszaesett az emisszió és 2002-ben egyenlő az 1990-es értékkel.

Abszolút értékben a *kereskedelmi* ágazatban 2002-ben 1013 millió tonna (Mt) a széndioxid emisszió (1990-ben 780 Mt.) Ezen belül az emisszió döntően a felhasznált villamosenergia előállításával kapcsolatos: 782 Mt. Közvetlen energiafelhasználásból földgáz esetén 169 Mt, petróleumból 53 Mt, szénből 9 Mt az emisszió.

A *háztartási* ágazatban 2002-ben 1193 Mt a széndioxid emisszió (1990-ben 951 Mt). Ezen belül az emisszió döntően a felhasznált villamosenergia előállításával kapcsolatos: 821 Mt. Közvetlen energiafelhasználásból

földgáz esetén 267 Mt, petróleumból 104 Mt, szénből 1 Mt az emisszió.

A közlekedési ágazatban 2002-ben 1850 Mt a szén-dioxid emisszió (1990-ben 1570 Mt). Ezen belül az emisszió döntően a petróleumfogyasztással kapcsolatos: 1811 Mt. Közvetlen energiafelhasználásból földgáz esetén 35 Mt, villamosenergia fogyasztásból 3 Mt, szénből 0 Mt az emisszió. A teljes kibocsátás megoszlása: motorbenzin 62%, repülőbenzin 13%, dízelolaj 21%, amit traktorban, mozdonyban és hajómotorban alkalmaznak.

Az ipari termelésben 2002-ben 1674 Mt a szén-dioxid emisszió (1990-ben 1689 Mt, 1997-ben 1800 Mt). Ezen belül az emisszió döntően a felhasznált villamosenergia előállításával kapcsolatos: 643 Mt. Közvetlen energiafelhasználásból földgáz esetén 433 Mt, petróleumfogyasztásból 413 Mt, szénből 180 Mt az emisszió.

A nem végső felhasználó villamosenergia termelő energiafogyasztók (közcélu, független nem közcélu, kombinált ciklusú (CHP), hő- és villamosenergia termelő berendezések) szén-dioxid emisszióját külön ágazatban részletezik tüzelőanyag típusok szerint:

A közcélu villamosenergia termelők emissziója eloszlik a különböző kereskedelmi, ipari vagy háztartási szektorokban.

A szén-dioxid emisszió intenzitása, pl. az USA egységnyi villamosenergia termelésre eső szén-dioxid emissziója, az elmúlt években nem változott (1990=100). Hasonlóan változatlan az egy amerikai lakosra eső szén-dioxid emisszió. További fontos tényező, hogy a GDP-re vonatkoztatott szén-dioxid emisszió csökkent, és 2002-ben közel 18%-kal alacsonyabb, mint 1990-ben volt. Mindezek lényegében azt jelentik, hogy megszűnően van az a kép, hogy az USA a füstölgő kémények országa. Az alkalmazott korszerűbb technológia következtében a relatív mutatók javulást mutatnak 1990 és 2002 között. A GDP növekedés 2,9%, az energia felhasználással kapcsolatos CO₂ emisszió növekedése ugyanakkor csak 1,2%. A nettó villamosenergia termelésnövekedés 2001 és

2002 között 2,7%, a teljes CO₂ emisszió növekedés a villamos-energiatermelő ágazatban 2227 Mt-ról 2249 Mt-ra nőtt, ami mintegy 1% változásnak felel meg.

A nem-CO₂ gázok közül a metán (CH₄) emisszió az egyik legjellegzetesebb. A teljes emberi tevékenységből eredő metán emisszió 27 millió tonna volt 2002-ben, ami 613 Mt CO₂-vel egyenértékű és 8,9%-a a teljes USA CO₂ emisszióinak. A metán leltár készítése sokkal vitatottabb eljárás, mint a CO₂ leltáré. A metán leltár magában foglalja az alábbi folyamatok során felszabadult metán emissziót Mt CO₂ egyenértékben:

| | |
|--|---------------|
| A primer energiahordozók bányászataiból (szén, földgáz, olaj), feldolgozásából és elosztásából | 252 Mt |
| A tárolt szemét vagy szennyvíz dekompozíciójából | 175 Mt |
| Mezőgazdasági eredetű források: | |
| a kérődző állatok metabolizmusából | 115 Mt |
| az állattartás szilárd hulladékából | 57 Mt |
| a rizstermesztésből | 11 Mt |
| a gabonatermesztés származékainak elégetéséből | 1 Mt |
| a teljes mezőgazdaságból | 183 Mt |
| Egyéb ipari folyamatokból | 3 Mt |
| Összesen | 613 Mt |

A nem-CO₂ gázok közül a nitrogén-oxidok emissziója valamivel több, mint 1 millió tonna volt 2002-ben, ami 333 millió tonna CO₂ gázzal egyenértékű. Pl. a nitrogén műtrágya mezőgazdasági alkalmazása, illetve a hulladékok lebomlása során keletkezik nitrogén oxid emisszió (234 millió tonna 2002-ben). A nem-CO₂ gázok közül a hidrofluorokarbonok, a pentafluorokarbonok, valamint a kén hexafluorid együttes emissziójának értékét 121 millió tonna CO₂-vel egyenértékű hozzájárulásnak becsülik. A hűtőgépek, habanyagok, tisztító szerek vagy kozmetikai készítmények egyik hatóanyagaként használt kemikáliák mennyisége nem mindig publikus.

Földhasználat során a vegetáció hosszabb időre kivonja a szén-dioxidot az atmoszférából és tárolja azt a növényekben vagy a talajban. A talaj, a fák, a haszonnövények az üvegházhatású gázok nyelőjeként viselkednek. A ember meg tudja változtatni a bioszférát, ha változtat a földhasználaton, az erdőgazdálkodáson és ennek eredményeként változik a szénvagyron a bioszférában, a termőföldben, és változik a karbon fluxus a biomasz-sza, a termőtalaj és az atmoszféra között.

Az USA-ban négy fő komponens formájában becsülik meg a földhasználat változása által és az erdőgazdálkodásban elnyelt kARBONT 2001-ben, millió tonna CO₂ egyenértékben kifejezve:

| | | |
|-----------------|--------|-------|
| Erdőgazdálkodás | 760 Mt | 90,6% |
| Városi fásítás | 59 Mt | 7,0% |

| | | |
|---------------------------|---------------|---------------|
| Mezőgazdasági termő-talaj | 15 Mt | 2,0% |
| Avar | 6 Mt | 6,0% |
| Összesen | 838 Mt | 100,0% |

A legnagyobb tétel az erdőgazdálkodás. Az USA-ban az erdőgazdálkodásnak nem energetikai jelentősége van, hanem sokkal inkább esztétikai, turisztikai, rekreációs funkciója. Az itt elnyelt szén csökkenő tendenciát mutat 1990–2001 között.

A geológiai szén-dioxid tárolás lehetősége egyre nagyobb érdeklődést vált ki az emberi tevékenységből eredő szén-dioxid termelők körében. A potenciális geológiai tárolók lelőhelyének a feltárásával az USA-ban, többek között a *Pacific Northwest National Laboratory* foglalkozik.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) A világ primer energia fogyasztása 2002-ben. Nagy Árpád Zoltán, Budapest, <http://www.bwvsociety.org/journal/html/energy2002.html> (2) CRUTZEN, P. J. (1986): Methane Production by Domestic Animals, Wild Ruminants, Other Herbivorous Fauna, and Humans. *Tellus*, Vol. 38B, 271–284. pp. (3) Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2002. DOE/EIA-0573 (2002), Washington, D. C. 20585, October 2003, 106 p. <ftp://ftp.eia.doe.gov/pub/oiaf/1605/cdrom/pdf/ggrpt/057302.pdf> <http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/gg02rpt/index.html> (4) Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990–2001. EPA-430-R-03-004, Washington, D.C. April 2003, <http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content/resourcecenterpublicationsghgemissionsusemissionsinventory2003.html> (5) LANG, I. – HARNOS, ZS. – NAGY, A. Z. – VÁLYI, I. (1985): The Biopotential of Hungary – Present and Future. *International Agrophysics I* (1). 5–22. pp. (6) Nagy, A. Z. (1995): Emissions from Animal Husbandry: A Case Study for Hungary Based on Production Data for 1980. Carbon Sequestration in Biosphere, NATO ASI held at Heriot Watt University Riccarton, Edinburgh, Scotland 18–21 July 1994, Springer, 285–292. pp.

1. táblázat

Az USA kereskedelmi ágazat szén-dioxid kibocsátása energiafelhasználás szerint, 1950–2002 (millió tonna CO₂)*

| Év | Földgáz | Petróleum | Szén | Villamos energia | Összes |
|------|---------|-----------|------|------------------|--------|
| 1950 | 22 | 57 | 153 | 58 | 290 |
| 1960 | 56 | 91 | 53 | 123 | 323 |
| 1970 | 130 | 115 | 20 | 266 | 531 |
| 1980 | 141 | 96 | 8 | 408 | 653 |
| 1990 | 143 | 69 | 12 | 555 | 780 |
| 2002 | 169 | 53 | 9 | 782 | 1013 |

* A dolgozatban feltüntetett emissziós adatok mindenütt becslült vagy számított adatok és nem monitorozásból származó mérési eredmények.

2. táblázat
Az USA háztartási ágazat szén-dioxid kibocsátása energiafelhasználás szerint, 1950–2002
(millió tonna CO₂)

| Év | Földgáz | Petróleum | Szén | Villamos energia | Összes |
|------|---------|-----------|------|------------------|--------|
| 1950 | 65 | 101 | 110 | 74 | 350 |
| 1960 | 170 | 161 | 39 | 155 | 524 |
| 1970 | 262 | 194 | 15 | 352 | 821 |
| 1980 | 256 | 123 | 6 | 524 | 909 |
| 1990 | 239 | 98 | 2 | 612 | 951 |
| 2002 | 267 | 104 | 1 | 821 | 1193 |

3. táblázat
Az USA közlekedési ágazat szén-dioxid kibocsátása energiafelhasználás szerint, 1950–2002
(millió tonna CO₂)

| Év | Földgáz | Petróleum | Szén | Villamos energia | Összes |
|------|---------|-----------|------|------------------|--------|
| 1950 | 10 | 476 | 143 | 2 | 631 |
| 1960 | 19 | 717 | 7 | 2 | 745 |
| 1970 | 39 | 1083 | 1 | 2 | 1124 |
| 1980 | 34 | 1350 | 0 | 2 | 1386 |
| 1990 | 36 | 1531 | 0 | 3 | 1570 |
| 2002 | 35 | 1811 | 0 | 3 | 1850 |

4. táblázat
Az USA ipari ágazat szén-dioxid kibocsátása energiafelhasználás szerint, 1950–2002
(millió tonna CO₂)

| Év | Földgáz | Petróleum | Szén | Villamos energia | Összes |
|------|---------|-----------|------|------------------|--------|
| 1950 | 187 | 242 | 514 | 141 | 1084 |
| 1960 | 315 | 328 | 404 | 250 | 1297 |
| 1970 | 490 | 407 | 409 | 430 | 1737 |
| 1980 | 433 | 380 | 250 | 626 | 1689 |
| 1990 | 433 | 380 | 250 | 626 | 1689 |
| 2002 | 433 | 413 | 179 | 643 | 1674 |

5. táblázat
Az USA villamosenergia termelő ágazatának szén-dioxid kibocsátása
tüzelőanyagok szerint, 1950–2002
(millió tonna CO₂)

| Év | Földgáz | Petróleum | Szén | Összes |
|------|---------|-----------|------|--------|
| 1950 | 34 | 37 | 186 | 275 |
| 1960 | 94 | 43 | 393 | 530 |
| 1970 | 214 | 165 | 671 | 1050 |
| 1980 | 201 | 203 | 1125 | 1529 |
| 1990 | 176 | 99 | 1519 | 1796 |
| 2002 | 299 | 72 | 1875 | 2249 |

6. táblázat

USA metán emissziója a háziállatok metabolizmusából (1)
és a háziállatok szilárd hulladékából (2), 2002-ben

| A háziállat fajtája | (1) millió tonna CO ₂ egyenérték | (2) millió tonna CO ₂ egyenérték |
|---------------------|---|---|
| Húsmarha | | 0,4 |
| Tejelőállomány | | 18 |
| Szarvasmarha | 109 | |
| Hússertés | | 26 |
| Törzsállomány | | 3 |
| Sertés | 1 | |
| Tojó | | 2 |
| Brojler | | 2 |
| Szárnyas | – | |
| Juh | 2 | – |
| Kecske | 0,2 | – |
| Ló | 2 | 0,6 |
| Összes | 115 | 56 |

7. táblázat

Nettó szén-dioxid elnyelés az USA erdőgazdaságban, 1990–2001
(millió tonna CO₂)

| Megnevezés | 1990 | 2001 |
|--------------------|------------|------------|
| Lábonálló állomány | 774 | 546 |
| Fa | 469 | 447 |
| Gyökérzet | 11 | 15 |
| Aljnövényzet | 26 | –29 |
| Kidőlt állomány | 55 | 59 |
| Talaj | 212 | 55 |
| Kitermelt fa | 209 | 213 |
| Fűrész áru | 48 | 59 |
| Hulladék | 161 | 154 |
| Összes | 983 | 760 |

A MAGYARORSZÁGI LÉGKÖRI SZÉN-DIOXID MÉRÉSEK SZEREPE AZ ÉGHAJLATI MODELLEK MEGALAPOZÁSÁBAN

HASZPRA LÁSZLÓ – BARCZA ZOLTÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

A napjainkban gyakran hivatkozott éghajlati modellekhez különböző mérési programok, kiterjedt nemzetközi mérőhálózatok szolgáltatják az alapokat. Tanulmányunkban az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke és az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársai által e körben végzett méréseket mutatjuk be. A mérések kezdete óta (1981) a légkör szén-dioxid koncentrációja több mint 10%-kal emelkedett Magyarországon, összhangban a globális változásokkal. Az 1997 óta folyó közvetlen bioszféra–légkör szén-dioxid csere mérések szerint a mérőhely környezetében lévő vegetáció saját kibocsátásánál több szén-dioxidot vesz fel, magába építi a fosszilis tüzelőanyagok égetése során a levegőbe kerülő szén-dioxid egy részét is (34–84 g C/m²/év). Ugyanakkor a folyamat rendkívül érzékeny az éghajlati viszonyokra. A különösen meleg és száraz 2003. évben a vegetáció+talaj rendszer nettó szén-dioxid forrássá vált (68 g C/m²/év).

BEVEZETÉS

Az éghajlat várható jövőbeni alakulásáról rendelkezésünkre álló információk a bolygó légkörében lezajló, illetve azt érintő fizikai, kémiai és biológiai folyamatok matematikai leírásán alapulnak. A matematikai modellek aggasztó előrejelzéseinek kellene döntéshozóinkat olyan intézkedésekre sarkallniuk, amelyekkel a várható éghajlatváltozás és hatásai mérsékelhetők. A szükségesnek látszó intézkedések komoly gazdasági és társadalmi kihatásokkal járnak, politikai feszültségeket válthatnak ki, a megszokott életforma megváltoztatását követelhetik. Nem mindegy tehát, hogy a döntések alapjául szolgáló előrejelzési modellek mennyire megalapozottak, megbízhatók és pontosak.

A természetben lejtárszódó, az éghajlat alakulását meghatározó folyamatokat zöm-mel mérésekre alapozott kutatásokkal ismerhetjük meg. Globális kiterjedésű problémáról lévén szó a folyamatok megbízható matematikai leírásához a világ minden részét

megfelelően reprezentáló mérési adatokkal kell rendelkezniünk. Az éghajlat alakulásának kiszámítása céljából a modellekben a mérések révén felismert természeti folyamatokhoz, visszacsatolásokhoz és kölcsönhatásokhoz adjuk a gazdasági folyamatok (energiatermelés, földhasználat stb.) közvetlen környezeti hatását (szennyezőanyag kibocsátás, légköri koncentrációk, felszín albedó stb. változása). A múltbeli adatokat a modellek ellenőrzésére, míg a jövőre vonatkozó elképzeléseket (gazdasági prognózisok, fejlődési alternatívák, „forgatókönyvek”) az éghajlat alakulásának előrejelzésére használhatjuk fel.

A modellek eredményeit számos szakterület művelői hasznosítják, döntések alapulnak rájuk, bizonytalanságaik a különböző fórumokon gyakran napirendre kerülnek. Ugyanakkor a modelleket megalapozó, szükségszerűen kiterjedt nemzetközi együttműködésben folyó, és többnyire meglehetősen költséges mérésekről a szűken vett szakmai közösségen kívül kevés szó esik.

Ebben a tanulmányban a Magyarországon folyó mérések közül az *Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke és az Országos Meteorológiai Szolgálat* szakemberei által vezetett programokról, ezek múltjáról, jelenéről és várható jövőjéről számolunk be. Egyúttal röviden áttekintjük a légköri üvegházhatású gázok kutatásának történetét is. Az emelkedő légköri CO₂ koncentráció kísérletes növényökológiai kutatásával Magyarországon a *Szent István Egyetem Növényzeti és Növényélettani Tanszéke* foglalkozik. Az eddig elért eredményekkel a közelmúltban az „AGRO-21” Füzetek olvasói is megismerkedhettek (Tuba, 2003).

TÖRTÉNELMI VISSZATEKINTÉS

Svante Arrhenius, svéd kémikus, 1896-ban megjelent dolgozatában (*Arrhenius, 1896*) *Tyndal*, *Langley*, *Fourier* és mások spektroszkópiai kutatásaira alapozva bebizonyította, hogy a légkör szén-dioxid tartalmának változása az üvegházhatás alakulásán keresztül az éghajlat megváltozásához vezet. Célja elsősorban a jégkorszakok kialakulásának, illetve megszűnésének magyarázata volt, de felvetette a kérdést, hogy a széntüzelemből a légkörbe kerülő nagymennyiségű szén-dioxidot vajon kivonja-e valamilyen folyamat, vagy az a légkörben felhalmozódva éghajlatváltozást fog okozni. Az 1860-as évektől szórványosan végzett és bizonytalan megbízhatóságú mérésekből *Arrhenius* idejében szignifikáns emelkedés még nem volt kimutatható (*Callendar, 1958*). A következő évtizedekben azonban mind a légköri szén-dioxid koncentráció, mind a hőmérséklet növekedését észlelték, és újból felvetődött az emberi eredetű szén-dioxid kibocsátás és az éghajlat melegedésének esetleges kapcsolata (*Callendar, 1938; 1949; Slocum, 1955*). *Revelle és Suess* 1957-ben már az ember által okozott globális geofizikai hatásról írt.

Az 1957–1958-as Nemzetközi Geofizikai Évre megszületett az a nagy pontosságú, infravörös elnyelésen alapuló, ma is használt

mérési eljárás, amely már hitelt érdemlően igazolhatta a légköri szén-dioxid tartalom feltételezett növekedését. Az első két műszer telepítésére a *Mauna Loa Observatóriumban (Hawaii)* és az *Amerikai Egyesült Államok déli-sarki megfigyelőállomásán került sor*. Mindkét helyen a mai napig folynak a mérések.

Már néhány éves adatsor birtokában megállapítható volt a légkör szén-dioxid tartalmának szignifikáns, 0,7 ppm/év* körüli növekedése (*Brown–Keeling, 1965; Pales–Keeling, 1965*), amely további mérőállomások létrehozását indukálta. A mérések kimutatták, hogy a légköri növekedési ütem alig több mint a fele az antropogén szén-dioxid kibocsátásnak, azaz az anyag egy része valahogy kikerül a légkörből.

A vegetáció ciklikus fotoszintézise-respirációja, a növényállomány aktivitásának éven belüli változása a helyi légköri szén-dioxid koncentrációban jelentős ingadozást okoz. Ezért a hosszú távú légköri változások nyomon követésére létesített mérőállomásokat a vegetációval borított területektől minél távolabbi magas hegycsúcsokra, elszigetelt óceáni szigetekre, sarkvidéki vagy sivatagi területekre telepítették. Növényzettel borított kontinentális területen, különösen kis tengerszint feletti magasságban csak egy-két helyen indítottak méréseket. Ezen helyek egyike volt az *Országos Meteorológiai Szolgálat K-pusztai (46°58'N, 19°33'E) mérőállomása*, ahol 1981-ben indult meg a légköri szén-dioxid koncentráció folyamatos megfigyelése (*Haszpra, 1995*).

Az 1980-as évek végére a mérőhálózat bővülése és a globális cirkulációs modellek fejlődése lehetővé tette az ún. *inverz modellek* kifejlesztését. Ezek elvben a Föld különböző pontjain mért koncentrációkból és a légmozgásokra vonatkozó információkból következtetnek a források és nyelők elhelyezkedésére, hozamára. (A gyakorlatban még számos feltevés szükséges ahhoz, hogy

* 1 ppm = 1 milliomod térfogatrész.

e matematikai értelemben elégtelenül meghatározott feladat megoldható legyen.) A számítások arra utaltak, hogy az óceánoknak a légköri koncentrációval együtt növekvő szén-dioxid felvétele (beoldódás) mellett a még mindig hiányzó nyelő az északi félgömb mérsékelt égövi területein helyezkedik el (Tans et al., 1990; Enting–Mansbridge, 1991).

A hosszú távú koncentráció-mérések során derült ki, hogy a légkör szén-dioxid tartalmának növekedési üteme sokkal jobban ingadozik, mint ahogy az emberi kibocsátás (Conway et al., 1994). Többek között a magyarországi mérések is megmutatták, hogy az inverz modellek által nyelőként megjelölt övezet kontinensein ez az ingadozás lényegesen nagyobb, mint az óceáni, sarkvidéki területeken. A világ minden pontján megfigyelhető ingadozást tehát valószínűleg a szárazföldi területek bioszférája gerjeszti.

A légköri szén-dioxid koncentráció növekedési ütemének ingadozása szoros kapcsolatot mutat az El Niño jelenséggel, amely lényeges befolyással van a hőmérsékleti- és csapadékviszonyok alakulására (Gaudry et al., 1987; Martín et al., 1994). A hazai mérések által is lefedett időszakban ez a kapcsolat csak 1991–1992-ben sérült. A Pinatubo tűzhányó 1991. júniusi kitörése jól mérhető átmeneti lehűlést okozott elsősorban az északi félgömbön, és ez láthatóan elnyomta a Csendes-óceán déli medencéjében ugyanabban az időben kifejlődő El Niño jelenség hatását (Conway et al., 1994).

Mindezek a jelenségek, továbbá az egyre jobb inverz modellek (pl. Ciais et al., 1995a) egyöntetűen arra utaltak, hogy valamilyen módon az északi mérsékelt égövi kontinentális területek ökológiai rendszerei adhatják a globális szén-mérlegben hiányzó nyelőt. Kiderült, hogy a vegetáció által okozott erős napi, napok közötti koncentráció-ingadozás, amelyet a korábbi mérési stratégia zajnak, és ezért elkerülendőnek minősített, maga az a jel, amely megmutathatja, hol és milyen folyamatok révén távozik a lég-

körből a globális felmelegedéssel fenyegető szén-dioxid jelentős része. Ugyancsak az említett kontinentális területeken végzett mérések adhatnak választ arra, hogy mi befolyásolja ezeket a folyamatokat. Ezen kérdések tisztázása nélkül megbízható előrejelzések nem voltak adhatók. Így az 1990-es évek elején-közepén a mérőállomások gyors ütemben szaporodni kezdtek az inverz modellek által kijelölt északi, mérsékelt övi kontinentális területeken.

MÉRŐTORONY KERESTETIK

Az Amerikai Egyesült Államok Országos Óceán- és Légkörkutató Hivatala (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) az 1960-as évek vége óta végzett üvegházhatású gáz méréseket, a kor mérési-filozófiájának megfelelően a kiterjedt aktív vegetációtól a lehető legtávolabbra telepített mérőállomásokon (Komhyr et al., 1985). Ezek az állomásokon heti rendszerességgel végeztek levegőmintavételeket, és a mintákat elemzésre a boulderi (Colorado) központi laboratóriumba küldték. Az új ismeretek birtokában az 1990-es évek elején megkezdődött a mérőhálózat kiterjesztése a kontinentális területekre (Ferguson, 1992). 1992-ben jött létre a tudományos együttműködések támogatására a Magyar–Amerikai Közös Alap (MAKA), amely lehetővé tette, hogy az e téren mérési hagyományokkal egyébként is rendelkező Magyarországon 1993 elején NOAA mintavevő állomás létesüljön (Haszpra, 1993).

A bioszféra viselkedésének megértéséhez az egyszerű koncentráció-mérések csak kevés segítséget adnak. Lényegesen több információhoz jutunk, ha a talaj+vegetáció rendszer és a légkör közötti szén-dioxid cserét közvetlenül mérjük. Ilyen méréseket korábban is végeztek, egyebek között Magyarországon is, elsősorban a haszonnövények gyarapodásának, élettevékenységének vizsgálatára (pl. Fekete, 1973; Fekete–Tuba, 1982; Dunkel, 1984; Tuba, 1987). Jellegük-

nek megfelelően ezek a kutatások alapvetően egy-egy jól meghatározott növényfaj bizonyos fejlődési periódusára koncentráltak. A légkörrel azonban nem csak egy-egy faj, és nem csak az év egy adott szakában, hanem az ökológiai rendszerek összessége van folyamatos kölcsönhatásban. Ráadásul a kölcsönhatást a változó környezeti feltételek (hőmérséklet, besugárzás, víz- és tápanyagellátottság stb.), és mindezeknek a növény életciklusán belüli alakulása) folyamatosan módosítják. Ezért a légkör–bioszféra kölcsönhatás megértéséhez a minél nagyobb, a tágabb környezetet is jellemző ökológiai rendszerekkel borított terület hosszú távú, folyamatos megfigyelése a leginkább célravezető módszer.

A minél nagyobb terület „belátásához” a mérőeszközöket minél magasabbra kell telepíteni. Mivel a magyarországi NOAA állomás tervezésekor már világos volt, hogy a légköri szén-dioxid mérleg alakulására a részletes választ csak a regionális skálájú* bioszféra–légkör szén-dioxid csere mérések adhatják meg, ezért a mérőhely kiválasztásakor erre a szempontra is tekintettel voltunk. K-pusztá, mérőtorony hiányában, nem jöhetett szóba. Számos szempont (magasság, légáramlás homogenitása, közvetlen antropogén szennyező-források hiánya stb.) mérlegelése után az Antenna Hungária Rt. hegyhátsági adótornyára esett a választásunk (46°57'N, 16°39'E, 248 m).

A NOAA számára a rendszeres, üvegpalackos levegőmintavétel 1993 tavaszán kezdődött, és azóta folyamatos. A bioszféra és a légkör közötti szén-csere mérésére szolgáló rendszer alapjául a NOAA 1992-ben *Észak-Carolinában* létrehozott mérőrendszere szolgált. A hegyhátsági változat kidolgozása és megépítése egy évet vett igénybe. Így 1994 szeptemberében kezdhetette meg működését az első, kifejezetten a regionális bio-

szféra–légkör szén-csere hosszú távú megfigyelésére létrehozott európai mérőrendszer.

A tornyon, a műszaki lehetőségeket is figyelembe véve, 10 m, 48 m, 82 m és 115 m magasban kezdtük meg a szén-dioxid koncentráció és a legfontosabb meteorológiai paraméterek (szél, hőmérséklet, légnedveség) mérését. Ez a mérőrendszer a hasonlósági elmélet alkalmazásával, bizonyos feltételek teljesülése esetén, lehetővé teszi a felszín és a légkör közötti szén-dioxid áram meghatározását. Kiderült azonban, hogy viszonylag gyakran alakul ki a légkörben olyan rétegződés, amely ilyen magasságú mérőtorony esetén a hasonlósági elméletre épülő ún. *profil- vagy gradiens-módszer* alkalmazását, és így a CO₂-áram meghatározását lehetetlenné teszi. Ennek a problémának a kiküszöbölésére 1997-ben az *eddy-kovariancia (EK) módszer* alkalmazásához szükséges műszeregyüttest telepítettünk a torony 82 m-es szintjére. Itt az okozhat problémát, ha a légkör alsó részének a függőleges keveredést akadályozó stabilis rétegződése a mérőrendszert időlegesen elzárja a felszíni hatásoktól.

1998-ban a hasonló területen kutatásokat végző japán *Országos Erőforrás- és Környezetkutató Intézettel* (National Institute for Resources and Environment – NIRE, ma National Institute of Advanced Industrial Science and Technology) is sikerült együttműködést kialakítani. Ennek keretében 3 m-es felszín feletti magasságban is kiépült egy folyamatosan működő, eddy-kovariancia módszert alkalmazó mérőrendszer. Míg a 82 m magasban lévő műszeregyüttes mintegy 100–200 km²-es területre szolgáltat reprezentatívnek tekinthető CO₂-áram adatokat, addig a 3 m-es magasságban lévő a közvetlen alatta elterülő, közel természetes gyep szén-dioxid cseréjét méri (*Barcza et al., 2003*). A nagy szén-felvevőnek sejtett, és sok kutatócsoport által vizsgált erdőségek mellett Európa jelentős részét gyep borítja, amelynek szén-dioxid cseréjéről, szénmegkötéséről még nagyon keveset tudunk.

2000-től kezdődően a *Groningeni Egye-*

* Ebben az értelemben lokálisnak az egyetlen növényfajra, ökológiai rendszerre koncentrált, viszonylag kis területre vonatkoztatható méréseket tekintjük.

tem (Hollandia) Központi Izotópkutató Intézete és az MTA Földtudományi Kutatóközpontja közreműködésével megkezdtük a szén-dioxid stabilizotóp összetételének mérését is. A különböző forrásokból (óceánok, bioszféra, fosszilis tüzelőanyagok, geológiai-geokémiai folyamatok stb.) származó szén-dioxid ¹³C és ¹⁸O izotóp aránya ugyanis eltérő, így az izotóp-összetételből következtethetünk az egyes források közreműködésére, különös tekintettel az emberi kibocsátásra (Demény, 2004).

Mivel a vegetáció+talaj rendszer szén-dioxid cseréjét a környezeti feltételek változása lényegesen befolyásolja, a mérőállomás – létrehozásától kezdve – folyamatosan bővül különböző napsugárzás-mérőkkel (globálsugárzás, fotoszintetikus aktív sugárzás, sugárzásegyenleg) és talaj-érzékelőkkel (hőmérséklet, hőfluxus, nedvesség). Hegyhátsál átvette a részben a gazdasági megszorítások által kiváltott szakmapolitikai döntések áldozatául esett K-pusztai mérések szerepét is. K-pusztával 1999-ben az egyik leghosszabb mérési adatsorral rendelkező európai CO₂-monitoring állomás fejezte be működését.

IRÁNY EURÓPA

Nem sokkal a Kiotói Konferencia előtt jelentek meg az első olyan tanulmányok, amelyek az inverz modellek alapján már számszerű becslést is adtak az északi félgömb mérsékelt égővi vegetációjának nettó szén-felvételére (pl. Ciais et al., 1995ab; Keeling et al., 1996; Randerson et al., 1997; Fan et al., 1998; Bousquet et al., 1999). Észak-Amerika és Eurázsia ökológiai rendszerei nettó szén-dioxid nyelők, azaz saját kibocsátásuknál több szén-dioxidot kötnek meg, felveszik az antropogén kibocsátás egy nem elhanyagolható részét is. Márpedig a CO₂ kibocsátás zöméért felelős, iparilag fejlett országok többsége éppen ebben a földrajzi zónában helyezkedik el. Így elvben hivatkozhattak arra, hogy tényleges, nettó

szén-dioxid kibocsátásuk nem is olyan nagy, hiszen annak egy részét saját területükön ki is vonják (értsd: a bioszféra kivonja) a légkörből.

A Kiotói Jegyzőkönyv megszületése után az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése iránt különösen elkötelezett Európai Unió az 5. Kutatási-Fejlesztési Keretprogramban kiemelt témaként kezelte a globális változásokkal, az éghajlattal foglalkozó kutatásokat (*Environment and sustainable development, Key Action 2: Global change, climate and biodiversity*). A bioszféra és a légkör közötti európai szén-dioxid forgalom meghatározását célul kitűző AEROCARB (*Airborne European Regional Observations of the Carbon Balance*) pályázatát el is fogadták. A hegyhátsáli mérések könnyen bekerültek a projektbe, hiszen Magyarországon már részben folytak is azok a mérések, amelyeket a résztvevők nagy része még csak tervezett. Továbbá, az állomás rózsásnak éppen nem mondható anyagi támogatottsága ellenére már a 90-es években megközelítette a ma célul kitűzött pontosági követelményt ($\pm 0,1$ ppm). Így a már elért eredmények, és különösen a rendelkezésre álló mérési tapasztalatok a többi résztvevő számára is hasznosíthatók voltak.

A Meteorológiai Világszervezet ajánlásában (WMO, 2001) megjelent $\pm 0,1$ ppm-es, azaz hozzávetőlegesen 0,03%-os pontossági követelmény a méréseket igen költségessé teszi. A globálisan egységes, homogén mérési skála fenntartásához, az állomási elsődleges standardok előállításához nagy pontosságú, és így drága berendezésekkel felszerelt központi laboratóriumra (NOAA – *Climate Diagnostics and Monitoring Laboratory, Carbon Cycle and Greenhouse Group, Boulder, Colorado*), továbbá a standardok esetleges elcsúszásának megakadályozására rendszeres interkalibrációkra, független kontrollmérésekre van szükség. Az éghajlati előrejelzések megbízhatóságának ismeretében talán túlzásnak tűnik, hogy jelentős költségekkel ilyen pontosságú, globálisan homogén méréseket követeljünk, de tudni kell,

hogy 0,1 ppm légköri koncentrációkülönbség hozzávetőleg 500 millió tonnát (!) jelent a légkör szén-dioxid tartalmát illetően. Összehasonlításképpen: Magyarország éves szén-dioxid kibocsátása jelenleg 60 ezer tonna körül mozog (KSH, 2003). Az északi Atlanti-óceán teljes szénfelvételének becsléséhez Amerika keleti és Európa nyugati partjai között 0,5–0,8 ppm-es különbséget kell megbízhatóan kimérni (Tans et al., 1996).

Az AEROCARB projekt célja az európai szén-dioxid mérleg megalapozása volt. Az inverz modellek, elvi alapjaik, illetve az elégtelen sűrűségű mérőhálózat miatt már kontinentális léptékben is csak nagyon bizonytalan adatokat tudnak szolgáltatni, ennél kisebb térskálára való alkalmazások pedig jelenleg értelmetlenek. Az egyes növényállományokra vonatkozó mérési adatok nagyobb területekre való általánosítása szintén a használhatatlanságig növelheti a becslés hibáját. Nem véletlen, hogy a szakirodalomban „top-down” (globális – regionális), illetve „bottom-up” (lokális – regionális) megközelítésként is emlegetett módszerek eredményei között igen nagy eltérések adódnak. A két irányból induló becslést elvben az 1–3 km magasságig nyúló mérőtornyokon végzett regionális skálájú mérésekkel lehetne összehangba hozni. Ilyen magas tornyok azonban nincsenek. Az AEROCARB projekt ezért a magas tornyokon végzett mérések mellett repülőgépes mérési programot is indított. A repülőgépekkel a légkör alsó 3000–3500 m-es rétegében vett levegőmintákat a francia *Éghajlat- és Környezettudományi Laboratórium* (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement – LSCE, Gif-sur-Yvette) elemzi. 2001 nyara óta *Hegyhátsál* felett is havi rendszerességgel történik mintavétel.

2002 októberében egy francia-német, a légkör magasabb rétegeire is kiterjedő transz-európai mérési kampány (CAATER-2) egyik fontos állomása volt *Hegyhátsál*. Itt a *Német Légiközlekedési és Űrhajózási Központ* (Deutsches Zentrum für Luft- und

Raumfahrt – DLR) Falcon 20D típusú repülő laboratóriuma az engedélyezett legalacsonyabb repülési magasságtól 7 km magasságig végzett profil-méréseket, mivel az adatok kiértékeléséhez hozzáférhetőek voltak a légkör legalsó részére vonatkozó, már csak mérőtornyokkal biztosítható adatok.

A remélhetőleg egyszer jogi értelemben is hatályba lépő Kiotói Jegyzőkönyv előírásainak betartását (nem csak a szén-dioxidra, hanem az egyéb üvegházhatású gázokra vonatkozóan is) hitelt érdemlő módon ellenőrizni kell. A feladat ismét csak a magas tornyokon végzett, regionális reprezentativitással rendelkező mérésekkel oldható meg. Az Európai Unió 5. Kutatási-fejlesztési Keretprogramjában 2002 végén indult CHIOTTO (*Continuous High-precision Tall Tower Observations of greenhouse gases*, kiejtése [khiotto] révén szójáték is) projekt kilenc magas mérőtornyból álló európai hálózat kiépítését tűzte ki célul, amelyeken a legfontosabb nem-CO₂ üvegházhatású gázok (metán, dinitrogén-oxid, kén-hexafluorid) folyamatos megfigyelése is megvalósul*. *Hegyhátsál* a rendszer már létező négy mérőhelyének egyike, ahol a mérési program kiegészítése 2004 nyarára befejeződik. (A NOAA mintavételi programjából heti egy mérési adat már korábban is rendelkezésre állt ezekre a gázokra.)

Az AEROCARB projekt 2003 végén lezárult, 2005 végén pedig befejeződik a CHIOTTO projekt is. A szén-dioxid mérleg ügyében azonban még számos kérdés tisztázásra vár. A sok pénzért kiépített/kiépülő mérőhálózat pedig a kutatáson kívül monitoringot, ellenőrzést is végez, amelyet a jövőben is fenn kell tartani. A kutatások az Európai Unió 6. Kutatási-Fejlesztési Keretprogramjában 2004 elején indult, és várhatóan 2008 végéig tartó *CarboEurope Integrated Project* (IP) keretében folynak tovább.

* A koncentráció-mérések területi reprezentativitása („footprint”-je) légkördinamikai okok miatt nagyságrendekkel nagyobb, mint az azonos magasságban végzett bioszféra-légkör anyagáram méréseké.

A közvetlen kutatásokat nem szolgáló monitoring fenntartását nemzeti forrásokból kellene biztosítani. A *CarboEurope IP* léggörrel foglalkozó része kiemelten épít a hegyhátsági állomásra. Míg a pénzszűke miatt az európai repülőgépes mérési programot vissza kell fogni, néhány mérőhelyet meg kell szüntetni, addig Hegyhátsál 2005-től a három intenzív (évi kb. 100 mérés) mérőhely egyike lesz. Kedvező földrajzi fekvése mellett itt ugyanis egy összehangolt rendszeren belül valósíthatók meg a repülőgépes és torony-mérések, továbbá a tornyon a koncentráció és az anyag-áram mérések.

A MAGYARORSZÁGI MÉRÉSEK REPREZENTATIVITÁSA

A vegetációval borított kontinentális területeken kis földrajzi magasságban (tehát nem hegycsúcsokon) végzett léggöri szén-dioxid mérések egyik sajátossága a nappali és éjszakai órák adatainak eltérő reprezentativitása. Éjszaka, a felszín lehülése miatt kialakuló hőmérsékleti inverzió akadályozza a léggör függőleges átkeveredését, ezért a vegetáció respirációjából és a talajban zajló bomlási folyamatokból származó szén-dioxid a felszín közelében felhalmozódik. A léggörbe irányuló CO₂-áram ebben a viszonylag kis térfogatú, sekély felszínközeli légrétegben magas koncentrációt alakít ki. 10 m magasságban végzett méréseink az utóbbi években nyugodt nyári éjszakákon többször jeleztek 500 ppm-et is elérő térfogati keverési arányokat. Eközben az e réteg feletti légréteg semmit nem érzékel a felszínen zajló folyamatokból. Itt, a felszíntől elzártan, a koncentráció az éjszaka folyamán lényegében változatlan marad.

Nappal, a felszín felmelegedése által keltett függőleges turbulens légáramlatok a léggör esetenként 2 km-nél is vastagabb réteget keverik át. Az éjszakai kibocsátáshoz hasonló nagyságrendű szén-dioxid felvétel ebben a vastag légrétegben csak csekély koncentráció-csökkenést okoz.

Az eltérő vastagságú légrétegekre vonatkozó éjszakai és nappali adatok átlagolása nehezen értelmezhető, tulajdonképpen csak magára a mérési pontra érvényes adatokat szolgáltat. Ez viszont olyan mértékben befolyásolt a helyi vegetáció-talaj rendszer aktuális állapotától és a mérések idején fennálló időjárási viszonyoktól, hogy általánosítható következtetések levonására nem alkalmas. Ezért a hosszú távú tendenciák megállapítására, összehasonlításra a nappali, ezen belül is elsősorban a legintenzívebb függőleges átkeveredéssel jellemezhető koradélutáni órák adatait célszerű felhasználni.

Magas hegycsúcsokon, óceáni szigeteken a léggör eltérő rétegződése miatt ez a jelenség nem lép fel, mint ahogy a vegetációmentes sarkvidéki, sivatagi területeken sem lényeges (az elhanyagolható CO₂ kibocsátás/felvétel miatt). Így a hosszabb múltra visszatekintő hazai mérési tapasztalatok mutattak rá, hogy az 1990-es években telepített kontinentális állomások adatainak feldolgozása-kor, értékelésekor erre a léggöri rétegződés napon belüli változása okozta torzításra figyelemmel kell lenni (*Haszpra, 1999*).

A magyarországi, repülőgépes mérésekkel kiegészített torony-mérések (*Haszpra et al., 2004*), valamint az észak-carolinai 496 m magas tornyon végzett megfigyelések (*Bakwin et al., 1995*) azt jelzik, hogy a 100 m magasban a koradélutáni órákban végzett koncentráció-mérések 1–2 ppm-es pontossággal képesek becsülni a 1,5–2 km vastag planetáris határréteg átlagos viszonyait. Ennélfogva ezek a kontinentális mérőhelyek még a durva térbeli felbontású modellek számára is képesek elfogadható pontosságú adatokat szolgáltatni.

A LÉGGÖRI SZÉN-DIOXID KONCENTRÁCIÓ VÁLTOZÁSA A HAZAI MÉRÉSEK TÜKRÉBEN

Mire az inverz modellek eredményei hatására az érdeklődés az 1990-es években a korábban mérési szempontból kerülendő

kontinentális területek felé fordult, a magyarországi mérések már érdekes eredményekkel szolgáltak. Kiderült, hogy a vegetáció által keltett „zaj” ellenére a sarkvidéki és óceán-közepi állomások által észlelt változások a mi kis földrajzi magasságban elhelyezkedő, vegetációval övezett kontinentális mérőhelyünkön is tisztán kimutathatók (1. ábra). A szén-dioxid légköri növekedési ütemében megfigyelhető, és a Csendes-óceán déli medencéjében időnként kialakuló El Niño jelenséghez kötött ingadozások Magyarországon is észlelhetők. Ráadásul itt az ingadozások amplitúdója nagyobb, mint a jelenség által közvetlenül érintett Csendes-óceáni térségben. Ez azt jelzi, hogy a megfigyelt ingadozások hátterében az óceáni folyamatokon túlmenően jelentős szerepet játszik az éghajlati zavar által megbolygatott bioszféra (Haszpra, 1995). Ez független alátámasztása az inverz modellek azon eredményének, mely szerint az északi félgömb mérsékelt égövi kontinentális területei meghatározó szerepet játszanak a globális szén-dioxid körforgalom alakításában. További vizsgálatok tárgyát képezi, hogy a Csendes-óceán déli medencéjében kialakuló tengervíz-hőmérsékleti anomália milyen áttételeken keresztül vezérli itt, a bolygó csaknem átelles oldalán a bioszféra szénforgalmát.

Feltételezve a *K-pusztai és a hegyhátsági* mérési sorok egymáshoz illeszthetőségét megállapíthatjuk, hogy 1981 közepétől 2003 végéig a légkör szén-dioxid koncentrációja 343 ppm-ről közel 383 ppm-re emelkedett. A szeszélyes ingadozások mellett kialakult 1,77 ppm/év-es átlagos növekedési ütem összhangban van a világ más részein ugyanebben az időszakban észlelt értékekkel. A nálunk mért koncentráció átlagosan 3,7 ppm-mel magasabb, mint az állomás földrajzi szélességének óceáni határretegére becsült érték (Haszpra et al., 2004). Ez a többlet ésszerűen magyarázható az európai antropogén források hatásával. Megalapozottabb, mennyiségileg is alátámasztott vélemény akkor mondható majd, ha részletesen ele-

mezzük a különböző irányokból érkező légtömegek szén-dioxid tartalmát.

A bioszféra aktivitásának éves menetével összhangban a szén-dioxid koncentráció alakulása alapján az évet két időszakra oszthatjuk fel: az évi átlagot meghaladó koncentrációjú téli és az azt alulmúló koncentrációjú nyári időszakra. Ha megvizsgáljuk a szén-dioxidban viszonylag hiányos és a relatív szén-dioxid többletet mutató időszak közötti őszi váltás időpontját, akkor azt látjuk, hogy ez a teljes mérési időszakban október eleje-közepé tájára esett (2. ábra). Más a helyzet az ellenkező irányú, tavaszi váltással. Ennek időpontja lassan egyre korábbra tolódik. A *Hegyhátsálon* folyó mérések 9 éve alatt a relatív szén-dioxid hiányos időszak hossza két héttel nőtt, kezdete május elejéről április közepére csúszott. Ez nem szükségképpen jelenti, hogy ennyivel nőtt a vegetációs időszak hossza. A jelenséget a légkör függőleges átkeveredésének erősödése vagy az óceáni légtömegek beáramlásának fokozatos erősödése is okozhatja. Bármi is azonban az ok, ha az adatsor rövideje miatt egyelőre csak 7,5%-os szinten szignifikáns trend valós, az azt jelenti, hogy környezetünkben jelentős éghajlati változás zajlik.

A BIOSZFÉRA SZÉN-DIOXID FORGALMÁNAK ALAKULÁSA

A hegyhátsági TV-adótornyon 1994 óta végzett függőleges koncentráció-eloszlás mérések lehetővé teszik a bioszféra viselkedésének közelebbi vizsgálatát. A függőleges koncentráció-gradiens nagyságát befolyásolja a felszíni CO₂ kibocsátás, illetve felvétel nagysága, továbbá a légkör átkeveredésének intenzitása. Az erőteljes átkeveredés csökkenti, a stabilis légrétegződés növeli a gradienst. A gradiens előjele azonban csak akkor változhat meg, ha a felszín (vegetáció + talaj + antropogén források) CO₂ forrásból nyelővé, illetve CO₂ nyelőből forrássá változik. A 3. ábrán látható, hogy a váltás átlagosan

április elején következik be. Ekkor a nappali órákban a vegetáció szén-dioxid felvétele már meghaladja a talaj és az antropogén források együttes CO₂ kibocsátását. Visszatekintve a 2. ábrára azonban azt látjuk, hogy a CO₂ koncentráció általában decemberben éri el a csúcst, ezt követően pedig már csökken. Mivel a régió csak áprilistól válik nettó CO₂ nyelővé, ezt a januártól tartó csökkenést csak a légtömegcserében bekövetkező változás okozhatja. Ennek részletei szintén további kutatásokat igényelnek.

A felszín és a légkör közötti szén-dioxid áram folyamatos, közvetlen mérésére kifejlesztett ún. eddy-kovariancia (EK) módszert az egyes ökológiai rendszerek vizsgálatára elterjedten használják. Ezeknél a mérési programoknál a mérőrendszer a vizsgált növényállomány felett kis magasságban helyezkedik el, azaz lényegében állandóan egy légtérben van a mérendő aktív felszínnél. A mi méréseink célja azonban egy kiterjedt régió átlagos szén-dioxid forgalmának nyomon követése, amelyhez a mérőrendszert nagy magasságban kellett elhelyeznünk. Ez a szint azonban a légkör stabilis légrétegződése esetén „elzáródhat” a felszíni hatásoktól, nem észleli a felszín és a felszínközeli légréteg közötti CO₂-cserét, és így összességében a ténylegesnél kisebb szén-dioxid forgalmat regisztrál. A hagyományos, alacsony mérőtornyokat használók ezzel a problémával ritkán találkozhatnak.

A regionális skálájú függőleges CO₂-áram mérések a légkör rétegződésétől függetlenül megoldhatók, ha az EK mérésekkel párhuzamosan függőleges koncentráció-profil méréseket is végzünk. Ezek ugyanis akkor is tájékoztatnak a felszín közelében felhalmozódó szén-dioxid mennyiség változásáról, amikor az EK mérőrendszer, elhelyezkedési magasságánál fogva, a kibocsátást már nem képes észlelni. A profil-mérő rendszer egyúttal lehetőséget ad a szén-dioxid áramok hozzávetőleges meghatározására akkor is, amikor az EK rendszer valamelyik technikai probléma miatt átmenetileg üzemképtelenné válik, így mérsékelhető a folyamatosan

működő rendszereknél elkerülhetetlenül előforduló adatkimaradások mennyisége. A közeljövőben egyre több helyen fognak a miénkhez hasonló regionális skálájú CO₂-fluxus méréseket végezni. Tapasztalataink alapján azt javasoljuk, hogy minden mérőtornyot készítsenek fel profil mérésekre is (Haszpra et al., 2001).

A szén-dioxid áram mérések első három évében (1997–1999) a reprezentált terület számított szénfelvétele évente 34–84 gramm volt négyzetméterenként (1. táblázat). Figyelembe véve a számított értékek hozzávetőleg $\pm 50 \text{ g C/m}^2/\text{év}$ bizonytalanságát, a régió ebben az időszakban gyenge nyelőnek volt tekinthető. 2000-ben műszaki problémák miatt az év túlnyomó részében nem folytak mérések. 2001-től a melegebb és szárazabbá vált időjárás nem kedvezett a növényzet gyarapodásának. 2001-ben gyakorlatilag nem volt nettó szén-forgalom a talaj+ vegetáció rendszer és a légkör között, míg 2003-ban négyzetméterenként 68 g szén elvesztésével a régió már kifejezetten forrásként viselkedett.

Az utóbbi években az éghajlat-modellzőket egyre inkább aggasztja, hogy a melegebbé váló éghajlat miatt a talajban zajló oxidációs folyamatok gyorsulnak, ennek következtében pedig a talaj-bioszféra rendszer nettó szén-dioxid felvételéből globálisan nettó forrássá válhat (pl. Prentice et al., 2001). Ez jelentősen gyorsíthatja a légköri szén-dioxid koncentráció növekedését annak minden veszélyes következményével egyetemben. A várhatóan melegedő és legalábbis átmenetileg szárazabbá váló magyarországi éghajlat (Mika, 2003) mellett az általunk 2003-ban észlelt jelenség ennek a folyamatnak akár korai előjeleként is tekinthető.

Megjegyzendő, hogy a bioszféra tényleges szénfelvétele a számított értékeknél valamivel, durva becsléssel kb. $20 \text{ g C/m}^2/\text{év}$ -vel nagyobb (a veszteség ennyivel kisebb), mivel a növényzetnek saját kibocsátásán kívül az antropogén kibocsátást is ellensúlyoznia kell. Ugyanakkor ez az adat nem jelenti azt, hogy ez a szénmennyiség

ténylegesen beépült a mérési terület vegetációjába, talajába. Nem kis részben mezőgazdasági művelés alatt álló területről lévén szó feltételezhető, hogy a termés egy részét a benne megkötött szénrel a területről elszállítják, amely így másutt kerül vissza a légkörbe. Másrészt a mérési területre hasonló módon be is kerülhetnek itt elbomló szerves anyagok. Ennek a laterális szénforgalomnak a regionális felszín–légkör szén-dioxid cserében betöltött szerepét megfelelő adatok hiányában nehéz megbecsülni.

A hegyhátsági mérőhely közvetlen környezetét borító kvázi-természetes gyep szénforgalmának meghatározására 1998-ban magyar–japán együttműködésben kezdett méréseket a projekt formális lezárulta után olyan műszaki problémák sorozata sújtotta, hogy egész évre vonatkozó megbízható adatok csak 1999–2000-re állnak rendelkezésre. Ezek szerint a gyep 1999-ben 54, míg 2000-ben 232 g szenet vett fel négyzetméterenként. Különösen sajnálatos, hogy a magas 2000. évi szénfelvétel nem vethető össze a regionális értékekkel, mivel a regionális EK rendszerben az évben gyakorlatilag nem működött.

A felszín évről évre jelentősen ingadozó szén-mérlege szoros összefüggésben áll az aktuális időjárási viszonyokkal, ahogyan ezt már a légkör szén-dioxid tartalmának alakulása kapcsán is láttuk. A hegyhátsági állomáson számos környezeti paraméter (besugár-

zás, hőmérséklet, talajnedvesség stb.) mérése is folyik. A következő évek egyik legnagyobb szakmai kihívása, hogy megpróbáljunk mennyiségi kapcsolatot találni a széndioxid forgalom és a környezeti paraméterek alakulása között. Ezek az összefüggések kulcsfontosságúak az éghajlati modellekbe beépített visszacsatolások, és így az éghajlati előrejelzések szempontjából.

Köszönetnyilvánítás

A hegyhátsági mérőhely használatának lehetőségét az Antenna Hungaria Rt., a TV-adótorony tulajdonosa, természetbeni támogatásként nyújtja. Az évek során a mérések anyagi támogatást kaptak a Magyar–Amerikai Tét Alaptól (J. F. no. 162 és 504), a magyar–japán együttműködés keretében az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottságtól és a japán Agency of Industrial Science and Technology-tól, az Országos Tudományos Kutatási Alaptól (T7282, T23811, N31783 és T42941), a Környezetvédelmi Minisztériumtól (027739-01/2001, K0441482001, K-36-02-00010H), továbbá az Európai Unió 5. és 6. K+F Keretprogramjától (EVK2-CT-1999-00013, EVK2-CT-2002-00163, GOCE-CT-2003-505572). Barcza Zoltán munkáját az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjjal támogatta.

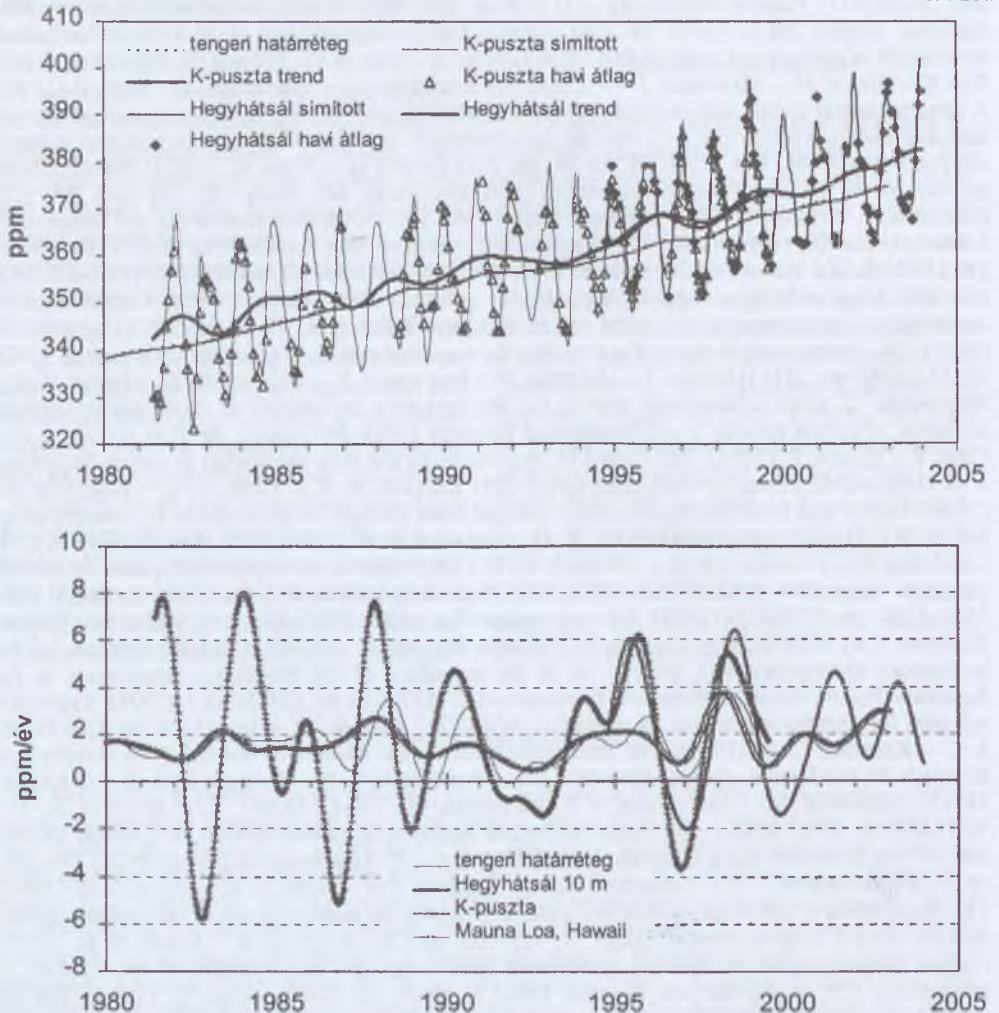
FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) ARRHENIUS, S. (1896): On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, Series 5, Vol. 41, 237–276. pp. (2) BAKWIN, P. S. – TANS, P. P. – ZHAO, C. L. – USSLER III, W. – QUESNELL, E. (1995): Measurements of carbon dioxide on a very tall tower, *Tellus* 47B, 535–549. pp. (3) BARCZA, Z. – HASZPRA, L. – KONDO, H. – SAIGUSA, N. – YAMAMOTO, S. – BARTHOLY, J. (2003): Carbon exchange of grass in Hungary. *Tellus* 55B, 187–196. pp. (4) BOUSQUET, P. – CIAIS, P. – PEYLIN, P. – RAMONET, M. – MONFRAY, P. (1999): Inverse modeling of annual atmospheric CO₂ sources and sinks, 1, Method and control inversion. *J. of Geophysical Research* 104D, 26161–26178. pp. (5) BROWN, C. W. – KEELING, C. D. (1965): The concentration of atmospheric carbon dioxide in Antarctica. *J. of Geophysical Research* 70, 6077–6085. pp. (6) CALLENDAR, G. S. (1938): The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. *Quarterly J. of Royal Meteorological Society* 64, 223–240. pp. (7) CALLENDAR, G. S. (1949): Can carbon dioxide influence climate? *Weather* 4, 310–314. pp. (8) CALLENDAR, G. S. (1958): On the amount of carbon dioxide in the atmosphere. *Tellus* 10, 243–248. pp. (9) CIAIS, P. – TANS, P. P.

- TROLIER, M. – WHITE, J. W. C. – FRANCEY, R. J. (1995a): A large Northern Hemispheric terrestrial CO₂ sink indicated by the ¹³C/¹²C ratio of atmospheric CO₂. *Science* 269, 1098–1102. pp. (10) CIAIS, P. – TANS, P. P. – WHITE, J. W. C. – TROLIER, M. – FRANCEY, R. J. – BERRY, J. A. – RANDALL, D. R. – SELLERS, P. J. – COLLATZ, J. G. – SCHIMEL, D. S. (1995b): Partitioning of ocean and land uptake of CO₂ as inferred by ¹³C measurements from the NOAA/CMDL global air sampling network. *J. of Geophysical Research* 100D, 5051–5070. pp. (11) CONWAY, T. J. – TANS, P. P. – WATERMAN, L. S. – THONING, K. W. – KITZIS, D. R. – MASARIE, K. A. – ZHANG, N. (1994): Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory Global Air Sampling Network. *J. of Geophysical Research* 99D, 22831–22855. pp. (12) DEMÉNY A. (2004): Globális szén ciklus a stabilizotóp-összetétel tükrében. „AGRO-21” Füzetek (benyújtva). (13) DUNKEL Z. (1984): Szén-dioxid mérések kukorica állományban. *Légkör* 29(2), 22–25. pp. (14) ENTING, I. G. – MANSBRIDGE, J. V. (1991): Latitudinal distribution of sources and sinks of CO₂: Results of an inversion study. *Tellus* 43B, 156–170. pp. (15) FAN, S. – GLOOR, M. – MAHLMAN, J. – PÁCALA, S. – SARMIENTO, J. – TAKAHASHI, T. – TANS, P. (1998): A large terrestrial carbon sink in North America implied by atmospheric and oceanic carbon dioxide data and models. *Science* 282, 442–446. pp. (16) FEKETE G. (1973): A CO₂-koncentráció napi menetei tölgyesek légtérében. *Bot. Közl.* 60, 43–48. pp. (17) FEKETE G. – TUBA Z. (1982): Photosynthetic activity in the stages of sandy succession. *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.* 28, 291–296. pp. (18) FERGUSON, E. E. (editor) (1991): Summary Report 1991. NOAA Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory No. 20. (19) GAUDRY, A. – MONFRAY, P. – POLIAN, G. – LAMBERT, G. (1987): The 1982–1983 El Niño: a 6 billion ton CO₂ release. *Tellus* 39B, 209–213. pp. (20) HASZPRA L. (1993): NOAA mérőhely Magyarországon. *Légkör* 38/4, 14–16. pp. (21) HASZPRA, L. (1995): Carbon dioxide concentration measurements at a rural site in Hungary. *Tellus* 47B, 17–22. pp. (22) HASZPRA, L. (1999): On the representativeness of carbon dioxide measurements. *J. of Geophysical Research* 104D, 26953–26960. pp. (23) HASZPRA, L. – BARCZA, Z. – BAKWIN, P. S. – BERGER, B. W. – DAVIS, K. J. – WEIDINGER, T. (2001): Measuring system for the long-term monitoring of biosphere/atmosphere exchange of carbon dioxide. *J. of Geophysical Research* 106D, 3057–3070. pp. (24) HASZPRA, L. – CIAIS, P. – GLOOR, E. (2004): Tall tower CO₂ measurements and their application in carbon budgeting. *J. of Geophysical Research* 109D (benyújtva). (25) KEELING, R. F. – PIPER, S. C. – HEIMANN, M. (1996): Global and hemispheric CO₂ sinks deduced from changes in atmospheric O₂ concentration. *Nature* 381, 218–221. pp. (26) KOMHYR, W. D. – GAMMON, R. H. – HARRIS, T. B. – WATERMAN, L. S. – CONWAY, T. J. – TAYLOR, W. R. – THONING, K. W. (1985): Global atmospheric CO₂ distribution and variations from 1968–1982 NOAA/GMCC CO₂ flask sample data. *J. Geophysical Research* 90D, 5567–5596. pp. (27) KSH (2003): Könyvetstatistikai adatok 2001. Központi Statisztikai Hivatal, Budapest. (28) MARTÍN, F. – VALERO, F. – GARCIA-MIGUEL, J. A. (1994): On the response of the background atmospheric CO₂ growth rate to the anomalies of the sea-surface temperature in the Equatorial Pacific Ocean. *Atmospheric Environment* 28, 517–530. pp. (29) MIKA J. (2003): Regionális éghajlati forgatókönyvek: tények és kétségek. „AGRO-21” Füzetek, 32. szám, 11–24. pp. (30) PALES, J. C. – KEELING, C. D. (1965): The concentration of carbon dioxide in Hawaii. *J. of Geophysical Research* 70, 6053–6076. pp. (31) PRENTICE, I. C. – FARQUHAR, G. D. – FASHAM, M. J. R. – GOULDEN, M. L. – HEIMANN, M. – JARAMILLO, V. J. – KHESHGI, H. S. – LE QUÉRÉ, C. – SCHOLES, R. J. – WALLACE, D. W. R. (2001): The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In: *Climate Change 2001 – The Scientific Basis, Contribution of WG I to the 3rd Assessment Report of IPCC*, 183–237. pp. (32) RANDERSON, J. T. – THOMPSON, M. V. – CONWAY, T. J. – FUNG, I. Y. – FIELD, C. B. (1997): The contribution of terrestrial sources and sinks to trends in the seasonal cycle of atmospheric carbon dioxide. *Global Biogeochemical Cycles* 11, 535–560. pp. (33) REVELLE, R. – SUSS, H. E. (1957): Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO₂ during the past decades. *Tellus* 9, 18–27. pp. (34) SLOCUM, G. (1955): Has the amount of carbon dioxide changed since the beginning of the twentieth century? *Monthly Weather Review* 83, 225–231. pp. (35) TANS, P. P. – BAKWIN, P. S. – GUENTHER, D. W. (1996): A feasible global carbon cycle observing system: a plan to decipher today's carbon cycle based on observations. *Global Change Biology* 2, 309–318. pp. (36) TANS, P. P. – FUNG, I. Y. – TAKAHASHI, T. (1990): Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Science* 247, 1431–1438. pp. (37)

TUBA, Z. (1987): Light, temperature and desiccation responses of CO_2 -exchange in desiccation tolerant moss, *Tortula ruralis*. In: (eds.) Pócs, T., Simon, T., Tuba, Z. and Podani, J. Proceedings of the IAB Conference of Bryoecology. Symp. Biol. Hung. Vol. 35., Part A. Akadémiai Kiadó, Budapest, 137–150. pp. (38) TUBA Z. (2003): Az emelkedő légköri CO_2 növényökológiai hatásai. „AGRO-21” Füzetek, 32. szám, 110–127. pp. (39) WMO (2001): Strategy for the implementation of the Global Atmosphere Watch programme (2001–2007). WMO GAW Report 142. (40) ZHAO, C. L. – BAKWIN, P. S. – TANS, P. P. (1997): A design for unattended monitoring of carbon dioxide on a very tall tower. *J. of Atmospheric and Oceanic Technology* 14, 1139–1145. pp.

1. ábra



A légköri szén-dioxid koncentráció trendje és növekedési üteme a koradélutáni órákban (12–16 h) K-pusztán és a hegyhátsáli tornyon 10 m magasságban végzett mérések alapján. Az ábrákon feltüntettük az állomások földrajzi szélességére becsült tengeri határreteg CO_2 koncentrációt és növekedési ütemét, valamint a Mauna Loa Observatóriumban (Hawaii) észlelt növekedési ütemet

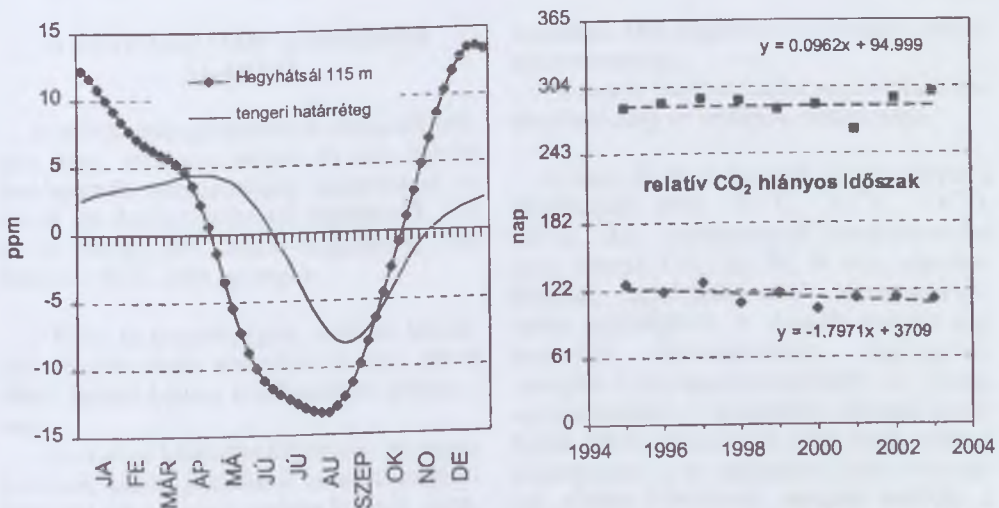
1. táblázat

A felszín nettó szén-dioxid felvétele és néhány környezeti paraméter értékének alakulása.
A hőmérsékleti és csapadék adatok a közeli farkasfai meteorológiai obszervatóriumra
(46°55' N, 16°19' E, 312 m) vonatkoznak

| Időszak | | 1961–1990 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|---|--------------------------------------|-----------|------|------|------|-------|------|------|------|
| átlag-hőmérséklet (°C) | vegetációs időszak (március–október) | 13,2 | 13,0 | 13,8 | 14,3 | 15,1 | 14,6 | 14,7 | 15,0 |
| | egész év | 8,9 | 9,1 | 9,6 | 9,6 | 10,9 | 10,0 | 10,8 | 10,1 |
| csapadék mennyiség (mm) | vegetációs időszak (március–október) | 584 | 514 | 708 | 582 | 465,1 | 493 | 449 | 488 |
| | egész év | 759 | 695 | 844 | 785 | 622 | 576 | 594 | 606 |
| PPFD* (mol m ⁻²) | vegetációs időszak (március–október) | n.m.* | 6890 | 6400 | 6560 | 7170 | 6310 | 6210 | 6670 |
| | egész év | n.m.* | 7800 | 7370 | 7390 | 8210 | 7130 | 6900 | 7550 |
| nettó szénfelvétel hossza (nap) | | n.m.* | 183 | 179 | 153 | n.m.* | 138 | 174 | 106 |
| nettó szénfelvétel (g C/m ² /év) | | n.m.* | 34 | 8 | 70 | n.m.* | -7 | 37 | -68 |

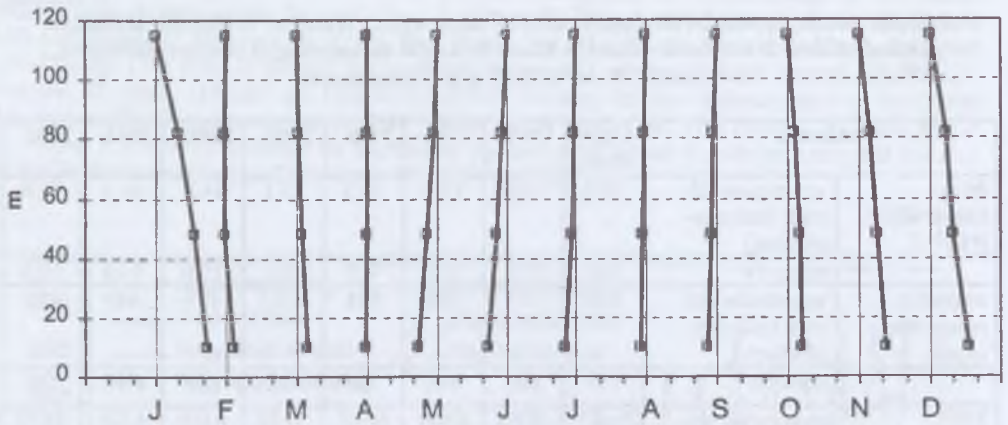
* PPFD – fotoszintetikusan aktív besugárzás; n.m. – nincs mérés.

2. ábra



Balra: a koradélutáni (12–16 h) szén-dioxid koncentráció átlagos évi menete az évi koradélutáni átlagkoncentrációhoz viszonyítva 115 m magasban a hegyhátsáli tornyon és a tengeri határrétegben.
Jobbra: az évi átlagos koradélutáni szén-dioxid koncentrációhoz képest CO₂ hiányos időszak kezdetének és végének alakulása 1994 és 2003 között

3. ábra



A havi átlagos koradélutáni (12–16 h) CO₂ koncentráció-profilok alakulása a 115 m-en mért koncentrációhoz képest. Az x-tengely egy osztása 1 ppm-nek felel meg

GLOBALIS SZÉNCIKLUS A STABILIZOTÓP-ÖSSZETÉTELEK TÜKRÉBEN

DEMÉNY ATTILA

ÖSSZEFOGLALÁS

A globális klímaváltozás és a légköri szén-dioxid-koncentráció növekedésében játszott emberi felelősség kérdése a jelenkor egyik legismertebb társadalmi problémája és tudományos kutatási területe. Az esetleges emberi felelősség megállapítása és a szükséges intézkedések meghozatala a politikai döntéshozók jogköre, azonban a tudományos kutatás által szolgáltatott adatok, a feltárt okok és következmények a felelős döntéshozatal alapvető információi. A globális szénkörforgás és a klímaváltozás közötti kapcsolat kimutatása a tudományos kutatás fontos eredménye, aminek egyik legtöbb információt nyújtó módszere a stabilizotóp-geokémia. A jelen publikációban a stabilizotóp-geokémia módszereinek felhasználását kívánom bemutatni. Az egyes részterületek részletes taglalása is meghaladná a publikáció kereteit, mindazonáltal általános áttekintést kívánok adni a szakterület alkalmazási lehetőségeiről. Először az általános elméleti alapokat, majd a globális szénkörforgás stabilizotóp-geokémiai alapjait ismertetem. Végezetül példákat mutatok be az ismert nemzetközi és a lehetséges hazai alkalmazásokra.

A STABILIZOTÓP-GEOKÉMIA ALAPJAI

A stabilizotóp-geokémia öt elem, a hidrogén, szén, nitrogén, oxigén és kén stabilis izotópjainak természetbeni eloszlásával és annak törvényszerűségeivel foglalkozik. Ezt az öt elemet több közös tulajdonság fűzi össze (*O'Neil, 1986 nyomán*):

– Kicsi az atomtömegük, ezért az izotópjuk közötti relatív tömegkülönbség – és az ebből fakadó kémiai viselkedésbeli eltérés – nagy.

– Kovalens kötések képeznek. Az egyes izotópok között jelentkező kötése erősségbeli különbségek az erős kovalens kötések esetében felnagyítódnak (szemben például a gyengébb ionos kötéssel).

– A vegyületek széles skáláját hozzák létre.

– A ritka nehéz izotóp is elég gyakori elő-

fordulású, ami megkönnyíti a pontos izotóparány-elemzést.

– Azonos mérés technika segítségével határozható meg az izotópok mennyisége.

A fenti öt elem vizsgált izotóparányai a következők: D/H, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$. Az izotóparányok meghatározása ezen elemek CO_2 , H_2 , N_2 és SO_2 gázaiban történik, izotóparánymérő tömegspektrométer segítségével. A vizsgált gázokat egy bonyolult vákuumrendszer segítségével vezetjük a tömegspektrométerbe. A hosszú csőrendszerben a különböző tömegű molekulák eltérő sebességgel áramlanak, ezért a mintalapack és az analizátor között összetétele eltérés jelentkezik, aminek mértéke a berendezés függvénye. Ezért a stabilizotóp-geokémiában nem abszolút izotóparányokkal dolgozunk, hanem nemzetközi sztenderdhez viszonyított eltéréssel, amit úgynevezett „ δ ” értékkel jelölünk.

A δ érték jelentése ennek alapján:

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{minta}}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{széndioxid}}} - 1 \right) \cdot 1000$$

A képletben a *minta* a vizsgálandó anyagot, a *széndioxid* egy nemzetközi sztenderdet jelöl, a szénizotópösszetételek esetében ez a V-PDB. Az 1000-rel való szorzás jelzésére a δ érték dimenziója ‰ (tehát ez nem koncentrációt jelent). A szénnek két stabilis (^{12}C és ^{13}C) és egy radioaktív (^{14}C) izotópja van, a stabilizotóp-geokémia csak a ^{12}C és ^{13}C eloszlásával foglalkozik. A természetben a ^{12}C mennyisége a teljes szénnek 98,89%-a, a ^{13}C mennyisége 1,11%.

A GLOBÁLIS SZÉNKÖRFORGÁS „BOX MODELLJE”

A Föld nagy szénrezervoárjai változatos kölcsönhatásban vannak egymással, amit a földtörténeti szén ciklus modellezésére kidolgozott „box modell” (1. ábra) mutat be. A modell számszerűsítéséhez egyrészt a kölcsönhatások során lejátszódó anyagáramlás mértékét (fluxus, „F”), másrészt az adott rezervoárra jellemző stabilizotóp-összetételt kell ismernünk. A modellt leíró alapegyenlet a következő (Kump–Arthur, 1999):

$$\frac{d}{dt} (M_0 \delta_{\text{karb}}) = F_{\text{mállás}} \delta_{\text{mállás}} + F_{\text{vulk}} \delta_{\text{vulk}} - F_{\text{b,karb}} \delta_{\text{karb}} - F_{\text{b,org}} \delta_{\text{org}} + F_{\text{ex}} \delta_{\text{ex}}$$

Az egyenletben az M_0 az óceán-atmoszféra rendszer szeretlen széntartalmának tömege, δ_{karb} az óceán-atmoszféra rendszer izotóp-összetételét reprezentáló, tengervízből kiülepedő üledékes karbonát összetétele. Az egyenlet jobb oldalán a felszíni mállásból és vulkáni működésből származó anyagbeáramlás fluxusa és izotópösszetétele, az üledékek karbonátjának és szerves anyagának kiülepedési mértéke és összetételei, valamint egy külső, a későbbiekben tárgyalandó forrásból

származó anyag megfelelő adatai szerepelnek. A modellegyenletből nyilvánvaló, hogy a pontos számításához a fluxusok és a rezervoárok izotópösszetételeinek ismerete szükséges. A továbbiakban az egyes rezervoárok és hatók jellemzőit mutatom be.

A FŐBB REZERVOÁROK SZÉNIZOTÓP-ÖSSZETÉTELE

A természetben előforduló anyagokra és főbb rezervoárokra vonatkozó szénizotóp-összetételek tág határok között mozognak, amint azt a következőkben látni fogjuk.

1. A vulkanizmus hatása

A Föld egészét magában foglaló szén ciklus legnagyobb rezervoárja a Földköpeny. A tárolt szén mennyiségének becsléséhez ismerni kell a köpenyanyag széntartalmát, amit a felszínre jutó magmás kőzetek vizsgálatával kaphatunk meg. A vulkáni összetek által a felszínre hozott köpenyeredetű kőzetek vizsgálata meglehetősen nagy bizonytalanságot mutat. A széntartalom igen nagy változékonysággal jelentkezik, aminek oka a felső köpenyben lejátszódó lokális metasztatikus folyamatokban kereshető. A felsőköpeny eredetű kőzetzárványok emellett számos formában tartalmaznak szenet (szilikátban oldott C, karbonátásvány, szerves molekulák, fluidumzárványok). Ezzel szemben az óceánközépi hátságok („mid ocean ridge” – MOR) bazalt vulkanizmusa igen homogén látást hoz a felszínre, aminek vizsgálatával a felső köpeny átlagos széntartalma jobban közelíthető. Természetesen a magma képződés, a felszíni átalakulás és kigázosodás ebben az esetben is jelentős változásokat okozhat az eredeti koncentrációhoz képest. Egyéb geokémiai adatokkal (pl. héliumtartalom) kombinálva a másodlagos hatások kiszűrésével a köpeny átlagos széntartalma 1300 ppm-nek vehető, a teljes rezervoár kb. 10^9 Gt szenet tartalmazhat (Jambon, 1994).

A köpeny szénizotóp-összetételét egyrészt a már említett MOR bazaltok, másrészt egyéb, jelentős mértékű szenet tartalmazó köpenyeredetű kőzetek elemzéséből határozhatjuk meg. A primér, az elváltozást nem szenvedett köpenyanyag összetételére több tartományt is találunk a szakirodalomban: -8 – -4% (Taylor et al., 1967), -30 – 0% , átlag -5% (Kyser, 1986), -7 – -5% (Keller-Hoefs, 1995). A Geokémiai Kutatólaboratóriumban nemzetközi együttműködésben több karbonat-tartalmú öszlet izotópösszetételét vizsgáltuk részletesen. A másodlagos folyamatok feltárását és hatásuk kiküszöbölését követően arra a következtetésre jutottunk, hogy a valóban primér izotópösszetételek szűkebb tartományban (-7 – -6%) adhatók meg (Demény-Harangi, 1995; Demény et al., 1998; Zaitsev et al., 2002). A köpeny izotópösszetételének leszűkítése az abból kigázosodással a levegőbe jutó szén-dioxid izotópösszetételét is pontosabban határozza meg (kb. -5%).

További, és igen jelentős vulkáni hatás a szubdukciós zónákban végbemenő kigázosodás. A szubdukció során karbonátot és szerves anyagot tartalmazó üledékes kőzetek jutnak a mélybe, amelyek metamorfózison, majd olvadáson mennek keresztül. Mindkét folyamatban történik könnyenillóvesztés. A karbonátok általában ^{13}C -ban, a szerves anyagok ^{12}C -ben dúsak (lásd pl. Hoefs, 1987). A kigázosodási folyamat homogenizálja a feláramló könnyenillót, amelynek átlagos $\delta^{13}\text{C}$ értéke ismét kb. -5% . A kigázosodás által létrehozott fluxus becsülésében sokkal jelentősebb bizonytalanságok jelennek meg. Az egyes szerzők között felhasznált értékek között több nagyságrendi eltérés lehetséges. Ennek oka egyrészt az adatok még mindig nem elégséges mennyisége, illetve az újonnan felismert hatók modellbe történő illesztése (pl. Kashiwagi-Shikazono, 2003). A magmás-metamorf fluxusra becsült érték kb. $0,1$ Gt C/év (Jambon, 1994; Tajika, 1998; Kump-Arthur, 1999).

A vulkanizmus hatása általában az emberi léptékkal mért időtartamot meghaladja, a nagymérvű vulkáni öszletek képződése

több száz vagy millió évet vesz igénybe. A mait jelentősen meghaladó mértékű vulkanizmus számos időszakban lejátszódott, esetenként több millió km^3 bazalt lávát öntve a felszínre. Ez egyrészt aeroszolkok és kén-dioxid kilövellését jelenti, ami globális lehűléshez vezet, másrészt nagymérvű szén-dioxid-kigázosodást okoz, ami viszont globális hőmérsékletemelkedést hoz létre. A hőmérséklet emelkedésének hatására metánhidrát-felszabadulás történik, a savas esők pedig a felszíni mállás felerősödését okozzák (lásd később). Mindez drasztikus klímaváltozási folyamatokat indít el.

A vulkanizmushoz hasonló hatással jár a földtörténeti múltban többször előfordult, de véletlenszerű és pillanatszerű folyamat, az égitestbecsapódás. A nagy kihalási események csaknem mindegyikének esetében feltételezhető ilyen becsapódási esemény. A legismertebb (és a legtöbb bizonyítékkal alátámasztott) esemény a kréta és a harmadidőszak határán, mintegy 65 millió évvel ezelőtt lejátszódott kihalás, amit feltételezhetően a Yucatán-félsziget területére becsapódott meteorit vagy üstökös okozott. Mindazonáltal még ezen esemény esetében is inkább komplex, a Dekkán trappbazalt vulkanizmus és a becsapódás közös hatásának tulajdonítható folyamatról lehetett szó (Ravizza-Peucker-Ehrenbrink, 2003). Másik példaként Kent et al. (2003) feltételezése szerint a paleocén-eocén határon megfigyelt negatív üledékes $\delta^{13}\text{C}$ -eltolódás egy ^{12}C -dús anyagot szállító üstökös becsapódásának tulajdonítható; habár ezt az elméletet a metánhidrát felszabadulását támogató kutatók erősen vitatják (Dickens-Francis, 2003).

2. Az óceán, biomassza és üledékes rendszerek

Az óceán rendszere több alrezervoárt hordoz magában. Az oldott szervesetlen szén (HCO_3^- formában) mennyisége kb. 50 ezer Gt (Tajika, 1998; Kump-Arthur, 1999), szénizotóp-összetétele kb. 0 – 2% (Hoefs, 1987).

A szárazföldi és tengeri biomassza mennyisége az óceánban oldott szervesetlen szén mennyiségének igen kis része (néhány ezer Gt), amelynek mennyisége a földtörténet során jelentősen változott a nagy kihalási események (lásd pl. *Pálfy, 2000* összefoglaló munkáját), vagy jelentős klímaváltozások során (pl. *Ikeda et al., 2002*). A biomassza szénizotóp-összetétele szintén igen nagy szórást mutat az éghajlati öv és eredet függvényében. A hideg és meleg klímaövekben levő óceáni plankton $\delta^{13}\text{C}$ értékei -20 és -30% között szórnak (*Hoefs, 1987*), a szárazföldi szerves anyag átlagos összetétele -25 – -27% . Az eltérés oka a környezet-biomassza közötti izotópfractionáció, mivel a szárazföldi szervesanyag a relatív ^{12}C -dús levegővel, míg az óceáni plankton ^{13}C -dús oldott karbonáttal van egyensúlyban. Emellett fontos tényező a környezet CO_2 -tartalma. Nagy CO_2 -tartalom mellett az óceáni plankton és a szervesetlen C között nagyobb fractionáció jelentkezik, ami az óceáni biomassza $\delta^{13}\text{C}$ értékét negatív irányba tolja el (*Hayes et al., 1999*). További hatás a növényzet fotoszintetikus működése, ami a környezet és a növényi szerves anyag közötti fractionációt szabja meg. A C3 növények jóval nagyobb fractionációval építik magukba a környezetükből kiválasztott szenet, mint a C4 növények, ezért $\delta^{13}\text{C}$ értékük jóval negatívabb (kb. -27%), mint az utóbbiaké (kb. -10%).

Az üledékes kőzetek karbonát- és szervesanyag-tartalma nagyjából tükrözi az oldott szervesetlen szén, illetve biomasza összetételét. A megnövekedett bioproduktivitás és a szerves anyag betemetődésének és üledékben való megőrződésének felerősödése elvonja az óceáni rendszerből a ^{12}C -t. A folyamat a kiülepedő karbonátban jelentkező pozitív $\delta^{13}\text{C}$ -eltolódással követhető nyomon. Ugyanígy a produktivitás csökkenése (kihalási esemény) a biomasszában kötött ^{12}C -t felszabadítja, ami a leülepedő üledékekben negatív $\delta^{13}\text{C}$ csúccsal jelentkezik. Egy további, igen fontos komponens a mélytengeri üledékek pórusaiban felhalmo-

zódó metán. Kb. 1500 m vízmélység alatt, $5\text{ }^\circ\text{C}$ körüli hőmérsékleten a metán hidrát formájában kötődik meg (lásd *Dickens, 2003*). A metán a leülepedett szerves anyag bakteriális degradációjával jön létre. A metanogén baktériumok a leggyengébb kötéseket létesítő könnyű izotópokat részesítik előnyben, ezért a keletkező metán extrém módon dúsul ^{12}C -ben ($\delta^{13}\text{C} < -60\%$). Globális felmelegedés esetén a metán-hidrát instabillá válik, felszabul és az óceán-atmoszféra rendszerben szén-dioxidá oxidálódik. Mennyisége kb. 10000 Gt-ra becsülhető, ezért a globális szénháztartási folyamatokban fontos tényező (lásd *Dickens, 2003*). A jelenleg elfogadott elméletek szerint a metánfelszabadulás és a bioproduktivitás összeomlásának hatását tükrözik a nagy kihalási események során lerakódott üledékek izotóp-összetételei. Erre mutat be példát a 2. ábra, amin a triász és júra határán (kb. 200 millió évvel ezelőtt) jelentkező $\delta^{13}\text{C}$ -eltolódási csúcs látható.

3. A mállás és lemeztektonikai folyamatok hatása

A mállás során egyrészt kőzetekben kötött szén jut az óceáni oldott anyagba, másrészt szilikátos kőzetek mállása a levegő szén-dioxidjának megkötődését okozhatja. A mállás 4–500 Gt üledékes szénanyagot mobilizál ezer évente (*Kump–Arthur, 1999*). Tekintettel arra, hogy ezen üledékes kőzetek döntő részben szintén óceáni rendszerben jöttek létre, a mállás során történő behordódás nem okoz észrevehető szénizotóp-összetételi változást az oldott szervesetlen szénben. Ennek akkor lehet jelentősége az oldott óceáni anyag izotópösszetételének alakulásában, ha nagy mennyiségű szerves anyagot tartalmazó üledékes összetek kerülnek felszínre, amelyeknek mállása az addig kötött ^{12}C -t felszabadítja.

A szilikátok mállása ezzel szemben jelentősen befolyásolja a globális szénháztartást. A szilikátok mállása során másodlagos karbonát jön létre, ami a levegő szén-dioxid-

jának megkötődését eredményezi. A másodlagos karbonát lehordódása és óceánban történő kiülepedése hosszú távon elvonja a légköri szén-dioxidot. *Kump és Arthur (1999)* becslése szerint a szilikátos kőzetek mállása jelenleg kb. 70 Gt szén elvonását jelenti ezer évente, ami a levegő teljes széntartalmának kb. 6–10%-a. Ezért a szilikát-mállásnak igen nagy szerepe van a szén-dioxid szint beállításában. Erre szolgáltató extrém példát a proterozoós lehülés kialakulása, ami a 500–800 millió évvel ezelőtti időszakban több ciklusban óriási mértékű eljegesedést okozott. A földtörténeti bizonyítékok arra utalnak, hogy ekkor a Föld csaknem az Egyenlítőig eljegesedett. A folyamatra *Goddéris és munkatársai (Goddéris et al., 2003; Donnadieu et al., 2004)* adtak elfogadható magyarázatot, jóllehet a távoli múltból megmaradó információ igen kevés, és ezért a bemutatott elmélet számos bizonytalanságot takar. A megadott időszakban a kontinensek egy szuperkontinentst képeztek („Rodinia”), ami az Egyenlítő közelében helyezkedett el. A szuperkontinens nagysága miatt annak belsejében száraz éghajlat uralkodhatott, ami a mállási folyamatokat és a lehordódást gátolta. A lemeztectonikai folyamatok hatására a szuperkontinens feltöredezett (ezt jelzik a kb. 825–750 millió éves bazaltösszletek). A kontinensdarabok elkülönülése megkönnyítette a csapadékszállítását, ezáltal a mállás és lehordódás folyamata felerősödött. További tényező a friss bazalt felszínek Egyenlítő körüli kialakulása, ami a mállás hatását erősítette. A szilikátkőzetek mállása az eredetileg kb. 1800 ppmv szén-dioxid-tartalmat kb. 250 ppmv-re csökkentette a levegőben, ami erőteljes lehűlést okozott. Ehhez járult hozzá, hogy a feltételezések szerint a proterozoikum során a Nap kb. 6%-kal kevesebb energiát sugárzott a Földre, így az eljegesedés csaknem a teljes földfelszínt érintette („hógyolyó Föld”). Az eljegesedés a további mállást meggátolta, így a vulkanizmussal kigázosodó CO₂ újra felhalmozódott a légkörben és a felmelegedés megindulhatott.

Mint láttuk, a proterozoós eljegesedésben igen nagy szerepe volt a lemeztectonikai mozgásoknak. A szubdukció során üledékes anyag kerül a Földköpenybe, metamorfizálódik, majd olvadáson megy keresztül. Az ezzel járó könnyenilló-eltávozás hatását már taglaltam. További szempont a hegységképződés, ami új mállási térszíneket hoz létre. A *Tajika (1998)* által kidolgozott numerikus modell kiválóan mutatja, hogy a Himalája kiemelkedése jelentős szerepet játszott a pleisztocén eljegesedés kialakulásában.

Részben tectonikai hatásokra jön létre az egyik legösszetettebb, szén ciklust befolyásoló folyamat, az óceáni áramlási rendszer változása. Az áramlás változása megváltoztatja a helyi tengervíz kémiai összetételét, így a szállított tápanyag mennyiségét és az oldottoxigén-tartalmat, a hőmérsékletet és az áramlási sebesség változásával a kiülepedés sebességét. Mindez befolyásolja a bioproduktivitást és a leülepedő szerves anyag megőrződését és betemetődését, aminek hatása megjelenik a karbonátos üledék $\delta^{13}\text{C}$ értékeiben.

4. A levegő szén-dioxidjának izotópösszetétele

A levegő szén-dioxid tartalma jelenleg kb. 380 ppmv, az ipari forradalom előtt kb. 280 ppmv volt. A levegő szén-dioxid tartalmának változásával számos intézmény foglalkozik, közöttük az egyik legjelentősebb a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Ezen intézményen belül a Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory (CMDL) „Carbon Cycle Greenhouse Gases” projekt keretében globális hálózatot üzemeltet a levegő szén-dioxid tartalmának elemzésére. A hálózat egyik állomása Hegyhátsálon van az Országos Meteorológiai Szolgálat üzemeltetésében (lásd *Haszpra, 1999*). A légköri szén-dioxid-koncentráció utóbbi 160 ezer évben bekövetkezett változását mutatja be a 3. ábra (forrás NOAA-CMDL honlap). A Vostok jégfúrásból szár-

mazó jégmintákban kötött levegőzárványok elemzése nyilvánvalóan bizonyítja a klímaváltozás és a CO₂ szint összefüggését. Emellett látható, hogy az utóbbi évszázadban rohamosan gyorsul a CO₂-szint emelkedése. A növekedés mértéke meghaladja a földtörténeti múltban tapasztalt rátát. A szintén a NOAA-CMDL nyilvánosan hozzáférhető honlapjáról származik az 4. ábra, ami a CO₂-koncentráció és -izotóppozíció alakulását mutatja az utóbbi tíz évben. Az ipari forradalom óta bekövetkezett koncentráció-növekedés és a δ¹³C érték változása ¹²C-dús CO₂ hozzáadását jelzi. Az antropogén tevékenység által felhasznált fosszilis tüzelőanyag és az erdőégetések kb. -30 – -25‰ összetételű CO₂ kibocsátását jelentik. Ezzel a tartománnyal számolva néhány % antropogén eredetű szén-dioxid jelenlétét feltételezhetjük. Ugyanakkor a koncentráció-növekedés mértéke ennek többszöröse. A megoldást az jelentheti, hogy a CO₂ folyamatos kölcsönhatásban van az óceánnal és a szárazföldi biomassza tömegével, ami a δ¹³C-változást csökkenti. Ha a teljes koncentráció-növekedést az antropogén tevékenység számlájára írjuk, akkor annak mértéke az ipari forradalom előtti 280 ppmv értékhez képest eléri a 35%-ot. Ugyan a fenti kölcsönhatások az izotóppozíciók pontos modellfelhasználását gátolják, a negatív δ¹³C eltolódás kimutatása által nyilvánvalóvá vált, hogy csak a szerves anyag oxidációjából származhat a CO₂-szint növekedése.

Mint láttuk, a globális szén-dioxid szintet jelentős mértékben tudja befolyásolni a lokális növényzet hatása. A szén-dioxid kibocsátási és elnyelési folyamatait, a koncentrációt meghatározó tényezőket számos intézmény vizsgálja a világon. A hazai légteret jellemző stabilizotóp-elemzések egyelőre a NOAA és az Országos Meteorológiai Szolgálat által üzemeltetett hegyhátsági állomás (*Haszpra, 1999*) levegőmintáin készülnek, illetve egy Akadémiai Kutatási Projekt keretében egy éves mintavételezés és elemzés történt 1999–2000 során (*Demény–*

Haszpra, 2002). A munka során kimutattuk, hogy a lokális növényzet fotoszintetikus és respirációs hatása jelentős napszakos változásokat okoz mind a CO₂ koncentrációjában, mind izotóppozíciójában (5. ábra). A növényzet a kilégzési stádiumban ¹²C-dús CO₂-t juttat a levegőbe, míg a fotoszintetikus stádiumban a ¹²C-t elvonja a környezetből, amit a δ¹³C változása híven tükröz. Ez a folyamat még pontosabban nyomom követhető, ha kombinált δ¹³C–δ¹⁸O elemzéseket végzünk (ehhez azonban speciális mintavételezésre van szükség, *Demény–Haszpra, 2002*).

ALKALMAZÁSI TERÜLETEK A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN

A jövőben várható klímaváltozás előrejelzéséhez alapvető adatokat szolgáltat a globális szénkörforgás földtörténeti közelmúltban lezajlott változásainak elemzése. Tekintettel arra, hogy a jövőbeli változásokat emberi (évtizedes) időléptékben kell vizsgálni, a múltbeli változásokat tükröző anyagok elemzéséhez is ilyen időbeli felbontásra van szükség. A fenti folyamatok hatásait tükröző üledékes kőzetek vizsgálata problémákba ütközik, mivel az üledék konszolidátlansága és a leülepedési sebesség miatt igen ritka, hogy évtizedes felbontású mintavételezés legyen lehetséges. A hideg területeken képződő varvitek (finoman laminált tavi üledékek) biztosítják a megfelelő felbontást, de csak az adott klímaövre adnak információt. A melegebb klímaövek esetében többek között a tavi és folyóvízi üledékek, valamint barlangi képződmények (üledékek, csontmaradványok, cseppkőképződmények) komplex stabilizotóp-geokémiai elemzése adhat a klímaváltozásra vonatkozó megbízható információt. Ugyanakkor a szükséges időbeli felbontás csak a mintavételezés térbeli felbontásának javításával érhető el. Az egyik legmodernebb – és egyre szélesebb körben használt – technikának a lézeralblációs mintavételezés tekinthető, ami kb. 0,2 mm-es felbontást tesz lehetővé. Pé-

daként *McDermott és munkatársai (2001)* munkáját említhetjük, akik a lézerablációs technika stabilizotóp-geokémiai alkalmazásával hirtelen jégolvadási eseményeket tudtak detektálni a cseppkővek oxigénizotóp-összetételei alapján. A 6. ábrán bemutatott $\delta^{18}\text{O}$ eltolódások a globális változásokat mutató GISP 2 jégfúrás adataiban ugyan nem jelennek meg, de fontos regionális klímavál-

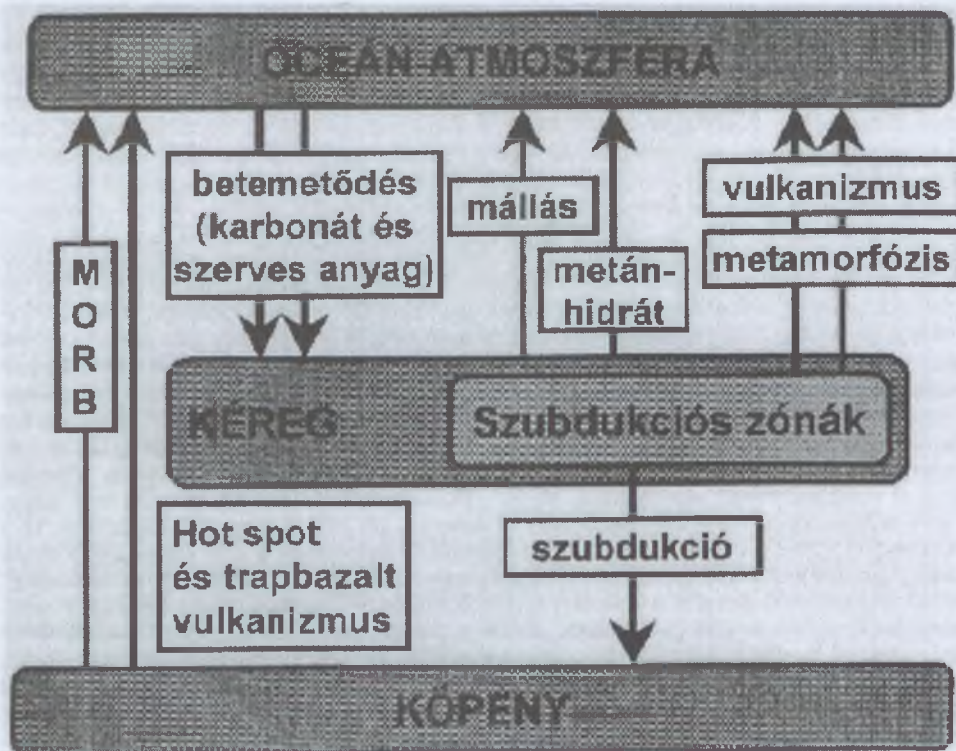
tozási folyamatot jeleznek. A Kárpát-medence területéről ilyen nagy felbontású stabilizotópelemzés még nem készült. A közeljövőben hazai és nemzetközi együttműködések keretében a Magyar Tudományos Akadémia Földtudományi Kutatóközpontján belül működő Geokémiai Kutatólaboratóriumban tervezünk ilyen elemzéseket a Kárpát-medence fentiekben említett képződményein.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) DEMÉNY, A. – HARANGI, SZ. (1996): Stable isotope studies on carbonate formations in alkaline basalt and lamprophyre series: evolution of magmatic fluids and magma-sediment interactions. *Lithos* 37, 335–349. pp. (2) DEMÉNY, A. – HASZPRA, L. (2002): Stable isotope compositions of CO_2 in background air and at polluted sites in Hungary. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 16, 797–804. pp. (3) DEMÉNY, A. – AHUJADO, A. – CASILLAS, R. – VENNEMANN, T. W. (1998): Crustal contamination and fluid/rock interaction in the carbonatites of Fuerteventura (Canary Islands, Spain): a C, O, H isotope study. *Lithos*, 44, 101–115. pp. (4) DICKENS, G. R. – FRANCIS, J. M. (2004): Comment on „A case for a comet impact trigger for the Paleocene/Eocene thermal maximum and carbon isotope excursion” by D. V. Kent et al. [*Earth Planet. Sci. Lett.* 211 (2003) 13–26], *Earth and Planetary Science Letters*, 217, 197–200. pp. (5) DICKENS, G. R. (2003): Rethinking the global carbon cycle with a large, dynamic and microbially mediated gas hydrate capacitor. *Earth and Planetary Science Letters*, 213, 169–183. pp. (6) DONNADIEU, Y. – GODDÉRIIS, Y. – RAMSTEIN, G. – NÉDÉLEC, A. – MEERT, J. (2004): A ‘snowball Earth’ climate triggered by continental break-up through changes in runoff. *Nature*, 428, 303–306. pp. (7) GODDÉRIIS, Y. – DONNADIEU, Y. – NÉDÉLEC, A. – DUPRÉ, B. – DESSERT, C. – GRARD, A. – RAMSTEIN, G. – FRANÇOIS, L. M. (2003): The Sturtian ‘snowball’ glaciation: fire and ice. *Earth and Planetary Science Letters*, 211, 1–12. pp. (8) HASZPRA, L. (1999): On the representativeness of carbon dioxide measurements. *Journal of Geophysical Research*, 104D, 26953–26960. pp. (9) HAYES, J. M. – STRAUSS, H. – KAUFMAN, A. J. (1999): The abundance of ^{13}C in marine organic matter and isotopic fractionation in the global biogeochemical cycle of carbon during the past 800 Ma. *Chemical Geology*, 161, 103–125. pp. (10) HOEFS, J. (1987): *Stable Isotope Geochemistry*. Springer, Berlin Heidelberg New York. 241. p. (11) IKEDA, T. – TAJIKA, E. – TADA, R. (2002): Carbon cycle during the last 315,000 years: reconstruction from a marine carbon cycle model. *Global and Planetary Change*, 33, 1–13. pp. (12) JAMBON, A. (1994): Earth degassing and large-scale geochemical cycling of volatile elements. In: CARROLL, M. R. – HOLLOWAY, J. R. (Szerk.), *Volatiles in magmas*. *Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America*, 30, 479–517. pp. (13) KASHIWAGI, H. – SHIKAZONO, N. (2003): Climate change during Cenozoic inferred from global carbon cycle model including igneous and hydrothermal activities. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 199, 167–185. pp. (14) KELLER, J. – HOEFS, J. (1995): Stable isotope characteristics of recent natrocarbonatites from Oldoinyo Lengai. In: BELL, K. – KELLER, J. (Szerk.), *Carbonatite Volcanism: Oldoinyo Lengai and the Petrogenesis of Natrocarbonatites*. IAVCEI Proc. Volcanol., 4. Springer, Berlin, 113–123. pp. (15) KENT, D. V. – CRAMER, B. S. – LANCI, L. – WANG, D. – WRIGHT, J. D. – VAN DER VOO, R. (2003): A case for a comet impact trigger for the Paleocene/Eocene thermal maximum and carbon isotope excursion. *Earth and Planetary Science Letters*, 211, 13–26. pp. (16) KUMP, L. R. – ARTHUR, M. A. (1999): Interpreting carbon-isotope excursions: carbonates and organic matter. *Chemical Geology*, 161, 181–198. pp. (17) KYSER, T. K. (1986): Stable isotope variations in the mantle. In: VALLEY, J. W. – TAYLOR, H. P. Jr. – O’NEIL, J. R. (Szerk.), *Stable isotopes in high temperature geological processes*. *Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America*, 16, 141–164. pp. (18) MCDERMOTT, F. – MATTEY, D. P. – HAWKESWORTH, C. (2001): Centennial-scale holocene climate

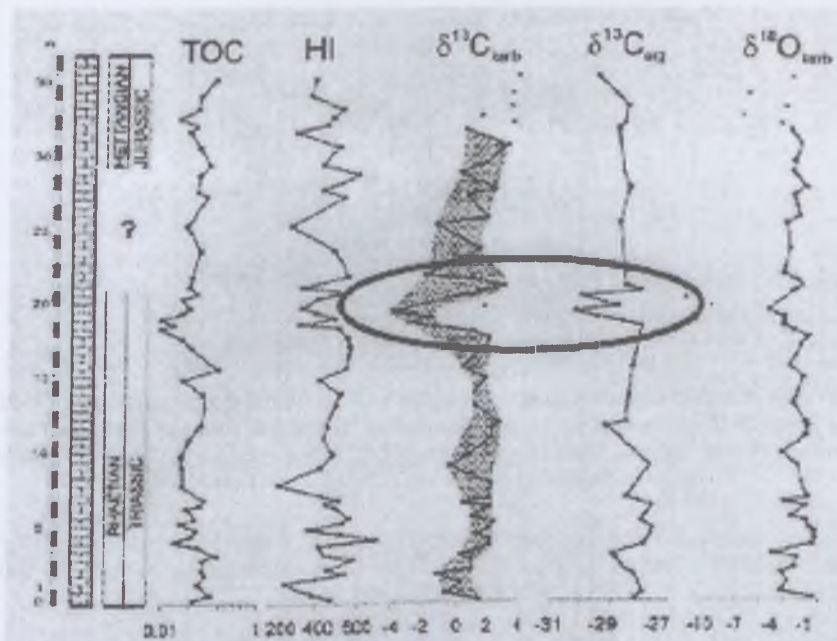
variability revealed by a high-resolution speleothem $\delta^{18}\text{O}$ record from SW Ireland. *Science*, 294, 1328–1331. pp. (19) O’NEIL, J. R. (1986): Theoretical and experimental aspects of isotopic fractionation. In: VALLEY, J. W. – TAYLOR, H. P. Jr. – O’NEIL, J. R. (Szerk.), *Stable isotopes in high temperature geological processes*. *Reviews in Mineralogy*, Mineralogical Society of America, 16, 1–40. pp. (20) PÁLFY, J. (2000): *Kihaltak és Túlélők*. Vince Kiadó, Budapest, 222. p. (21) PÁLFY, J. – DEMÉNY, A. – HAAS, J. – HETÉNYI, M. – ORCHARD, M. – VETŐ, I. (2001): Carbon isotope anomaly and other geochemical changes at the Triassic-Jurassic boundary from a marine section in Hungary. *Geology*, 29, 1047–1050. pp. (22) RAVIZZA, G. – PEUCKER-EHRENBRINK, B. (2003): Chemostratigraphic evidence of Deccan volcanism from the marine osmium isotope record. *Science*, 302, 1392–1395. pp. (23) TAJKA, E. (1998): Climate change during the last 150 million years: reconstruction from a carbon cycle model. *Earth and Planetary Science Letters*, 160, 695–707. pp. (24) TAYLOR, H. P. Jr. – FRECHEN, J. – DEGENS, E. T. (1967): Oxygen and carbon isotope studies of carbonatites from the Laacher See District, West Germany and the Alno District, Sweden. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31, 407–430. pp. (25) ZAITSEV, A. N. – DEMÉNY, A. – SINDERN, S. – WALL, F. (2002): Burbankite group minerals and their alteration in rare earth carbonatites – source of elements and fluids (evidence from C–O and Sr–Nd isotopic data). *Lithos*, 62, 15–33. pp.

1. ábra



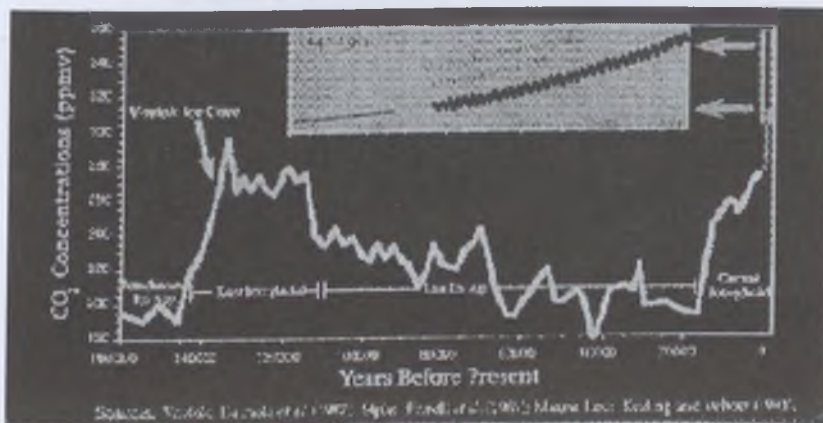
A Föld nagy szénrezervoárjai és a közöttük fennálló anyagáramlás irányai (Kashiwagi, H.–Shikazono, N., 2003 alapján)

2. ábra



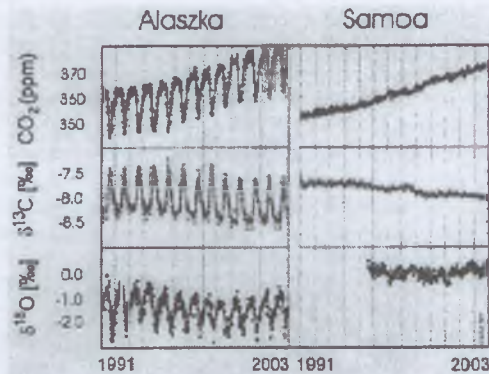
A csövári triász-júra üledékszelvény stabilizotóp-geokémiai elemzésének eredményei (Pálffy *et al.*, 2001). Az ábrán balról jobbra haladva a geológiai szelvény látható a vastagságadatokkal, majd az üledékes kőzet szervesanyag-tartalma (TOC), annak „hidrogén indexe” (HI), valamint a karbonát („karb”) és szerves anyag („org”) szénizotóp-összetétele, végezetül a karbonát oxigénizotóp-összetétele. Az izotópösszetételek a V-PDB sztenderdhez viszonyítva ‰-ben vannak megadva

3. ábra



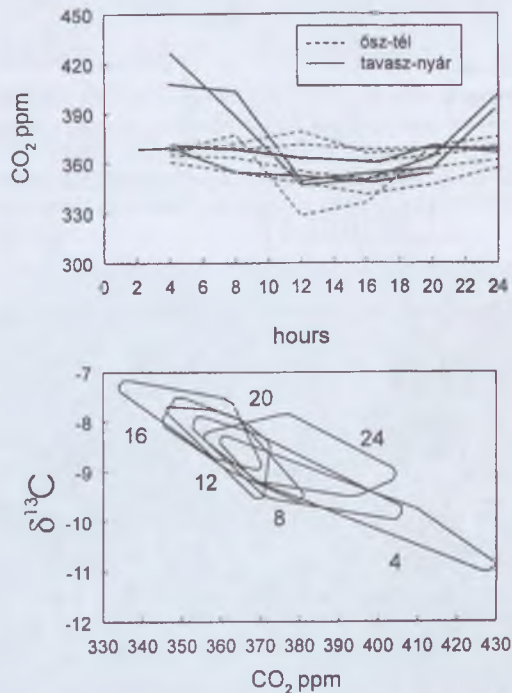
A levegő szén-dioxid-koncentrációjának változása az utóbbi 160 000 évben (forrás National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory (CMDL) nyilvános honlap)

4. ábra



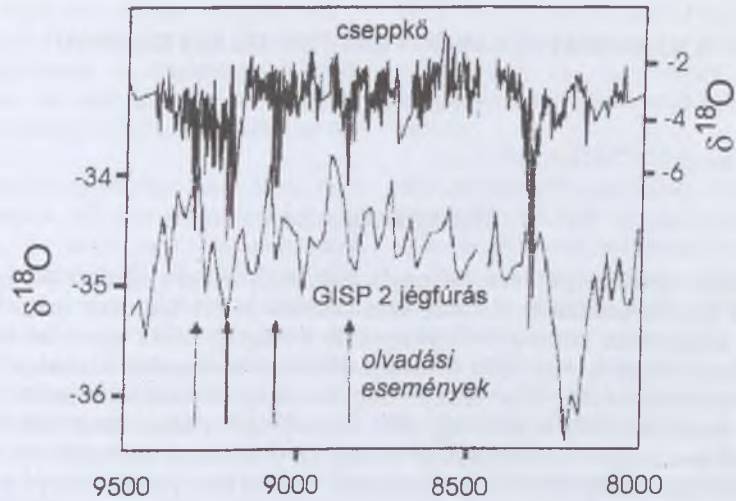
A levegő szén-dioxid-koncentrációjának (ppmv) és a CO_2 stabilizotóp-összetételének (V-PDB-hez, illetve az abból $25\text{ }^\circ\text{C}$ -on fejlesztett CO_2 -höz viszonyítva, ‰-ben) változása az 1991–2003 időszakban két állomáson (forrás National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory (CMDL) nyilvános honlap)

5. ábra



A K-pusztai OMSZ állomáson 1999–2000 során gyűjtött levegőminták szén-dioxid-tartalmának és $\delta^{13}\text{C}$ értékének napszakos változása (Demény–Haszpra, 2002). A felső ábrán a mintavételi időpontok és a CO_2 -tartalom összefüggése, az alsó ábrán az egyes mintavételi időpontokban (4, 8, 12, 16, 20, 24 órakor) vett levegőminták CO_2 -tartalma és annak szénizotóp-összetétele látható

6. ábra



Sztalagmit cseppkő nagy felbontású lézerablációs oxigénizotóp-elemzésének eredményei (McDermott *et al.*, 2001). A cseppkő izotóppszétételei a V-PDB, a GISP 2 jégfúrás adatai a V-SMOW sztenderdhez, ‰-ben vannak megadva

A KLÍMAVÁLTOZÁS NÖVÉNYTERMELÉSI HATÁSAI

HARNOS ZSOLT

ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott eredmények nem bizonyítottak, feltevéseken alapulnak, így azokból messzemenő következtetéseket levonni nem szabad. Miért fontosak mégis? A válasz egyszerű: a nemzetközi kutatási eredmények és a megfigyelések egyre inkább valószínűsítik a klímaváltozást, a globális felmelegedést. A felmelegedés sebessége és mértéke vitatott, de a tendencia elég egyértelmű. Magyarország klimatikus övezetek és növénytermesztési zónák határán fekszik, így már viszonylag kis klimatikus változások is jelentős mértékben megváltoztathatják az ország agroökológiai feltételeit. A búzával és a burgonyával végzett számítások is ezt mutatják. Sajnos nem pozitív irányú a változás.

Az elemzéseknél nem számoltunk a fajtaváltással, az agrotechnikával, amelyek együttesen esetleg kompenzálni tudják a negatív klímahatásokat. Ahhoz, hogy ez tényleg így legyen, már most fel kell készülni a változásokra, ami jelentős feladatokat ró a kutatókra. Fontos lenne egy összehangolt programot kidolgozni és megvalósítani. Ha csak akkor kezdünk majd a kérdéssel foglalkozni, amikor a klímaváltozás már jelentős mértékben érezteti a hatását, akkor lehet, hogy már késő lesz, olyan károkat szenved el az ország, amelyek tudatos felkészüléssel megelőzhetőek lettek volna.

1. A KLÍMAVÁLTOZÁS

Az elmúlt 20–25 évben a kutatások középpontjába kerültek a globális problémák, s azok között is kiemelkedő szerepet játszanak a klímaváltozással kapcsolatos vizsgálatok. Ma még nincsen bizonyíték a klímaváltozásra, nem megfigyeléseken alapul – bár vannak arra utaló jelek –, hanem az antropogén hatások következtében a légkörben lejátszódó változások modellezésével kapott eredményt fejezi ki.

A hangsúly itt az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának növekedése következtében várhatóan bekövetkező állapot van, amely akkor valószínűsíthető, ha az annak a fizikai rendszernek felel meg, amivel a folyamatokat modellezik. Ez a fizikai rendszer nagyon bonyolult, bizonyos elemeit valamilyen szinten ismerik. Egyre több tényezőt vesznek figyelembe.

A modellek három fő típusra bomlanak, amit a *UK Meteorological Service* által kidolgozott modellekkel jellemezünk:

(1) az atmoszférikus GCM (Global Circulation Model) egyszerű felületű óceán reprezentációval és földfelszíni parametrizációs sémával van összekapcsolva [UKLO (UK Loco Resolution), UKHI (UK High Resolution)];

(2) az UKTR-ben az atmoszférikus GCM-hez az óceánok háromdimenziós áramlatokat és hőtranszportot is leíró reprezentációja, valamint egyszerű földfelszíni parametrizáció kapcsolódik (UKTR);

(3) az előző modellben a földfelszínt leíró részt egy háromdimenziós szárazföldi bioszféra modell helyettesíti (HadCM2–3).

Az utóbbi modell bonyolultságát mutatja, hogy a számításokhoz két CRAY T3E szu-

per-computert használnak, amelyek mind-egyikének több mint 900 processzora van.

Ez egyben fejlődési sorrend is. A modellek mindegyikének az eredménye felmelegedésre utal, de azok mértéke és sebessége eltérő, mint ahogy azt az 1. táblázat is mutatja. [18]

Az előrejelzések folyamatokat írnak le, s nem tekintendők időjárás előrejelzésnek még akkor sem, ha azok napi részletettségű eredményt produkálnak. Ez abból adódik, hogy az előre jelzett globális, regionális, lokális állapot részletes időjárási adatait úgy kapjuk, hogy valamilyen „időjárás generátorral” a jelenlegi időjárási viszonyok sztochasztikus törvényszerűségeit vetítjük ki a jövőre. Ez nagyon lényeges megállapítás, mert számos klimatológus szerint a klímaváltozás az időjárási anomáliák gyakoriságának és intenzitásának a növekedésében realizálódik majd, amit előre jelezni nem lehet. A megfigyelések – a magyarországiak is – ezt a hipotézist támasztják alá, a WMO megfigyelései is egy melegedési folyamatot regisztrálnak.

A földfelszín globális hőmérsékletének elmúlt 150 éves alakulását mutatja be az 1. ábra. [21]

40 év alatt a felmelegedés közel 0,7 °C volt, ha az utolsó évtized átlagát a XX. század fordulója körüli időszakokkal hasonlítjuk össze. Ez természetesen még nem bizonyíték a globális felmelegedésre. Jelentős változások voltak a múltban is, amint azt a földtörténeti kutatások igazolják.

A 2. ábrán bemutatott változások 400 000 évre nyúlnak vissza, ami azt mutatja, hogy ha rövid időszakokra is, de volt több olyan időszak, amikor a hőmérséklet a mainál lényegesen magasabb volt, s ezeket hideg időszakok (jégkorszak) választották el.

Az ábra egy másik lényeges eleme az, hogy összefüggést mutat a légköri CO₂ koncentráció és a hőmérséklet között. Ez alátámasztja azt a hipotézist, hogy a klímaváltozással kapcsolatos modellezési munkák jó alapot kínálnak ki.

Az erre alapozott modellezési számítások

eredményeit szemlélteti a 3. ábra, amely az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) CO₂ koncentráció feldúsulást leíró scenárióját, s az ehhez kapcsolódó (modellszámítás) hőmérsékletváltozást mutatja be.

Az 4. ábra a HadCM2 modell két számítási eredményét szemlélteti. Ezeket a scenáriókat használják leggyakrabban a klímaváltozással kapcsolatos kutatásokban.

Ezek viszonylag lassú felmelegedéssel számolnak, szemben az 5. ábrán bemutatott számításokkal, amelyek a XXI. század harmadik és hetedik évtizedében a nyári félév várható hőmérséklet növekedését szemléltetik Európára, összehasonlítva az 1961–1990-es időszakokkal.

A növénytermesztés szempontjából az egyik legfontosabb paraméter a csapadék mennyisége és azon belül annak eloszlása. Ez, ha lehet még bizonytalanabb mutató, s erre vonatkozólag kevesebb eredmény található.

A modellszámítások csapadéokra vonatkozó eredményeit szemlélteti a 6. ábra.

Az UKHI és az UKLO kivételével mind-egyik modellszámítás csökkenő csapadékot jelez Közép-Európára, ami a felmelegedéssel kombinálva jelentős korlátozó tényezője lehet a mezőgazdaságnak.

2. A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A NÖVÉNYTERMELÉSRE – NEMZETKÖZI KITEKINTÉS

A klímaváltozással összefüggő kérdések közül az egyik legfontosabb: hogyan alakul(hat) az élelmiszerellátás a jövőben?

Mint ahogy a klímaváltozás nem bizonyított, így a klímascenáriókra alapozott élelmiszerellátási prognózisok is nagy hibahatárok között mozognak. A mezőgazdasági termelést nem csak a klíma befolyásolja, hanem a genetika, az agrotechnika, s általában az adaptációs készség. Feltehetőleg ezen kérdések vizsgálata a jövőben a kutatások középpontjába fog kerülni.

Az eddigi megállapításokból néhány olyat mutatunk be itt, amelyek vagy globális, vagy regionális szintre vonatkoznak.

A 7. ábra szemlélteti azt, hogy milyen változásokat eredményezhet globálisan a növénytermesztésben a klímaváltozás. Különböző becslések vannak, amelyek három nagy csoportja különböztethető meg:

- csak a klímaváltozással számol;
- figyelembe veszi a magasabb CO₂ koncentrációt is;
- számol az agrotechnikai, genetikai fejlődéssel is.

Az ábráról egyértelműen leolvasható, hogy ha csak a felmelegedéssel számolunk, akkor globálisan legalább 10%-os termés-csökkenés következhet be, amit a CO₂ koncentráció növekedése sem tud teljes mértékben ellensúlyozni. Nagyon jelentős agrotechnikai és genetikai fejlődéssel tarthatóak a hozamok a [-3, +3]% -os intervallumon belül.

Ha csak a búzát tekintjük, s nem a fajtákos hozamokat, hanem az össztermés változását becsljük, akkor a kép egy kicsit más (8. ábra).

Ezeknél a számításoknál összekapcsolták a CO₂ koncentrációt a felmelegedéssel, s nem számoltak az agrotechnikai és genetikai fejlődéssel, viszont figyelembe vették azt, hogy a búza termelési övezete északabbra tolódik. Az össztermés csak a fejlett országokban mutat pozitív mérleget abban az esetben, ha figyelembe vesszük azt is, hogy az északi országok nagyobb mértékben kerültek be a búzatermesztési övezetbe. A jelenleg művelt területeken egy kivételével minden modell csökkenő össztermést jelez.

A számítások katasztrofálisak a fejlődő országokra nézve, ahol a búza produkció 30–40%-os csökkenését is valószínűsítik. Ezt támasztják alá a 9. ábrán bemutatott változási trendek is.

A 10. ábra az USA főbb növényeinek (búza, rizs, szója és kukorica) prognosztizált átlagos hozamváltozásait mutatja be. Az

ábráról leolvasható, hogyha a CO₂ hatást nem vesszük figyelembe, akkor a kukorica kivételével 13–16%-os termés-csökkenés várható 2 °C-os hőmérsékletemelkedés esetén, s több mint 30%-os (kukorica esetében 10%) 4 °C növekedés esetén.

A CO₂ hatás 2 °C növekedés esetén nem csak kompenzálja a termés-csökkenést, hanem 8–16%-os hozamnövekedést eredményezhet, azonban a 4 °C hőmérsékletnövekedést már ez sem tudja kompenzálni.

3. A KLÍMAVÁLTOZÁS VÁRHATÓ ALAKULÁSA MAGYARORSZÁGON

A globális klímaváltozást elsősorban az előrejelzett felmelegedéssel jellemzik, aminek a mértékét 1–5 °C közé teszik. Egy-két °C-os ingadozás azonban még rövid távon is bekövetkezett az elmúlt kétszáz év alatt is Magyarországon, még akkor is, ha a múlt század kilencvenes éveit nem vesszük figyelembe, amelyik a WMO szerint eddig a legmelegebb volt, amióta folyamatos megfigyelések vannak. Az ötéves csúszóátlagok az igazán szélsőséges eltéréseket elfedik.

A 18. század végén és a múlt század közepén és végén voltak a legmelegebb időszakok. Ezek a mostani mért értékek közelében vannak (11. ábra). Hasonlóan nagy ingadozás figyelhető meg az éves csapadék mennyiségében is (12. ábra).

A csapadék csökkenése nagyon jelentős volt már a XX. század második felében is. A 80-as években a csapadék átlagos mennyisége lényegesen kevesebb volt, mint az előző évtizedekben, s a különbség különösen szembetűnő, ha a XIX. század végével hasonlítjuk össze. A különbség 200 mm körül van.

A klímaváltozás várható alakulására házánkra több előrejelzést használunk. Ezek egyike a GISS (Goddard Institute for Space Study) prognózisa, amely egyike volt az első ilyen jellegű kutatásoknak. Ez az előrejelzés a 80-as évek első felének átlagos CO₂ koncentrációjából indul ki, s a 2 × CO₂ feltételű

egyensúlyi állapotra szimulálja az átlagos felszíni hőmérsékletet Európa régióira.

Annak szemléltetésére, hogy a GISS által jelzett felmelegedés milyen hatásokat okozhat, bemutatjuk a Helsinkiben várható és a szombathelyi mért adatok összehasonlító grafikonját (13. ábra). Ezek alapján a hőmérsékleti viszonyok Helsink körzetében lényegében olyanok lesznek, mint a huszadik század második felében Szombathelyen voltak, amiből arra lehet következtetni, hogy a fontosabb gazdasági növények termesztési övezete jelentősen északra tolódhat.

Tekintsük ezek után az UKTR modell szerint várható hőmérséklet és csapadékváltozást Magyarországon. A Magyarországra történő „leskálázást” a UK Meteorological Service végezte, felhasználva a hazai referencia állomások 1961–1990-es meteorológiai idősorait.

A 2. és 3. táblázaton az UKTR modellel készült számítások eredményeit mutatjuk be a 21. század 30-as és 66–75-ös éveire (UKTR 3140 és UKTR 6675), Debrecen és Győr térségére.

A hőmérséklet éves átlaga Debrecenben 1,9, illetve 3,4 °C-kal, Győrben 1,7, illetve 3,0 °C-kal nő. A negyedéves átlagokban kisebb, illetve nagyobb eltérések vannak. Az első negyedévben a növekedés Debrecenben eléri a 3,2, illetve 4,7 °C-ot. A tavaszi időszakban a növekedés mértéke csak 1,1 és 1,9 °C.

Győrben a prognosztizált hőmérsékletnövekedés a Debrecenre jelzett alatt marad.

A csapadék mennyisége az első időszakban lényegében a referenciaidőszakéval egyezik meg, míg a másodikban 14–16%-kal növekszik. Jelentős eltérés van azonban az éven belüli eloszlásban. A téli félévben jelentős a növekedés, míg a nyári félévben csökkenés állapítható meg. Ez a változás különösen szembetűnő az első időszak első és a harmadik negyedévére.

A növénytermelésben nem az éves átlagok a meghatározóak, hanem valamely időszaké. Az agroökológiai potenciál felmérésében a növénytermelők a búza esetén az

áprilisi és májusi csapadékösszeget, valamint a májusi és júniusi hőösszegeket, a kukorica esetében pedig a nyári félév (április 1-től, szeptember 30-ig) csapadék összegét, valamint az effektív hőösszegét jelölték meg, mint a két-két legfontosabb meteorológiai paramétert.

A modellszámítások szerint az április–májusi csapadék összegében nem várható lényeges változás. Az UKTR 3140 szerint 10% körüli növekedés várható, ami a második időszakra – UKTR 6675 – visszaáll a bázisidőszak csapadékára. A hőösszegek jelentősen emelkednek, aminek a mértéke elérheti a 100–120 °C-ot is.

A nyári félév csapadékában (kukorica) az első időszakra (UKTR 3140) jelentős csökkenés következik be, aminek a mértéke elérheti a 100 mm-t is. A második időszakban a bázisidőszakhoz hasonló mennyiségű csapadék várható (UKTR 6675).

A csapadékkal együtt érdemes azonban nézni a nyári félév hőösszegeit is. A növekedés mértéke eléri a 30-as évekre a 200 °C-ot, míg a 70-esekre a 400 °C-ot.

A változásokat szemléltetik az április–májusi csapadék és a május–júniusi hőösszegek (14. ábra), valamint a július–augusztusi hőösszegek és csapadék tapasztalati eloszlásfüggvényei (15. ábra).

Az április–májusi csapadék eloszlásában nem jeleznek lényeges változást, azonban a május–júniusi hőösszegek várhatóan jelentősen megváltoznak, amit az alábbi megállapítás is karakterizál.

Az 1961–90-es években a mért május–júniusi hőösszeg maximuma Debrecenben 500 °C körül volt. Az UKTR 6675 szerint annak a valószínűsége, hogy ennél több lesz, mintegy 80%.

A kukorica szempontjából a legkritikusabb időszak a július–augusztus. A csapadék eloszlásában ez esetben sem várható lényeges változás, azonban a hőösszegek vonatkozásában igen. Míg a hőösszegek 1961–90 között mért rekordja nem érte el a 600 °C-ot, addig az UKTR 6675 szerint a minimum lesz 650 °C.

4. A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A NÖVÉNYTERMELÉSRE

A klímaváltozással kapcsolatban a leggyakrabban feltett kérdés az, hogy az milyen hatást fejt ki a mezőgazdaságra, illetve tágabb értelemben az élelmiszerellátásra.

A kérdést különböző szinteken – lokális, regionális, kontinentális, illetve globális – lehet megfogalmazni, s ahogy a klímaváltozásra, így ezekre a kérdésekre sem lehet egyértelmű választ adni. Minthogy a klímaváltozást nem tudjuk egyértelműen karakterizálni, így az attól függő mezőgazdasági potenciált sem. A kutatások minden szinten folynak, több-kevesebb eredménnyel. Ezekből mutatunk be néhányat.

Előre le kell szögezni, hogy kiindulásként elfogadjuk a klímascenáriókat, s nem számolunk az időjárás változékonyságának a következményeivel, holott az meghatározó lehet a jövő mezőgazdaságait tekintve.

A hőmérséklet és csapadék változékonyságának relatív fontosságát az átlagos hőmérséklet és csapadék megváltozásához képest vizsgálta *Semenov és Porter (1995)*. Tanulmányukból kiderül, hogy a fenti paraméterek változékonyságának megváltozása sokkal nagyobb negatív hatással lehet a termésre, illetve a termés biztonságra, mint az átlagos változások. Amennyiben egy időben változik az átlag és a változékonyság, a kettő együtt megnövelheti a terméscsökkenést, de ez nem additív.

A vizsgálatok alapvetően két paraméter-csoportra korlátozódnak:

- hőmérséklet növekedés,
- a légköri CO₂ koncentráció,

s az ezekhez kapcsolódó, vagy ezekből levezethető paraméterek, mind például tenyészidő hosszúsága, evapotranspiráció, vízháztartás stb.

A legtöbb növény növekedése felgyorsul melegebb hőmérsékleten, feltéve, hogy elegendő tápanyag és víz áll rendelkezésre. Egy bizonyos határ után azonban a növeke-

dés csökkenéséhez vagy akár a növények elhalásához is vezethet a magas hőmérséklet (*Cannel et al., 1989*).

A hőmérséklet növekedése növeli az evapotranspirációt is, hiszen ahogy a levél hőmérséklete növekszik, nő a párányomás (water vapor) a levél belsejében és a párányomás hiány is (vapor pressure deficit VPD). Ahogy VPD emelkedik, a gőznyomás a levélből kifelé növekszik, és a növény egyre gyorsabban veszíti el a nedvességet. VPD a levegő száradásával együtt növekszik. A növekvő párologtatás hozzásegít a talaj gyorsabb kiszáradásához, ami újabb stressz eredője lehet (*Gates, 1993*).

A növények egyik legfontosabb „tápláléka” a szén, amit a fotoszintézis során a levegőből a CO₂ asszimilációjával vesznek fel. A fotoszintézis sebessége függ a levegő CO₂ koncentrációjától – amiről tudjuk, hogy folyamatosan növekszik –, a hőmérséklettől, napsugárzástól, tápanyag és vízellátottságtól. Az eltérő asszimilációs utat követő növények különbözően reagálnak a hő- és szárazságstresszre, illetve a megnövelt CO₂ koncentrációra.

Számos kísérlet is kimutatta, hogy pozitív visszacsatolás áll fenn a légköri CO₂ koncentráció és a C₃-as növények nettó produkciója között. 600 μmol/mol CO₂ koncentrációnál a légzési veszteség csökkenése elérte az 50%-ot, a szervesanyag beépülés 30%-kal nőtt. Ehhez járul még az, hogy a növények vízhasznosítási hatékonysága – a sztómarés szűkülése miatt – jelentős mértékben javulhat (*Carlson-Bazzaz, 1980; Ackerson et al., 1984*).

Ha a vízkészletek korlátozottak, a legtöbb talajtípuson lehetetlen a fotoszintetikus ráta emelése. A negatív hatások jellege és nagyságrendje még vitatott. Nem zárható ki az, hogy a CO₂ trágyázás pozitív hatását teljesen semlegesítik olyan stresszhatások, mint a megnövekedő UV-B sugárzási intenzitás, a szárazságstressz vagy a levegőszennyezés (*Laitat, 1987; Norby et al., 1986*). Ezek a megállapítások többé-kevésbé igazoltak kísérletileg.

A továbbiakban mi két növénnyel foglalkozunk, amelyekkel Magyarországon is folytak modellkísérletek. Ezek az őszi búza és a burgonya. Világszerte a legtöbb vizsgálatot a búzával végezték, mert ez a legnagyobb területen termelt gabonanövény, s várható, hogy jelentősége még növekedni fog. A burgonya jelentősége elsősorban a mérsékelt égöv alatti országokban meghatározó.

A bemutatásra kerülő eredmények modelszámításokon, statisztikai elemzéseken alapulnak. A modellek, illetve a módszertan bemutatásával itt részletesen nem foglalkozunk, azok megtekinthetők az alábbi publikációkban (*Harnos N., 2003; Harnos Zs. et al., 2000*).

A búza

Számos kísérletet végeztek modellekkel a klímaváltozás várható hatásainak elemzésére különböző kondíciókon. Megállapították, hogy a búza, árpa, rozs, burgonya és kukorica termesztetősége 100–150 km-rel északra tolódik az északi féltekén a hőmérséklet 1 °C-os emelkedése esetén, és növekedhet a termés is (*Carter et al., 1996*).

Azt tapasztalták, hogy magasabb hőmérsékleten az emelt CO₂ csökkentette a növény vízigényét, így csökkentette a termés évenkénti változékonyságát.

A CLIVARA projekt keretében végzett modellezési munkák eredményei azt mutatták (16. ábra), hogy Európa nagy részében a búzatermés növekedhet a klímaváltozás hatásaként, aminek közvetlen okozója az emelt CO₂ koncentráció hatása a fotoszintézisre és a vízfelhasználás hatékonyságára C₃-as növények esetén, továbbá az északi területeken a fagymentes időszakok megnövekedése.

Számos búza modellt dolgoztak ki és használnak a kutatásban, kísérlettervezésben. Mi az AFRCWHEAT modellel végzett számítások eredményeit mutatjuk be.

Az AFRCWHEAT komplex modellje a

búza növekedésének és fejlődésének, mely leírja a búza fenológia fejlődését, a szárazanyag termelését és a particionálást különböző környezeti paramétereken napi időintervallumokban (*Porter, 1984; 1993; Weir et al., 1984*). A modell tartalmazza a növény transzpirációjának és a talaj párolgásának leírását, a víz- és nitrogén mozgást a talajban és a növény általi felvételüket a növekedés során.

A modell magyarországi feltételekre való adaptálását és továbbfejlesztését *Harnos Noémi (2003)* végezte el.

Az elemzésekhez két, egymástól klimatikus viszonyuk szerint jól elkülöníthető, az ország nyugati és keleti felét jól jellemző helyről álltak rendelkezésre megfigyelt búzatermés és időjárás adatok és GCM klímaszcenáriók. A nyugat-magyarországi, csapadékosabb Győr-Moson-Sopron megye és a kelet-magyarországi, szárazabb Hajdú-Bihar megye 1961 és 1990 közötti időszakban megfigyelt időjárási és átlagos termésadatait használtuk a kiválasztott modellek megbízhatóságának tesztelésére. Mivel ezen időszakban mind az agrotechnika, mind a fajták minősége és ellenállóképessége szignifikánsan növekedett, ezért először ezeket a hatásokat kellett kiszűrni egy telítődési görbe segítségével úgy, hogy azt mondhassuk, a korrigált terméseredmény (számított) változást ezen évek során szinte kizárólag az időjárás változékonysága befolyásolta (*Harnos Zs., 1996*). Az így kapott korrigált idősort vettük alapul a szimulációs modell validálásánál, aminek eredményét szemléltetik a 17–18. ábrák.

Mindkét területről napi időjárási adatok álltak rendelkezésre. A szimulált átlag közelítőleg megegyezett a számított termés átlagával, amint azt a 17–18. ábra mutatja, és az évenkénti szimulált termésmennyiség átlagtól való eltérése és az eltérés iránya is jól közelítette a számított adatokat.

A szimulációt 30 évre végeztük el 360 és 500 ppm CO₂ koncentrációt feltételezve. A számítások eredményeit mutatják be a 19. és 20. ábrák.

A HadCM2 klímaszenáriókkal végzett szimulációs számítások eredményeit foglalja össze a 4. táblázat.

A modellszámítások azt mutatják, hogy a szemtermés csökken. A termésveszteség még az 500 ppm CO₂ koncentráció esetén is 10% körül van. Hasonló eredményekre jutottunk a statisztikai elemzésekkel végzett számítások során is, amelyek során a változó CO₂ koncentrációt nem vehettük figyelembe.

A várható termés alakulását jól szemléltetik a tényleges (számított) és a szimulált terméseredmények eloszlásfüggvényei.

Az ábráról leolvasható, hogy a HadCM2 klímaszenárióval, 360 ppm CO₂ feltételezésével szimulált termés eloszlásfüggvénye majorálja a bázis időszakra (1961–1990) szimulált termést, ami azt jelenti, hogy minden termésszintnél nagyobb termés elérésének a valószínűsége nagyobb a bázis időszakban, mint a klímaváltozással jelzett időszakban (Harnos N., 2003). Az emelt szintű (500 ppm) CO₂ esetén a várható termés lényegében megegyezik a bázis időszakéval.

A termésbiztonságot a termésveszteség eloszlásfüggvényével jellemeztük. A termésveszteséget a termés várható értékétől való eltéréssel írtuk le. A termésveszteség eloszlásfüggvényeit szemlélteti a 22. ábra, amiről az állapítható meg, hogy a termelés kockázatában nem várható lényeges változás. Az elemzések abból a feltételezésből indultak ki, hogy nem változnak a fajták, az alkalmazott agrotechnika, a vetésszerkezet stb. Nyilván ezeknek jelentős szerepe lesz a jövőben, s a jelzett termésnövekedést kompenzálni fogják. A változásra fel kell készülnie mind a nemesítőknek, mind az agrotechnológiával foglalkozó kutatóknak. A jövő fejlődésének egyik kulcskérdése az adaptációs készség fokozása.

A burgonya

A burgonya modellt Bussay Attila (1995) dolgozta ki arra a feltételezésre alapozva, hogy a termés alapvetően az időjárástól és a vízellátottságtól függ.

Ez a modell is napi időjárási adatokat használ. A modellfejlesztéshez több üzem, illetve kísérleti telep adatbázisának eredményei kerültek felhasználásra.

A végső kalibrálás Győr-Moson-Sopron és Hajdú-Bihar megyékre történt az 1961–1990-es idősorok felhasználásával. A kalibrálás eredményeit a 23. ábra szemlélteti.

A szimulációs futtatásokat két klímaszenárióra végezték el. Az egyik a HadCM2, míg a másik a *Mika* által kidolgozott regionális klímaszenárió volt. A *Mika* féle szenárióval végzett futtatás eredményeit az 5. táblázat mutatja be.

Megállapítható, hogy már 0,5 °C hőmérséklet emelkedés is átlagosan közel 20%-os termés-csökkenést eredményezhet, ami 25–30%-ra emelkedik a hőmérséklet 1 °C-os növekedésének az eredményeként.

Nyugat-Dunántúlon a legkisebb, Kelet-Magyarországon a legnagyobb a termés-csökkenés.

A légköri CO₂ koncentráció növekedése csökkentheti ezt a termőképességet, de valószínű, hogy a mérleg még ebben az esetben is negatív lesz. A Bussay (1995) modell nem számol a CO₂ változással. Ez a hozamcsökkenés akkor tűnik különösen nagynak, ha számításba vesszük a klimatikailag becsült potenciális hozamokat (6. táblázat).

Ez azt jelzi, hogy a jelenlegi hozamok átlagosan az 50%-át sem érik el a potenciális termőképességnek.

A HadCM2-vel végzett szimuláció eredményeit mutatja be a 24. ábra.

A harmincéves időszorral végzett számításokból az alábbi megállapítások vonhatók le:

– A legalacsonyabb termést az 1961–1990-es tényadatok felhasználásával nyert szimuláció adta.

– A BASE (az 1961–1990-es időszakra szimulált időjárás) esetén közel 50%-kal nagyobb hozamokat nyerünk, mint a tényadatok felhasználásával. (Ennek nincsen magyarázata.)

– A szóródásban nincs lényeges változás.

– Az HADCM2 szcenárióval végzett számítás magasabb hozamokat jelez a tényadatokkal végzett számításnál, de alacsonyabbakat a BASE-zel végzeteknél.

A 25. ábra szemlélteti a hozam és a kockázat eloszlásfüggvényeit a BASE és a HADCM2 futtatásokkal. Megállapítható,

hogy az HADCM2 szcenáriókkal végzett számításokkal kapott eloszlásfüggvények majorálják a BASE-t, ami egybevág azzal, hogy a jövőben alacsonyabbak a várható hozamok.

A majoráció a kockázat esetében is fennáll, ami arra enged következtetni, hogy a kockázat viszont csökkenni fog.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) ACKERSON, R. C. – HAVELKA, U. D. – BOYLE, M. G. (1984): CO₂ enrichment effects on soybean physiology. II. Effects of stage-specific CO₂ exposure. *Crop Science* 24, 1150–1154. pp. (2) BUSSAY, A. (1995): Simulation of the potato yields by the help of crop-weather models. *Climate and Agrometeorology Papers*, 4, 55. HMS, Budapest (3) CANNELL, M. G. R. – GRACE, J. R. – BOOTH, A. (1989): Possible impacts of climate warming on trees and forests in the United Kingdom: A review. *Forestry* 62: 337–404. pp. (4) CARLSON, R. W. – BAZZAZ, F. A. (1980): The effects of elevated CO₂ concentrations on growth, photosynthesis, transpiration and water use efficiency of plants. In: Singh, J. J., Deepak, A. (eds.) *Environmental and climatic impact of coal utilization*. Academic Press, New York (5) CARTER, T. R. – SAARIKKO, R. A. – NIEMI, K. J. – CARTER, T. R. (1996): Assessing the risks and uncertainties of regional crop potential under a changing climate in Finland. *Global climate change and agriculture in the North. Proceedings of an international symposium, Helsinki, Finland, 16–17 November 1995. Agricultural-and-Food-Science-in-Finland*. 1996, 5: 3, 329–350. pp. (6) HARNOS N. (2003): A klímaváltozás hatásai búzatermesztésre. PhD értekezés, SzIE (7) HARNOS N. (2003): A klímaváltozás hatásának szimulációs vizsgálata őszi búza produkciójára. „AGRO-21” Füzetek 31. szám, Budapest, 56–73. pp. (8) HARNOS Zs. (1998): A klímaváltozás várható alakulása és hatása néhány gazdasági növény termeszthetőségére. In: *Az éghajlatváltozás és következményei, Meteorológiai Tudományos Napok '97 OMSz, Budapest*, 55–67. pp. (9) HARNOS, Zs. (1996): Modelling crop response in Hungary. In: Harrison, P. A., Butterfield, R. E., Cowning, T. E. (Eds.) *Climate Change, Climatic Variability and Agriculture in Europe. Annual Report. Environmental Change Unit, Univ. of Oxford*. 179–189. pp. (10) HARNOS, Zs. – BUSSAY, A. – HARNOS, N. (2000): Modelling climate change impacts on wheat and potato in Hungary. (Ch. 19) In *Climate change, climatic variability and Agriculture in Europe*, (Eds.) T. E. Downing, P. A. Harrison, R. E. Butterfield and K. G. Lonsdale Environmental Change Unit, University of Oxford 2000, 349–367. pp. (11) HARNOS Zs. (2002): Mezőgazdasági rendszerek modellezésének néhány problémája. Székfoglaló előadás, MTA, Budapest (12) LAITAT, E. (1987): Combined effects of ozone, precipitation type and acidity on young spruce trees in a simulation chamber. *Air Pollution Report* 16, Wageningen, 245–251. pp. (13) NORBY, R. J. – O'NEILL, E. G. – LUXMOORE, R. J. (1986): Effects of atmospheric CO₂ enrichment on the growth and mineral nutrition of *Quercus alba* seedlings in nutrient-poor soil. *Plant Physiol.* 82, 83–89. pp. (14) PORTER, J. R. (1984): A model of canopy development in winter wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 102, 383–392. pp. (15) PORTER, J. R. (1993): AFRCWHEAT2: A model of the growth and development of wheat incorporating responses to water and nitrogen. *European Journal of Agronomy*, 2, 69–82. pp. (16) SEMENOV, M. A. – PORTER, J. R. (1995): Non-linearity in climate change impacts assessments. *Journal of Biogeography*, 22, 597–600. pp. (17) WEIR, A. H. – BRAGG, P. L. – PORTER, J. R. – RAYNER, J. H. (1984): A winter wheat model without water or nutrient limitations. *Journal of Agricultural Sci., Cambridge*, 102, 371–383. pp. (18) *Climate Change Impacts on the United States The Potential Consequences of Climate Variability and Change US Global Change Research Program Final Synthesis Team Reports & Newsletter Published in 2000/2001* (19) *The Climate Impacts LINK Project University of East Anglia Norwich, UK, Climatic Research Unit* (20) *Land-Use Change Project International Institute for Applied Systems Analysis*

Special Report 2002 (21) UNEP (United Nations Environment Programme GRID-Arendal Norway (Vital Climate Graphics) (22) UNEP (United Nations Environment Programme GRID-Arendal Norway (Vital Climate Graphics) Division of Policy Development and Law South Asia Expert Workshop on Adaptation India, 2002.

1. táblázat

Szimulált hőmérsékletváltozások a XX. és XXI. századra az USA-ra

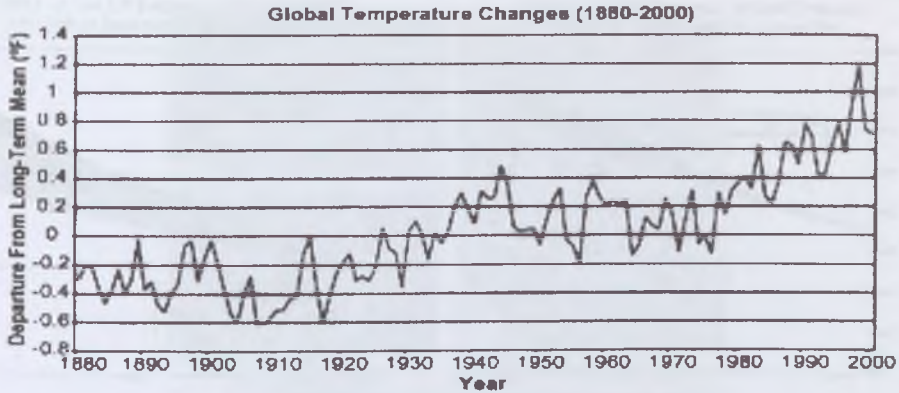
| Source of Estimate | Simulated Change in Global Average Surface Temperature | | Simulated Change in Average Surface Temperature for Conterminous US | |
|---|--|--------------------------|---|--------------------------|
| | 20 th Century | 21 st Century | 20 th Century | 21 st Century |
| Hadley - Version 2 | 1.0°F 0.55°C | 4.7°C | 0.8°F 0.4°C | 4.7°F 2.6°C |
| Canadian Centre | 1.2°F 0.7°C | 7.5°F 4.2°C | 1.9°F 1.05°C | 9.0°F 5.0°C |
| Max Planck Institute (MPI) | 1.0°F 0.55°C | 3.4°F* 1.9°C | 1.6°F 0.9°C | 4.1°F* 2.3°C |
| Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) | 1.4°F 0.8°C | 5.7°F* 3.2°C | 1.65°F 0.9°C | 7.8°F* 4.3°C |
| Hadley - Version 3 | 1.1°F 0.6°C | 5.6°F 3.1°C | 1.4°F 0.8°C | 8.85°F 4.9°C |
| Parallel Climate Model | 0.9°F 0.5°C | 3.7°F 2.0°C | 0.7°F 0.4°C | 4.1°F 2.3°C |
| Climate System Model | 0.9°F 0.5°C | 2.8°F 1.5°C | 0.7°F 0.4°C | 3.3°F 1.8°C |
| Observed (Quayle, 1999 and Karl et al., 1995b) | 0.7-1.4°F 0.4-0.8°C | | 0.5-1.4°F 0.3-0.8°C | |
| IPCC (1996a) for 1990 to 2100 (uncontrolled sulfur emissions) | | 1.6-6.3°F^ 0.9-3.5°C^ | | |
| IPCC (1996a) for 1990-2100 (level sulfur emissions) | | 1.4-8.1°F^ 0.8-4.5°C^ | | |

Model simulated changes in annual average surface temperature for the 20th and 21st centuries based on linear fits to the decadal average values derived from the model simulations with comparison to estimates of observed changes for the 20th century and the range of warming projected by the IPCC (1996a) for the various emission scenarios and climate model sensitivities.

*Estimates for less than the full 21st century have been linearly extrapolated to develop an estimate for change over the full century (MPI from 2049 to 2100; GFDL from 2090 to 2100).

^ For estimates for just the 21st century, about 0.2-0.3°F (0.1-0.2°C) must be subtracted, depending on scenario considered.

1. ábra

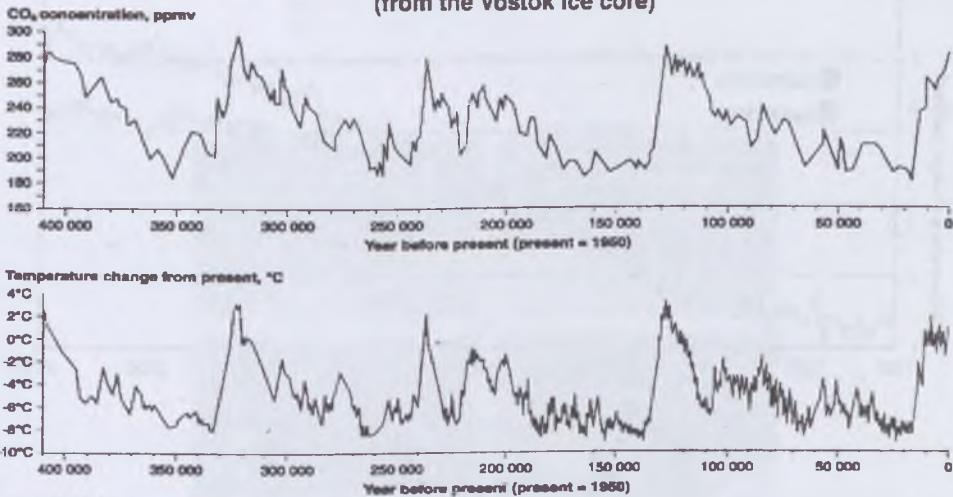


Source: U.S. National Climatic Data Center, 2001

A földfelszíni globális hőmérséklet alakulása 1860-tól

2. ábra

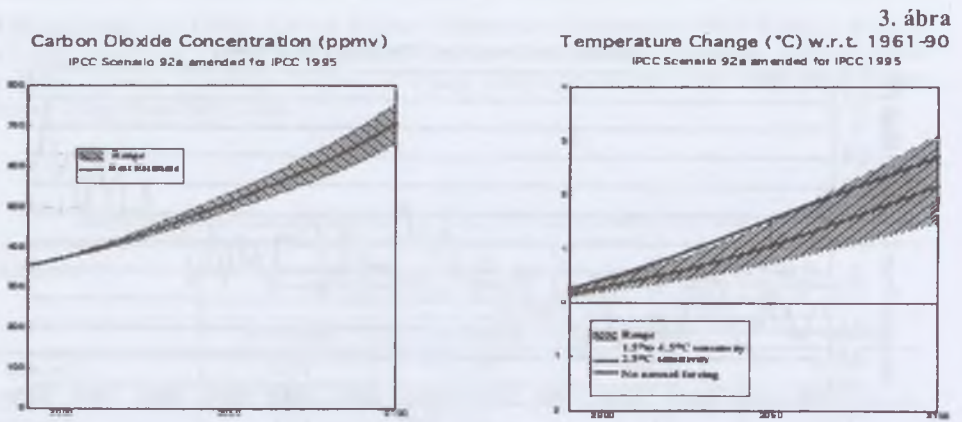
Temperature and CO₂ concentration in the atmosphere over the past 400 000 years (from the Vostok ice core)



SCIENCE
Arcadot USA

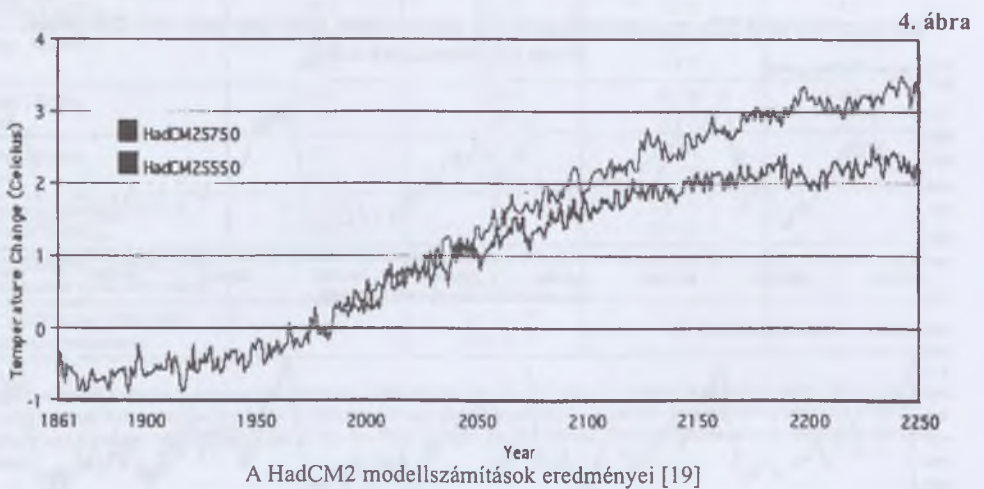
© 2001 Pearson Education, Inc.

A hőmérséklet és az atmoszferikus CO₂ koncentráció alakulása az elmúlt 400 000 évben [21]

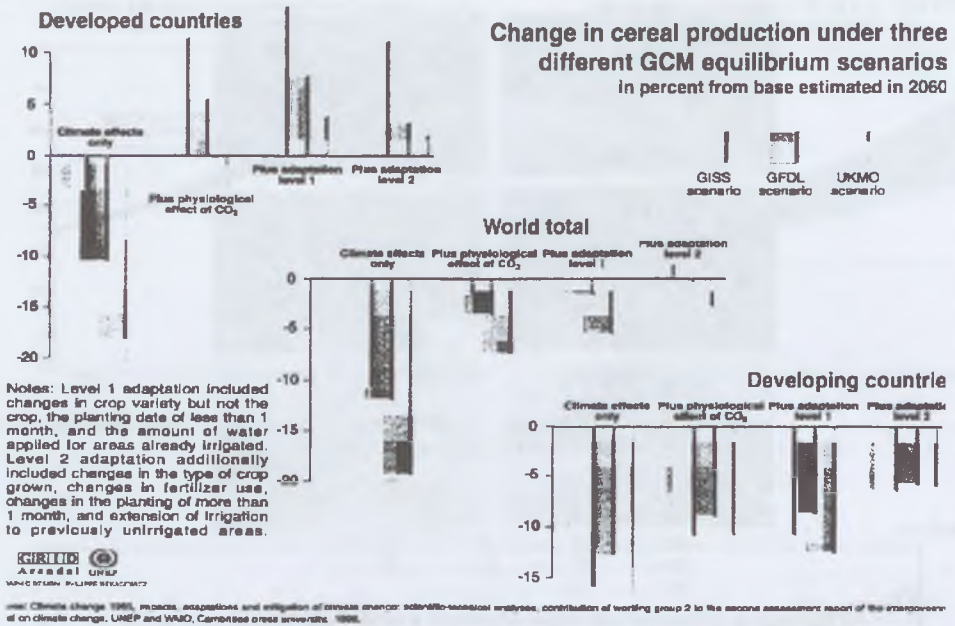


Source: Intergovernmental Panel on Climate Change (1995)

Az IPCC CO₂ koncentráció szcenáriója, s a kapcsolódó hőmérsékletváltozás

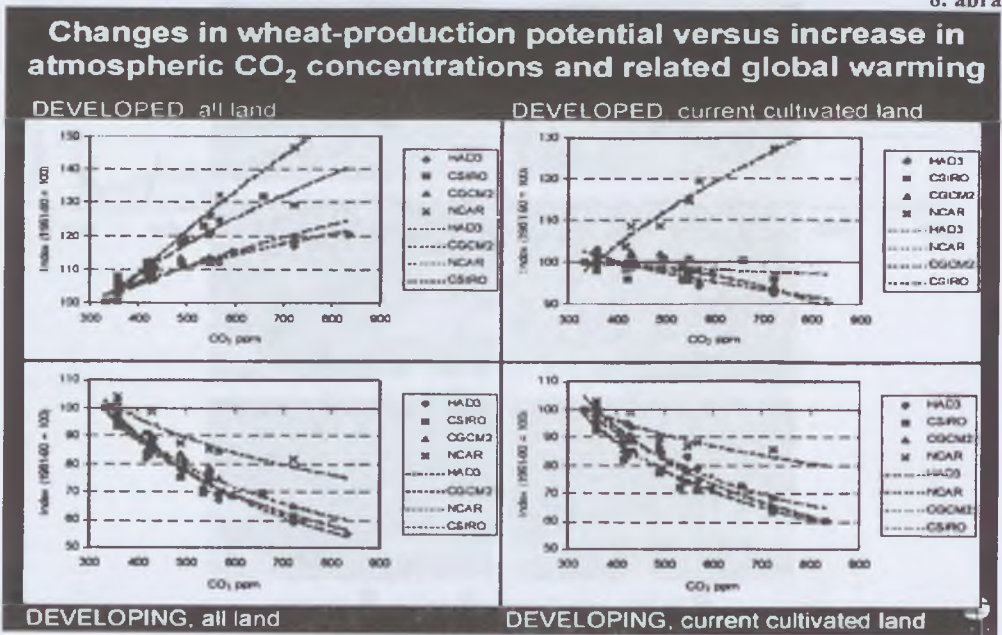


7. ábra



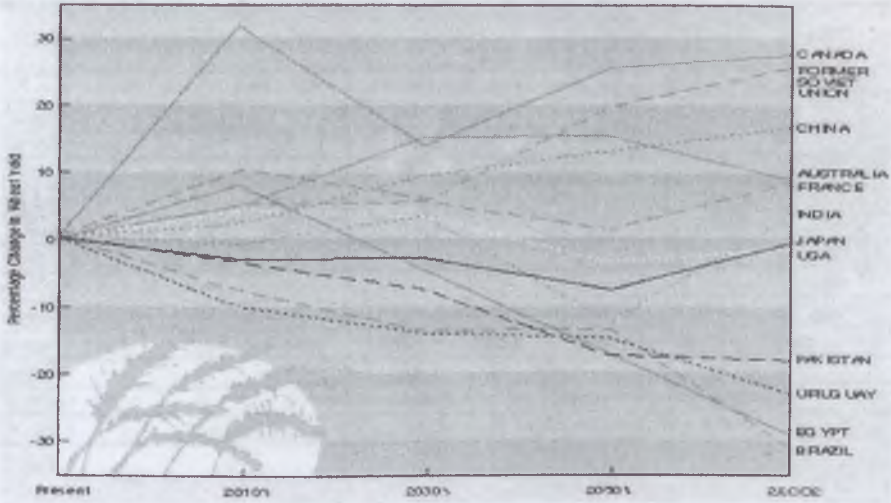
A cereália termelési becslés értékei [22]

8. ábra



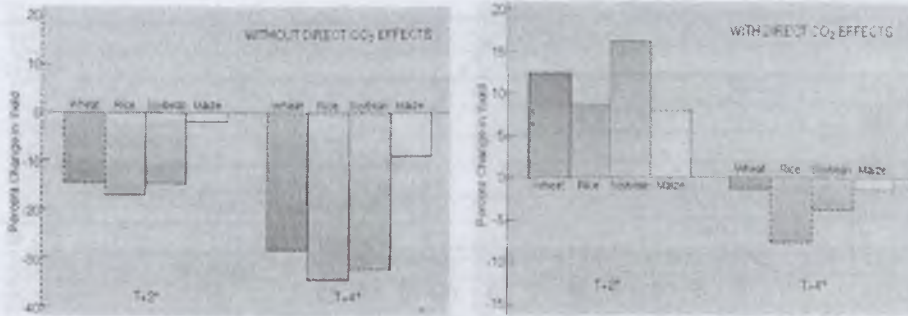
A búzatermelés várható alakulása a klímaszcenáriók függvényében [20]

9. ábra



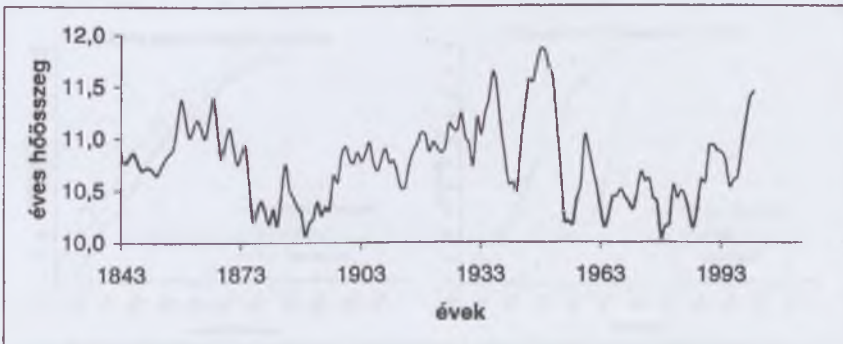
A búza hozamok százalékos változása országoként

10. ábra



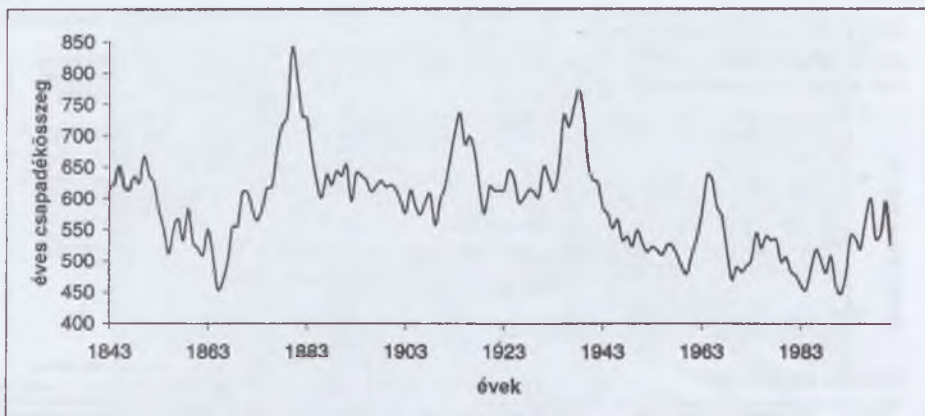
A főbb szántóföldi növények hozamainak változása az USA-ban 2, illetve 4 °C hőmérséklet emelkedés esetén

11. ábra



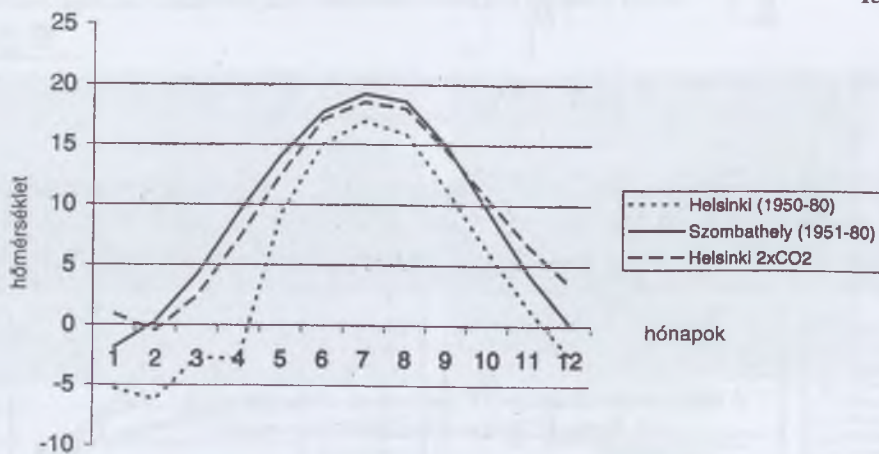
A Budapesten mért éves átlaghőmérséklet öt éves csúszóátlaga

12. ábra



A Budapesten mért éves csapadék ötéves csúszóátlaga

13. ábra



Hőmérséklet havi átlagának alakulása a megfigyelések és a GISS előrejelzése szerint

2. táblázat

A hőmérséklet alakulása Debrecenben és Győrben a bázisidőszakban és az UKTR modell szerint

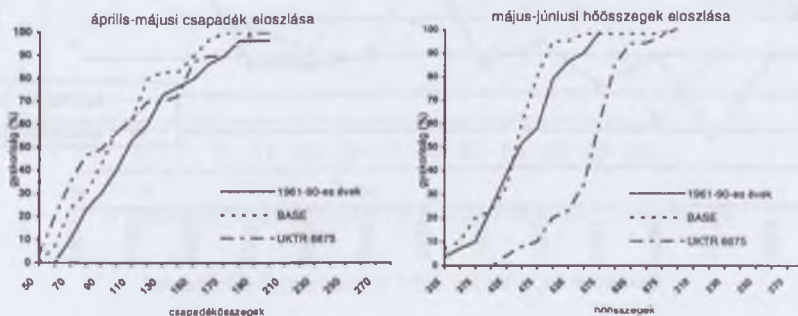
| | Hőmérséklet (°C) | | | | éves átlag |
|-----------------|------------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | I–III. hó | IV–VI. hó | VII–IX. hó | X–XII. hó | |
| Debrecen | | | | | |
| 1951–1991 átlag | 0,9 | 15,2 | 18,9 | 5,1 | 10,0 |
| minimum | -3,3 | 13,2 | 16,7 | 2,8 | 8,8 |
| maximum | 4,2 | 16,8 | 21,2 | 8,2 | 11,8 |
| UKTR 3140 | 4,1 | 16,3 | 20,4 | 7,0 | 11,9 |
| UKTR 6675 | 5,6 | 17,1 | 21,8 | 9,1 | 13,4 |
| Győr | | | | | |
| 1951–1991 átlag | 1,7 | 14,8 | 18,7 | 5,5 | 10,2 |
| minimum | -2,8 | 12,8 | 17,3 | 4,0 | 9,0 |
| maximum | 4,9 | 16,1 | 20,2 | 7,9 | 11,5 |
| UKTR 3140 | 4,6 | 15,9 | 20,1 | 7,0 | 11,9 |
| UKTR 6675 | 5,7 | 16,5 | 21,6 | 9,2 | 13,2 |

3. táblázat

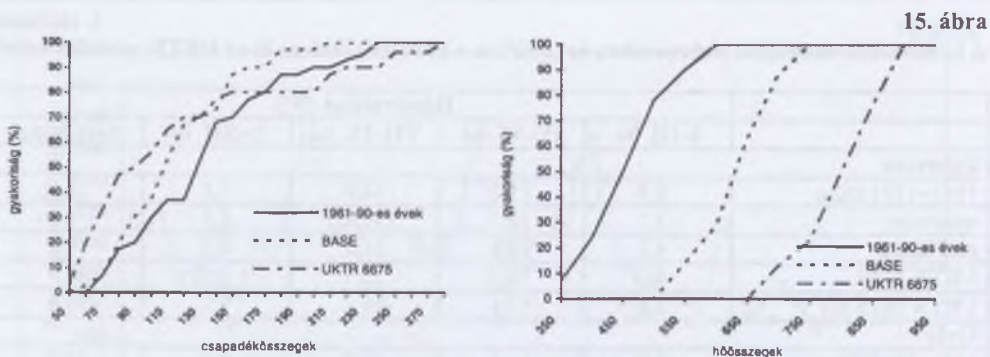
A csapadék alakulása Debrecenben és Győrben a bázisidőszakban és az UKTR modell szerint

| | Csapadék (mm) | | | | éves átlag |
|-----------------|---------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | I–III. hó | IV–VI. hó | VII–IX. hó | X–XII. hó | |
| Debrecen | | | | | |
| 1951–1991 átlag | 96 | 179 | 155 | 126 | 556 |
| minimum | 39 | 80 | 35 | 43 | 321 |
| maximum | 208 | 333 | 376 | 272 | 950 |
| UKTR 3140 | 160 | 170 | 90 | 150 | 570 |
| UKTR 6675 | 130 | 190 | 150 | 155 | 625 |
| Győr | | | | | |
| 1951–1991 átlag | 92 | 158 | 158 | 138 | 540 |
| minimum | 35 | 68 | 69 | 49 | 353 |
| maximum | 162 | 308 | 271 | 264 | 778 |
| UKTR 3140 | 150 | 160 | 90 | 170 | 570 |
| UKTR 6675 | 130 | 160 | 170 | 170 | 630 |

14. ábra



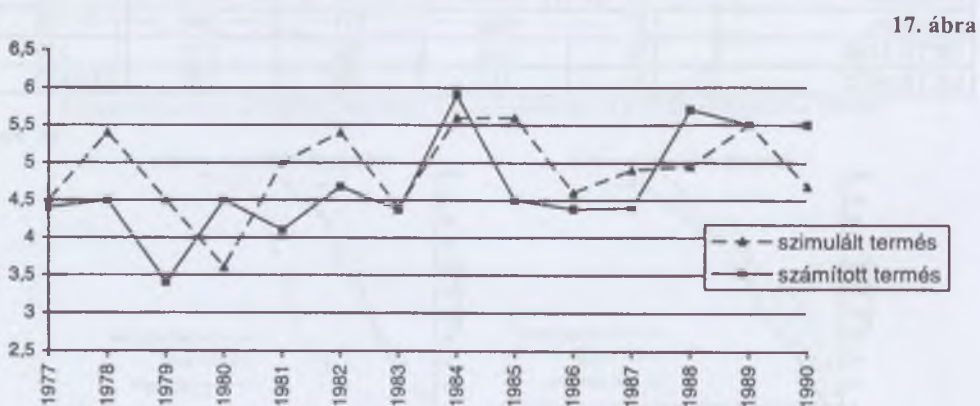
A búzatermelést meghatározó paraméterek eloszlásfüggvényei (Debrecen)



A július–augusztusi időjárási paraméterek eloszlása (Debrecen)

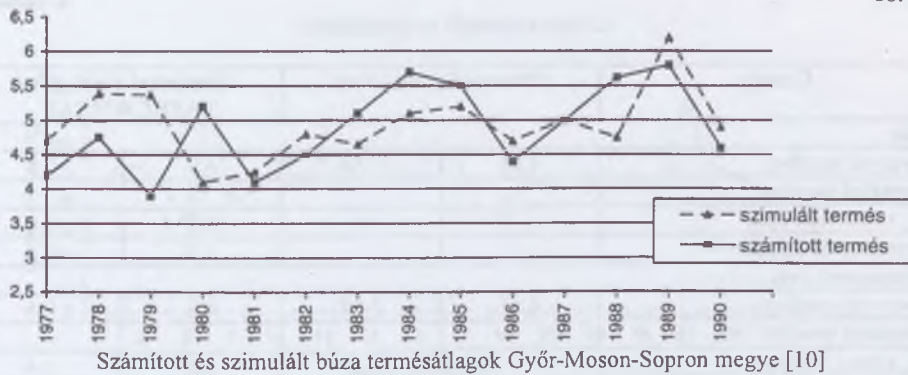


A búza hozamváltozása a CLIVARA projekt szerint [22]

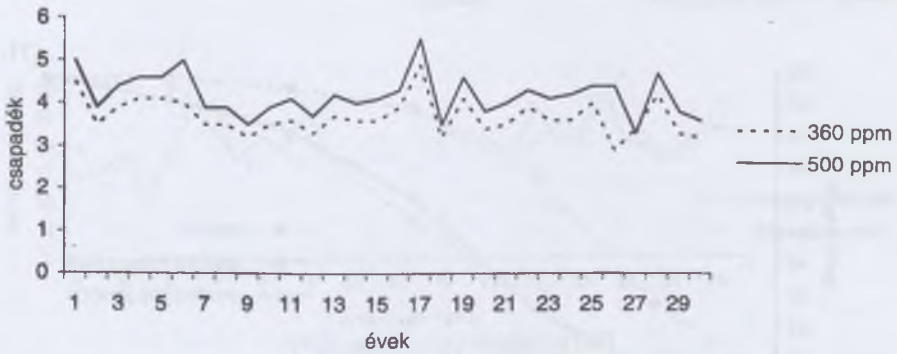


Számított és szimulált búza termésátlagok (Debrecen)

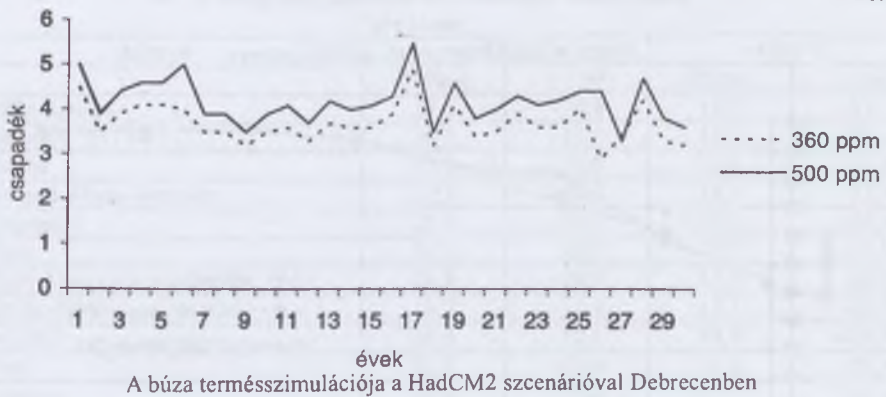
18. ábra



19. ábra



20. ábra

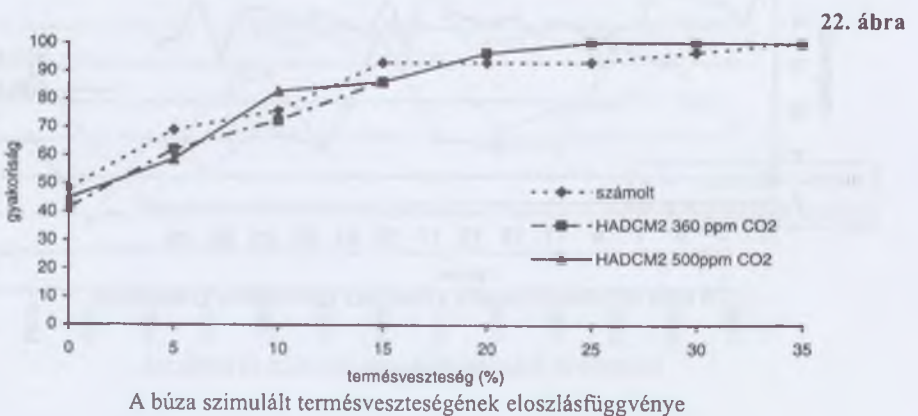
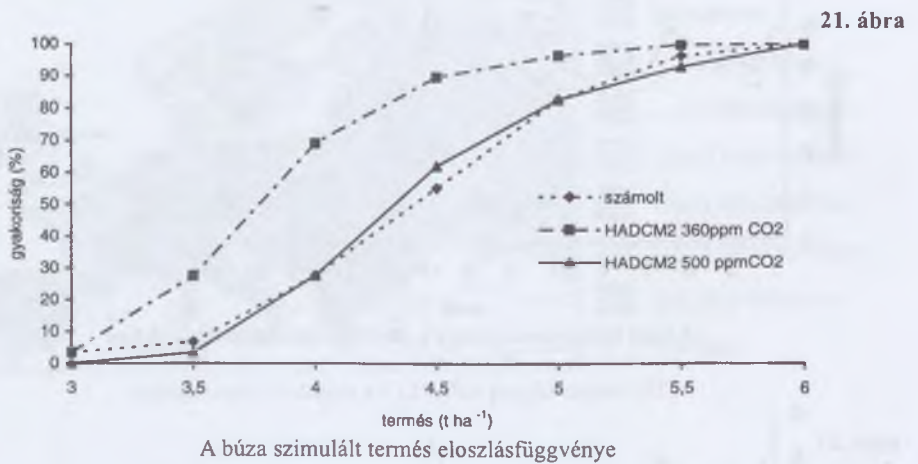


4. táblázat

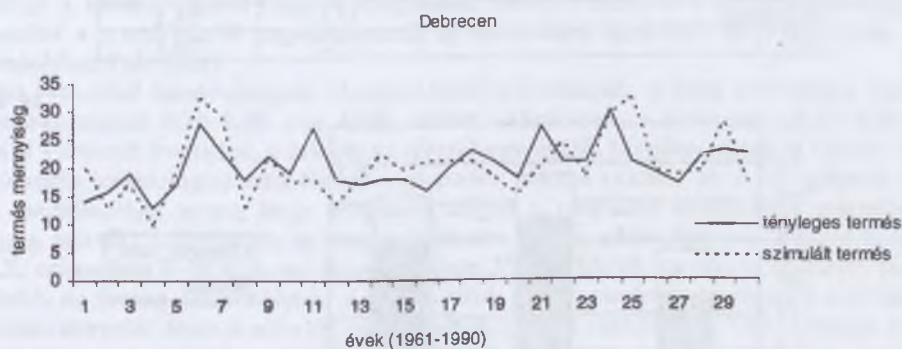
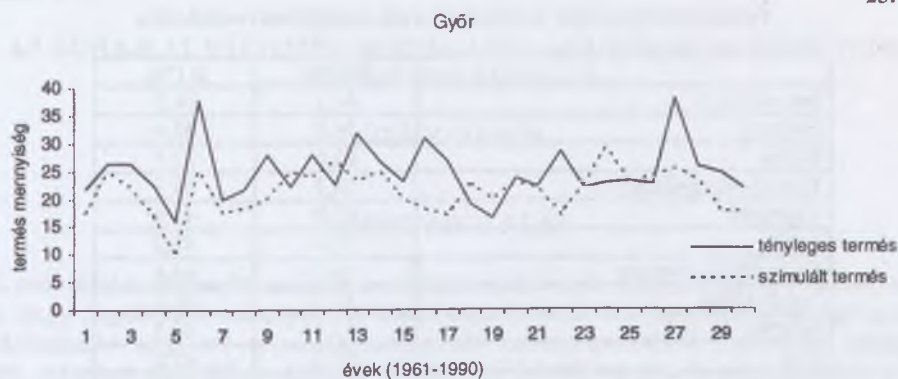
A búza szimulált termésátlagai

| County | Observed yield (t/ha) | | Simulated yield (t/ha) AFRCWHEAT | |
|--------------------------------|-----------------------|------|-------------------------------------|-----|
| Győr | | | | |
| Observed weather | 4,88 | 0,63 | 4,9 | 0,5 |
| Generated weather | | | | |
| CO ₂ conc.: 360 ppm | | | 3,7 | 0,4 |
| CO ₂ conc.: 500 ppm | | | 4,2 | 0,5 |
| Debrecen | | | | |
| Observed weather | 4,69 | 0,69 | 4,8 | 0,6 |
| Generated weather | | | | |
| CO ₂ conc.: 360 ppm | | | 3,8 | 0,4 |
| CO ₂ conc.: 500 ppm | | | 4,4 | 0,5 |

Forrás: Harnos et al., 2000



23. ábra



A burgonya modell validálása [10]

5. táblázat

A burgonya szimulált termésátlagai megyénként

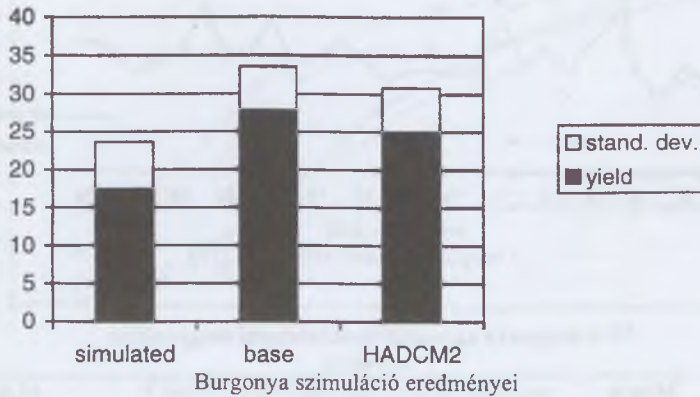
| Megye | +0,5 °C | | +1,0 °C | |
|------------------------|---------|-------|---------|-------|
| | T[t/ha] | Δ [%] | T[t/ha] | Δ [%] |
| Bács-Kiskun | 17,6 | -20,8 | 16,2 | -27,1 |
| Baranya | 19,9 | -18,7 | 18,3 | -25,1 |
| Békés | 25,7 | -19,6 | 23,4 | -26,9 |
| Borsod-Abaúj-Zemplén | 21,3 | -20,6 | 19,4 | -27,7 |
| Csongrád | 22,0 | -19,4 | 20,5 | -24,9 |
| Fejér | 21,2 | -20,3 | 19,5 | -26,8 |
| Győr-Moson-Sopron | 20,6 | -20,8 | 18,6 | -28,5 |
| Hajdú-Bihar | 19,7 | -18,2 | 18,1 | -24,8 |
| Nógrád | 20,8 | -18,1 | 18,9 | -25,5 |
| Pest | 21,2 | -18,9 | 19,1 | -26,3 |
| Somogy | 29,9 | -15,4 | 27,7 | -21,4 |
| Szabolcs-Szatmár-Bereg | 18,7 | -21,8 | 16,7 | -30,2 |
| Veszprém | 25,7 | -14,5 | 24,2 | -19,4 |
| Zala | 27,0 | -16,1 | 25,2 | -21,9 |

6. táblázat

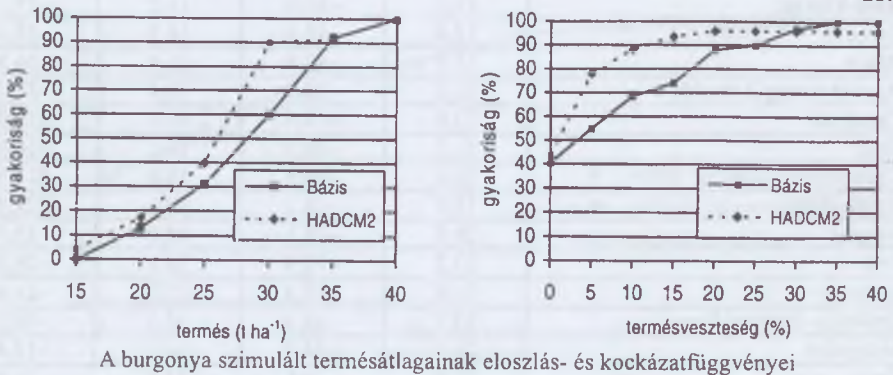
Potenciális burgonya hozamok és azok százalékos realizációja

| | T [t/ha] | Δ [%] |
|------------------------|----------|-------|
| Bács-Kiskun | 61,1 | 36,3 |
| Baranya | 54,0 | 45,4 |
| Békés | 62,6 | 51,1 |
| Borsod-Abaúj-Zemplén | 55,3 | 48,5 |
| Csongrád | 65,9 | 41,4 |
| Fejér | 55,4 | 48,2 |
| Győr-Moson-Sopron | 59,3 | 44,6 |
| Hajdú-Bihar | 51,7 | 46,6 |
| Nógrád | 52,4 | 48,5 |
| Pest | 57,0 | 45,6 |
| Somogy | 61,4 | 57,5 |
| Szabolcs-Szatmár-Bereg | 53,9 | 44,3 |
| Veszprém | 51,5 | 58,3 |
| Zala | 57,2 | 56,3 |

24. ábra



25. ábra



AZ ÉGHAJLAT VÁLTOZÉKONYSÁGA ÉS A SZÁNTÓFÖLDI NÖVÉNYEK TERMÉSIINGADOZÁSA

SZÁSZ GÁBOR

ÖSSZEFOGLALÁS

A szántóföldi növénytermesztés évenkénti eredményei éghajlati okok következtében igen nagy ingadozást mutatnak. A hazai terméssorok két tulajdonság-komponenssel rendelkeznek: egyrészt a növénytermesztés korszerűsítéséből származó emelkedő trend, másrészt az időjárás által kiváltott trend körüli ingadozással. A trendek értéke az átlagos évi termésnövekedés nagyságával jellemezhető (t/ha, év). A trendek meredeksége a növény fajtától függ. A vizsgálatok főként a búza és a kukorica trendjének, valamint a trend körüli ingadozásának az elemzésére terjedtek ki (1961–1980. évek termésátlagai alapján).

Az évenkénti termésátlagok 23 talaj-tájból származnak. A búza trendjének emelkedése hazánkban 0,20–0,06 t/ha érték között váltakozott, a kukoricáé 0,25–0,10 t/ha között változott évenként, a talajtípus termékenységtől függően. A trend körüli időjárás okozta terméssingadozást főként a csapadék hiánya váltotta ki. A vizsgálatok alapján megállapítást nyert, hogy Magyarországon a csapadék csökkenése szignifikáns, csupán mértéke különbözik az ország területén. A csapadécsökkenés átlagos mértéke a XX. században 0–20 mm, országos átlagban 35 mm körüli, az északi területen mérsékeltebb, az ország déli területein nagyobb fokú. Az agrotechnikai feltételek a terméssingadozás abszolút értékét növelik, relatív értékét pedig csökkentik. Az ingadozás értéke elsősorban a természetes vízellátottságtól függ. Azonos értékű klimatikus vízhiány vízigényes növények termésénél fokozza a terméssingadozást, így elsősorban a kukorica terméssingadozása fokozódik a csapadécsökkenés arányával. A búza vízhiányra kevésbé érzékeny. Az ingadozás legmegfelelőbb jellemzője a variációs koefficiens (CV). Mivel ez dimenzió nélküli arányszám, különböző növényfajták és fajok terméssingadozásának összehasonlítására alkalmas. A korszerű termesztéstechnológiával az ingadozás mérsékelhető, ezt bizonyítják mind a táj átlagértékek, mind pedig a szabatos szántóföldi tartamkísérletek eredményei.

A kutatásokban kidolgozást nyert egy olyan összetett statisztikai módszer, melynek segítségével a terméssingadozás nagysága évjáratonként, éghajlati paraméterek alapján, kiszámítható. A számított és tényleges ingadozás-értékek közötti korrelációs együttható 0,85–0,95 közötti. A statisztikai elemzések bebizonyították, hogy e módszer segítségével az éghajlatváltozások sajátos megnyilvánulásai a termékek ingadozásában nyomon követhetők. Az éghajlatváltozás egy meghatározott trend menti fluktuáció formájában ismerhető fel, s e fluktuációk keretében a szélsőségek gyarapodnak, illetve a hőmérséklet ingadozása magasabb, a csapadék ingadozása pedig alacsonyabb értéktartományába tolódik el. A modell segítségével az évjáratok jellegbeli hatása kimutatható a termésátlagok ingadozásának nagyságában. Meg kell említeni, hogy elsősorban az aszály gyakoriságának az utóbbi évtizedekben bekövetkező növekedése váltotta ki a termékek szélsőséges és fokozódó ingadozását. E jelenség hazánkra és Közép-Európára egyaránt bizonyított.

Mindent egybevetve a tanulmány bizonyítja, hogy a környezet állapotváltozása, így többek között a feltételezett éghajlatváltozás alkalmával a termékek ingadozásával számolni kell, melynek vitathatatlan bizonyítéka, hogy a növényi szervezet zavartalan életfolyamatai mindenkor és mindenhol valamilyen valószínűségi szinten függték, és jelenleg is függenek a klimatikus környezettől.

BEVEZETÉS

A szántóföldi növénytermesztés mindenkor célja valamely elv alapján megállapított termésszint gazdaságos elérése és stabilizálása. Ezt a célt szolgálja a megfelelő biológiai alap (faj, fajta, hibrid), az igényeket kielégítő termőhely kiválasztása, az optimális talajállapot fenntartása, a kívánatos agrotechnika alkalmazása, kihasználva mindazokat az erőforrásokat, amelyeket a természet biztosít, valamint lehetőség szerint a káros folyamatok elhárítása. Minden esetben figyelembe kell venni, hogy az említett feltételek maradék nélkül nem teremthetők meg. Ezek mellett ismernünk kell az ökológiai rendszernek azt a tulajdonságát, amelynek szabályozhatósága sem jelenleg, sem a jövőben nem remélhető, ez pedig a klíma, az éghajlat. Az éghajlat a lehetséges időjárási események összessége és rendszere valamely helyen, melynek elemei egymástól elkülönítve is rendkívül nagy változékonysággal rendelkeznek, együttesen pedig olyan széles érték tartományban mozgó variánsok következhetnek be, melyeknek jelentős hányada a növények életfolyamataira kedvezőtlenül hat, azokban reverzibilis, vagy irreverzibilis károkat okozva. E hatások összessége a termés-stabilitást nagymértékben veszélyezteti, sok esetben teljesen kizárja.

A termésszűkítések legnagyobb hányada sajátos időjárási helyzetek következményeivel magyarázható. A talaj-növény-levegő rendszer időjárásfüggése igen különböző időskálán zajlik le. Míg a talaj állapotbeli változása, anyagforgalmi jellemzőinek módosulása lassú folyamatok formájában bonyolódik, a levegő növényi szempontból jelentős – kedvező, vagy kedvezőtlen – állapotának egymásutánisága lényegesen

gyorsabban játszódik le. Ezáltal a talaj és a levegő állapotváltozásának aszinkronitása gyakran teremt a kedvező feltételek mellett kedvezőtlen ökológiai helyzeteket, melyeket a növényi szervezet integrál. A hatás-integrál határozza meg a növény fejlődését és termését. A növénynek az időjárással szembeni toleranciája faji tulajdonság, a kedvezőtlen reverzibilis hatások halmozódása a fejlődés kedvezőtlen lelassulását vagy felgyorsulását eredményezi, majd elérve a tűréshatárt, bekövetkezik az irreverzibilis károsodás, mely a nagyfokú termés-csökkenésben nyilvánul meg.

A növény és az időjárás közötti összefüggés mechanizmusának megismerése bonyolult feladatot jelent. Ez önmagában véve is összetett kérdésnek tekinthető, de tovább nehezíti a megoldás lehetőségét az, hogy az élőszervezet és a környezet egymástól függetlenül is állandóan változik. Az egyre sokasodó növényfajták és változataik különböző hatásokkal szembeni inger- és tűrés-küszöbei nagyban eltérhetnek egymástól. A nemesítők egyik legfőbb törekvése a környezethez való alkalmazkodóképesség fokozása, amely természetesen maga után vonja a mindenkor termelési technológia módosításának igényét.

A fentiek mellett nem lehet eltekinteni a környezet állapotváltozásának sajátosságától. A globális értelemben vett komplex környezet bonyolult rendszerében fontos szerepet játszik az éghajlat. Ma már ismert, hogy az éghajlat a geo-evolúció folyamán globálisan és regionálisan egyaránt változott, azonban ennek léptéke rendkívül csekély. A légkörre ható ismert, vagy részben ismert külső és belső kényszerek nyomán a légkör állapota folyamatosan – változó ütemben – módosult, melynek következménye a Földön,

annak egyes területein ma is jól felismerhető. Az antropogén beavatkozás teljes gazdasági-társadalmi következmény-spektrumából kiemelve a mezőgazdaságot megállapítható, hogy *a növénytermesztés az az ágazat, amelyben elsődlegesen tapasztalhatók a légköri eseményrendszerben bekövetkezett módosulások.* Noha az éghajlatváltozás tényének teljes fizikai bizonyítottsága ma még hiányzik, azonban globálisan és regionálisan az egyes éghajlati elemek időbeli változásában trendek ismerhetők fel. Áttekintve az eddigi ez irányú tudományos közleményekben összefoglalt eredményeket megállapítható, hogy a növényi kultúrák olyan klimatikus hatásoknak lehetnek a jövőben kitéve, melyek korábban nem, vagy alig fordultak elő, és súlyosan veszélyeztetik a termelés eredményességét, valamint fokozzák kockázatát. Ezek késztetnek bennünket arra, hogy kísérreljük meg azoknak a folyamatoknak a rendszerezését, amelyek a növények életfeltételeiben a légköri a priori tényezők szerepét töltik be. Tekintettel arra, hogy regionálisan jelentős különbségek állhatnak fenn, e helyen elsősorban a Kárpát-medencében tapasztalt változások rendszerének ismertetésére szorítkozunk.

1. A TERMÉSSÁTLAGOK ÉS VÁLTOZÉKONYSÁGUK

A növények termőképességének jellemzése

A szántóföldi növénytermesztést elsősorban a termésátlagokkal jellemzik. *A növények hozamait a növény termőképessége, illetve pontosabban megfogalmazva a genetikailag determinált produktív potenciál határozza meg. E tulajdonság elvileg állandó, míg a tényleges produktívot a változó környezeti tényezők határozzák meg, beleértve az antropogén hatásokat is (agrotechnika).* Ebből az egyszerű megállapításból világosan kitűnik, hogy az elsődleges szerepet az időjárás válthatja ki, mivel a talajtu-

lajdonság kevésbé változékonny. Az agrotechnika túlnyomórészt olyan tudatos beavatkozás, amely a talajtermékenység fokozására irányul, a természetes talajtermékenységhez képest kisebb vagy nagyobb mértékben, de annál mindig magasabb hatással. Visszatekintve a növénytermesztés 100 éves történetére megállapítható, hogy mind a genetikai potenciál, mind pedig a talajtermékenységre ható eredményes beavatkozás nyomán *a termések emelkedő tendenciát mutatnak.* Ez a megállapítás korábban főként a búzára, kukoricára vonatkozóan jellemző. *Ugyanakkor a termés évről-évre jelentős ingadozást mutat, és egy adott időszakra vonatkozó termésátlag kifejezi a növény és környezete közötti összefüggést, valamint az antropogén tényezők szerepének arányát.* A termésszint felső határát több tényező határozza meg: elsődlegesen a genetikai potenciál, másodsorban a környezet állapota, harmadsorban pedig az emberi beavatkozás módja. Nyilvánvaló, hogy a genetikai potenciál teljes kihasználása olykor káros következményekkel jár, amely elsősorban a talajállapotban jut kifejezésre. Erre példa lehet a túlzott kemizálás és az ugyancsak túlzott mechanikai igénybevétel.

A termésátlagok stabilizációja a növénytermesztés állandósult kérdése. Ahol a különböző évjáratok időjárása rendkívül ingadozó, ott a termések nagysága is évről-évre széles intervallumban váltakozhat. Ilyen területekhez tartozik hazánk is. A sok éves tapasztalat alapján bizonyítható, hogy nem annyira a termések szintje, hanem az évenkénti összes termés óriási ingadozása okozza a legnagyobb problémát. Az intenzív növénytermesztés kibontakozásával mindenki remélte az ingadozások mérséklődését, de a terméssingadozás abszolút értéke egyre nagyobb lett. *A termésszint növekedésével az ingadozás nem csökkent, hanem növekedett, miközben a termelési költségek is évről-évre emelkedtek, így a termelési kockázat is fokozódott.* Széleskörű vizsgálatok folytak annak megállapítása érdekében, hogy a különböző termékenységű talajokon milyen mértékű

emelkedés bontakozott ki 1961–1980 között, amikor a hazai szántóföldi növénytermesztés fejlesztése intenzív szakaszában volt. Az alábbi adatok erre vonatkozóan nyújtanak felvilágosítást. A bemutatott értékek a különböző talajokra vonatkozó trend együtthetők (t/ha, év):

| Talajtípus | Búza | Kukorica |
|----------------------------|-----------|-----------|
| Vályogtalajok: | 0,20–0,13 | 0,25–0,15 |
| Öntéstalajok: | 0,15–0,10 | 0,20–0,12 |
| Erdőtalajok: | 0,12–0,08 | 0,20–0,15 |
| Homoktalajok: | 0,12–0,06 | 0,15–0,10 |
| Egyéb kedvezőtlen talajok: | 0,06–0,02 | < 0,10 |

A fenti adatok egyértelműen bizonyítják a termesztéstechnológia, valamint a korszerű biológiai alapanyagok használatának következményeit. A trendek tehát kifejezik egy hosszabb időszak termésszint változását, amely lényegében antropogén hatásnak tekintendő.

Igen szerteágazó statisztikai vizsgálat folyt a korábbi évtizedekben annak bizonyítására, hogy a növénytermesztés színvonala és eredményessége milyen mértékben emelkedett, azonban arról már kevesebbet lehet olvasni, hogy miként alakulnak az ingadozások. Számos agrometeorológiai munka bizonyítja, hogy *a termésátlag és az időjárási hatás között szignifikáns összefüggés mutatható ki*. Ez azt jelenti, hogy a növények az időjárási hatásokra termésingadozás formájában reagálnak, s ha ez nem volna így, abban az esetben szignifikáns korrelációs kapcsolat sem volna kimutatható. Ezt a tényt bizonyítják azok a kísérletek, amelyek a különböző növények termésének nagyságát adott évjáratra szimuláció útján kívánják becsülni. Mindaddig, míg az életfolyamatok nem függetleníthetők a klimatikus feltételektől, addig a termesztésben tapasztalható termésingadozás fizikai kényszerből bekövetkezik. Ahhoz, hogy az ingadozás okait megismerhessük, halaszthatatlanul fel kell deríteni a különböző klimatikus kényszerek és a növényi életmechanizmusok kapcsolatát.

Igen fontos a termés nagyságának reális megítélése. Előre kell bocsátani, hogy az átlagtermés alapján csak a viszonylagos termésszint változás állapítható meg. Az átlagtermés használata kényszer okozta számításnak tekinthető, mivel a produktív potenciál értéke nehezen becsülhető, de becslése nem lehetetlen. Ilyen értelmezésű terméslemezés *során produktív potenciálnak a legjobb talajon elért maximális termés fogadható el*, s ennek százalékos arányában pedig a termés nagyságát. Ily módon bármely területre és évjáratra vonatkozóan e viszonylagos termésszint abszolút és relatív értéke reálisan értelmezhető. A fenti nézetek figyelembe vételével lehetőség nyílik egy olyan modell-szerkezet felépítésére, amelynek segítségével a termés nagysága becsülhető, illetve a modell invertálása útján tetszőleges terméshez tartozó feltétel igények számszerűen megállapíthatók, melynek részleteit a következőkben mutatjuk be.

A termésátlagok ingadozása és szórása

A szántóföldi növények termésátlagainak idősorai statisztikai elemzések céljára nem tekinthetők ideálisnak. Ennek okát az előzőekben már megemlítettük. Az idősoroknak egyes értékei nem tekinthetők független értékeknek, mivel minden évjárat bizonyos mértékű utóhatást fejt ki, és ez a következő év termésére kihat. Mindezek mellett figyelembe kell venni, hogy főleg a múlt század második felében a genetikai potenciál módosulása a sort heterogénné teszi, és ez a fajtaváltásokkal bizonyítható. További módosítás a termesztés technológiában nyilvánul meg, amelyek legtöbb esetben termésfokozó következményekkel járnak. Ezek együttesen a termések trendjének módosulásához vezetnek, amelyek rendszerint emelkedő tendenciára utalnak. Amennyiben a trend együttható a 0 értéket csekély mértékben haladja meg, úgy a középérték is alkalmas arra, hogy az átlagtól való eltérések reálisan elfogadhatók legyenek. Ha a trend értéke jelentősen eltér a

nullától – tehát a termések emelkednek, vagy csökkennek –, úgy a trendtől vett eltérések alapján szükséges a terméseket figyelembe venni, így a szórás értéke kívánt pontossággal megállapítható. A továbbiakban képet nyújtunk arról, hogy hazánkban az elmúlt században miként alakultak a termésátlagok, és azok alapján milyen mértékű szórásértékkel lehet általánosítani a termések variabilitását. Ezeket a vizsgálatokat különböző helyekről származó idősorokon kívánjuk bemutatni. Az információ egyszerűsítése céljából csak az idősor hosszának és a hozzátartozó statisztikai értékek bemutatására szorítkozunk. Az 1. ábra a genetikai potenciált (G), a trend függvényét (T) és a termésátlag idősorának (P) rendszerét mutatja be a Hajdú-Bihar megyei kukorica termésének idősora alapján. E mintának megfelelően minden termőtájrát megállapítást nyert az évenkénti terméseknek a trendtől mért távolsága, amely az időjárás hatásokat kifejezésére alkalmas.

Tekintettel arra, hogy a különböző növények termésátlag ingadozásának bemutatása a széles adatbázis alapján nem jelent egyszerű feladatot, ezért mindenekelőtt a búza és a kukorica évenkénti termésének tájankénti országos eloszlására támaszkodunk. A vizsgálatba vont 23 talajtáj, illetve körzet búza és kukorica termésének alakulását 1961–1990 évekre a 2. és 3. ábra mutatja be. Megállapítható, hogy az elmúlt 40 év termésátlagainak elrendeződésében mindkét növénynél a legalacsonyabb termésátlagú oszlop a baloldalon helyezkedik el, s a sorszám szerint haladva a termésátlagok fokozatosan növekednek. Meg kell jegyezni, hogy az említett két növény termőhelyeinek sorszáma nem azonos. A 2. és 3. ábrákon a körzetek sorszámanak növekedésével a térség termékenysége fokozódik, vagyis a termésingadozást a talajtípus minősége alapján fejezi ki. E szerkesztésbeli különbségnek az az oka, hogy a búza és a kukorica időjárás-érzékenysége és talajigénye alapvetően különbözik egymástól. Részletes szóráselemzés alapján megállapítást nyert, hogy

a kukoricánál a talajérzékenység lényegesen nagyobb, mint a klímával szembeni reakció, ugyanakkor a búza termésátlagának ingadozásában nagyobb mértékben tükröződik a klímahatás a talajhatással szemben. Ez a megállapítás azzal magyarázható, hogy míg a búza a viszonylag gyenge termékenységtű talajon is termesztendő, a kukoricát elsősorban közepes és jó termékenységtű talajon célszerű termesztetni.

Annak ellenére, hogy az 1961–1990 évek időszaka alatt mind a biológiai alapok, mind pedig az agrotechnika tekintetében jelentős előrehaladás volt megállapítható, feltűnő, hogy a minimális termések évjárattól és termőterülettől függetlenül mindkét növénynél közel hasonlóak voltak, *a minimális termések 1,0–2,0 t/ha között helyezkedtek el. A maximális termések mindkét növénynél jelentősen növekedtek. Ebből levonható az a következtetés, hogy a kedvező agroökológiai helyzetek hazánkban magas termésszintet engednek meg. Az említett két növény közül különösen a kukorica az, amelynél a maximális termések trendje sokkal erőteljesebb formában ismerhető fel, mint a búzáé. Amíg a búza termése 4,0–8,0 t/ha között ingadozik, addig a kukorica maximális termésének intervalluma 5,0–10,0 t/ha. Ebből az általános bemutatásból világosan kitűnik, hogy hazánkban a szántóföldi növények termésingadozása rendkívül nagymértékű, és az ingadozás nagyságát alapjában véve nem a termőképesség határozza meg, hanem azok a rendkívül kedvezőtlen agroökológiai hatások, melyek a termésszintet a minimálisra csökkentik.*

A vizsgált két növény talajtáják szerinti termésének átlagát, szórását és variációs koefficiensét az 1. táblázat foglalja össze. A közölt adatok – miként a címekből is kiderül – tájatlakok, feltüntetve az uralkodó talajtípust, mivel ez elsődlegesen határozza meg a tájatlakok sorrendjét. A talaj termékenysége és a termésátlag nagysága közötti kapcsolat első közelítésben lineárisnak tekinthető: a termésátlag növekedésével a szórás nagyobbodik. Feltételezhető, hogy a szórás értékei-

nek sorában bekövetkező eltérések a talajtájak heterogenitásával is magyarázhatók. A különböző statisztikai paraméterek közötti összefüggések jellegzetessége az alábbiakban foglalható össze. Az átlag, valamint a hozzátartozó szórás értéke kifejezi az ingadozás mértékét, azonban a különböző növények ingadozásának összehasonlíthatósága csak a variációs koefficiens (CV) alapján történhet meg. A 1. táblázat a CV százalékos értékét fejezi ki. Az 1. táblázat adatai alapján a két legfontosabb termesztett növény főbb statisztikai jellemzői, a termőhelyek minőségének hatásai jól felismerhetők. Az erre vonatkozó főbb megállapítások:

a) *A búza termésátlaga a talajok termékenységének arányával erőteljesebben növekszik, mint a szórás; az átlagos CV a jó és alacsony termőképességű talajokon viszonylag magas; a közepes termőképességű talajokon mérsékelten csekélyebb. A jó termékenységű talajokon a CV viszonylag magasabb értéke a genetikai potenciál nagyobb fokú kibontakozásával magyarázható, míg a kedvezőtlen adottságú talajokon a növény termőképessége szab határt a nagy termés kibontakozásának, ezért a változékonyság mérsékeltebb.*

b) *A két növény 40 éves idősorának tájak szerint vett átlagos CV értéke közel azonos; búza: 34,88%, kukorica: 33,12%, azonban ha figyelembe vesszük a két növény hasonló értelemben vett termésátlagát, megállapítható, hogy a kukorica termésének szórása valamivel szélesebb intervallumra vonatkozik, mint a búzáé.*

A közölt adatok talajtermék-tájokról nyújtanak felvilágosítást, azonban hangsúlyozni kell, hogy a statisztikai paraméterek értéktartománya a vonatkoztatott terület nagyságára is jellegzetes módon alakul. Minél nagyobb egy-egy vonatkoztatott terület, úgy a szórások csökkennek, mivel a talaj heterogenitás a termés alakulásában kiegyenlítődik. Ennek viszonyítása céljából a továbbiakban üzemi és szántóföldi kísérle-

tekből származó adatok összevetése érdeklődésre tarthat számot. A századforduló időszakában, amikor a termésszint még alacsony volt, a variációs koefficiens értéke is viszonylag csekély volt (*Kerék J., 1898–1932*). A Westsik-féle I. és II. vetésforgó adatainak a relatív változékonysága már lényegesen magasabb. *Láng I.* 1961–1982 között tartotta fenn öbottyáni műtrágyázási kísérletét. *Ruzsányi* a Debreceni Egyetem ATC Kísérleti Telepén műtrágyázási és öntözési kísérletet folytatott (1986–2003) őszi búza és kukorica jelzőnövényekkel, különböző műtrágya-adagokkal, öntözött és öntözés nélküli blokkokban. Megállapította, hogy a műtrágya növekedésével a búza bi- és trikulturában természetve öntözés nélkül a terméseket kiegyenlítette, míg a kukoricánál csak a bikultúra biztosított eredményjavulást a termés nagyságában. Az öntözés természetesen minden esetben termésstabilizálást eredményezett. A kísérlet lezárása után megállapítható, hogy komplexebb agrotechnika a termések átlagait növelte, a CV értékeit pedig csökkentette.

Számos szántóföldi kísérleti eredményen áttekintve általánosítható az a vélemény, hogy a tápanyagellátás javulásával a termésátlagok növekednek, a termések ingadozása azonos évjáratban csökken. Ez a megállapítás látszólagosan ellent mond annak a korábbi véleménynek, mely szerint a korszerűbb agrotechnika és a nagytermékenységű biológiai alap együttesen a termésszórásokat fokozza. A következtetéseknek e két pontja nem mond ellent, mert azonos biológiai alapra építve kétségtelen a műtrágyázás természet kiegyenlítő hatása, azonban ha az idősorban alacsony termőképességű fajták is szerepelnek, úgy abban az esetben évjáratok szerinti összehasonlításban a termésszórások fokozódnak. A komplex agrotechnika biztosítja az évjáraton belüli stabilizálást, az évjáratok közötti különbségek pedig az időjárás és produkciós potenciál kölcsönhatásából származnak. Ebből arra lehet következtetni, hogy e két szempont szerint kell a jövőre vonatkozó kérdésekre a választ megadni.

Hangsúlyozni kell, hogy az ingadozásban – miként már korábban említettük – az időjárás játssza az elsődleges szerepet, más szóval: míg egy időszak alatt kialakult termésszintet a talaj és a biológiai alapanyag sajátossága határozza meg, az átlagos termésszint körüli ingadozást, illetve a genetikai potenciáltól mért távolság nagyságát viszont az időjárás generálja. Attól sem lehet eltekinteni, hogy ennek a megállapításnak az általánosítása óvatosságot követel meg, mivel a légköri folyamatoknak, elemeknek termésszabályozó szerepe különböző lehet, vagyis minden tájnak és minden növénynek megállapítható az a legfontosabb időjárási feltétele és eleme, amely a termésszabályozást szabályozza. *Hazánkban az ország egész területén a csapadékkellátottság dönti el a termésszabályozás nagyságát, míg a hőmérséklet csak másodlagos szerepet tölt be, míg az agrotechnikai beavatkozások hatása csak az említett tényezők után érvényesülnek.* Ennek igazolására mutatjuk be a 2. táblázatban az agrotechnika hatását, melynek alapján megállapítható, hogy a kedvezőbb adottságokat biztosító kezelésekben a termések hasonló ingadozást mutatnak, de abszolút értékük csökken. Ennek bizonyítására a CV-értékek szolgálnak.

2. ÉGHAJLATI VÁLTOZÉKONYSÁG – PROBLÉMÁK – VÁLASZOK

A természet okozta termelési kockázat már jelenleg is nagy, melynek számos gazdasági és ökológiai oka ismerhető fel. A tennivalók megfogalmazásának nehézsége abban áll, hogy a gazdaság és a termelési környezet harmóniájának megteremtése rendkívül bonyolult, ember által csak korlátozott mértékben közvetve szabályozható. Ennek ellenére, a termelés szervezését a fennálló kényszerek folytán oly módon szükséges átalakítani, amelynek eredményeképpen ugyan nem hárul el valamennyi kedvezőtlen hatás, de bizonyos mértékig az

elsődleges biomassa előállítását megoldható. A termelési szerkezet mindenhol és mindenkor a fogyasztói igényekhez illeszkedik, az igény kielégítése pedig a piacon történik. A környezet – ez alatt e helyen az éghajlatot értve, illetve annak változékonyságát – sajátosságának megállapítását halaszthatatlanul fel kell mérni abból a célból, hogy egy olyan növénytermesztési szerkezetet lehessen kialakítani, amely az éghajlat eddigi káros hatásaival szemben kevésbé érzékeny.

A hazai és a nemzetközi klímaváltozás kutatásainak eddigi eredményeiből el kell fogadnunk

- a hőmérséklet változó ütemű emelkedését;
- a csapadék jelentősebb mértékű csökkenését;
- a kedvezőtlenül ható káros hatások, helyzetek tartamának növekedését;
- az aszályos helyzetek gyakoribbá válását;
- a csapadéknélküli időszakok tartamának hosszabbodását;
- az évek közötti időjárási jelleg éles különbözőségét.

Áttekintve e tételes felsoroláson, mindegyike károsan ható tényezőnek minősíthető a szántóföldi növénytermesztés klimatikus igényének megítélése szempontjából. Ha csupán hazánk éghajlatára vonatkozó kedvezőtlen szélsőségeket vesszük *alapul megállapítható, hogy tulajdonképpen még eddig nem következett be a rekord szélsőségek megdöntésének időszaka, csupán a kedvezőtlen hatások kerültek túlsúlyba mind a hőmérséklet, mind pedig a csapadék alakulásában.* Nem tértünk ki a rövid tartamú káros hatások egyes formáira (fagykár, jégkár stb.), noha ezen a téren is következnek be olyan folyamatok, amelyek a termés nagyságát alapvetően csökkentik. Természetesen abban nem lehet kételkedni, hogy újabb rekordszélsőségek nem következnek be, mivel az éghajlat fizikai tulajdonságának rendszere ezt nem zárja ki, így bizonyos mértékig az eddigi megismert szélsőségekről talán többet kellene ismerni.

A növénytermesztés technológiai színvonal – eltekintve a közelmúltban lejátszódott társadalmi átalakulás átmeneti következményeitől – lényegében véve hordozza azokat az ismérveket, amelyek a modern termelésre jellemzőek. Kétségtelen tény, hogy az elmúlt ötven év folyamán kialakult egy olyan növénytermesztési technológia, amely már bizonyos vonásaiban a túlhajszoltságot fejezte ki. A nagyarányú kemizálás, a talajok nem megfelelő módon történő művelése stb. olyan beavatkozások voltak, amelyek károsították a növénytermesztési környezetet. Természetesnek kell itélnünk, hogy az ilyen típusú növénytermesztés rendkívül költségigényes, ennek folytán egy viszonylagos termésnövekedés gazdasági kár forrása is lehet. Az ilyen típusú növénytermelés igényli a kedvező éghajlati feltételeket, és nem képes alkalmazkodni az olyan helyzetekhez, amelyek már klimatikus szélsőségeknek tekinthetők. Mindebből az következik, hogy amikor a mezőgazdaság fejlesztéséről beszélünk a környezeti tényezők közül, az éghajlati szélsőségekhez közelálló feltételek gyakorlati ismeretét kell támaszkodnunk. *Áttanulmányozva a növénytermesztési kutatások eddigi főbb eredményeit megállapítható, hogy legtöbb esetben az optimum és maximum keresése volt a cél, sokkal ritkábban találoztunk az alkalmazkodó növénytermesztésre vonatkozó számszerű információkkal.* A szerteágazó tudományos munka nyomán ma már tudjuk, hogy a különböző növényfajok, fajták milyen tűrőképességgel rendelkeznek, de a *tűrési érték és a tűrés időtartam kutatásának eredményeiről egyelőre még igen szerény információval rendelkezünk.* Megállapítható, hogy napjainkban a nagytermések optimumairól részletes képet alkothatunk, de sokkal kevesebb azoknak a kutatási eredményeknek a száma, amelyek alapján a különböző termésszinhez tartozó környezeti tényezőket számszerűen megismerhetnénk. Nem cél e helyen az agroklimatológia ökonómiájának részleteit felsorolni, noha a mezőgazdasági tudomány fejlettsége ezt feltétlenül megköveteli. Ha-

zánk éghajlatánál lényegesen kedvezőbb feltételek mellett kialakult modern angol mezőgazdaság igen részletesen elemzi a különböző időjárási hatások finansiális értékelését, amit jól tükröz egy kutató munkájának a címe: „... hány fontot ér az angol klíma”. Hazánkban az agrometeorológiai összefoglaló munkákból hiányzik a klíma ökonómiájának kérdése, noha ez képezne e szakterület egyik legfontosabb problémáját.

A klimatikus termésbecslés lehetőségei

Az elmúlt 50 évben a különböző természeti folyamatok szimulációja világszerte elterjedt, így a növénytermesztés területén is számos olyan modell nyert kidolgozást, melynek segítségével felépíthető volt olyan szimulációs módszer, aminek alkalmazásával a termés nagysága a környezeti tényezők függésében numerikusan becsülhető. Az ismert és használatban elterjedt modellek száma hazánkban is nagyszámú, azonban a tapasztalatok azt bizonyítják, hogy ezek csak esetenként nyújthatják a várt eredményeket. Ennek különböző oka van. Egyrészt a modellek csak bizonyos értéktartományban adnak reális eredményt, és a határfeltételeket rendszerint a klimatikus és a talajadottságok szabják meg, míg ugyancsak bizonytalanságot eredményez a biológiai parametrizálás is. A számítási eredmények közelítési pontosságának kérdése is felmerül, mivel a modelleket alkotó hatások súlya is különböző, sőt egyes esetekben bizonyos hatásnak a figyelembe vétele hiányzik.

A fentiekre való tekintettel korábban kidolgozást nyert egy olyan modell, amely energetikai alapokra építve, majd sztochasztikus módszerekkel bővítve figyelembe veheti mindazokat a tényezőket, amelyeket a termés meghatározásánál mindenképpen figyelembe kell venni. Így a csapadék, hőmérséklet, talajtípus, a növényfaj tulajdonsága stb. hatásától nem lehet eltekinteni. A különböző paraméterek súlyának és szerepének az alakulása korrelációs és regressziós

analízissel, faktor analízissel rangsorolható, majd megállapítható mindezek súlya és szerepe. *Az utóbbi tényezők segítségével határozható meg az ún. potenciális, majd abból levezetve a tényleges produkció nagysága.* A modell skálája: tenyészidőszak, így elsősorban agroklimatológiai célokra alkalmas, különböző tájakra, régiókra becsülhető a különböző évszaktokban kialakult termés nagysága. A használati tapasztalat során bebizonyosodott, hogy a különböző termésideősorok elemei értékének oksági magyarázatához a modell széles körű információt nyújt. A becslő modell egyszerűbb változata (Szász, 1979, 1981) kedvező tapasztalatok alapján tovább bővült, majd a fenti kérdésekre alkalmas alakja is kidolgozást nyert (Szász, 1999; Nagy, 1999). A modell utóbbi változatának alapkonceptiója az volt, hogy információt nyújtson a különböző, szélsőséges kis- és nagytermések klimatikus igényeinek megállapítására, továbbá arra, hogy a szélsőséges terméseket meghatározó hőmérséklet és csapadék a tenyészidőszak folyamán milyen valószínűségi értékhez közelít legjobban. A számítási eljárás a $P=10$, illetve $P=90\%$ -os intervallumban viszonylag megbízható eredményeket biztosít a felhasználó számára.

A termések a technológia korszerűsítésével, valamint a biológiai alapok termőképességének növekedésével az idő folyamán fokozatosan emelkednek, ezért nem tűnik reálisnak a különböző időpontból vagy eltérő intervallumból származó termésátlagok összehasonlítása. A különböző talaj-tájak termésátlagainak összehasonlítását a trendeknek adott intervallumra vonatkozó értékével, illetve a trend-időhatáraival – kezdési és végpontja közötti terméskülönbséggel – lehet megbízhatóbb módon kifejezni. A tényleges termés nagysága így két tagra bontható:

- a) A trend t időpont szerinti nagysága.
- b) A trendtől vett eltérés.

E két érték fejezi ki az agrotechnika és az időjárás egyidejű hatását.

A termések kategorizálása természetesen nélkülözhetetlen, a legegyszerűbb megkülönböztetési elv:

$$\begin{aligned} \text{kis termés:} &= 0,67 X_t \\ \text{közepes termés:} & 0,67 X_t - 1,33 X_t \\ \text{nagy termés:} & > 1,33 X_t \end{aligned}$$

ahol X_t : a trend szerinti érték.

A különböző terméskategóriák megállapíthatók nemcsak a különbségek alakulásából, hanem a tényleges és a trend szerinti termésátlag hányadosával is, mivel e két hatás multiplikatív módon jut kifejezésre. Az alábbiakban néhány példát mutatunk be abból a vizsgálati anyagból, amely a fenti elven megállapított kistermések felső határára vonatkozik. A határérték megállapítható a tenyészidőszak csapadéka alapján, valamint ezt kiegészítve a határösszeg valószínűségi értékeivel. A csapadék határérték természetesen területileg módosul a talaj vízgazdálkodási tulajdonságai folytán, így nem lehet egységes határértéket megállapítani. *A főbb növények átlagértékénél kisebb termések bekövetkezésének valószínűsége, illetve gyakorisága tájanként az alábbi módon alakulhat:*

| | |
|-------------------------------|-----|
| Hajdúhát | 52% |
| Dél-Tiszántúl | 48% |
| Duna-Tisza közötti homokvidék | 86% |
| Közép-Tisza vidéke | 62% |
| Kisalföld | 34% |
| Zala megye | 18% |

A fenti relatív értékekhez tartozó csapadék nagysága a valószínűségi függvényekkel, illetve az eloszlási görbe alapján megállapítható.

Miként a fenti gyakorisági értékek mutatják, a kistermések gyakorisága, illetve annak valószínűsége az ország területén rendkívül különböző. Megállapítható, hogy a különböző terméskategóriák aránya táj jellemző agroökológiai paraméter.

Részletesebb elemzések nyomán levonható az a végkövetkeztetés, hogy a növényter-

mesztés kockázatának csökkentése céljából *olyan stratégiát szükséges kidolgozni, amely elsősorban a középértékhez viszonyított rendkívül alacsony termések bekövetkezését zárja ki.* Ezáltal természetesen maga az átlagérték is megnő, ennek következményeként a termések valószínűségi eloszlása is módosul. E gondolat tulajdonképpen szoros kapcsolatba hozható az éghajlat változékonyságával. A stratégia lényege az, hogy ha sikerül egy olyan technológiai rendszer kiépítése és rendelkezünk megfelelő biológiai alappal, amely a nagy termésnövekedést okozó hatásokkal, de elsősorban az aszályjal szemben kevésbé érzékeny, abban az esetben a klímaváltozékonyság kedvezőtlen hatásaival való találkozás kisebb gyakorisággal következik be. Az eddigi vizsgálatok szerint úgy tűnik, hogy a növénytermesztés és az éghajlatváltozás kapcsolatrendszerében nem a változási tendencia a legkritikusabb pont, hanem a kedvezőtlen hatások gyakoriságának felderítése. *A modern stratégia tehát a passzív védekezés megvalósításával oldható meg, amely egyrészt fajtakérdés, másrészt az agrotechnika korszerűsítéseit kell a fenti célnak megfelelően kialakítani.* Ez az agrotechnika a vízmegőrző talajműveléssel, megfelelő tápanyag-gazdálkodással, célratörő növényvédelemmel, továbbá nem a „minimum tillage” megvalósításával, de minden esetre a nem túl gyakori talajlazítással, mérsékelt mechanikai talajterheléssel stb. oldható meg.

Nem fölösleges az aktív védekezés ismert

Őszi búza

| | |
|------------------|--|
| Hajdúság: | $P = 1,35 [(1,44 t + 22,85) + 13,153 + 0,398 X_1 - 0,542 X_5 - 0,010 X_{11} - 0,018 X_{12}]$ $R = 0,91087 \quad DX = 0,449 \text{ t/ha} \quad CV = + 5\%$ |
| Észak-Nyírség: | $P = 0,80 [(0,907 t + 13,24) + 15,586 - 0,181 X_1 - 0,338 X_5 + 0,006 X_{11} - 0,017 X_{12}]$ $R = 0,96858 \quad DX = 0,282 \text{ t/ha} \quad CV = + 5,2\%$ |
| Délkelet-Alföld: | $P = 1,17 [(1,998 t + 12,02) + 10,103 + 0,192 X_1 - 0,434 X_5 + 0,060 X_{11} - 0,061 X_{12}]$ $R = 0,77034 \quad DX = 0,237 \text{ t/ha} \quad CV = + 2,83\%$ |
| Kiskőrös: | $P = 0,80 [(1,334 t + 8,72) + 33,088 - 0,358 X_1 - 0,646 X_5 - 0,0379 X_{11} + 0,024 X_{12}]$ $R = 0,86704 \quad DX = 0,395 \text{ t/ha} \quad CV = + 6,73\%$ |

módszerének továbbfejlesztése. Bár a Nagyalföldön a természetes vízkincs többségében a Tiszántúlon érhető el, így egy racionális, energiatakarékos, *viszonylag alacsony beruházási igényű öntözés újbóli bekapcsolása az értékesebb kultúráknál feltétlenül szükségessé válhat* (biztonságos exportra termelt növények, vetőmagtermesztés stb.).

A bemutatott agroklimatológiai módszer segítségével a termések évenkénti megállapítása sztochasztikus módszerekkel is viszonylag nagy pontossággal oldható meg. Míg a korábbi korrelációs, illetve regressziós elemzések alapján végzett termés-időjárás kapcsolat totális korrelációja többváltozós összefüggésben mérve is csupán $R^2 = 0,7$ volt, addig az általunk alkalmazott elemzés az említettnél messzemenően pontosabb eredményt biztosított. Figyelembe véve a talajtájak jelentős különbözőségét mind a tápanyag-szolgáltatás, mind pedig a vízgazdálkodási tulajdonságok tekintetében, az a független változók súlyának jelentős eltérését bizonyítja. A mért és számított termések közötti korrelációs együtthatók ilyen módon jelentősen növelhetők, vagyis a becslés pontossága fokozódik. E számítási eljárás megköveteli az eddigi szokásos statisztika komplexebb alkalmazását, vagyis valamely módszerrel megállapítandó a lehetséges valamennyi változó súlya, melyek közül csak azok veendőek figyelembe, amelyek a leglényegesebb arányban módosítják a korrelációs együtthatók értékét. Az alábbiakban néhány becslőegyenlet formáját és eredményét mutatjuk be búzára és kukoricára vonatkozóan:

| | |
|------------------|--|
| Mezőföld: | $P = 0,93 [(1,107 t + 14,67) + 17,752 + 0,020 X_1 - 0,521 X_2 - 0,002 X_{11} + 0,006 X_{12}]$ $R = 0,90238 \quad DX = 0,289 \text{ t/ha} \quad CV = + 4,6\%$ |
| Zala: | $P = 0,98 [(1,227 t + 15,28) + 17,135 - 0,066 X_1 + 0,408 X_2 - 0,010 X_{11} - 0,020 X_{12}]$ $R = 0,86929 \quad DX = 0,212 \text{ t/ha} \quad CV = + 3,44\%$ |
| Kukorica | |
| Hajdúság: | $P = 1,47 [(2,142 t + 33,83) + 84,908 - 2,870 X_1 + 1,451 X_2 - 0,139 X_{15}]$ $R = 0,93040 \quad DX = 1,028 \text{ t/ha} \quad CV = + 8,36\%$ |
| Észak-Nyírség: | $P = 0,72 [(1,926 t + 16,25) + 0,845 - 0,014 X_1 + 0,051 X_2 - 0,017 X_{15}]$ $R = 0,94069 \quad DX = 0,226 \text{ t/ha} \quad CV = + 3,69\%$ |
| Délkelet-Alföld: | $P = 1,24 [(2,088 t + 25,82) + 12,202 - 0,280 X_1 + 0,194 X_2 - 0,012 X_{15}]$ $R = 0,92430 \quad DX = 0,330 \text{ t/ha} \quad CV = + 0,88\%$ |
| Kiskörös: | $P = 0,70 [(1,820 t + 7,61) + 34,058 - 0,439 X_1 + 0,011 X_2 - 0,017 X_{15}]$ $R = 0,86849 \quad DX = 0,293 \text{ t/ha} \quad CV = + 4,2\%$ |
| Mezőföld: | $P = 0,94 [(1,388 t + 21,58) + 19,995 - 0,374 X_1 + 0,110 X_2 - 0,041 X_{15}]$ $R = 0,83907 \quad DX = 0,34 \text{ t/ha} \quad CV = + 4,1\%$ |
| Zala: | $P = 0,89 [(1,393 t + 19,51) + 31,570 - 0,464 X_1 + 0,058 X_2 + 0,016 X_{15}]$ $R = 0,86451 \quad DX = 0,32 \text{ t/ha} \quad CV = + 3,99\%$ |

Őszi búza

X_1 : az októberi vetésidő átlaghőmérséklete (október)

X_2 : a virágzás időszakának napi középhőmérséklete (május 15.–június 15.)

X_{11} : a szárbaindulás kalászhányás időszaka alatti csapadék (március 1.–április 15.)

X_{12} : a virágzás időszakának csapadékösszege (május 15.–június 15.)

Kukorica:

P: a trendtől vett eltérés t/ha

X_6 : június 15.–augusztus 15. közötti napi átlaghőmérséklet (címerhányás, virágzás)

X_8 : augusztus 15.–szeptember 30. közötti napi átlaghőmérséklet (csösképződés)

X_{15} : szárnövekedés időszakának (május 15.–július 15.) napi csapadékainak összege

t: az évek sorszáma

Továbbiak:

R: korrelációs együttható

DX: hiba

CV: a hiba százalékos értéke

A fentiek csupán példaként szolgálnak, elsősorban arra, hogy a többszörös statisztikai szűréssel kiválasztott kritikus klimatikus paraméterek milyen mértékben határozzák meg a termés átlagát. Miként látható, a korábbi irodalmi adatokhoz mérten a korrelációs együttható értéke magas, a relatív hiba pedig igen csekély. Ily módon hazánk négy fő növényére (búza, kukorica, cukorrépa és lucerna) készültek el a különböző talajtájakra a becslő egyenletek. Meg kell jegyezni,

hogy a közelítés pontossága nem egységes, főként a búza és kukorica növényeknél nyújtanak a mért termésekhez legközelebb álló értékeket a becslések. A cukorrépa, valamint a lucerna becslésénél a hibaszázalék 5–10% közötti. Ennek ellenére a modell becsült termésadatai további számításokra alkalmasnak minősíthetők és megvalósíthatók azok a célok, hogy a termésgadozások abszolút és relatív értékeit a különböző időjárási típusú vegetációs időszakokra megállá-

píthassuk. Nem tekinthetünk el attól a körülménytől, hogy ezt a szerteágazó és igen széles körű számításokat igénylő munkát valójában a kényszer szülte. A kényszer lényege az, hogy talajtájakra terméstartatok Magyarországon nem állnak rendelkezésre. Mindaddig agroklimatológiai vizsgálatok nem végezhetőek, míg nagyobb közgazgatási egységekre vonatkozó termésátlagokra támaszkodunk, ugyanis egy-egy megye talajadottság tekintetében rendkívül heterogén, amellet, hogy a szükséges éghajlati adatok sem állnak mindenkor rendelkezésünkre. Ismertek olyan nagyobb munkák, amelyek a megyék helyett nagy körzetekre kívántak általános érvényű agroökológiai információt nyújtani, azonban a talajkülönbség skálája és a vizsgált terület nagyságának kiterjedése között nem áll fenn sem klimatológiai, sem talajtaniilag az egyensúly. Ily módon tehát a modellek kidolgozása és használata elengedhetetlen kényszerként merült fel. A részben számítások útján vizsgált adatok és a mért termés nagysága közötti hiba olyan csekély mértékű, hogy azokat az adathiányokat számítás útján pótolhattuk, amelyek az alapsokaságból hiányoztak.

A legfontosabb kérdés az, hogy milyen az összefüggés a terméstartozás mértéke és a feltételezett éghajlatváltozás között? E kérdésre a felelet csak abban az esetben adható meg, ha elfogadható képet tudunk alkotni éghajlatunk jövőbeni alakulásáról. Ha csupán néhány évtizedre – például 2025-ig – gondolkodunk azon, hogy a termelési stratégia korszerűsítésében milyen feladatokat kell elvégezni, úgy tűnik, hogy nagyon eltérő scenáriót nem kell számításba venni, mivel a légkör cirkulációs rendszerében nem számolhatunk alapvető különbségekre a jelenlegi állapothoz képest. Nincsen kizárva a további melegedés és az aszályos helyzetek gyarapodása, azonban az is lehetséges, hogy a változás üteme módosul. Ez esetben a növénytermesztésben megkezdett korszerűsítés, az ökológiai igényekhez most megszabott módon történő illeszkedés a megvalósulási feladat. A változás gyorsulásának

alapja egy másik scenárió lehet, melynek lényege a szárazság és a hőmérséklet emelkedésének gyorsulása. Korábban bemutattuk az egy évre eső hőmérséklet emelkedés és csapadékcsökkenés ütemének átlagértékét. Ezt elfogadva, *a becsülő számítások szerint a természetett növények alkalmazkodóképességét figyelembe véve, még továbbra is a jelenkori természetési technológia alkalmazható intenzívebb vízgazdálkodás megvalósításával.* A főbb természetett növényeknek az időjárással szembeni toleranciája széles intervallumra terjeszkedik. Ezt bizonyítja az a tény, hogy például hőmérsékleti okokból gyakorlatilag jelentős terméscsökkenés nem volt, csupán néhány növény semmisült meg, vagy süllyedt a termésszint az eddig előfordultak alá. Ilyen szélsőséges kártétel lehet az őszi árpa kifagyása, a korán elvetett cukorrépa kelésének elmaradása a fagykárak folytán, de megemlíthető a hosszú tenyészidejű kukorica őszi fagykártétele, vagy a búza vetés utáni kelésének rendkívüli megkéseése a talaj szárazsága folytán stb. Ezekkel a jelenségekkel természetesen mindenkor számolni lehet, mivel az időjárási helyzetnek számos olyan hosszabb-rövidebb időtartamú variánsa létezik, amely még eddig nem következett be.

Az éghajlatváltozásra vonatkozó becslések inkább klimatológiai problémák, mivel ilyen vonatkozásban az ingadozások határainal nem szokás számolni, illetve erre vonatkozó megoldások még nem születtek. Miként már korábban bebizonyosodott, *az éghajlatváltozás ingadozások formájában nyilvánul meg.* Változó frekvenciájú és amplitudójú oszcillációk formájában bekövetkező klímaváltozásban a mezőgazdaságot elsősorban az oszcillációk érintik, melyeknek periódusa 8–10 évig is eltartható. Itt utalhatunk a kumulatív csapadékhiány összegének növekedésére. Ezeknek az ingadozásoknak az előrejelzését a klimatológiai kutatások egyelőre még nem tudják megoldani, így kénytelenek vagyunk a logikai feltételezésekre és eddigi tapasztalatainkra támaszkodni. Egyetlen biztos tényről állunk

szemben: az éghajlat változékonysága és a termések ingadozása mindenkor és mindenhol felismerhető.

Ennek a kérdésnek a problematikája inkább abban áll, hogy miként tudjuk ezt az ismert összefüggést oly módon számszerűsíteni, hogy az eredmények extrapolálhatósága elfogadható legyen. A statisztikai törvényszerűségekből származik az a szigorú kritérium, hogy a megállapított valószínűségi összefüggések, kapcsolatok jellege és eredménye nem extrapolálható. Rengeteg olyan számszerű összefüggéssel, regressziós egyenlettel rendelkezünk, amely a termések nagysága és az időjárási elemek közötti összefüggést fejezi ki, azonban hangsúlyozni kell, hogy azok a mintára elfogadhatók, de segítségükkel az extrapoláció nem engedhető meg. Azonban *a korábbiakban bemutatuk, hogy a különböző terméssorok átlaga, szórása és variációs koefficiense, valamint a termést meghatározó két legfontosabb éghajlati elemnek, a hőmérsékletnek és a csapadéknak a hasonló statisztikai paramétereire támaszkodva vizsgálható az időjárás és a termésingadozás közötti kapcsolat, amely lehetővé teszi a számszerű extrapolációt.*

A vizsgálatok során abból a feltételezésből kellett kiindulni, hogy az a dimenzió nélküli paraméter hasznosítható a vázolt célokra, amely független a termés nagyságától, nem kötődik a talajtípushoz, és bármely időintervallumból származó értékre egymással összevethető. Ez a statisztikai paraméter a variációs koefficiens, vagyis a szórásnak az átlagértékhez viszonyított arányának relatív értéke. A CV variációs koefficiens értéke könnyen számítható. Ez a magyarázata annak, hogy a korábbiakban mind a különböző időjárási elemekről, mind pedig az eltérő időszakból származó terméssorok alapján számított CV értékekről részletes tájékoztatást nyújtottunk. Míg az előzőekben ezeket egymástól elkülönítve jellemeztük, ez alkalommal a kettő összevetése is megvalósítható. Mivel a CV dimenzió nélküli arányszám, ezért az összehasonlíthatóság akadálya nem áll fenn, és

most élünk ezzel a lehetőséggel. Mielőtt számszerűen bemutatnánk ezeket az arányokat, hangsúlyozni kell, hogy a CV értéke olyan variabilitást kifejező paraméter, amelynek segítségével a kisebb-nagyobb változékonyság egymástól könnyen elkülöníthető. Ezt tettük annak érdekében, hogy az éghajlati változékonyság és a termésingadozás kapcsolatának tényére fényt deríthessünk. Az alábbiakban néhány példát mutatunk be arra vonatkozóan, hogy a termések variabilitása és a nagy változékonyságú csapadék variabilitása között milyen összefüggés áll fenn. Ezt a 3. táblázatban szemléltetjük.

A CV_{cs}/CV_t , vagyis a csapadék és a termés variációs koefficiensének hányadosa a két növény között jelentős mértékben különbözik. Ebből levonható az a következtetés, hogy a csapadékingadozás hatására a kukorica lényegesen nagyobb termésingadozást mutat. Tekintettel arra, hogy a két növénynek a csapadékkal szembeni ingadozása és érzékenysége különbözik, ez megerősíti azt a véleményt, *miszerint a csapadékingadozásnak a termésingadozást kiváltó hatása növényfajonként változik.* A növényeknek a vízzel szembeni reakciója faji tulajdonság, ennek következtében tehát szükségszerűen be kell látni annak a jelenségnek a helyességét, hogy minél nagyobb a növény vízigénye, a csapadékra és a termésre vonatkozó variációs koefficiens hányadosai annál nagyobbak. Ez a módszer igen jónak minősíthető abból a szempontból, hogy a növényfajok, fajták, hibridek vízigény szerinti megkülönböztetése ezzel az eljárással megállapítható. Mivel a fajták az üzemi termelésben folyamatosan cserélődnek, nem vagyunk mindig tisztában azzal, hogy a régi fajtát, hibridet milyen vízigényű utód követi. És most áttérve az éghajlat hatásának következményeire, számíthatunk arra, hogy a köztermesztésbe egy viszonylag szárazságtűrő fajta vagy hibrid kerül, és ugyanakkor még nem tudjuk megállapítani annak pontos vízigényét, sőt még arról sem kapunk információt, hogy milyen mértékben változik meg a csapadék nagysága. Mivel a CV a

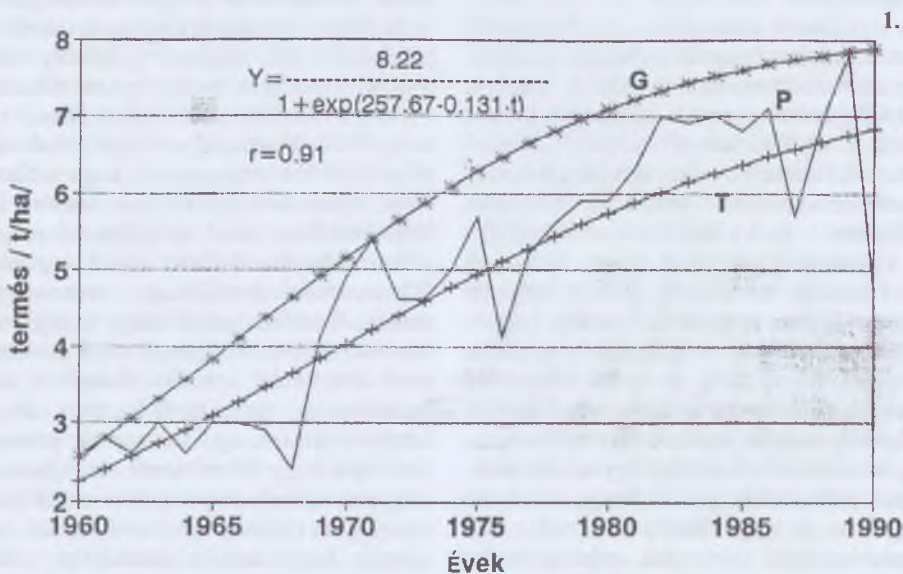
termésre, csapadékra, hőmérsékletre egyaránt kiszámítható, ily módon mind a víz-igény, mind pedig a hőigény kifejezhető.

Amennyiben a termés és a környezeti tényezők – hőmérséklet, csapadék – közötti kapcsolat ezúton megállapítható, úgy a továbbiakban a csapadék alapján regressziós analízissel az összefüggés mennyiségi értéke is kiszámítható. A számítás reprezentatív

eredményére csak akkor lehet számítani, ha a terméssor homogén, vagyis az ingadozások túlnyomórészt a környezeti tényezők következményei. Mivel ez utóbbi követelmény rendszerint nem valósul meg, ezért csak olyan kapcsolatszámítási módszerek alkalmazhatók, amelyek egyrészt eloszlásmentesek, majd pedig a terméssor transzformációja válik szükségessé.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

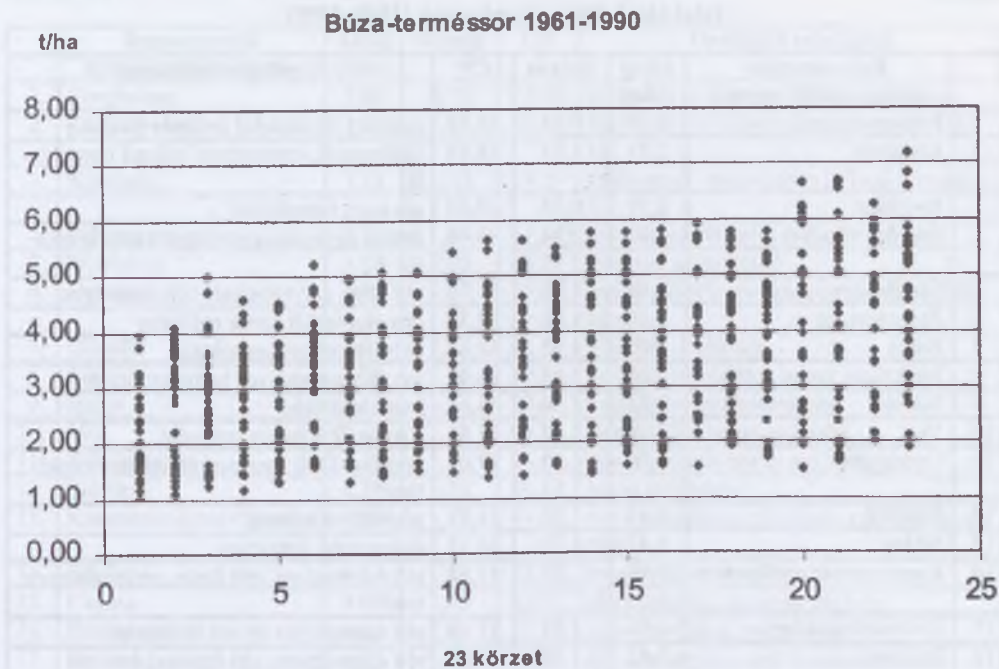
- (1) KERÉK J. (1934): Az időjárás befolyása az Alföldön, a termés mennyiségére és minőségére. M. kir. József Nádor Műszaki és Gazd. Tud. Egyetem, Növénytermesztési Tanszék, Budapest (2) LÁSZTITY B. – SZEMES I. – RADICS L. (1993): Műtrágyázások vizsgálata rozs monokultúrákban. Agro-kémia és Talajtan, 42: 309–324. pp. (3) NAGY M. (1999): Fontosabb szántóföldi növények termelésének agroökológiai modellezése. PhD-értekezés, DE ATC, 96 p. és 8 melléklet (4) SZALAI S. – SZENTIMREY T. (2001): Melegedett-e Magyarország éghajlata a XX. században? Debreceni Egyetem, Dr. sen. Berényi Dénes Jubileumi Kiadvány (5) SZÁSZ G. (1979): A klímaérték fogalma, meghatározásának módjai és értékei Magyarországon. Agrártudományi Egyetem, Debrecen, 73 p. (6) SZÁSZ G. (1981): Az időjárás folyamatok és a termés közötti kapcsolat modellezésének alapjai. Időjárás 85: 334–345. pp. (7) SZÁSZ G. (1982): Komplex ökológiai paraméterrendszer kidolgozása jelenlegi és potenciális termésszintek különbségének csökkentéséhez. MÉM-NAK, Bp., 103 p. és 24 melléklet (8) SZÁSZ G. – TÖKEI L. (1999): Meteorológia – mezőgazdák, kertészeknek, erdészeknek. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 222. p. (9) WESTSIK V. (1965): Vetésforgókísérletek homoktalajon. Akadémiai Kiadó, Bp., 208. p.



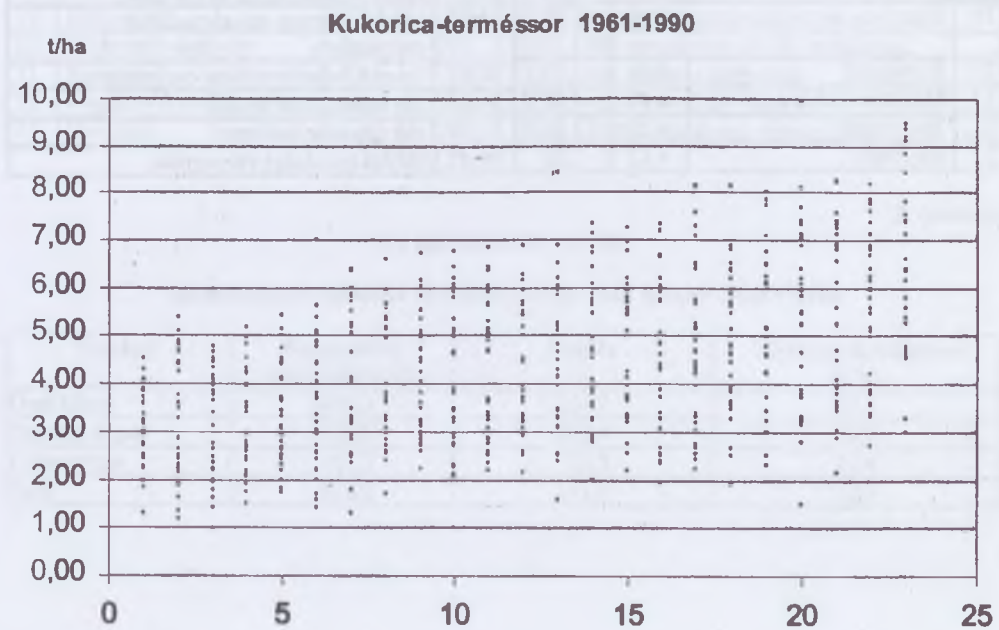
1. ábra

Hajdú-Bihar megyei kukorica terméssor

2. ábra



3. ábra



1. táblázat

Talaj-tájak, búza-terméssorok (1960–1990)

| | Reprezentáló közigazgatási egység | Átlag (t/ha) | Szórás | CV | Uralkodó talajtípus |
|-----|--------------------------------------|-----------------|--------|-------|---|
| 1. | Fehérgyarmat | 2,13 | 0,78 | 36,52 | mocsári sík láptalaj és lápos réti talaj |
| 2. | Kiskőrös | 2,73 | 1,01 | 36,94 | futóhomok, csernozjom jellegű homokta- talaj |
| 3. | Nyírbátor | 2,79 | 0,95 | 34,20 | savanyú homoktalaj |
| 4. | Edelény+Encs | 2,81 | 0,94 | 33,46 | északi agyagbemosódásos, barna erdőta- talaj |
| 5. | Szeghalom | 2,88 | 1,03 | 35,76 | régi talaj, sztyeppesedő réti szolonyec |
| 6. | Zalaegerszeg | 3,10 | 1,06 | 34,34 | dny-dunántúli barna erdőtalaj |
| 7. | Barcs | 3,16 | 1,03 | 32,63 | belső somogyi homoktalaj |
| 8. | Pápa | 3,16 | 1,15 | 36,43 | agyagbemosódásos barna erdőtalaj |
| 9. | Siófok | 3,22 | 1,06 | 33,04 | barna erdőtalaj |
| 10. | Vas | 3,29 | 1,08 | 32,86 | Raman-féle barna erdőtalaj |
| 11. | Gyöngyös | 3,30 | 1,24 | 37,69 | északi-alföldi csernozjom és barna erdő- talaj |
| 12. | Gödöllő | 3,47 | 1,20 | 34,73 | gödöllői dombság |
| 13. | Siklós | 3,47 | 1,27 | 36,52 | drávamenti öntéstalaj |
| 14. | Kunszentmárton+Szentés | 3,57 | 1,35 | 37,94 | régi csernozjom, réti öntés, réti szolonyec talaj |
| 15. | Hódmezővásárhely | 3,58 | 1,33 | 37,28 | régi csernozjom és réti öntéstalaj |
| 16. | Szolnok | 3,62 | 1,32 | 36,57 | régi csernozjom, réti öntéstalaj és réti szolonyec |
| 17. | Komárom | 3,80 | 1,26 | 33,21 | mészlepedékes csernozjom |
| 18. | Csorna | 3,83 | 1,22 | 31,92 | régi öntéstalaj és lápos réti talaj |
| 19. | Baja | 3,90 | 1,22 | 31,29 | bácskai típusos mészlepedékes csernozjom |
| 20. | Sárbogárd | 4,08 | 1,51 | 36,88 | típusos mészlepedékes csernozjom |
| 21. | Mezőkovácsháza | 4,19 | 1,63 | 38,84 | régi csernozjom talaj |
| 22. | Szekszárd | 4,25 | 1,35 | 31,75 | régi agyagos öntéstalaj |
| 23. | Hajdúhát | 4,62 | 1,45 | 31,47 | alföldi mezőségi vályogtalaj |

Talaj-tíjak, kukorica-terméssorok (1960–1990)

| | Reprezentáló közgazgatási egység | Átlag (t/ha) | Szórás | CV | Uralkodó talajtípus |
|-----|----------------------------------|--------------|--------|-------|---|
| 1. | Szeghalom | 3,04 | 0,79 | 25,80 | réti talaj, sztyeppesedő réti szolonyc |
| 2. | Edelény+Encs | 3,19 | 1,25 | 39,15 | északi agyagbemosódásos, barna erdőtalaj |
| 3. | Kiskőrös | 3,19 | 1,25 | 39,31 | futóhomok, csernozjom jellegű homoktalaj |
| 4. | Fehérgyarmat | 3,26 | 1,03 | 31,57 | mocsári sík láptalaj és lápos réti talaj |
| 5. | Nyírbátor | 3,38 | 1,06 | 31,29 | savanyú homoktalaj |
| 6. | Gyöngyös | 3,64 | 1,37 | 37,56 | északi-alföldi csernozjom és barna erdőtalaj |
| 7. | Gödöllő | 4,05 | 1,48 | 36,64 | gödöllői dombság |
| 8. | Pápa | 4,08 | 1,26 | 30,93 | agyagbemosódásos barna erdőtalaj |
| 9. | Barcs | 4,17 | 1,23 | 29,45 | belső somogyi homoktalaj |
| 10. | Vas | 4,19 | 1,44 | 34,33 | Raman-féle barna erdőtalaj |
| 11. | Zalaegerszeg | 4,22 | 1,40 | 33,04 | dny-dunántúli barna erdőtalaj |
| 12. | Siófok | 4,28 | 1,29 | 30,14 | barna erdőtalaj |
| 13. | Kunszentmárton+Szentés | 4,56 | 1,58 | 34,63 | réti csernozjom, réti öntés, réti szolonyc talaj |
| 14. | Siklós | 4,57 | 1,52 | 33,30 | drávamenti öntéstalaj |
| 15. | Csorna | 4,60 | 1,40 | 30,52 | réti öntéstalaj és lápos réti talaj |
| 16. | Komárom | 4,66 | 1,66 | 35,74 | mészlepedékes csernozjom |
| 17. | Szolnok | 4,73 | 1,70 | 35,89 | réti csernozjom, réti öntéstalaj és réti szolonyc |
| 18. | Baja | 4,86 | 1,48 | 30,39 | bácskai típusos mészlepedékes csernozjom |
| 19. | Sárbogárd | 5,04 | 1,69 | 33,56 | típusos mészlepedékes csernozjom |
| 20. | Hódmezővásárhely | 5,31 | 1,94 | 36,57 | réti csernozjom és réti öntéstalaj |
| 21. | Szekszárd | 5,35 | 1,78 | 33,27 | réti agyagos öntéstalaj |
| 22. | Mezőkovácsháza | 5,54 | 1,56 | 28,14 | réti csernozjom talaj |
| 23. | Hajdúhát | 6,49 | 1,98 | 30,49 | alföldi mezőszégi vályogtalaj |

2. táblázat

Az agrotechnika hatásai

Századforduló időszaka (Kerék J.) 1898–1932 Közép-Tisza vidéke

| Növény | Termésátlag (kg/1600 n.öl) | Szórás (s) | Variációs koefficiens (CV) |
|--------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| Őszi búza | 1096,5 | 224,7 | 20,5 |
| Tavaszi árpa | 1125,8 | 298,4 | 26,5 |
| Cukorrépa | 151,7 | 35,5 | 23,4 |
| Zab | 816,1 | 243,6 | 29,9 |

2. táblázat folytatása

Westsik-féle vetésforgó (I.) 1929–2003 Nyíregyháza

| Növény | Átlag (t/ha) | Szórás (s) | Variációs koefficiens (CV) |
|-------------|-----------------|---------------|-------------------------------|
| Rozs 1. | 0,59 | 0,21 | 35,59 |
| Rozs 2. | 0,62 | 0,22 | 36,06 |
| Rozs 3. | 0,60 | 0,20 | 33,33 |
| Burgonya 1. | 54,51 | 40,67 | 74,61 |
| Burgonya 2. | 42,55 | 18,47 | 43,41 |
| Burgonya 3. | 43,11 | 23,55 | 54,62 |

Westsik-féle vetésforgó (II.) 1929–1990 Nyíregyháza

| Növény | Átlag (t/ha) | Szórás (s) | Variációs koefficiens (CV) |
|----------|-----------------|---------------|-------------------------------|
| Rozs | 2,52 | 0,68 | 26,73 |
| Burgonya | 8,33 | 4,59 | 55,04 |

Műtrágyázás hatása a rozs szemtermésére (Láng I.) 1961–1982

| Növény | Átlag (t/ha) | Szórás (s) | Variációs koefficiens (CV) |
|---------|-----------------|---------------|-------------------------------|
| Rozs 1. | 0,69 | 0,26 | 37,76 |
| Rozs 4. | 1,55 | 0,91 | 58,59 |
| Rozs 6. | 1,38 | 0,85 | 61,55 |
| Rozs 8. | 1,89 | 0,88 | 46,49 |

Debreceni ATC Tartamkísérlet, Látókép (Ruzsányi L.) 1986–2003

| Növény megnevezése | Átlag | Szórás | CV |
|---|----------|---------|-------|
| Bikultúra őszi búza: N0P0K0 Nem öntözött | 2937,89 | 862,50 | 29,36 |
| Bikultúra őszi búza: N100P70K80 Nem öntözött | 5492,78 | 1254,49 | 22,84 |
| Bikultúra őszi búza: N100P70K80 Öntözött | 6212,72 | 1276,28 | 20,54 |
| Trikultúra őszi búza: N0P0K0 Nem öntözött | 5508,72 | 1176,04 | 21,35 |
| Trikultúra őszi búza: N100P70K80 Nem öntözött | 6189,56 | 1221,97 | 19,74 |
| Trikultúra őszi búza: N100P70K80 Öntözött | 6723,78 | 1157,85 | 17,22 |
| Monokultúra kukorica: N0P0K0 Nem öntözött | 6226,88 | 1870,01 | 30,03 |
| Monokultúra kukorica: N120P90K90 Nem öntözött | 7948,82 | 2808,82 | 35,34 |
| Monokultúra kukorica: N120P90K90 Öntözött | 10717,24 | 1849,49 | 17,26 |
| Bikultúra kukorica: N0P0K0 Nem öntözött | 9259,47 | 1488,80 | 16,08 |
| Bikultúra kukorica: N120P90K90 Nem öntözött | 9933,06 | 2128,60 | 21,43 |
| Bikultúra kukorica: N120P90K90 Öntözött | 12077,12 | 1365,03 | 11,30 |
| Trikultúra kukorica: N0P0K0 Nem öntözött | 8782,76 | 2041,59 | 23,25 |
| Trikultúra kukorica: N120P90K90 Nem öntözött | 8947,00 | 2830,12 | 31,63 |
| Trikultúra kukorica: N120P90K90 Öntözött | 11638,82 | 1654,49 | 14,22 |

3. táblázat

A termékek és a csapadék variabilitása közötti összefüggések

| Talaj-táj | Búza | | Kukorica | |
|---------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| | Átlag (t/ha) | CV _{cs} /CV _t | Átlag (t/ha) | CV _{cs} /CV _t |
| 1. Pápai járás | 3,16 | 1,37 | 4,08 | 1,96 |
| 2. Zalaegerszeg | 3,10 | 1,35 | 4,22 | 1,69 |
| 3. Gyöngyösi járás | 3,30 | 1,49 | 3,64 | 1,66 |
| 4. Kiskőrösi járás | 2,73 | 1,37 | 3,19 | 1,58 |
| 5. Szeghalmi járás | 2,88 | 1,25 | 3,64 | 1,67 |
| 6. Kunszentmárton+Szentés | 3,57 | 1,05 | 4,56 | 1,72 |
| 7. Hódmezővásárhely | 3,58 | 1,27 | 5,31 | 1,61 |
| 8. Mezőkovácsháza | 4,19 | 1,18 | 5,54 | 1,85 |
| 9. Hajdúhát | 4,62 | 1,49 | 6,49 | 1,12 |
| Átlag: | | 1,29 | | 1,75 |

KLÍMAHATÁSOK A SZARVASMARHATARTÁSBAN

PATKÓS ISTVÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

A szarvasmarhatartásban, ebben a viszonylag lassú megtérülési és nagy befektetés igényű tevékenységben különösen fontos a várható klímahatásokra való időbeni felkészülés. Ennek érdekében célszerű tanulmányozni, összegyűjteni – főleg a melegebb évi országokból – a nemzetközi tapasztalatokat. Az alomszalma szűkösségére gondolva az alomhelyettesítő boxpadozati megoldások hazai és külföldi tapasztalatai megkülönböztetett figyelmet érdemelnek. Mielőbb szükséges a várható klímaváltozásra gondolva olyan tehenistálló, illetve tehenészeti telep modelleket kidolgozni, melyek számolnak a változások különféle hatásaival.

BEVEZETÉS

A klímaváltozásról, okairól és következményeiről egyre többet olvashatunk és hallhatunk (1, 2). Az MTA Növénytermesztési, valamint Talajtani, Agrokémiai és Üzemi Vízgazdálkodási Bizottságai már 1992 óta foglalkoznak a valószínűsíthetően gyakoribb aszályok mezőgazdasági következményeivel (1). A klímaváltozásnak és várható mezőgazdasági hatásainak szentelt „Agro-21” Füzetek 32. és 33. számaiban (2003–2004) a szerzők legtöbbször (2–6) valószínűsítik, hogy a következő években Magyarországon növekszik az aszályos évek gyakorisága. E kedvezőtlen prognózis alapján kiterjedt „preventív” kutatások kezdődtek az agrárágazatokban is, pl. a talajművelés, az öntözés, a növénynevelés, illetve a termesztés-technológiák területén (7). Ezeket a kutatásokat a „VAHAVA” (változás – hatás – válaszadás) projekt foglalja keretbe.

Az állattenyésztés ágazataiban ilyen preventív kutatásokra eddig viszonylag kevés figyelem jutott, pedig könnyen belátható, hogy a gyakori aszályok (a tartós csapadékhiányt, a légköri aszályt és a közel trópusi tartós meleget együtt értve ez alatt) ezeket az ágazatokat sem hagyják majd érintetlenül.

Az állattenyésztés, illetve állattartás közvetlen és közvetett érintettségéről olvashatunk ugyan egy-két megállapítást, de ezen ágazatok mezőgazdaságon belüli súlya ennél sokkal több konkrét preventív vizsgálatot tenne szükségessé. Kivételként a legeltetésre alapozott szarvasmarha-tartás említhető, amellyel kapcsolatban a szerzők részletekbe menően vizsgálják a szóbanlévő hatásokat és a preventív lehetőségeit (8). Az állattartás többi területein hasonló részletességű vizsgálatokra és főleg védekezési megoldások kimunkálására (megtervezés, kísérleti megvalósítás és tudományos igényű vizsgálatok) ugyanúgy szükség lenne, mint a növénytermesztési ágazatok esetében. Erre az MTA székházában 2004. január 20-án tartott Ötletbörzén (9) Antal József professzor is felhívta a figyelmet.

A jelen dolgozatban e viszonylag széles témakör egyik fontos részére, a tehenészeti tartástechnológiák klímfüggőségére kívánom a figyelmet felhívni, egyidejűleg javaslatokat is megfogalmazva az e területen szükséges felkészülésre. A várható negatív hatások a következők:

1. Drágulnak a takarmányok, főleg a kérdőzök tartásához szükséges, fajlagosan

kisebb értékű tömegtakarmányok, mivel ezek más helyről drágábban szállíthatók.

2. Drágulnak a beruházások és növekednek az üzemeltetési költségek, mert az állatokra érő növekvő hőterhelések csökkentését, illetve elfogadható szinten tartását az istállók jobb szigetelésével (főleg tetőszigetelés) – esetleg a karámok egy részének árnyékolásával is –, valamint drágább klimatizálással (pl. mesterséges szellőztetés, adiabatikus légterhűtés, tehénzuhanyok létesítése) kell megoldani.

3. Az alomigényes tartástechnológiák (mély- és emelkedő almos szarvasmarha-tartás) nem lesz alkalmazható, mert nem lesz elegendő alom, másrészt azt kényszerűségből takarmányozási célra kell majd felhasználni.

4. Nagyobb, üzembiztosabb hűtőgépekre lesz szükség a termelt tej és más állati termék mezőgazdasági üzemen belüli átmeneti tárolásához.

5. Védeni kell majd a tehenek ivóvizét is a túlmelegedéstől, mert ellenkező esetben csökken a vízfogyasztás s következőképpen a tejtermelés is.

6. Egyéb közvetlen és közvetett hatások (pl. a nagyobb vízfogyasztás; a takarmányok gyorsabb kiszáradása a jászlakban, s ezt elkerülendő a többszöri adagolás szükségesége; a trágya kiszáradása az etetőtér, minek következtében a traktor vagy szárnylapát azt nehezebben tudja eltávolítani).

A TARTÁSTECHNOLÓGIÁVAL KAPCSOLATOS KÉRDÉSEK

A felsorolt negatív hatások közül, a címnek megfelelően itt csak a tartástechnológiát érintő kérdésekkel foglalkozunk, azzal is csak a tehenészetek tekintetében (10, 11). Ez pedig az *alommentes tehéntartásra való felkészülés*, ami nem csak a tehenek pihenési körülményeinek változását, hanem a tehenészeti telepek trágyakezelési rendszerének megváltozását is maga után vonja (hígtrágyás trágyakezelési technológiára való áttérés).

A tehenészetekben alkalmazott tartástechnológiai megoldásokat az alomigényes-

ség szempontjából az alábbiak szerint szoktuk megkülönböztetni (12, 13):

– A legnagyobb alomigényű megoldás a Magyarországon jelenleg általánosan alkalmazott *mély- és emelkedő almos rendszer*¹. Alomszükséglete 6–8 kg/tehen/nap. Ez a tartási technológia egyidejűleg istállótrágya „termelő” technológia is, ami a környezetkímélő talajerő-utánpótlásnak bevált módszere.

– Alomtakarékos, a tehenek kényelmes fekvőhelyét almozott boxokban biztosító, de az istállótrágyát külön nem preferáló *almozott pihenőboxos megoldás*². Ennek két vál-

¹ A különbség közöttük az, hogy a mélyalmos istálló padozata teknőszerűen ki van mélyítve és döngölt agyaggal van borítva, míg az emelkedő almos megoldásnál az sík felületként le van betonozva. Az előzőnél az almostrágya réteg vastagsága elérheti a 100–200 cm-t is és annak 6–12 hónapokénti kitermeléséhez egyrészt célgépek szükségesek, másrészt az az istálló üzemeltetését is megzavarja, mivel a kitermelést és az újbóli bealmozást a fejek közötti időben nem mindig tudják megoldani. Az utóbbinál az almostrágya réteg vastagságát csak addig engedik növekedni (30–40 cm-ig), amíg azt a traktor tolólapjával ki tudja tolni az istállóból. Ez néhány óra alatt megoldható és a tehenek pihenését csak kis mértékben zavarja meg. A mindkét megoldásnál keletkező almostrágyát az új előírásoknak megfelelően megépített tárolókban kell elhelyezni és kezelni. Egyébként mint *csoportos-pihenőteres* tartásmódoknál a tehenek a 6–8 m²/tehen nagyságú istállón belül szabadon mozoghatnak és kényelmes (télen meleg) fekhelyeken pihenhetnek, de egymás zavarásától nem védettek.

² A belső korlátokkal kialakított pihenőboxos, *egyedi pihenőteres* istálló padozata tagolt, a keményburkolatú közlekedő utak (és belső etetőtér) szintjétől a boxok ≈ 20 cm-re ki vannak emelve és almozás esetén azok padozata döngölt agyag, míg alommentes tartásnál (az almot helyettesítő speciális gumi- vagy boxmatrac alá ugyancsak keményburkolat szükséges) az is keményburkolatú. Ez utóbbi technológia alkalmazásának velejárója a hígtrágya keletkezése, amelyet a rá vonatkozó előírásoknak megfelelően kell tárolni és kezelni. A pihenőboxos istállóban a fajlagosan kisebb alapterületen (4–6 m²/tehen) a tehenek korlátozottabban mozoghatnak, de egymás zavarásától védettebbek.

tozata ismert. Az egyik az, amikor – elkerülendő a telepi hígrágyakezelés szükségességét – nem csak a boxokat, hanem a boxok közötti közlekedő utakat is almozzák. Ennek alomszükséglete 3–4 kg/tehen/nap. A másik az, amikor ennél is kevesebb alommal kell megoldani a tartást, s ezért csak a boxokba terítenek almot, biztosítván a tehenek nyugodt pihenésének eme feltételét, és egyidejűleg kialakítják a telepi vegyes trágyakezelés rendszerét is (az almot is tartalmazó szilárd és híg ürüléket egy szilárdtrágya-tárolóba tolják, s abból a trágya híg része egy aknába gyűlik, majd egy szintkapcsolós átemelő szivattyú azt egy szivárgásmentes hígrágya-tárolóba továbbítja). Ennek alomszükséglete 1,5–2 kg/tehen/nap.

– A harmadik megoldás az, amelynél alomra nincs, vagy csak nagyon kis mértékben van szükség. Ez az ún. *alommentes boxos rendszer*, természetesen hígrágyás telepi trágyakezeléssel, illetve hígrágyát hasznosító (fogadó) növénytermesztési ágazattal.

AZ ALOMMENTES TEHÉNTARTÁS LEHETŐSÉGEI

Szakirodalomból és szalmahiányos nyugati övezetek tehenészeteinek tanulmányozásából tudjuk, hogy ott már régóta alkalmaznak ilyen tartástechnológiákat és a különböző boxpadozatok ipari gyártása is régóta folyamatban van. Voltak hazai próbálkozások is régebben ezekkel a boxpadozatokkal, még a kötött tartásos technológiák dominálásakor (pl. Lajta-Hansági ÁG vagy Alagi ÁG az 1970-es évek elején). Időközben volt néhány olyan hazai próbálkozás is, amikor az alomszalmát valamilyen más mezőgazdasági melléktermékkel (pl. tépett kukoricaszárral) vagy fűrészpórral, illetve homokkal próbálták helyettesíteni. Ezek azonban elszigetelt, igazi eredményt nem hozó próbálkozások maradtak.

Mi a helyzet ma? Az elmúlt évtizedekben a következő változásoknak lehettünk tanúi.

- Magyarországon is általánossá vált a *kötetlen tartás*, ami azzal jár, hogy a tehenek nem csak az istállóban lévő pihenőhelyeiken, hanem a karámokban is pihenhetnek (pihennek is), s így egyrészt választhatnak, másrészt az esetleg kevésbé kényelmes alom nélküli fekvőhelyeiken rövidebb ideig kell tartózkodniok.

- Időközben fejlesztésre kerültek olyan *boxpadozatok*, amelyek a korábbiaknál jobban tudják az almot helyettesíteni (abban ugyanígy a szakvélemények megegyeznek, hogy a tehen kényelme szempontjából a bőséges szalma almozásnál jobb nincs). Mi az, amit a mai ismereteink szerint megoldottak az újabb boxpadozatok kifejlesztői és mi az, amit még nem tekinthetünk megoldottnak?

- Megoldották a szalmaalom két legfontosabb tulajdonságának helyettesítését, és pedig az *elasztikusságot* és a *hőszigetelést*. A mai kínálatban szereplő kétféle boxpadozat (speciális gumipadló és boxmatrac) közül az elasztikusság tekintetében a boxmatracok tekinthetők jobbnak, mivel ezeknél a tehen teste fekvő helyzetében nagyobb felületen kap alátámasztást.

- Megoldásra vár még a *porózusság* (hogy a tehen bőre az alátámasztás helyein is „szellőzni” tudjon, ne izzadjon és a dörzsölő-radírozó hatás is kisebb legyen), és a tehen számára a felkeléskori stabilitás biztosítása (lábainak fix, csúszásmentes megtámaszthatósága). Ez utóbbi szempontból viszont a gumipadló tűnik jobbnak. A porózusság hiányát kevés szecsakázott szalmával történő betérítéssel nagyrészt pótolni lehet, míg a stabilitás növelése különösen a boxmatracoknál további fejlesztő munkát kíván még.

Az alommentes tehéntartás azt jelenti, hogy egyrészt nem kell az istállóba almot beszállítani és a fekvőhelyeken elteríteni, másrészt azt, hogy viszonylag homogén konzisztenciájú (géppel könnyebben manipulálható) trágyát kell a boxok közötti közlekedő utakról eltávolítani, majd az istállón kívül kezelni egészen a talajba juttatásig. Ez

a másik szempont tehát a *magasabb fokú gépesíthetőség*, illetve a nagyobb munkatermelékenység elérhetősége. Ez a szempont a jövőben egyre hangsúlyosabb lesz nálunk is, mert a hazai tejtermelők az EU-n belül csak ennek a figyelembevételével (is) biztosíthatják versenyképességüket. A felsorolt negatív hatások ugyanis kivétel nélkül költségnövelők, s ezért az ún. *hatékonyságnövelő ellenlépésekre* elkerülhetetlenül szükség lesz. A felkészülés e tekintetben is fontos.

A TEENDŐK

A növénytermesztési ágazatokhoz hasonlóan tehát fel kell(ene) készülnünk az aszályos évek és a trópusi jellegű nyarak negatív hatásainak mérséklésére a tejtermelésben is. A felkészülés lehetséges (és szükséges) lépései:

1. Irodalomfeldolgozás (a probléma nemzetközi megítélésének és az alkalmazott védekezési módokra vonatkozó publikált eredményeknek a megismerése céljából).

2. A jelenleg alkalmazott alom-helyettesítő boxpadozati megoldások hazai és kül-

földi tapasztalatainak feldolgozása, értékelése. (A fejőgép-rendszereket forgalmazó és szervizelő hazai cégek (képviseletek) kínálatában ma már a különféle boxpadozatok is jelen vannak, s néhány hazai üzemből beépítésük folyamatban van.)

3. Egy a felsorolt negatív hatások ellen védelmet adó alommentes tartástechnológiájú (később eldöntendő nagyságú) tehenészeti telep ajánlati tervének elkészítése és publikálása főleg a potenciális beruházók figyelmének felkeltése céljából. (Remélve azt is, hogy az első ilyen telepeket megépítők beruházás-támogatási pályázatait többlet támogatásokat kaphatnak.)

4. A megvalósított ajánlati tervek, illetve az azoknak megfelelően megépült üzemelő telepek üzemi vizsgálatainak elvégzése és a tapasztalatok publikálása.

A várható gyakoribb aszályok okozta negatív hatások más kérdéseivel – kiemelve a többlet hőterhelések elleni védelmet úgy az állatok, mint azok ivóvize tekintetében –, valamint a többi állattartási ágazat esetében is hasonló felkészülési programot kellene kidolgozni és megvalósítani.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) Az MTA Agrártudományok Osztályának 1992, 1993, 1994, 1995. évi tájékoztatói (2) LÁNG I.: Bevezető gondolatok „A globális klímaváltozással összefüggő hazai hatások és az arra adandó válaszok” c. MTA-KvVM közös kutatási projekthez. „AGRO-21” Füzetek, 2003. 31. sz. (3) VARGA-HOSZONITS Z.: Az éghajlatváltozás mezőgazdasági hatásának elemzése, éghajlati scenáriók. „Agro-21” Füzetek, 2003. 31. sz. (4) HARNOS N.: A klímaváltozás hatásának vizsgálata őszi búza produkciójára. „AGRO-21” Füzetek, 2003. 31. sz. (5) DOMONKOS P.: Éghajlat előrejelzés a 2005–2025 időszakra. „AGRO-21” Füzetek, 2004. 33. sz. (6) NÉMETH I.: Klímaváltozás és a magyarországi mezőgazdaság. „AGRO-21” Füzetek, 2004. 33. sz. (7) Biacs P. – KOCSONDI Csné – DOBOS Gy.: A magyar mező- és erdőgazdaság feladatai a klímaváltozás tükrében. „AGRO-21” Füzetek, 2004. 33. sz. (8) SZABÓ F. – ANDA A. – IVÁNYI K. – KOVÁCS A.: A globális felmelegedés várható következményei a legeltetésre alapozott szarvasmarhatartásban. „AGRO-21” Füzetek, 2003. 31. sz. (9) PÉP P.: Ötletbörze (vitaülés a „VAHAVA” projekt keretében folyó kutatásokkal kapcsolatban) „AGRO-21” Füzetek, 2004. 33. sz. (10) PATKÓS I.: Tartástechnológia a tehenészeti telepeken. Állattenyésztés és Takarmányozás, 1991. Tom. 40. No. 1. (11) PATKÓS I.: A Magyarországon üzemelő nagyüzemi tejtermelő telepek technológiai megoldásainak vizsgálata. Állattenyésztés és Takarmányozás, 1991. Tom. 41. No. 3. (12) PATKÓS I. – MUNKÁCSI L.: Tejtermelő családi gazdaságok tartástechnológiai Magyarországon. (Egy országos felmérés tapasztalatai) Állattenyésztés és Takarmányozás, 2003. 52. évf. 4. (13) MUNKÁCSI L. – PATKÓS I.: Tejtermelő családi gazdaságok tartástechnológiai Magyarországon. (A kiválasztott mintagazdaságok bemutatása és jellemzése) Állattenyésztés és Takarmányozás, 2003. 52. évf. 6.

A GLOBÁLIS FÖLMELEGEDÉSRŐL ÉS ÉGHAJLATVÁLTOZÁSRÓL EGY KISSÉ MÁS SZEMMEL

KOPPÁNY GYÖRGY

ÖSSZEFOGLALÁS

Az „AGRO-21” Füzetekben megjelent tanulmányokat olvasva egyre erősödött bennem az a meggyőződés, hogy gyakran kész tényekként fogunk fel olyan jelentéseket vagy inkább elképzeléseket, föltételezéseket, amelyek egyáltalán nem bizonyítottak. Az ontológiából ismert, hogy a képzetes lények köre hasonlíthatatlanul nagyobb, mint a valós lényeké. Elképzelhető egy öttalalatos lottószelvény, amelynek tulajdonosa nyert 50 millió forintot, a következő héten újra nyer 20–30 milliót, s ez így folytatódik négy héten át. Ennek van elméleti lehetősége, mert ha nem volna, talán senki sem lottózna. De hol van ez a realitástól? A valóságban 30–40 millió szelvény között akad néha egy öttalalatos. Az éghajlat jövőjét illető kérdések helyes megválaszolása – enyhe túlzással – hasonlóan nehéz feladat. Újra és újra szembe kell néznünk azokkal a kérdésekkel, amelyek a szakembereket és a közvéleményt egyaránt foglalkoztatják, mert egyáltalán nem biztos, hogy a többség véleménye vagy a megjelent közlemények kevésbé ellenőrzött állításai alapján dönthetjük el, mi is az igazság. Az alábbiakban megfogalmaztam négy kérdést, ami tapasztalatom szerint legtöbbször fordul elő az írott és elektronikus sajtóban. Ezekre a kérdésekre igyekeztem a legmegbízhatóbb válaszokat is megfogalmazni.

KÉRDÉSEK

1. Valóságos éghajlatváltozásnak vagyunk-e tanúi, vagy csupán divatos témáról esik szó lépten-nyomon?

2. Ha valódi éghajlatváltozás történik, annak az emberi tevékenység az okozója?

3. Ha bekövetkezik 2–4 °C-os globális melegedés, az tényleg katasztrofális lenne az élővilágra?

4. A Riói, Kiotói és Johannesburgi Konferenciákon miért foglalkoztak a világ vezető politikusai a lehetséges változások következményeivel és a teendők megválasztásával?

VÁLASZOK

1. Bizonyosan állíthatjuk, hogy az iparosodott országokban *az emberek életmódja gyökeresen megváltozott*. Vethetjük példának

hazánkat, ahol 60–70 évvel ezelőtt a lakoságnak mintegy 60%-a élt mezőgazdaságból, ma csupán 6,5%-a. Hazánk lakosságának ma már 65%-a város lakó. Számos európai és amerikai, esetleg afrikai, ázsiai országban hasonló változás történt az utolsó 100 évben.

Bizonyos, hogy a város lakó ember viszonya a természethez egészen más, mint azoké, akik a szabad természetben élnek és dolgoznak (pásztorok, földművesek, erdészek stb.). Szembe kell néznünk azzal a ténnyel, hogy *a hét 168 órájából az átlagos város lakó ember alig tölt egy-két órát a szabad természetben, távol a lakott területektől; élete legnagyobb részét mesterséges komfort környezetben tölti. Ezért számára minden időjárási szélsőség „szokatlan”*. A természettel együtt élő ember tudomásul veszi, hogy vannak szélsőségek: nyáron forróság, heves zivatar, felhőszakadás, vagy hosszan tartó szárazság; télen a hőmérséklet tág határok között ingadozik.

A szélsőségektől ő is szenved, de nem állítja, hogy „azelőtt ilyen »abnormális« időjárás nem volt”. Egyébként az „azelőtt”, „régiben”, „diákkoromban” igen tág időhatározó fogalmak. Ilyenkor azt szoktam kérdezni: „Melyik évben volt olyan »normális« időjárás?” Ez a kérdés váratlanul éri a panaszkodót, és türelmetlenül legyint, hogy ki a csoda emlékszik az évre. Pedig, ha évet is mond az illető, akkor egy meteorológus utána tud nézni az adatoknak, és kiderül, mennyire megbízható az emlékezetünk.

A szép, hangulatos havasi tájat bemutató karácsonyi vagy újévi üdvözlőlap is azt sugallja, hogy „azelőtt” a tél mindig havas volt. De további példák felsorolása nélkül is el kell ismernünk, hogy az *éghajlat megváltozásának emlegetése nagyon gyakran teljesen szubjektív, és hiányos emlékezeten alapszik*. 50 éves meteorológusi pályámon erről számtalanszor megbizonyosodhattam.

Réthly Antal 19 évszázadra visszamenőleg összegyűjtötte az időjárásra közvetlenül vagy közvetve utaló följegyzéseket, ezeket kronologikus sorrendbe és az események jellege szerint is rendezte. Munkájából életében két kötet jelent meg az Akadémiai Kiadó gondozásában, hátrahagyott följegyzéseiből halála után még két kötet született *Simon Antal* gondos munkája eredményeképpen (7, 8, 9, 10). E munkák említést tesznek azokról a műszeres mérésadatokról is, amelyek a 18. század végén vagy 19. század elején kezdődtek. Ezért nem csak fenomenológiai, hanem számszerű időjárási adatok is rendelkezésünkre állnak.

Klimatológusok körében régóta ismert tény, hogy a napóleoni háború éveiben rendkívül forró nyarak voltak. Ezeket bizonyítják a hazai mérések is: az 1807. évi augusztus, valamint az 1811. évi június rekord meleg hónapok voltak; ugyancsak kibírhatatlan forróság volt 1834 júliusában, amikor az ország több városában 40–45 °C meleget mértek (6, 9). De találunk ellenkező előjelű példát is: 1912. szeptember és 1913. augusztus közötti 12 hónap volt Budán a mérések kezdete (1780) óta a leghűvösebb

esztendő. Az ok: 1912. júniusban kitört Alaszkában a Katmai nevű vulkán, ennek hamuja nagy magasságokban szétterült a légkörben, gyengítve a talajra érkező napsugárzást. Nem csak a hőmérséklet volt szokatlan ezekben a hónapokban, hanem a felhőzet megnövekedése és a napsütéses órák feltűnő csökkenése is. A vulkánkitörést követő lehűlés a 40. és 50. északi szélességi zóna egészében is kimutatható volt.

Egyelőre tehát nem az úgynevezett globális melegedésről van szó, hanem a helyi vagy regionális éghajlat megváltozásáról, ami föltevésük szerint a globális melegedés következménye. Megvallom, hogy a helyi éghajlat megváltozásában kételkedem, hiszen semmi olyan nem történik napjainkban az időjárásban, amihez hasonló soha nem fordult volna elő a történelemben. Ha alaposan tanulmányozzuk éghajlatunk múltját, minden szélsőségre találunk példát, vagyis: „Nincs semmi új a Nap alatt.”

Természetesen vannak az éghajlatban fluktuációk. Igazak az amerikai távprognozistika megalapozójának, *Jerome Namias*-nak szavai: „A légkör egy nyughatatlan közeg, amelyben mindenféle átmeneti változások játszódhatnak le, nem csak óras vagy napos időskálán, hanem havi, évszakos, évtizedes és még hosszabb időskálákon egészen a jégkorszakokig.” Az éghajlat ingadozása azonban nem mai jelenség. És teljesen tévúton jár, aki egyetlen hatásra akar visszavezetni minden változást. Aki az emberi tevékenységre hivatkozva akarja megmagyarázni az éghajlat fluktuációit, nagyon izgalmas feladatra vállalkozik, legalább annyira fantáziadús feladatra, mint a *perpetuum mobile* feltalálása. Csak egy dolog hiányzik e vállalkozásból: a realitás.

2. Ezzel elérkeztünk második kérdésünkhöz: Ha ténylegesen kimutatható éghajlatváltozás történik, legelőször az emberi tevékenységre kell-e gondolnunk, mint kiváltó okra? A földtörténet során kialakuló és változó éghajlat kutatásával foglalkozó tudományág a *paleoklimatológia*, amelynek

eszköztárában szerepet kap a fizika, geokémia, ásványtan, csillagászat, dendrokronológia, pollenanalízis, glaciológia, régészet, őslénytan, oceanográfia, sőt a történelemkutatás is.

Több kutatócsoport egymástól függetlenül kimutatta a szerves karbonátos kőzetek felhalmozódásának vizsgálatával, hogy a földtörténet utolsó 570 millió évében, a Fanerozoikumban a jelenleginél jóval több szén-dioxid volt a légkörben. (A Fanerozoikum azért játszik kitüntetett szerepet az őségahajlat és őslénytan kutatásában, mert kb. 570 millió évvel ezelőtt jelentek meg az első makroszkopikus állatok a Földön.) Egyes földtörténeti korszakokban a légköri szén-dioxid tömege átmenetileg 10–15-szöröse volt a jelenleginek (2, 12). Ha a légköri szén-dioxid tömegét időarányosan súlyozva átlagoljuk, akkor azt kapjuk, hogy a Fanerozoikumban ez a tömeg ötszöröse lehetett a mostaninak.

A légköri CO₂ az utolsó 70, vagy még inkább az utolsó 40 millió évben kezdett csökkenni és közeledett a jelenlegi szinthez (PAL = present atmospheric level). A légköri CO₂ tömege jelenleg 2×10^{15} kg, a Fanerozoikum egyes korszakaiban elérte a 22×10^{15} kg-ot illetve 35×10^{15} kg-ot. A korok és becslések bizonytalansága ellenére bizonyosra vehetjük, hogy százmillió évvel ezelőtt a jelenleginél sokkal több szén-dioxid volt a légkörben. Ám fölvetődik a kérdés: hova lett a szén a légkörből? Erre elég egyértelmű a válasz: fokozatosan beépült a karbonátos kőzetekbe, illetve mészvázás állattak mészvázába. Egyes kutatók szerint (2) a karbonátos kőzetek nagy része az utolsó 40 millió évben a lemezttektonikai mozgások során szubdukció révén benyomódott a földképenybe, olyan mélységbe, ahol nem csak összetöredezett, hanem a hőségtől megolvadt, és magas hőmérsékleten a kőzetek nem tudják fogva tartani a szén-dioxidot. A nagy mélységben felszabaduló CO₂ egy része időnként a vulkáni kitérőések révén visszajut a légkörbe. Összehasonlításképpen: a légköri CO₂-ben lévő szén tömege 6×10^{14} kg, a

kőzetekben lévő szén tömege 5×10^{20} kg, vagyis az arány csaknem egy a milliéhoz.

Az ember a dolomitokban, mészkőben, márványban, korallzátanyokban elraktározott szenet nem tudja elégetni és visszajuttatni a légkörbe. Amit el tudunk égetni, az a fosszilis tüzelőanyag: szén, kőolaj, földgáz. De ennek fölhasználási lehetősége sem korlátlan, hiszen a kiaknázás egyre költségeesebb, pl. a kőolaj hordónkénti ára az 1974-es 3 USA dollárról 2004-re 36 USA dollárra emelkedett. Hasonló a helyzet a földgázzal és a szénnel is. Így a természet maga kényszeríti az embert arra, hogy a fosszilis tüzelőanyagot más, lehetőleg megújuló energiaforrásokkal helyettesítse. Az Európai Unióban hihetetlen mértékben növekszik a szélenergia hasznosításának aránya a villamosenergia termelésben, de a napenergia felhasználására is egyre több kísérlet történik. A szolárházak a napsugárzás racionális kihasználásával lehetővé teszik a háztartási energia 40–50%-ának megtakarítását. Célul tűzték ki, hogy 2020-ra az energiatermelés 20%-át megújuló energiaforrásokból állítsák elő.

A 19. században *Vásárhelyi Pál* munkásságával kezdődött a folyók szabályozása, továbbá a Kárpát-medence árterületeinek részleges lecsapolása. Ezt a munkát a század végéig generációk folytatták, aminek eredménye, pl. a Tisza folyóhosszának mintegy 32–38%-os rövidülése, az árterületek lecsapolása miatt pedig a terület tavaszi-nyári párolgásának 100 mm-rel való csökkenése (11). Az 1900-as évek elején kezdett elterjedni országszerte a hír, hogy a lecsapolások miatt a Kárpát-medence kiszárad, esetleg elsivatagosodik. A közvéleményt annyira sokkolta ez a hír, hogy *Réthy Antalnak* kellett a maga tekintélyével föllépni a hír cáfolatával. De maguk a tények is cáfolták a kiszáradás hiedelmét. Budán 1841 óta mérik rendszeresen a csapadékot, Szegeden 1854-ben kezdték mérni, de rendszeres mérés csak 1870 óta folyik az utóbbi helyen. A budai csapadék sorozat 1841 és 1990 közötti 150 évében a legnedvesebb 50 év 1891–1940

között volt, a legszárazabb 50 év pedig 1941–1990 között fordult elő. A legnedvesebb évtized 1931–1940, a legszárazabb évtized 1981–1990 volt. Szegeden hasonló eredmény állapítható meg (3). Az 1841–1890 közötti 50 év pedig a legnagyobb változékonyságával tűnt ki, pl. 1857 volt az eddigi legszárazabb év Budán éppúgy, mint Szegeden, de ugyanebben az 50 évben nagyon nedves évek is előfordultak. A mérések tehát semmiben sem igazolják a folyószabályozással összefüggésbe hozható kiszáradást.

Az emberi tevékenység jelentősen átalakíthatja a környezetünket, megváltoztathatja életmódunkat, a természethez való viszonyunkat, de az éghajlatot alakító természeti tényezők még mindig jóval hatékonyabbak. A földfelszínre érkező napsugárzás energiája csaknem öt nagyságrenddel nagyobb, mint az emberiség energiatermelése. Egy Európa nagyságú területen mozgó levegőtömeg mozgási energiája annyi, mint 130 milliárd (100 tengelyes) tehervonat mozgási energiája. A 20. század közepén az ember büszkén hirdette, hogy képes legyőzni a természet erőit, most pedig visszaretten tudományának hatalmától?

3. Végül említsük meg, hogy az általános cirkulációs modelleken (angol rövidítéssel GCM) végzett számítások reális eredményeket szolgáltatnak, amikor a 21. század végére 1–4 fokos általános melegedést jeleztek előre. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy minden régió hasonló módon melegedik, lesznek régiók, ahol ennél nagyobb melegedés következik be, máshol esetleg egyáltalán nem történik melegedés, vagy éppen ellenkezőleg, kissé hűvösebbre fordul az éghajlat. A globális melegedésnek éppen ez az egyik „pikantériája”, hogy a regionális változások nagyon bizonytalanok. Maradjunk most egyszerűség kedvéért a fölmelegedésnél. A kérdés az, hogy katasztrófálisnak kell-e tekintenünk az élővilág szempontjából a pár fokos melegedést?

Ha a makroszkopikus élőlények történetét tekintjük, akkor azt kell mondanunk, hogy a

meleg éghajlat az élővilág egészére nem jelent katasztrófát. A változások egyes fajok pusztulásával jártak, a megmaradó fajok azonban éppen jobb alkalmazkodó képességük miatt nem csak fennmaradtak, hanem diverzitásuk is növekedett. Az elmúlt 500 millió évben öt nagy pusztulás érte az élővilágot, legalábbis a tengeri élővilágot, hiszen ezek fossziliái tanulmányozhatóak a legjobban (1, 4). A pusztulást követően a fajok sokfélesége ismét növekedni kezdett, sőt az utolsó két esetben a pusztulás utáni sokféleség jóval meghaladta a pusztulást megelőző diverzitást.

A paleoklimatológiai vizsgálatok szerint a Fanerozoikum nagy részében a mainál jóval melegebb volt az éghajlat. Általánosan elfogadott megállapítás, hogy a legutolsó 570 millió év 90%-ában nem volt állandó sarki jégtakaró, és nem volt a maihoz hasonló hőmérsékleti ellentét a pólusok és az egyenlítő között. Sokkal jellemzőbb volt a szubtrópusihoz hasonló meleg éghajlat a Föld nagy részén. Általános eljegesedés volt a kambrium elején 570 millió éve, inkább csak a déli féltekére korlátozódott az úgynevezett permokarbon eljegesedés kb. 300 millió éve, és az egyik legjelentősebb eljegesedés a pleisztocénben következett be, amelynek egyik interglaciálisában élünk, tehát a Föld történetének egyik hideg éghajlatú korszakában. De maradjunk most annál a föltételezésnél, hogy a Föld a következő 100 évben melegedni fog. Ez változást jelent az élővilág számára, de nem katasztrófát. A makroszkopikus élővilág elterjedésekor is lényegesen melegebb éghajlat uralkodott a jelenleginél, tehát a meleg éghajlat nem pusztulást, hanem ellenkezőleg, szaporodást eredményezett.

De nézzük most az embert. Az ókori nagy kultúrák, mint a kínai, hindu, mezopotámiai, héber, föníciai, szábeus, egyiptomi, karthágói, görög, római kultúrák vagy birodalmak kivétel nélkül a meleg vagy forró éghajlaton alakultak ki, olyan területeken, ahol az évi középhőmérséklet 15–27 °C között alakul. Az ok valószínűleg az, hogy a meleg és

napfényben gazdag éghajlat kedvez a legkülönbözőbb haszonnövényeknek, mint a szőlő, rizs, füge, gyapot, olajfa, bors, szegfűszeg, babér, vanília, kávé, tea és számos illatszert vagy festékanyagot adó növény. A mérsékelt éghajlaton jóval később alakultak ki jelentős államok és kultúrák, amikor már a rómaiak elérték Angliát és Európa hűvösebb tájait, ahol be kellett vezetni a lakások fűtését. Talán nem járunk messze az igazságtól, ha föltételezzük, hogy a fűtése kultúra megjelenése tette lehetővé, hogy az ember nagyobb csoportokban kezdett letelepedni a mérsékelt és magas szélességeken, mint Közép-, Nyugat- és Észak-Európa. A meleg éghajlat tehát semmiképpen nem jelent katasztrófát az ember számára.

A Tények Könyve és a Földrajzi Világtalasz felhasználásával kiválasztottam a világ 50 legnagyobb népsűrűségű országát, illetve államát, ezek közül csupán négy van a mérsékelt szélességeken: Belgium, Hollandia, Anglia és Németország, a többi a 40–45. északi szélesség és a 20. déli szélesség között található, olyan területen, ahol az évi középhőmérséklet 15 és 27 °C között alakul. Ezek az adatok az 1990-es évekből valók, tehát a jelenkort reprezentálják. E nagy népsűrűségű országok fele mondható a közepesen magasabb életszínvonalúnak, tehát nem csak szegény országok tartoznak a legnagyobb népsűrűségűek kategóriájába (5, 13, 15).

(A legnagyobb népsűrűségű országok felsorolását és adatait tartalmazó táblázatok sajnos itt nem közölhetők, mert egy külföldi kiadó birtokában van a közlés joga.)

Végül szót kell ejtenünk a várható fölmelegedésnek a krioszférára gyakorolt hatásáról is. Több nemzetközi projekt foglalkozott a grönlandi és az antarktisi jégtakaró vizsgálatával (12, 14) annak a kérdésnek tisztázása érdekében, hogy a 19. század vége óta tapasztalt 0,6–0,8 °C-os általános melegedés milyen változást okozott a sarki jégtakarókban, továbbá a tengerszint változásában. Arra az eredményre jutottak, hogy Grönland jégtakarója alig változott az utolsó 100 év-

ben, az Antarktisz jégtömege pedig kissé növekedett ez alatt. A tengerszint változásához a hőtágulás az utolsó 90 évben kb. 6 cm emelkedéssel járult hozzá, a gleccserek olvadása kb. 2 cm-rel, Grönland szegélyének olvadása 0,2 cm-rel, az Antarktisz jégtömegeinek növekedése pedig –2 cm szintcsökkenést eredményezett az óceánban. Ezek a kutatási eredmények szöges ellentétben állnak a közhiedelemmel, amely szerint az óceán több méteres szintemelkedése nagy területeket fenyeget elöntéssel.

Hogy megértsük ezt az eredményt, figyelembe kell vennünk, hogy a tengerjég és a gleccserek széle közel van az olvadásponthoz, tehát néhány fokos melegedés, akár évszakos változás, akár évek közötti változás már olvadást, illetve visszafagyást okozhat. A legnagyobb hó- és jégtömegeket magukban foglaló sarki jégtakarók 2–3 ezer méter magas platóin az évi középhőmérséklet mélyen fagypon alatt van, Grönlandon –24, –29 °C, az Antarktison –49, –56 °C, így számottevő olvadásról szó sem lehet. A pár fokos melegedés azt eredményezi, hogy a levegő több vizgőzt képes befogadni, ezért a sarkvidéken több hó eshet, a hótakaró pedig az évtizedek múlásával növekedik. Más elbírálás alá esik a gleccserek és a tengerjég olvadása, és más kérdés a sarki jégtakaró változása.

A sarki jégtakaró és a tengerszint változás kérdésében tehát éles ellentét van a köztájékoztatás és a tudomány kutatási eredményei között. Ebben a szaktudományok képviselőinek és a sajtónak is sok korrigálni valója van.

A földtörténet során évmilliók teltek el anélkül, hogy állandó hótakaró lett volna a sarkvidékeken, a Föld éghajlata jóval melegebb volt a mainál, és az élővilág alkalmazkodott a meglévő viszonyokhoz. Ha egy változás az élővilág pusztulásához vezetne, akkor már rég nem volna élet a Földön. A legnagyobb „környezetszennyezés” kb. 600 millió évvel ezelőtt kezdődött a Földön, amikor gyarapodni kezdett a légkörben a szabad oxigén a víz alatt élő baktériumok fotoszinté-

zise termékeként. A szabad oxigén az addigi anaerob élőlények számára halálos méreg, ezért nagy részük el is pusztult, kisebb részük a mocsarak mélyén keresett menedéket. Ha akkor figyelte volna hozzánk hasonló „értelmes lény” a változást, akkor az élet pusztulását jósolta volna a Földön. Ugyanakkor a szabad oxigén gyarapodása lehetővé tette a lélegzéssel a „nagyobb-testű” állatok számára a mozgáshoz szükséges energia szerzését, továbbá megkezdődött a légköri ózon termelődése, amely a Nap UV sugaraitól védte a felszínen is megjelenő életet. Mély igazság rejtőzik az ősi taoizmus tanításában, amikor azt mondja: engedjétek a dolgokat a maguk természetére szerint működni, és akkor minden a maga helyére kerül. Ehhez követnünk kell a hármas jelszót: megfigyelés, következtetés, alkalmazás. Megfigyelés, előítéletek nélkül, gyermeki alázattal, ez teszi lehetővé a helyes következtetést, és a javunkat szolgáló alkalmazást.

4. Egy nemzetközi felmérés szerint a természeti csapások, 1999-es dollárral számítva, az 1950–1959 közötti évtizedben 38,7, az 1990–1999 közötti években kerekén 400 milliárd dolláros károkat okoztak. Ez azt jelenti, hogy fél évszázad alatt a természeti katasztrófák okozta károk bő tízszeresre növekedtek.

Az első magyarázat, amire gondolnánk az, hogy a természeti csapások ereje vagy gyakorisága megtízszereződött. Sokkal inkább arról van szó, hogy az ember által

felhalmozott értékek nőttek meg, ezért sebezhetőbb lett a világ. Talán vulgáris példa, de arra kell gondolnunk, hogy ha egy orkán elsodor egy nádkunyhót, egy 5–6 tagú brigád egy-két nap alatt újra felépíti, de ha egy infrastruktúrával ellátott lakóházat rombol le a vihar, a villany-, telefon-, víz- és gázvezetékek rendbe hozása sokkal tovább tart, és sokkal többe kerül. Az sem lehet véletlen, hogy a legnagyobb jólétben élő országok gondoskodnak legjobban a biztonságukról, mert sok a félteni valójuk.

Az emberi tevékenység hatásaival ezért kell sokoldalúan foglalkozni, ezért alakult meg az ENSZ Környezeti Programja (UNEP) és a Meteorológiai Világszervezet kezdeményezésére 1988-ban az IPCC, Kormányközi Keretegyezmény az Éghajlatváltozásról, amely három munkacsoportban készít helyzetértékelő jelentéseket, az elsőt 1991-ben, a másodikat 1996-ban, a harmadikat 2001-ben. Ezek a jelentések szolgálhattak munkadokumentum gyanánt a kérdésben említett csúcskonferenciákon. Már az UNEP megalakulása (1972) után egymást követték a nemzetközi egyezmények, amelyek bizonyos anyagok (CO₂, NO₂, SO₂, CHC) kibocsátását korlátozták, vagy betiltották forgalmazásukat. A vezető politikusok felelősek azért, hogy ne akkor hozzanak védekező döntéseket, amikor már bekövetkezett valami jóvátehetetlen baj, hanem szakértők bevonásával és tanácsaik meghallgatásával előre készüljenek fel a bajok elkerülésére.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BUDYKO, M. I. – GOLITSYN, G. S. – IZRAEL, Y. A. (1988): Global climatic catastrophes. Springer Verlag, Berlin. (2) BUDYKO, M. I. – RONOVA, A. B. – YANSHIN, A. L. (1987): History of the Earth's atmosphere. Springer Verlag, Berlin. 140 p. (3) KOPPÁNY Gy. (1993): Various types of changes in climatic series of Budapest and Szeged. Comparison with remote climatic stations. Acta Climatologica Univ. Szegediensis. Tom. XXVII. 17–26. pp. (4) KOPPÁNY Gy. (1996): Bevezetés a paleoklimatológiába. JATEPress, Szeged, 62. p. (5) KOPPÁNY Gy. (2003): „Climate Changes and their Influences on the Human History” in the Theme 1.4.1.1. (Ed. A. Yotova) in Encyclopaedia of life support systems, Eols Publisher Co. Oxford, UK. (6) RÉTHLY A. (1947): Budapest éghajlata. 148 p. A Budapesti Közp. Gyógy- és Üdülöhelyi Bizottság Kiadványa. (7) RÉTHLY A. (1962): Időjárás események és elemi csapások Magyarországon 1700-ig. 450 p. Akadémiai Kiadó, Budapest. (8) RÉTHLY A.

- (1970): Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1701–1800-ig. 622. p. Akadémiai Kiadó, Budapest. (9) RÉTHLY A. (1998): Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1801–1900-ig. I. kötet, 616. p. (Feldolgozta Simon A.). Orsz. Meteor. Szolgálat. (10) RÉTHLY A. (1998): Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1801–1900-ig. II. kötet, 1370. p. (Feldolgozta Simon A.). Orsz. Meteor. Szolgálat. (11) A XIX. századi folyószabályozások és ármentesítések földrajzi és ökológiai hatásai. 2000. MTA Földrajztudományi Intézet, 165–173. pp. (12) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of W.G. I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 880. p. (13) Földrajzi világlátás (1992). Kartográfiai Vállalat. (14) Glaciers, ice sheets and sea level: Effect of CO₂ induced climatic change. (1985). Washington D.C. 363 p (15) Tények könyve '97. Szerkesztette Kereszty A., Greger-Delacroix, 736. p.

THE CONSTITUTIONAL BASIS OF CATASTROPHE PREVENTION

By
LENKOVICS, BARNABÁS

Prevention of catastrophes, especially those that are avoidable, has an extensive EU legislative and constitutional background. The European Union is based on three pillars: freedom, justice and solidarity. Freedom, like in every free market economies in the world, is guaranteed by the legitimacy of private property, although due to differences in the nature of private property arising out of its ability of overcoming and tolerating damages and catastrophes, the principles of directorship and solidarity are enhanced in this section of the law. Justice requires that those who give rise to greater risks should shoulder a greater burden in prevention and a greater coverage of the costs of possible damages. Similarly social solidarity with those wanting due to catastrophe should be created or enhanced.

In Hungary the creation of a National Fund for the Prevention of Catastrophes may be one of a number of possible ways for covering the costs of damages. Therefore those who are to contribute to the fund, those who may benefit from the fund and the authority who would administer it should be urgently identified.

THE EMISSION OF GREENHOUSE GASES IN THE UNITED STATES IN 2002

By
NAGY, ÁRPÁD ZOLTÁN

The Energy Policy Act of 1992 of the USA requires that every year a national inventory of aggregated emissions of all greenhouse gases have to be prepared. According to the study cited in the title, the tenth edition in chronological order, in 2002 in all 6892 million tons of carbon dioxide equivalent greenhouse gases were released as a result of human activities. This amount exceeds that in the 1990 inventory (6156 million tons) by 10.9%. The average yearly increase was 0.9%. From equivalence of greenhouse gas emissions, the actual amount of carbon dioxide (CO₂) emitted was 5796 million tons, which was equivalent to 1581 million tons of coal burnt.

THE ROLE OF HUNGARIAN ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE MEASUREMENTS IN DEVELOPING CLIMATIC MODELS

By
HASZPRA, LÁSZLÓ – BARCZA, ZOLTÁN

Various programs of measurements, extensive international monitoring networks provide the foundations for the frequently cited climate models in these days. In this study we describe the measurements made in this field by investigators in the Department of Meteorology, Eötvös Lóránt University of Budapest and the National Meteorological Service. Since the beginning of measurements (1981) atmospheric carbon dioxide concentrations in Hungary, as in the rest of the world, increased by 10%. According to direct measurements of the carbon dioxide exchange between the biosphere and atmosphere, the vegetation in the environment near monitoring stations absorbs more carbon dioxide than it liberates, taking up a part of the carbon dioxide released by burning fossil fuels (34-84g/m²/year). However, this process is extraordinarily sensitive to atmospheric conditions. Due to the especially hot and dry year of 2003 the vegetation-soil system has actually turned into a net source of carbon dioxide (68 g C/m²/year).

GLOBAL CARBON CYCLE ILLUSTRATED BY TECHNIQUES USING A STABLE CARBON ISOTOPE

By
DEMÉNY, ATTILA

Human responsibility for rising CO₂ concentration in the atmosphere and consequent global climatic changes is a most intriguing issue of contemporary society and a topical subject of research. Acceptance of the proofs of human influence and introduction of the appropriate measures for dealing with the consequences are up to political decision makers, but the collection of reliable scientific data concerning the mechanisms involved and its consequences is the responsibility of research scientists. An important finding of scientific research was the discovery of a relationship between global carbon cycle and climatic changes that has been accomplished by geochemistry combined with isotope studies. The present paper describes the use of techniques involving stable isotopes in geochemistry. As a detailed coverage of this topic is beyond the limits of this paper, a general survey of possible applications has been attempted. The theoretical bases are described first and the global carbon cycle as monitored by techniques involving stable isotopes is outlined next. Finally, examples are given to illustrate cases of applications in domestic as well as worldwide conditions.

CLIMATE CHANGES AND THEIR EFFECTS ON CROP CULTIVATION PROCEDURES

By
HARNOS, ZSOLT

The effects displayed are not proven, but are based on suppositions; therefore, no inferences can be drawn from them. Why are they so important nevertheless? The answer is simple: international research findings and observations are increasingly ascertaining changes in climate, global warming. The rate and extent of global warming is controversial, but the tendency is unambiguous. Hungary lies on the border of climatic zones and plant cultivation belts, therefore even relatively small changes will significantly alter the country's agro-ecological conditions. This is also born out of our calculations for growing cereals and potato. Unfortunately the expected changes are in the wrong direction.

In our calculations we did not take into account changes in species and in agro-technology, which together may compensate for the negative effects of climate changes. To realize defensive measures in good time we have to prepare now. This assigns some significant tasks to research workers. It would be important to develop and accomplish a well-planned program. If we begin to deal with the problems of climate changes after the effects are felt to a significant extent, it may be too late to avoid damages to our country that could have prevented with conscious preparation.

RELATIONSHIPS BETWEEN CLIMATE VARIATIONS AND ARABLE CROPS YIELDS

By
SZÁSZ, GÁBOR

The annual yields of arable crops vary a great deal because of varying weather conditions. Domestic crop ranges possess a property of two components: a rising trend in yields due to the application of improved cultivation methods on the one hand and variability around the mean yield due to variable weather conditions on the other hand. The trend may be characterized by annual increases in crop yields (tons/ha/year). The gradient of trend depends on the plant species employed. The present studies covered mainly the trends in wheat and maize yields and the variability around the trends (based on 1961-1980 crop yields). Values of annual crop yields were derived from 23 soil-regions. The rising trends in wheat yields in this country varied from 0.06 to 0.20 tons/ha/year and that of maize from 0.10 to 0.25 tons/ha/year, depending on soil type. Variability in crop yields around the mean trend was caused by lack of precipitation. Investigations revealed that precipitation in Hungary has declined significantly; only the extent of reduction varies from one region to another. The decrease in precipitation in the 20th century was on average 0 to 20mm. The mean value for the country was around 35mm, somewhat smaller for the northern regions and a little higher for the southern regions. Agro-technical conditions increase the absolute value of variability in crop production rates but decrease the relative value. Variability depends primarily on natural water supplies. At equivalent levels of climatic drought, plants requiring more water

suffer greater variability in yields, therefore variability in maize production yields increases with decreasing precipitation. Wheat is less sensitive to variability in precipitation. Variability is best characterized by the coefficient of variation (CV). As it is a dimensionless quantity, the CV can be used to compare variability in various plant species and strains. Both regional average values and controlled crop cultivation experiments indicated that variability in production yields could be moderated by up-to-date natural technology.

In this project we developed a complex, statistical model for calculating the magnitude of variability in crop yields year by year as function of climatic parameters. The coefficient of correlation between calculated and observed variability values ranged between 0.85 and 0.95. These statistical analyses indicated that this method could be used to trace the peculiar manifestations of climatic changes in terms of variability in crop yields. Changes in climate are reflected in terms of fluctuations around a given trend, within which extreme values increase in number, the variability in temperature rises whereas variability in precipitation shifts to lower value ranges. This model is capable to reveal the characteristic effects in a given year in terms of crop yields. It should be mentioned that primarily an increase in the frequency of droughts in recent decades caused the extreme variability in crop yields. This is a proven phenomenon for both this country and Central Europe.

This study shows that alterations in the environment (projected changes in climate among other factors) will inevitably lead to increased fluctuations in crop yields, indicating undoubtedly that the continuing vitality of plant organisms depends and has at all times and places at some probability level depended on the climatic environment.

CLIMATIC EFFECTS RELEVANT TO CATTLE HUSBANDRY

By
PATKÓS, ISTVÁN

In cattle husbandry, it is especially important to prepare early for anticipated climatic changes because returns of large investments may be realised relatively late. For this purpose, it is relevant to exploit international experiences – especially of tropical countries. Requirements of litter, straw and its substitution, i.e. box-floor constructions are of special interest. Dairy stables and plants to be planned will serve as models in meeting the expected challenges of cattle husbandry.

VARIOUS OPINIONS ABOUT GLOBAL WARMING AND CLIMATIC CHANGES

By
KOPPÁNY, GYÖRGY

In mass media as well as in some technical literature, news, assumptions and theories are frequently accepted as undeniable and proven facts. But the truth is not necessarily the same as the opinion of the majority. Therefore experts and investigators are again and again confronted with the questions: what are mere speculations and what are the proven facts?

This study poses three questions and attempts to give the most reliable answers. These questions are, as follows:

1. Are we really witnessing an actual climatic change or is the alleged change only a fashionable topic?
2. If a real climate change is on its way, is it because of human activities?
3. If global temperature increase by 2-4 °C, would it bring about a real catastrophe in the biosphere?

CONTENTS

STUDIES

| | |
|---|----|
| <i>Lenkovic, Barnabás</i> : The constitutional basis of catastrophe prevention | 3 |
| <i>Nagy, Árpád Zoltán</i> : The emission of greenhouse gases in the United States in 2002 ... | 8 |
| <i>Haszpra, László – Barcza, Zoltán</i> : The role of Hungarian atmospheric carbon dioxide measurements in developing climatic models | 13 |
| <i>Demény, Attila</i> : Global carbon cycle illustrated by techniques using a stable carbon isotope | 27 |
| <i>Harnos, Zsolt</i> : Climate changes and their effects on crop cultivation procedures | 38 |
| <i>Szász, Gábor</i> : Relationships between climate variations and arable crops yields | 59 |
| <i>Patkós, István</i> : Climatic effects relevant to cattle husbandry | 78 |

DEBATE

| | |
|---|----|
| <i>Koppány, György</i> : Various opinions about global warming and climatic changes | 82 |
| Summary | 89 |

SZÁMUNK SZERZŐI

Barcza Zoltán, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék egyetemi adjunktusa (1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/A, Tel.: 209-0555/6603 mellék, Fax: 372-2904, E-mail: bzoli@elte.hu)

Demény Attila, az MTA Földtudományi Kutatóközpont Geokémiai Kutatólaboratórium tudományos főmunkatársa, osztályvezető (1112 Budapest, Budaörsi út 45., Tel.: 319-3119, Fax: 319-3137, E-mail: demeny@geochem.hu)

Harnos Zsolt, akadémikus, a BCE Kertészettudományi Kar Matematika és Informatika Tanszék egyetemi tanára, tanszékvezető, rektorhelyettes (1118 Budapest, Villányi út 29-43., Tel.: 372-6261, Fax: 466-9273, E-mail: matiti@omegakee.hu)

Haszpra László, az Országos Meteorológiai Szolgálat vezető főtanácsosa (1181 Budapest, Gilice tér 39., Tel.: 346-4816, Fax: 346-4809, E-mail: haszpra.l@met.hu)

Koppány György, a Szegedi Tudományegyetem Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék ny. egyetemi tanára (6720 Szeged, Dózsa Gy. u. 10., Tel.: 62/312-874, E-mail: koppany@geo.u-szeged.hu)

Lenkovics Barnabás, az Állampolgári Jogok Országgyűlési Biztosa (1051 Budapest, Nádor u. 22., Tel.: 475-5121, Fax: 269-3544, E-mail: lenkovics@obh.hu)

Nagy Árpád Zoltán, ny. egyetemi tanár (1121 Budapest, Eötvös út 53/B. 14., Tel./Fax: 395-2300, E-mail: aznagy@sunserv.kfki.hu)

Patkós István, a Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Főiskolai Kar Üzemtani Tanszék professor emeritusa (5400 Mezőtúr, Petőfi tér 1., Tel.: 56/350-989, Fax: 56/350-465, E-mail: mityok@mfk.hu)

Szász Gábor, a DE-ATC Agrometeorológiai Obszervatórium professor emeritusa (4032 Debrecen, Böszörményi út 138., Pf. 36, Tel.: 52/413-850, Fax: 52/413-385, E-mail: gszasz@helios.date.hu)