

LÉGKÖRI SZÉN-DIOXID-MÉRÉSEK MAGYARORSZÁGON

Haszpra László

PhD, Országos Meteorológiai Szolgálat
haszpra.l@met.hu

Barcza Zoltán

PhD, ELTE Meteorológiai Tanszék
bzoli@elte.hu

Bevezetés

Már a 19. század közepén ismert volt, hogy bolygónk felszínének átlaghőmérséklete lényegesen magasabb, mint ami pusztán a közvetlenül elnyelt napenergia alapján várható lenne. Az üvegházhatás néven ismertté vált jelenség lényege, hogy a Föld hőmérsékleti kisugárzásának hullámhossztartományában a légkör nem átlátszó. Egyes légköri nyomanyagok (üvegházhatású gázok, bizonyos aeroszolrészecskék) a felszínről távozni próbáló energiát elnyelik, és részben visszasugározzák a felszín felé. Az ily módon csapdába esett energia addig emeli a felszín hőmérsékletét, amíg a Napból érkező és a világűr felé távozó energia ki nem egyenlíti egymást. Adott napsugárzás mellett a Föld éghajlata a légköri üvegházhatástól, valamint a felszínről, illetve a légkörből visszavert napsugárzás mértékétől függ. Elméletileg az üvegházhatású anyagok légköri mennyiségének bármilyen megváltozása törvényszerűen a globális éghajlat megváltozásához vezet. A kiváltott éghajlatváltozás mértékének megbecslése azonban a kölcsönhatások és visszacsatolások bonyolult rendszere miatt nem egyszerű.

A légköri üvegházhatás körülbelül 85 %-át a vízgőz (H_2O) és a szén-dioxid (CO_2) okozza, nagyjából 3:1 arányban. Kisebb

jelentőségű a metán (CH_4), a dinitrogén-oxid (N_2O) és az ózon (O_3) hatása. A vízgőz 13 billió tonnára becsülhető légköri mennyiségét az ember legfeljebb csak más folyamatokon keresztül (párolgás, csapadékképződés), közvetve befolyásolhatja. A többi üvegházhatású gáz mennyisége jóval kisebb, összesen sem teszik ki a légkör 400 milliomod térfogatrészét (ppm = *parts per million*, 1 ppm = 0,0001 t%). Ezért mennyiségüket az ember számottevően módosíthatja, veszélyeztetve így a Föld éghajlatának a bioszféra szempontjából kulcsfontosságú stabilitását.

Építőanyag, tűzifa, mezőgazdasági területek nyérése céljából az emberi civilizáció kezdetei óta folyik az erdőségek irtása, amely közvetlenül (égetés, lebomlás) vagy közvetve (például a talaj szervesanyag-tartalmának csökkenése) szén-dioxidot juttatott a levegőbe. A középkortól egyre nagyobb méreteket öltött a fosszilis szén égetése. A 18. századtól, az ipari forradalom kibontakozásával gyors ütemben nőtt a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása. Kezdetben elsősorban a széné, később megjelent a kőolaj és a földgáz is. A lényegében folyamatos növekedés mellett a fosszilis tüzelőanyagok égetésével a légkörbe bocsátott szén-dioxid évi mennyiség napjainkra elérte a 23 milliárd tonnát, amelyhez még körülbelül 6-7 milliárd tonna járul a főleg a trópusokon

folyó erdőirtások következtében (Prentice et al., 2001).

Az antropogén szén-dioxid-kibocsátás éghajlati veszélyére először több mint száz éve Svante Arrhenius (1896) hívta fel a figyelmet, és az első hőmérséklet-változás becslések is közel hetvenévesek (Callender, 1938). A léggöri szén-dioxid-mennyiség folyamatos mérése azonban csak a megfelelő pontosságú mérési módszer kidolgozása után, az 1957/1958-as Nemzetközi Geofizikai Év kapcsán indult meg.

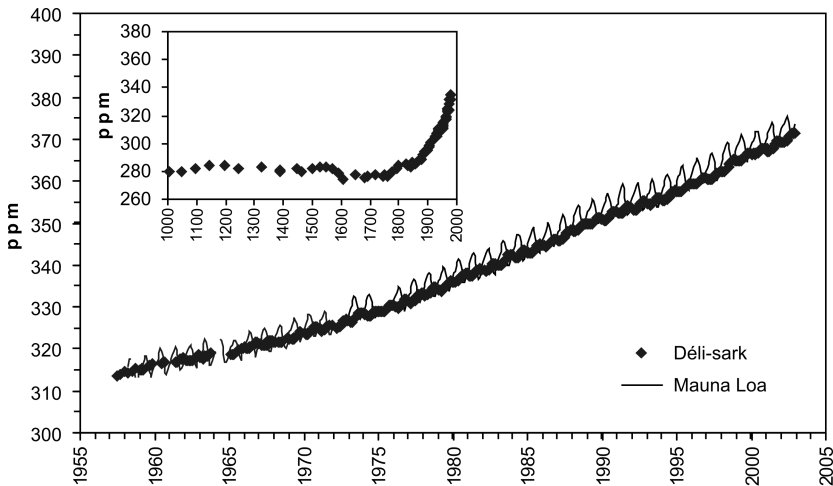
A hazai szén-dioxid-mérések története

A rendszeres mérések kezdetén a léggör szén-dioxid-koncentrációja körülbelül 314 ppm volt, amely jól kimutatható módon már a mérések kezdetekor átlagosan 0,7 ppm-et emelkedett évente. Az infravörös elnyelésen alapuló mérés technika jóvoltából a sarkvidéki jégbe fagyott légbuborékok összetételének elemzésével hosszú időre visszamenőleg is meghatározhatóvá vált a léggör szén-dioxid-tartalmának alakulása (1. ábra). Az adatok azt mutatták, hogy a legutolsó eljegesedés

lezárulta után a szén-dioxid-koncentráció 270-280 ppm körül stabilizálódott, ez az ipari forradalom kibontakozásával, a 18. század közepe táján indult észrevehető növekedésnek. A léggöri szén-dioxid izotóp-összetételében bekövetkezett változások jelzik, hogy ez a növekedés alapvetően a fosszilis tüzelőanyagokból felszabadított szénnek köszönhető. A felhasznált tüzelőanyagok mennyiségének és a léggöri növekedés mértékének összevetéséből azonban az is kiderült, hogy a kibocsátott szén-dioxid-mennyiség nem marad teljes egészében a léggörben, hanem egy része valamilyen módon távozik onnan.

A léggöri szén-dioxid-mennyiség potenciális éghajlatmódosító szerepére való tekintettel az 1960-as, 1970-es években egyre több helyen kezdődtek meg a mérések. A CO₂-koncentrációmérés kötelező feladatává vált a Meteorológiai Világszervezet (WMO) háttérlevegőszennyezettség-mérő alapállomásainak.

A vegetáció ciklikus fotoszintézise-respirációja, a növényállomány aktivitásának éven



1. ábra • A léggör szén-dioxid-tartalmának alakulása az elmúlt ezer évben antarktisi (Taylor Dome) jégminták, illetve a legutóbbi közel ötven évben végzett közvetlen léggöri mérések alapján (Forrás: Carbon Dioxide Information Analysis Center [CDIAC] – <http://cdiac.esd.ornl.gov>)

belüli változása a helyi légköri szén-dioxid-koncentrációban jelentős ingadozást okoz. Ezért a hosszú távú légköri változások nyomon követésére létesített mérőállomásokot 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 (növényzet!) csak egy-két helyen indítottak méréseket. Ezen helyek egyike volt az Országos Meteorológiai Szolgálat K-pusztai (46°58'N, 19°33'E) mérőállomása, ahol a WMO támogatásával 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 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). Mindez jelentősen felértékelte a kontinentális mérőhelyek, köztük K-pusztai, szerepét, és megindult e korábban ellenjavaltnak tekintett területeken az állomások telepítése.

Az egyszerű koncentrációmérések képet adnak a légköri változásokról, de nem adnak információt a változások okairól. A kontinentális nyelő mibenlétének, működésének tisztázásához olyan mérésekre is szükség volt, amelyekkel a felszín és a légkör közötti CO₂-áram meghatározható. Kihasználva a

meglévő mérési tapasztalatokat és a tudományos együttműködések támogatására ekkor alakult Magyar-Amerikai Közös Alap (MAKA) nyújtotta lehetőségeket 1992-ben az Országos Meteorológiai Szolgálat és az Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Óceán- és Légkörkutató Hivatala (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) közös tervet dolgozott ki a magyarországi méréseknek az újonnan felmerült tudományos igények szerinti továbbfejlesztésére.

A mérések minél nagyobb területi reprezentativitásának eléréséhez magas mérőtornyra lett volna szükség, ami K-pusztán nem áll rendelkezésre. Tekintettel a pénzügyi források korlátos voltára, csak már létező torony felműszerezése jöhetett szóba. Számos szempont (magasság, légáramlás homogenitása, közvetlen antropogén szennyezőforrások hiánya stb.) mérlegetése után az Antenna Hungária Rt. hegyhátsáli adótornyára esett a választás (46°57'N, 16°39'E, 248 m).

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. A rendszer alapjául a NOAA 1992-ben Észak-Karolinában létrehozott mérőrendszere szolgált. A hegyhátsáli változat kidolgozása és megépítése egy évet vett igénybe. Így 1994 szeptemberében kezdhetette meg működését az első magas mérőtornyos, kifejezetten a regionális bioszféra-légkör széncsere hosszú távú megfigyelésére létrehozott európai állomás.

A mérések során kiderült, hogy viszonylag gyakran alakul ki a légkörben olyan rétegződés, amely ilyen magasságú mérőtorny esetén a hasonlósági elméletre épülő ún. *profil-* vagy *gradiensmódszer* alkalma-

zását, és így a CO₂-áram meghatározását lehetetlenné teszi. Ennek a problémának a kiküszöbölésére 1997-ben az ELTE Meteorológiai Tanszékének közreműködésével az *eddy-kovariancia (EK) módszer* alkalmazásához szükséges műszeregyüttest telepítettünk a torony 82 m-es szintjére. Koncentráció-profil mérések nélkül azonban ez a rendszer önmagában hamis adatokat szolgáltat akkor, amikor a légkör alsó részének a függőleges keveredést akadályozó stabilis rétegződése a mérőrendszert időlegesen elzárja a felszíni hatásoktól. Ezért a magas mérőtornyokon a kétféle mérőrendszer párhuzamos működtetése ajánlatos (Haszpra et al., 2001)

Az 1990-es évek második felében jelentek meg az első olyan tanulmányok, amelyek az inverz modellek alapján már számszerű becslést is adtak az északi félgömb mérsékelt égövi vegetációjának nettó szénfelvételére (például Ciais et al., 1995ab; Keeling et al., 1996; 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. Mindez a *Kiotói Jegyzőkönyvben* foglaltak teljesítése során figyelembe vehető bioszférikus nyelők definiálásának pontosítását igényelte.

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 alkalmazásuk pedig jelenleg értelmetlen. Az egyes növényállományokra vonatkozó mérési adatok nagyobb területekre való általánosítása szintén a használhatatlanságig növelheti a becslés hibáját (eltérő talajtípus, víz- és tápanyag-ellátottság, éghajlati viszonyok stb.). 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 a magas tornyokon végzett regionális skálájú mérésekkel, továbbá az ennél sokkal költségesebb, gyakori repülőgépes mérésekkel lehetne összhangba hozni.

A bioszféra szerepének tisztázására, a folyamatok megértésére a közelmúltban világszerte megindult a magas mérőtornyokból álló mérőhálózatok kiépítése. A remélhetőleg egyszer jogi értelemben is hatályba lépő *Kiotói Jegyzőkönyv* előírásainak betartását (nemcsak a szén-dioxidra, hanem az egyéb üvegházhatású gázokra vonatkozóan is) hitelet érdemlő módon ellenőrizni kell. A feladat ismét csak a magas tornyokon illetve részben repülőgépekkel végzett, regionális reprezentativitású mérésekkel oldható meg. Az Európai Unió 5. Kutatási-Fejlesztési Keretprogramjában 2002 végén indult CHIOT-TO (*Continuous High-precision Tall Tower Observations of greenhouse gases*, kiejtése [khiotto]) révén szójáték is) projekt kilenc magas mérőtornyokból álló európai hálózat kiépítését tűzte ki célul, amelyeken a legfontosabb nem-CO₂ üvegházhatású gázok (metán, dinitrogén-oxid, kén-hexafluorid) folyamatos megfigyelése is megvalósul. A havi rendszerességű, 3250 m-ig terjedő repülőgépes mérések pedig a szintén az EU 5. Kutatási-fejlesztési Keretprogramja által támogatott AEROCARB (*Airborne European Regional Observations of the Carbon Balance*) projekt keretében indult meg, és jelenleg a 6. Keretprogram részét képező CARBO-EUROPE Integrated Projecten belül folyik. Hegyhátsál az európai magas mérőtornyok tervezett hálózatának egyik már létező eleme, ahol a mérési program kiegészítése a nem-CO₂ üvegházhatású gázokkal 2004 végére befejeződik. Egyike annak a tervezett három

mérőhelynek, ahol 2005 végétől átlagosan heti két repülőgépes mérésre is sor kerül.

Mivel a felszín (talaj+vegetáció) és a légkör közötti szén-dioxid-cserét számos környezeti tényező befolyásolja, a hegyhátsági mérőállomást az évek során apránként, az anyagi lehetőségek függvényében, számos légköri és talajparaméter mérésére (fotoszintetikusan aktív besugárzás, globálsugárzás, sugárzási mérleg, talajhőmérséklet, talajnedvesség stb.) is felkészítettük. Megfelelően hosszú adatsorok birtokában lehetőség lesz az összefüggések feltárására, a jövőben várható éghajlati változások szén-dioxid-körforgalomra gyakorolt hatásának, ennek a fontos visszacsatolásnak az értékelésére.

A légköri szén-dioxid-koncentráció változása a hazai mérések tükrében

A vegetációval borított kontinentális területeken kis földrajzi magasságban (tehát nem hegycsúcsokon) végzett légköri szén-dioxid-mérések egyik sajátossága a nappali és éjszakai órák adatainak eltérő reprezentativitása. Éjszaka, a felszín lehülése miatt kialakuló hőmérsékleti inverzió akadályozza a légkör függőleges átkeveredését, ezért a vegetáció respirációjából és a talajban zajló bomlási folyamatokból származó szén-dioxid a felszín közelében felhalmozódik. A légkörbe 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 elzárta, a koncentráció az éjszaka folyamán lényegében változatlan marad.

Nappal, a felszín felmelegedése által keltett függőleges turbulens légáramlatok a légkör esetenként 2 km-nél is vastagabb rétegét keverik át. Az éjszakai kibocsátáshoz hasonló

magyságsrendű szén-dioxid-felvétel ebben a vastag légrétegben csak csekély koncentrációcsökkenést 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 kora délutáni órák adatait célszerű felhasználni.

Magas hegycsúcsokon, óceáni szigeteken a légkör 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 feldolgozásakor, értékelésekor erre a légköri rétegződés napon belüli változása okozta torzításra figyelemmel kell lenni.

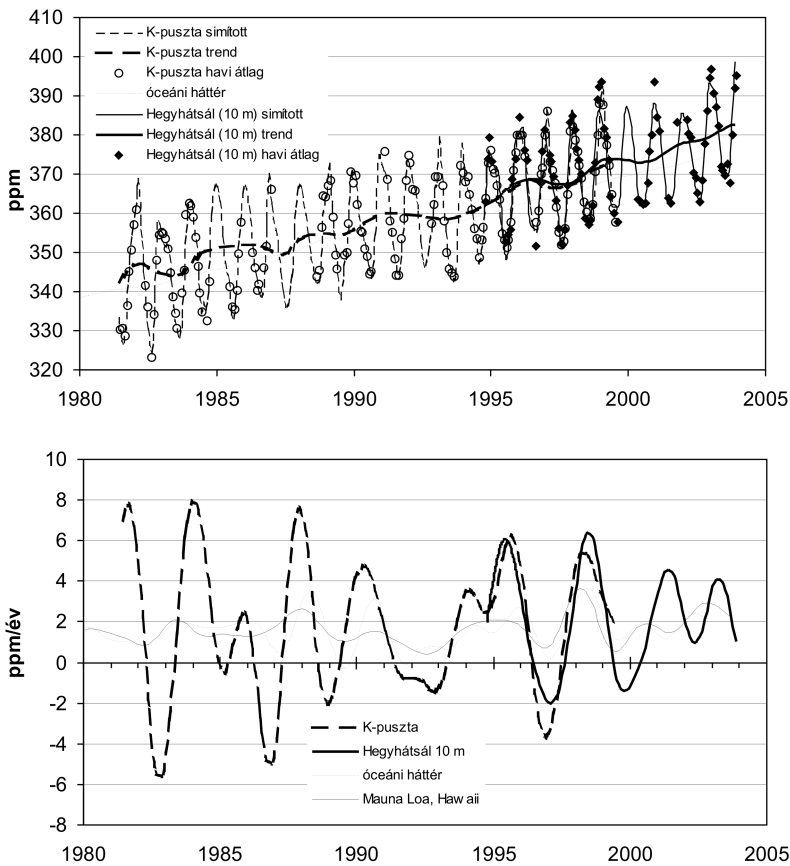
A magyarországi, repülőgépes mérésekkel kiegészített toronymérések, valamint az amerikai magas tornyokon végzett megfigyelések azt jelzik, hogy a 100 m magasságban a kora délutáni órákban végzett koncentráció-mérések 1-2 ppm-es pontossággal képesek becsülni a 1,5-2 km vastag planetáris határréteg átlagos viszonyait. Ennélfogva ezek a kontinentális mérőhelyek még a durva térbeli felbontású modellek számára is képesek elfogadható pontosságú adatokat szolgáltatni.

Az 1999-ben megszűnt K-pusztai és az 1994-ben indult hegyhátsági mérések a helyi vegetáció által keltett „zaj” ellenére hűven tükrözik a globális légkörben végbement változásokat (2. ábra). A növekedési ütem

ben tapasztalható változások lényegesen nagyobbak annál, mint ami a meglehetősen egyenletes antropogén kibocsátás számlájára lenne írható. A változások ugyanakkor jól korrelálnak a Csendes-óceán egyenlítői térségében időnként kialakuló tenger-víz-hőmérséklet anomáliával, az El Niño jelenséggel. Az ingadozások a kontinentális területeken, így Magyarországon is nagyobbak, mint a jelenség által közvetlenül érintett csendes-óceáni térségben. Ez azt jelzi, hogy a

megfigyelt ingadozások háttérében az óceáni folyamatokon túlmenően jelentős szerepet játszik az éghajlati zavar által megbolygatott bioszféra, illetve a globális cirkuláció átmene-ti megváltozása (Murayama et al., 2004).

A kora délutáni órákban végzett CO₂-mérések területi reprezentativitása alapján feltételezve a K-pusztai és a hegyhátsáli mérési sorok egymáshoz illeszthetőségét megállapíthatjuk, hogy 1981 közepétől 2004 elejéig a léggör szén-dioxid-koncentrációja



2. ábra • A léggöri szén-dioxid-koncentráció trendje és növekedési üteme a kora délutáni órákban (12–16 h) K-pusztán és a hegyhátsáli tornyon 10 méter magasságban végzett mérések alapján. Az ábrákon feltüntetjük az állomások földrajzi szélességére becsült óceáni háttér-koncentrációt és növekedési ütemét, valamint a Mauna Loa Obszervatóriumban (Hawaii) észlelt növekedési ütemet.

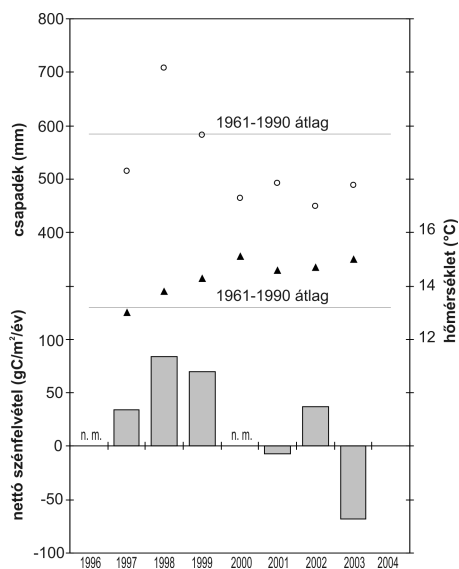
343 ppm-ről 383 ppm-re emelkedett. A szeszélyes ingadozások mellett kialakult 1,77 ppm/év-es átlagos növekedési ütem összhangban van a világ más részein ugyanabban az időszakban észlelt értékekkel. A Magyarországon mért koncentráció az 1995 és 2002 közötti időszakban átlagosan 3,7 ppm-mel volt magasabb, mint az állomás földrajzi szélességére becsült óceáni háttérérték. A Magyarország földrajzi szélességére becsült óceáni háttér-koncentráció mintegy 1 ppm-mel magasabb a Mauna Loa Observatóriumban mértnél, és körülbelül 3,5 ppm-mel magasabb a déli-sarkinál. Ezek az eltérések alapvetően annak köszönhetőek, hogy az antropogén források zöme az északi félgömb mérsékelt övi területeire, ezen belül is elsősorban Európára és Észak-Amerikára koncentráldódik.

Összehasonlítva az 1,77 ppm/éves növekedési ütemet az 1950-es évek végén, 1960-as évek elején mért 0,7 ppm/év körüli értékkel, a növekedés gyorsulása meglehetősen jelentős. Az elmúlt húsz évben nagyjából annyival emelkedett a légkör szén-dioxid-tartalma, mint az ipari forradalom kibontakozásától a rendszeres légköri szén-dioxid-mérések megkezdéséig tartó mintegy kétszáz évben. Koncentrációja ma globálisan mintegy 35%-kal magasabb, mint a 18. században volt, és nagy valószínűséggel magasabb, mint bármikor az elmúlt 20 millió évben (Prentice et al., 2001).

A bioszféra szén-dioxid-forgalmának alakulása

A hegyhátsági adótomyon 1994-ben kezdett függőleges koncentrációprofil-mérések a korábban már említett okok miatt nem tették lehetővé a felszín és a légkör közötti szén-dioxid-csere megbízható becslését. Ezért a tomyot övező ökológiai rendszerek nettó szén-dioxid cseréjére (net ecosystem exchange – NEE) csak 1997-től tudunk megbízható adatokat adni. A szén-dioxid-áram

mérésének első három évében (1997-1999) a közvetlenül reprezentált, körülbelül 200 km²-es terület számított szénfelvétele évente 34-84 gramm volt négyzetméterenként (3. ábra). Figyelembe véve a számított értékek hozzávetőleg ± 50 gC/m²/év bizonytalanságát, a régió ebben az időszakban gyenge nettó nyelőnek volt tekinthető, azaz a vegetáció több szén-dioxidot vett fel, mint amennyi a különböző forrásokból (vegetáció, talaj, antropogén források) a levegőbe került. 2000-ben műszaki problémák miatt az év túlnyomó részében nem folytak mérések. 2001-től a melegebbé és szárazabbá vált időjárás nem kedvezett a növényzet gyarapodásának. 2001-ben gyakorlatilag nem volt nettó szénforgalom a talaj+vegetáció rendszer és a légkör között, míg 2003-ban négyzetméterenként 68 g szén elvesztésével a



3. ábra • A felszín nettó szén-dioxid-felvétele Hegyhátsálon, valamint a közeli farkasfai meteorológiai obszervatóriumban (46°55' N, 16°19'E, 312 m) a tenyeszidőszakban (március–október) mért csapadékmennyiség és hőmérséklet (n. m. – nincs mérés)

régió már kifejezetten forrásként viselkedett.

Megjegyzendő, hogy a bioszféra tényleges szénfelvétele a számított értékeknél valamivel, durva becsléssel kb. 20 gC/m²/évvel nagyobb (illetve 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 területről elszállítják, a benne megkötött szén 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-léggör szén-dioxid-cserében betöltött szerepét megfelelő adatok hiányában nehéz megbecsülni.

Az utóbbi években az éghajlat-modellezőket 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-feltevőből globálisan nettó forrássá válhat (pl. Prentice et al., 2001). Ez jelentősen gyorsíthatja a léggöri szén-dioxid-koncentráció növekedését annak minden veszélyes következményével együtt. A várhatóan melegebbé és legalábbis átmene-

tileg szárazabbá váló magyarországi éghajlat (Mika, 2003) mellett az általunk 2003-ban észlelt jelenség ennek a folyamatnak akár korai előjeleként is tekinthető. A következő évek egyik legnagyobb szakmai kihívása, hogy megpróbáljunk mennyiségi kapcsolatot találni a szén-dioxid-forgalom és a környezeti paraméterek alakulása között. Ezek az összefüggések kulcsfontosságúak az éghajlati modellekbe beépített visszacsatolások, s így az éghajlati előrejelzések szempontjából.

A szerzők köszönetet mondanak az Antenna Hungária Rt.-nek, a tv-adórtorony tulajdonosának, amely természetbeni támogatásként nyújtja a hegyhátsali mérőhely használatának lehetőségét. Az évek során a tanulmányban ismertetett mérések anyagi támogatást kaptak a Magyar-Amerikai Tét Alaptól (J. F. no. 162 és 504), 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.

Kulcsszavak: *léggöri szén-dioxid, üvegházhatás, éghajlatváltozás, felszín-léggör szén-dioxid-csere, szén-körforgalom*

IRODALOM

Arrhenius, Svante (1896): On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science. Series 5*, **41**, 237-276

Bousquet, Philippe – Ciais, P. – Peylin, P. – Ramonet, M. – Monfray, P. (1999): Inverse Modeling of Annual Atmospheric CO₂ Sources and Sinks, 1, Method and Control Inversion. *Journal of Geophysical Research*. **104D**, 26161-26178

Callendar, Guy S. (1938): The Artificial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Temperature. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. **64**, 223-240

Ciais, Philippe – 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

Ciais, Philippe – Tans, P. P. – White, J. W. C. – Trolier, M. – Francey, R. J. – Beny, 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. *Journal of Geophysical Research*. **100D**, 5051-5070

Enting, Ian G. – Mansbridge, James V. (1991): Latitudinal Distribution of Sources and Sinks of CO₂: Results of an Inversion Study. *Tellus*. **43B**, 156-170

Fan, Song-Miao – Gloor, M. – Mahlman, J. – Pacala, S. – Samiento, 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
- Haszpra László (1995): Carbon Dioxide Concentration Measurements at a Rural Site in Hungary. *Tellus*. **47B**, 17-22
- Haszpra László – 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. *Journal of Geophysical Research*. **106D**, 3057-3070
- Keeling, Ralph F. – Piper, Stephen C. – Heimann, Martin (1996): Global and Hemispheric CO₂ Sinks Deduced from Changes in Atmospheric O₂ Concentration. *Nature*. **381**, 218-221
- Mika János (2003): Regionális éghajlati forgatókönyvek: Tények és kétségek. „AGRO-21” Füzetek, 32. 11-24
- Murayama, Shohei – Taguchi, Shoichi – Higuchi, Kaz (2004): Interannual Variation in the Atmospheric CO₂ Growth Rate: Role of Atmospheric Transport in the Northern Hemisphere. *Journal of Geophysical Research*. **109D**, D02305, Doi: 10.1029/2003/JD003729.
- Prentice, I. Colin – Farquhar, G. D. – Fasham, M. J. R. – Goulden, M. L. – Heimann, M. – Jaramillo, V. J. – Khashgi, H. S. – Le Quéré, C. – Scholes, R. J. – Wallace, D. W. R. (2001): The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide. in: Houghton, John T. – Ding, Y. – Griggs, D. J. – Noguer, M. – Van Der Linden, P. J. – Dai, X. – Maskell, K. – Johnson, C. (eds.): *A Climate Change 2001—The Scientific Basis, Contribution of WG I to the 3rd Assessment Report of IPCC*. 183–237. Cambridge University Press, Cambridge–New York
- Tans, Peter P. – Fung, Inez Y. – Takahashi, Tare (1990): Observational Constraints on the Global Atmospheric CO₂ Budget. *Science*. **247**, 1431-1438

