

A légkör fosszilis tüzelőanyagoktól származó CO₂ tartalmának meghatározása ¹⁴C és CO₂ koncentráció méréssel Magyarországon

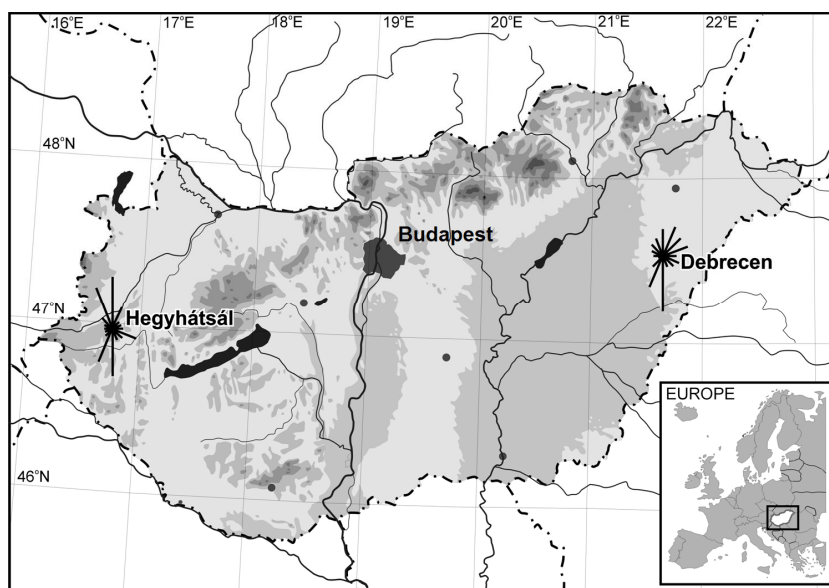
A kutatás célja

Nagypontosságú légköri CO₂ koncentráció és ¹⁴C méréseket együtt alkalmazva az volt a célunk, hogy a fosszilis tüzelőanyagokból származó szén-dioxid mennyiséget meghatározzuk Magyarország egy átlagosan iparosodott területén. Ennek megvalósításához egyedi mintavevő és mérőrendszer tervezése és kiépítése volt szükséges. Az újszerű mérési összeállítások megbízhatóságát kalibrációval, illetve összeméréssel kívántuk biztosítani illetve bizonyítani. Ahhoz, hogy a légköri fosszilis szén-dioxid járulék számolható legyen az adott szennyezett területen a vizsgált időszakokban, egy tiszta referencia háttér területen egyidejű párhuzamos méréseket kellett végeznünk, ugyanazon technika alkalmazása mellett.

Mintavételi terület

Az eredeti tervek szerint, főként praktikus okokból Dunaföldvár közelében történtek volna a szennyezett területre vonatkozó első magyarországi légköri fosszilis szén-dioxid járulék mérések, mivel ebben a körzetben már több mint egy évtizede folytak légköri ¹⁴CO₂ megfigyelések, illetve a mintavételi konténer, valamint a légköri ¹⁴C mintavevő már rendelkezésre állt ott. A mérési technikának az MTA ATOMKI udvarán végrehajtott tesztjei során nyert első debreceni eredmények azonban azt indokolták, hogy a projekt teljes futamideje alatt Debrecenben üzemeljen a kifejlesztett állomás, mivel még ott, a dunaföldvári városhatárhoz képest nyilvánvalóan szennyezettebbnek tekinthető nagyvárosi környezetben is alig haladta meg a kimutatási határt a megfigyelni kívánt effektus mértéke. Ez a körülmény alapvetően meghatározta azt, hogy az eredetnél jobban felszerelt, érzékenyebb analizátort kellett beszerezni, a gázelőkészítő rendszernek jóval összetettebbnek kellett lennie, illetve a mintavevő konténer és a légköri ¹⁴C mintavevő kialakítása is plusz időigénnyel és jelentős többlet anyagi ráfordítással járt, mely többletköltségekre sikerült más forrásokat bevonni.

Debrecen Magyarország második legnagyobb városa valamint Hajdú-Bihar megye és a Debreceni kistérség székhelye; egyike az ország hét regionális központjának. A természetes háttérnek választott Hegyhátsál Magyarország dunántúli régiójában - Vas megyében - az Alpok tövében található kisközség (1. ábra).

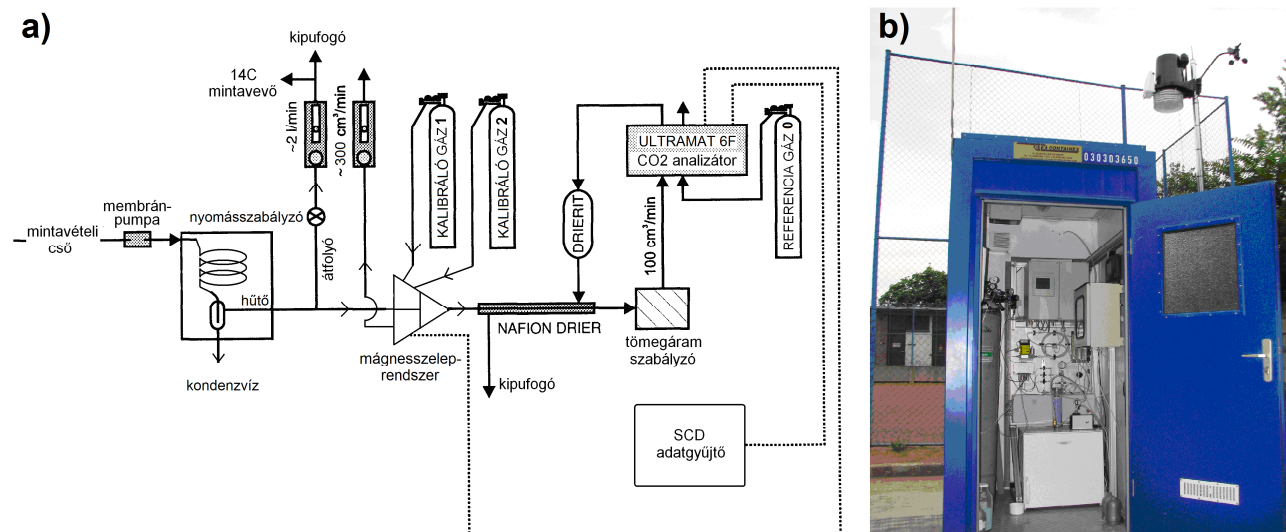


1. ábra: A mintavételi helyszínek elhelyezkedése Magyarországon, a helyi átlagos szélirányeloszlás-gyakoriság ábrázolásával (a 10.000 lakos fölötti lélekszámú települések szürke pontokkal jelölve).

A hegyhátsági referencia állomáson a mérésekhez szükséges eszközöket az Antenna Hungária Vállalat tulajdonában lévő, 117 m magas TV és rádió átjátszó toronynál helyeztük el. A torony 248 m-rel a tengerszint felett helyezkedik el, nyugat-magyarország egy sík területén. A torony mezőgazdasági területekkel (főként kukorica és takarmánynövények) és erdőfoltokkal van körülvéve. 60% szántó, 30% erdő és erdős terület, 10 % egyéb (szőlős kert, települések stb.) a vegetáció típusok megoszlása a környéken. A torony 10 km-es körzetében csupán kis falvak találhatóak (100-400 lakos). A legközelebbi település a 170 lelket számláló Hegyhátsál, körülbelül 1 km-re a toronytól, észak-nyugati irányban. Ezek a területek nagyrészt mezőgazdasági művelés alatt állnak, tehát itt nem folytatnak jelentős ipari tevékenységet, és a helyi utak is mentesek a nagy forgalomtól. A referenciaállomás egyben része a NOAA/ESRL léggöri nyomszennyezőket megfigyelő hálózatának (Cooperative Sampling Network) (NOAA/ESRL site code: HUN - <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/flask.html>). Léggöri CO₂ keverési arány profil, hőmérséklet és szélirányeloszlás mérések már 1994 óta folynak ezen a területen (Haszpra et al. 2001). Mindezekhez a kutatás keretében léggöri ¹⁴CO₂ megfigyelésekkel csatlakoztunk, részben az OTKA CK77550 pályázat támogatását is felhasználva.

Módszerfejlesztés

Mivel a fosszilis eredetű léggöri CO₂ mennyiségének számításához szükséges mérni a célterületen a levegő szén-dioxid koncentrációját is, így erre a feladatra nagypontosságú léggöri CO₂ mérőállomást építettünk ki Debrecenben. A mérőállomás alapműszere egy Siemens gyártmányú ULTRAMAT 6F típusú non-diszperzív infravörös gázanalizátor (IRGA), mely speciálisan a levegő szén-dioxid koncentrációjának mérésére lett konfigurálva (1-1000ppm tartomány), két mérőcellával. Mivel a fenti elven működő berendezés esetében a levegő vízgőz tartalma zavarja a mérést, a mérőcellába érkezés előtt alaposan ki kell szárítanunk a mintagázt, oly módon, hogy közben a szén-dioxid koncentrációja ne változzon. Erre a feladatra, továbbá a felügyelet nélküli automatizált ön-kalibráció megvalósítása érdekében automatizált gázelőkészítő rendszert fejlesztettünk a mérőállomásra. Az előkészítő egység sematikus rajzát, illetve magát az állomást a 2. ábra mutatja.

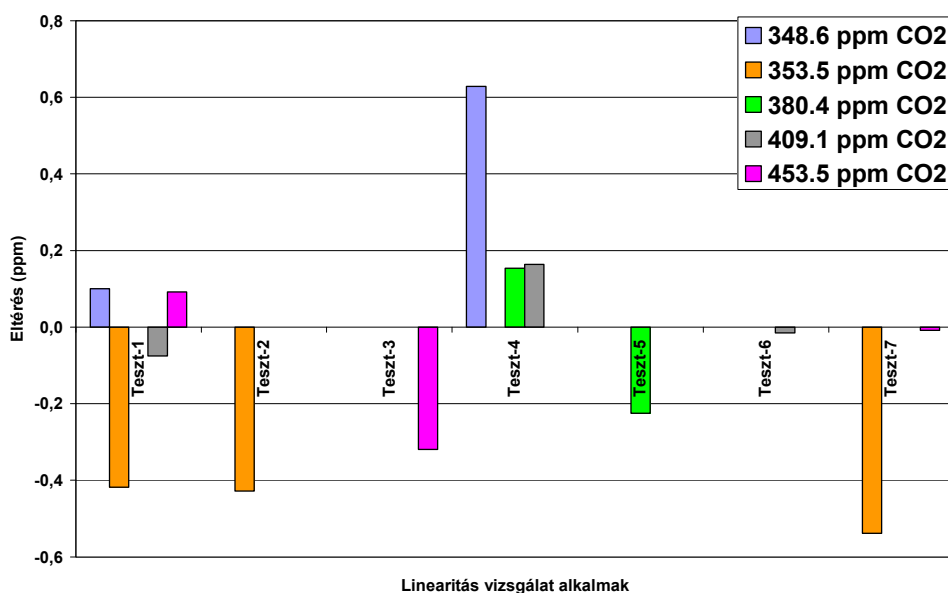


2. ábra. A ULTRAMAT 6F analízátor számára kifejlesztett gázkezelő egység sémája (a) és a kiépített terepi állomás az MTA ATOMKI udvarán (b).

A fejlesztéseink végeredményeként egy terepi körülmények között is telepíthető, léggöri fosszilis CO₂ megfigyelőállomás született a kutatás kapcsán. Melyben integrált módon egy nagypontosságú léggöri CO₂ keverési-arány mérő rendszer (tipikus mérési hiba < 0,5ppm) és egy léggöri ¹⁴CO₂ mintavevő rendszer lett beépítve. A fenti mintavételi technika és az ATOMKI-s fejlesztésű ¹⁴C mintavevő és mérőrendszer alkalmazása mellett a radiokarbon ($\Delta^{14}\text{C}$) mérések hibája tipikusan <

5%. Ez a világviszonylatban is egyedinek mondható terepi mérőrendszer 2008 nyara óta üzemel Debrecen belvárosában, az MTA ATOMKI udvarán, napi 24 órában, mindeddig komolyabb fennakadás nélkül.

2009 első félévében a debreceni terepi fosszilis CO₂ mérőrendszer beüzemelését és sikeres tesztjeit követően a szén-dioxid mérési eredmények minőségellenőrzése céljából egy összemérési programot hajtottunk végre Haszpra László (OMSz) közreműködésével a hegyhátsági nagy pontosságú, nemzetközileg elismert és interkalibrált, a Carbo-Europe projektben is szereplő légköri üvegházgáz megfigyelő állomáson üzemelő CO₂ analízáló rendszer bevonásával. Az összemérés során a 350-450ppm CO₂ tartományt átfogó öt különböző szintetikus levegő alapú gázelegyre az ATOMKI-s terepi mérőrendszerrel, a rutinszerűen használt kétpontos kalibrációs beállítás mellett kapott eredmények $\pm 0,5$ ppm tartományban azonosak voltak a nemzetközileg elismert hegyhátsági rendszerrel mértékhez viszonyítva (3. ábra).



3. ábra: Az öt különböző, ismert CO₂ tartalmú (348,6 – 453,5ppm közötti koncentráció) kalibráló gázzal végrehajtott független tesztmérések (Teszt-1/-7) eredménye, azaz a várt értéktől való eltérések nagysága.

A kifejlesztett terepi állomás szén-dioxid eredményeinek minősége függhet még az egyes kalibrációk között eltelt idő közbeni (tipikusa: 2-4 óra) kalibrációs faktor elcsúszás (drift) mértékétől. A tesztjeink alapján, a mérőállomáson belüli belső hőmérsékletingadozások mértékétől függően a kalibrációk közötti drift a CO₂ mérési eredmény hibájához egy további 0,1-0,5 ppm közötti szisztematikus hibát ad hozzá. Ennek a hatásnak a csökkentésére a mérőállomás belső hőmérsékletének stabilizálása (légkondicionáló beépítésével) 2009 nyarán megtörténhet.

A havi integrációs idővel 10 liter/óra gázáramlási sebességgel lúgban elnyeletett, gyűjtött légköri CO₂ minták laboratóriumi feldolgozása és nagy pontosságú, gáztöltésű proporcionális számlálókkal történő (+/- 0,4% relatív hiba) mérése illetve a stabilizotóp tömegspektrometriás analízise nemzetközileg referált módon több mint két évtizedes múltra tekint vissza az ATOMKI-ban (Hertelendi et al. 1989; Hertelendi 1990; Veres et al. 1995).

Eredmények

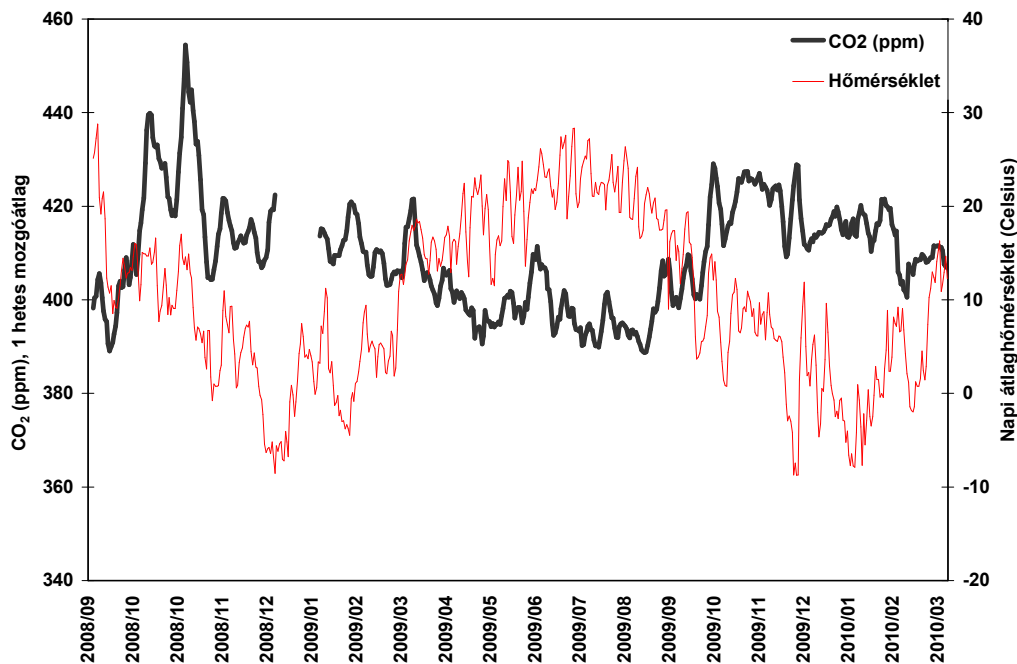
A szennyezett területen (Debrecen) a fosszilis eredetű légköri szén-dioxid hányad számolására a Levin és munkatársai által javasolt formulát használtuk (Levin et al. 2003):

$$CO_{2\text{fossil}} = CO_{2\text{city}} \cdot \frac{\Delta^{14}C_{\text{refBG}} - \Delta^{14}C_{\text{city}}}{\Delta^{14}C_{\text{refBG}} + 1000},$$

ahol a $CO_{2\text{city}}$, $\Delta^{14}C_{\text{city}}$ és $\Delta^{14}C_{\text{refBG}}$ értékek sorban: a mért légköri CO_2 keverési arány a városban (Debrecen), illetve a légköri szén-dioxid radiokarbon tartalma $\Delta^{14}C$ egységekben a városban (Debrecen) és a referencia területen (Hegyhátsál).

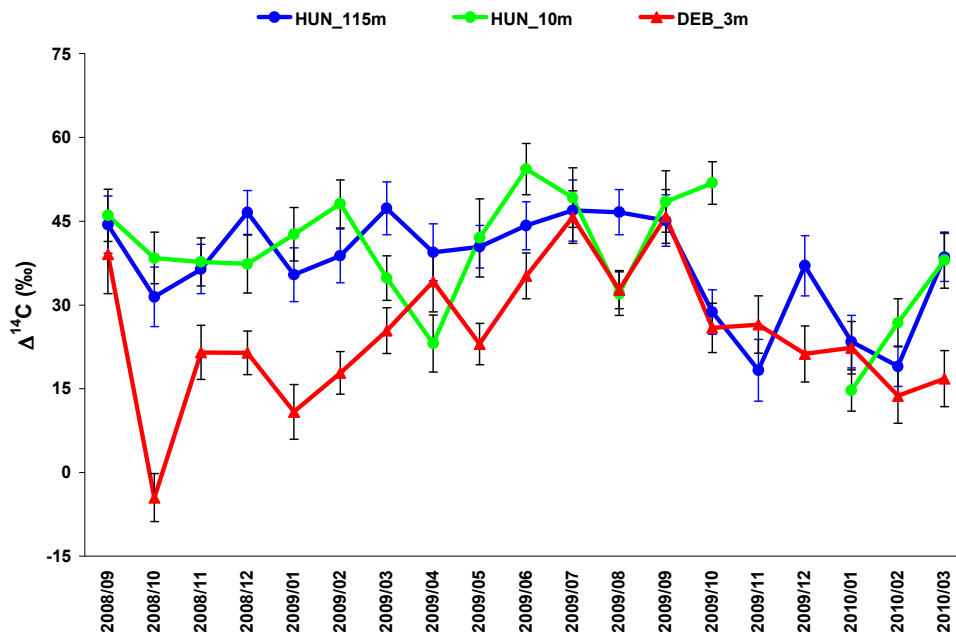
A fentínél komplexebb modellszámításokhoz figyelembe kellene venni, hogy a helyi biogén eredetű szén-dioxid fajlagos ^{14}C tartalma (kissé) eltérhet a tiszta háttérállomás levegőjében mérhetőtől. Ezen effektus számszerű becsléséhez helyi kísérleti adatok egyenlőre nem állnak rendelkezésre, de a közeljövőben az OTKA-CK 77550 projekt keretében remélhetőleg már ilyen jellegű eredményeket is felhasználhatunk.

A napi átlagos légköri CO_2 keverési arány eredmények harmonikus ingadozást mutattak 2008 szeptembere és 2010 márciusa között Debrecenben. Nyári minimumot és téli maximumot figyelhettünk meg, melyet 2008 őszén erőteljes csúcsok törtek meg (4. ábra). A téli fűtési időszak október közepén kezdődött és március végéig tartott a 2008-as és 2009-es telek idején.



4. ábra. A légköri CO_2 tartalom és a napi átlaghőmérséklet alakulása Debrecen a vizsgált időszakban (2009. januárjában kétheti CO_2 mérési adat egy szoftverhiba folytán megsemmisült).

Kis mértékű szezonális $^{14}CO_2$ koncentráció ingadozást figyelhettünk meg a hegyhátsáli (kód: HUN) háttérállomás levegőjében is, mindkét megfigyelési magasságban (10m és 115m) (3. ábra), mely vélhetően a radiokarbon természetes (kozmogén) keletkezési és légköri elkeveredési folyamatainak enyhe szezonális változásaival magyarázható, illetve nem zárhatjuk ki, hogy a teljes kontinens évszakfüggő fosszilis szén-dioxid kibocsátása bár csak távoli gyenge hatásként, de valószínűleg még ezen az egyébként háborítatlan területen is kimutatható.

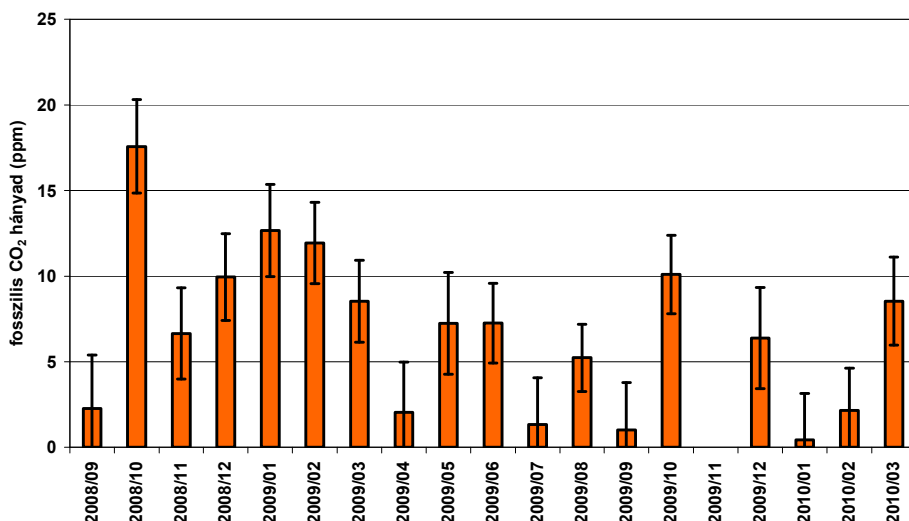


3. ábra. A légköri szén-dioxid havi átlagos fajlagos radiokarbon tartalma $\Delta^{14}\text{C}$ (‰) egységekben Debrecen belvárosában (DEB_3m) és a hegyhátsági háttér állomáson két magasságban (HUN_10m és HUN_115m) a vizsgált időszakban.

A legtöbbször hibahatáron belül egyező, lényegében azonos átlagos havi $^{14}\text{CO}_2$ értékek a hegyhátsági két magassági ponton (10m és 115m) azt mutatják, hogy ezen a helyen nem kell számolnunk jelentős földfelszín közeli fosszilis szén-dioxid kibocsátással. Tehát a háttérállomásunk levegője ilyen értelemben (is) tisztának mondható. Mindössze egy alkalommal, 2009 októberében figyelhetünk meg a magasabbik megfigyelési ponton (115m) egy kisebb mértékű fajlagos ^{14}C tartalom csökkenést. Ennek okát a következő évek hasonló időszakra vonatkozó eredményei tükrében deríthetjük majd fel.

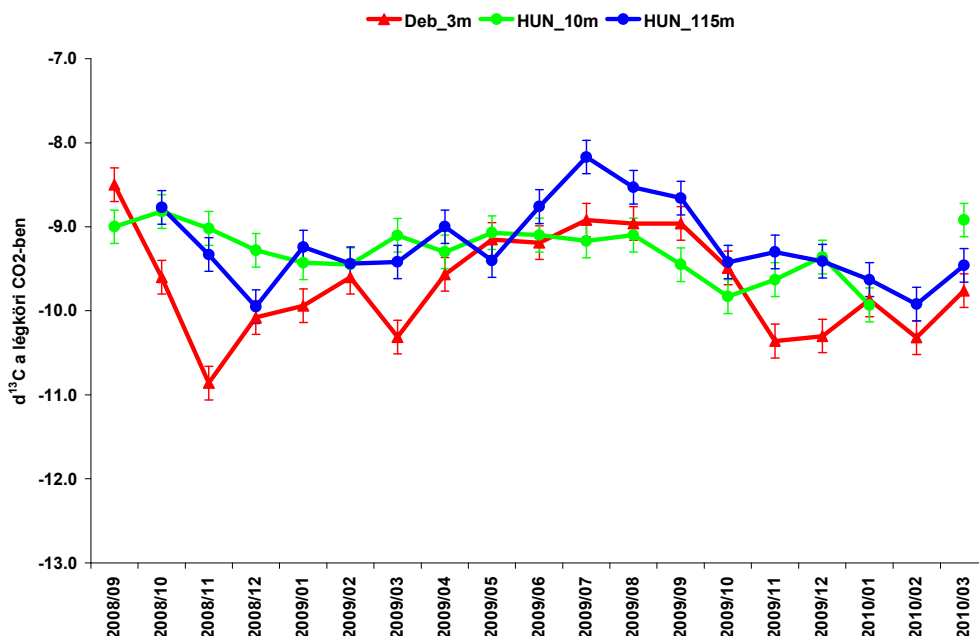
Az alkalmazott számítási modell alapján a légköri szén-dioxidban a mért alacsonyabb $\Delta^{14}\text{C}$ értékek mindig magasabb fosszilis CO_2 hányadot jeleznek. Tehát a 3. ábrán ahol a debreceni $\Delta^{14}\text{C}$ adatok (DEB) alacsonyabbak mint a hegyhátsági (HUN) adatok ott egyértelműen fosszilis eredetű szén-dioxid többlet mutatkozik a debreceni városi levegőben, a havi átlagokat tekintve. A 4. ábra a debreceni levegő átlagos havi fosszilis CO_2 többletét mutatja a hegyhátsági háttérállomáshoz képest, a méréseink illetve az azokat felhasználó modellszámítás alapján. A számításokhoz minden esetben a hegyhátsági háttér két magassági szintje közül azt a $\Delta^{14}\text{C}$ adatot használtuk fel, amelyik magasabb értéket mutatott, hogy minél konzervatívabb, a lehetséges felső korlátot jelentő értékeket kapjunk a városi levegő fosszilis szén-dioxid tartalmára.

A megfigyelt jól fejlett légköri fosszilis szén-dioxid csúcs (10-15ppm) Debrecen levegőjében 2009 januárjában jól értelmezhető jelenségnek mondható, hiszen a lakossági fűtési szezon közepén, főleg földgáz tüzelés mellett várható volt, hogy a tél közepén a leghidegebb időkben lesz maximuma a fosszilis CO_2 hányadnak. Ez a 10-15ppm tartományba eső téli közepi városi maximum összhangban van a mások által Heidelbergre (Németország) közölt 15-20ppm közé eső, vagy a lengyelországi Krakkóban mért 20ppm-es téli maximummal. Mindemelllett a 2008. és 2009. évi jelentős októberi fosszilis szén-dioxid tartalom kiugrások magyarázata még további vizsgálatokat igényel. Vélhetően a helyi meteorológiai viszonyok időszakos olyan változása állhat a háttérben, mely az adott megfigyelési pontban időlegesen nagyobb lokális fosszilis CO_2 kibocsátók hatását jobban érvényesítheti. Illetve nem zárható ki a biogén eredetű szén enyhe torzító hatása, mellyel a jelenleg használt modellünk nem számol. További érdekes megfigyelésnek mondható a 2009. évben gyakorlatilag hiányzó téli maximum, mely a 2008-as télen végzett megfigyelések alapján legalábbis várható lett volna.



4. ábra. A méréseink alapján számított havi átlagos légköri fosszilis CO₂ többlet értékek Debrecen levegőjében a magyarországi (hegyhátsági) háttérshinthez képest 2008 szeptembere és 2010 márciusa között.

A kiugró illetve nehezen értelmezhető fosszilis CO₂ tartalom adatok jobb megértése érdekében a begyűjtött CO₂ minták stabilizotóp arányait ($\delta^{13}\text{C}$) is megvizsgáltuk. Ugyanis a fosszilis tüzelőanyagok szenének nem csak a ¹⁴C tartalma jellemző (nulla), hanem a ¹³C/¹²C stabilizotóp aránya is. Ennek az értéke a fosszilis tüzelőanyagokban tipikusan -25 és -30 ‰ között mozog, míg a levegő szén-dioxidjának szenében ez az érték -9 és -10 ‰, a PDB nemzetközi standardhoz viszonyított skálán. Az 5. ábrán bemutatott stabilizotóp eredmények jó összhangban állnak a ¹⁴C mérések alapján végzett fosszilis CO₂ tartalom becslésekkel.



5. ábra. Szén stabilizotóp eredmények ($\delta^{13}\text{C}$ vs. PDB) a debreceni (Deb_3m) és hegyhátsági (HUN_10m és HUN_115m) levegőből gyűjtött CO₂ mintákra.

A jelentősen eltérő stabilizotóp eredmények is azt mutatják, hogy a 2008-as és 2009-es két egymást követő tél különböző lehetett a légköri fosszilis CO₂ tartalom tekintetében Debrecenben. A jóval negatívabb 2008. téli $\delta^{13}\text{C}$ adatok azt mutatják, hogy több fosszilis CO₂ volt abban az időben a

vizsgált városi levegőben. Mindazonáltal a $\delta^{13}\text{C}$ adatok önmagukban való használata a fosszilis CO_2 hányad mérésére komoly nehézségekbe ütközik, mivel a jelenkori biogén eredetű szén-dioxid stabilizotóp aránya pontosan megegyezik a fosszilis tüzelőanyagokéval, mivel azok egykor szintén biogén szénből épültek fel. Továbbá a 2008 szeptember és 2010 március között mért légköri szén-dioxidra vonatkozó $\delta^{13}\text{C}$ trendben is több ponton mutatkozott olyan kilógó adat (Debrecenben: 2009. március, Hegyhátsálon 2009 július és továbbiak), melynek értelmezése további paraméterek vizsgálata nélkül szintén nehézkes.

Kitekintés

Az ily módon nyert városi légköri fosszilis szén-dioxid értékek a magyarországi háttérszinthez viszonyítva mutatják a vizsgált célterület szennyezettségének mértékét. A kontinentális vagy akár globális szintű kitekintéshez kontinentális vagy globális értelemben vett háttérállomásokról származó, szinkron mintázással gyűjtött, hasonló módszerrel és minőségben mért megfigyelések adatait kellene felhasználnunk. Ezekhez való hozzáférésünket nagyban segítené, ha Magyarország, eleget téve a nemzetközi tudományos felkéréseknek, csatlakozni tudna az Európai Unió Stratégiai Kutatási Infrastruktúrájához tartozó Integrated Carbon Observation System (ICOS) nemzetközi hálózathoz.

Összefoglalás

Nagypontosságú légköri CO_2 koncentráció és ^{14}C méréseket együttesen használva Debrecenben, Magyarország egy átlagosan iparosodott régiójában, meghatároztuk a belváros levegőjének fosszilis tüzelőanyagokból származó CO_2 tartalmát havi átlagokban 2008 szeptembere és 2010 márciusa között. A kutatás keretében világviszonylatban is egyedi, terepi mintavevő és mérőrendszert fejlesztettünk ki. Az újszerű mérési összeállítás analitikai teljesítőképességét összeméréssel igazoltuk. A természetes háttérszint megállapításához Magyarország dunántúli régiójában, Hegyhátsálon párhuzamos légköri $^{14}\text{CO}_2$ méréseket indítottunk. A háttérállomás megfelelőségét több mint 100m szintkülönbséggel végzett párhuzamos mérések eredményeinek összehasonlításával igazoltuk.

2009. januárjában Debrecen levegőjében 10-15ppm tartományba eső tél közepi jól fejlett légköri fosszilis szén-dioxid csúcsot mutattunk ki, mely összhangban van a más, hasonló méretű európai városokban közölt adatokkal. 2008. és 2009. év októberében jelentős fosszilis szén-dioxid tartalom kiugrások mutatkoztak (10-17ppm) a vizsgált városi levegőben, melyekre a helyi meteorológiai viszonyok speciális alakulása vagy a biogén szén hatása adhat magyarázatot. A 2009. év telén gyakorlatilag nem volt kimutatható a tél közepi fosszilis CO_2 maximum a debreceni levegőben. A városi fosszilis CO_2 hányad eredményeinket a légköri CO_2 minták szén stabilizotóp eredményei is megerősítették.

Referenciák

- Haszpra L, Barcza Z, Bakwin PS, Berger BW, Davis KJ, Weidinger T. (2001) *Measuring system for the long-term monitoring of biosphere/atmosphere exchange of carbon dioxide*. Journal of Geophysical Research 106D:3057–70.
- Hertelendi E (1990) *Developments of methods and equipment for isotope analytical purposes and their applications*. (in Hungarian) C.Sc. thesis. Hungarian Academy of Sciences.
- Hertelendi E, Csongor É, Záborszky L, Molnár J, Gál J, Györffi M, Nagy S (1989) *A counter system for high-precision ^{14}C dating*. Radiocarbon 31:399-406.
- Levin I, Kromer B, Schmidt M, Sartorius H. (2003) *A novel approach for independent budgeting of fossil fuel CO_2 over Europe by $^{14}\text{CO}_2$ observations*. Geophys. Res. Lett. 30(23):2194. doi:10.1029/2003GL018477.
- Veres M, Hertelendi E, Uchrin Gy, Csaba E, Barnabás I, Ormai P, Volent G, Futó I (1995) *Concentration of radiocarbon and its chemical forms in gaseous effluents, environmental air, nuclear waste and primary water of a pressurized water reactor power plant in Hungary*. Radiocarbon 37:497-504.

A kutatás eredményeként született tudományos előadások és publikációk:

- 1) Molnár M, Major I, Haszpra L. *Módszerfejlesztés a légköri szén-dioxid emberi eredetű hányadának meghatározására*. V. Kárpátmedencei Környezettudományi Konferencia, 2009. március 29-31, Kolozsvár, Románia. (magyar nyelvű szóbeli előadás)
- 2) Molnár M, Major I, Haszpra L. *Módszerfejlesztés a légköri szén-dioxid emberi eredetű hányadának meghatározására*. V. Kárpátmedencei Környezettudományi Konferencia, 2009. március 29-31, Kolozsvár. Szerk.: Mócsy Ildikó, Szacsvai Kinga, Urák István, Zsigmond Andrea Rebeka. Ábel Kiadó (2009) 439-444 (magyar nyelvű cikk, angol absztrakttal)
- 3) Molnár M, Haszpra L, Major I, Svingor É, Veres M. *Development of a mobile and high-precision atmospheric CO₂ monitoring station*. EGU General Assembly 2009. Vienna, Austria, 19-24 April, 2009. (angol nyelvű poszter előadás)
- 4) Molnár M, Haszpra L, Major I, Svingor É, Veres M. *Development of a mobile and high-precision atmospheric CO₂ monitoring station*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-10271, 2009. EGU General Assembly 2009 (angol nyelvű extended-abstract)
- 5) Molnár M, Major I, Haszpra L, Svingor É, Veres M. *A fosszilis CO₂ mennyisége Debrecen levegőjében 2008 telén*. Környezet és Energia Konferencia, Debrecen, 2009. május 7-8. (magyar nyelvű szóbeli előadás)
- 6) Molnár M, Svingor É, Futó I, Major I, Veres M. *Development of an atmospheric fossil fuel CO₂ monitoring station*. ATOMKI Annual Report 2008 (2009) (angol nyelvű absztrakt)
- 7) Molnár M, Haszpra L, Svingor É, Veres M, Major I, Svétlik I. *Atmospheric fossil fuel CO₂ record in a Central European city during the winter of 2008/09*. 20th International Radiocarbon Conference, Big Island, Hawaii, USA, May 31-June 5, 2009. (angol nyelvű szóbeli előadás)
- 8) Molnár M, Haszpra L, Major I, Szádai J, Svétlik I. *Performance test of a mobile fossil fuel CO₂ monitoring station developed in ATOMKI*. 15th WMO/IAEA Meeting of Experts on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Tracer Measurement Techniques. Jena, Germany, 7-10 Sept., 2009. (angol nyelvű poszter előadás; angol nyelvű absztrakt egy WMO GAW Reportban megjelenés alatt)
- 9) Molnár M, Haszpra L, Major I, Svétlik I. *Urban and rural site regional fossil fuel CO₂ observations from Hungary using multi elevation sampling*. 15th WMO/IAEA Meeting of Experts on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Tracer Measurement Techniques. Jena, Germany, 7-10 Sept., 2009 (angol nyelvű poszter előadás; angol nyelvű absztrakt egy WMO GAW Reportban megjelenés alatt).
- 10) Molnár M, Haszpra L, Svingor É, Major I, Futó I, Rinyu L. *Atmospheric fossil fuel CO₂ record in Debrecen city during the winter of 2008*. ATOMKI Annual report, 2009. (2010) (angol nyelvű absztrakt, megjelenés alatt)
- 11) Molnár M, Haszpra L, Svingor É, Major I, Svétlik I. *Atmospheric fossil fuel CO₂ measurement using a field unit in a Central European city during the winter of 2008/09*. Radiocarbon 52, Nr. 2-3 (2010) (peer reviewed angol nyelvű cikk, közlésre elfogadva, megjelenés alatt)
- 12) Molnár M, Major I, Haszpra L, Svétlik I, Svingor É, Veres M. *Fossil fuel CO₂ detection by atmospheric ¹⁴C and CO₂ mixing ratio measurements in the city of Debrecen, Hungary*. 16th Radiochemical Conference, 16-23 April 2010, Mariánske Lázně, Czech Republic (angol nyelvű szóbeli előadás)
- 13) Molnár M, Major I, Haszpra L, Svétlik I, Svingor É, Veres M. *Fossil fuel CO₂ estimation by atmospheric ¹⁴C measurement and CO₂ mixing ratios in the city of Debrecen, Hungary*. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (2010) (peer reviewed angol nyelvű cikk, közlésre elfogadva, megjelenés alatt)

A kutatás eredményeként született diákköri munka:

- 1) Major István, Környezettudomány szak, Fizikus szakirány. TDK dolgozat címe: „*Módszerfejlesztés a légköri szén-dioxid emberi eredetű hányadának meghatározására*” Debreceni egyetem, Debrecen, 2008. Témavezető: Dr. Molnár Mihály, MTA ATOMKI. (A TDK munka különdíjat kapott a XXIX. OTDK konferencia Fizika, Földtudományos és Matematika közös szekciójában Szombathelyen 2009-ben, valamint harmadik helyezést ért el a XII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencián Sopronban 2010-ben).