

A LÉGKÖR ÉS A BIOSZFÉRA KÖZÖTTI SZÉN-DIOXID CSERE VIZSGÁLATA

ANALYSIS OF CARBON DIOXIDE EXCHANGE BETWEEN BIOSPHERE AND ATMOSPHERE

Barcza Zoltán¹, Haszpra László^{2,3}, Hidy Dóra⁴, Gelybó Györgyi⁵, Dobor Laura¹

¹ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

²Országos Meteorológiai Szolgálat, 1675 Budapest, Pf. 39.

³MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézete, 9401 Sopron, Pf. 5.

⁴SZIE Növényteni és Ökofiziológiai Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1..

⁵MTA Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet, 1022 Budapest, Herman Ottó út 15.

bzoli@elte.hu, haszpra.l@met.hu, dori.hidy@gmail.com, gyoresz@elte.hu, doborl@nimbus.elte.hu

Összefoglalás: Rövid tanulmányunkban a légkör és a bioszféra közötti szén-dioxid kicserélődés becslésével kapcsolatos eredményeinkről számolunk be. A kutatások szorosan kapcsolódnak a Hegyhátsálon (Vas megye) folyó mérésekhez, amelyeket az Eötvös Loránd Tudományegyetem és az Országos Meteorológiai Szolgálat együtt tart fenn. Az eredmények térbeli általánosítása kapcsán szót ejtünk egy biogeokémiai modellhez kapcsolódó munkánkról, valamint a bioszféra szén-dioxid mérlegének műholdas távérzékeléssel történő becslésének lehetőségeiről is.

Abstract: In this short communication we present our results about the estimation of carbon dioxide exchange between the biosphere and the atmosphere. Our research activities are closely related to the measurements at Hegyhátsál (Vas county) operated jointly by the Eötvös Loránd University and the Hungarian Meteorological Service. In order to provide spatially explicit estimations of carbon dioxide exchange we discuss our biogeochemical model related activities and the possibilities of estimating carbon dioxide balance components based on satellite remote sensing.

Bevezetés. Mind a mai napig nem ismerjük kellő pontossággal a szén globális körforgalmát, azon belül a szárazföldi bioszféra biogeokémiai folyamatait. A szárazföldi növényzet-talaj rendszer megközelítőleg 2300 milliárd tonna (IPCC, 2007; 7. fejezet) szenet tárol. Ez a mennyiség mintegy háromszorosa a jelenlegi (szén-dioxid formájában jelen lévő) légköri szénmennyiségnek, ezért kiemelten fontos ennek a tárolási kapacitásnak és esetleges változásainak felmérése. A globális szénkörforgalom folyamatai szoros kapcsolatban állnak bolygónk éghajlatával. Míg a szénmérleg elsősorban a szén-dioxid (CO₂) és a metán (CH₄) üvegházhatása révén befolyásolja az éghajlatot, az éghajlat is visszahat a szén körforgalmára, főként a bioszférán keresztül. Az éghajlat jövőbeli alakulásának előrejelzéséhez elengedhetetlen a globális szén-ciklus folyamatainak és visszacsatolásainak megértése (Friedlingstein and Prentice, 2010).

A szárazföldi bioszféra működésének megértése céljából világszerte intenzív kutatások folynak. Globálisan a FLUXNET program koordinálja az ökológiai rendszerek szén-dioxid háztartásával kapcsolatos méréseket (Baldocchi et al., 2001).

Az európai erőfeszítéseket a CARBOEUROPE klaszter fogja össze (<http://www.carboeurope.org>; <http://www.ghg-europe.eu>). Elsődleges céljuk, hogy a rendelkezésre álló mérési adatok és modelleredmények alapján megbecsüljék, illetve pontosítsák a szárazföldi bioszféra szén-dioxid mérlegét (Schulze et al., 2009).

A bioszféra szén-dioxid forgalmának megismerésében közvetlen felszíni és távérzékelte mérések, valamint a matematikai modellek eszköztára lehet a segítségünkre.

A növényzet-légkör közötti gázcsere mikrometeorológiai módszerekkel, főképp az ún. eddy-kovariancia (EK) módszerrel vizsgálják (Baldocchi, 2003). Műholdas távérzékeléssel nagyobb térségekre nyerhetünk mérés alapú információt a vegetáció állapotáról, és így becsülhető annak szén-dioxid forgalma. Az eredmények nagyobb térségre történő kiterjesztésében és a teljes szén-dioxid háztartás becslésében pedig korszerű biogeokémiai modellek lehetnek segítségünkre.

Regionális skálájú monitoring rendszer. Magyarországon a Vas megyei Hegyhátsál település közelében létesült az első olyan mérőállomás, ahol lehetőség nyílt a bioszféra és a légkör közötti szén-dioxid kicserélődés mérésére. Az Antenna Hungária TV-adótoronyának felműszerezésével 1994 óta üzemel egy, a légköri szén-dioxid koncentráció monitorozását végző mérőállomás (Haszpra, 1999). 1997 óta egy 82 m magasságban elhelyezett EK mérőrendszer jóvoltából a koncentráció-mérések kiegészültek a torony körül elterülő vegyes mezőgazdasági terület szén-dioxid forgalmának mérésével (Haszpra et al., 2005). 1999-2000-ben, majd 2006-tól folyamatosan mérjük a toronyt övező gyepek szén-dioxid forgalmát ugyancsak EK módszerrel (1. ábra).

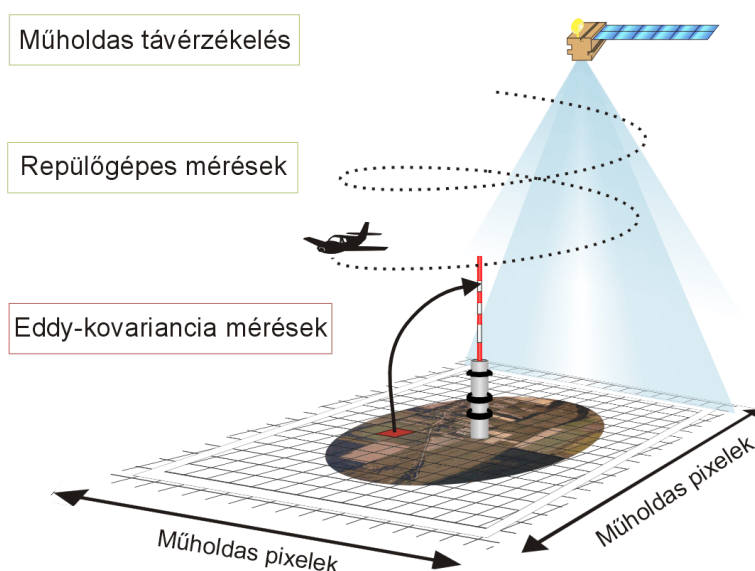
A 82 m magasságban elhelyezett EK rendszer mérései a toronyt körülvevő körülbelül 1 km-es távolságon belül eső térségre reprezentatívak. A forrásterület pontos elhelyezkedését és kiterjedését adott pillanatban a légköri viszonyok határozzák meg, ebből fakadóan a forrásterület térben és időben folyamatosan változik, hosszú távon pedig kirajzolja a toronymérések által mintavételezett területet (Barcza et al., 2009a).

Az említett toronyméréseken kívül repülőgépes méréseket is indítottunk a torony közvetlen környezetében, így nem csupán a légkör alsó kb. 100 m-es tartományából, hanem egészen 3000 m magasságig végezhattünk méréseket. Így képet kaptunk a határréteg, illetve a határréteg feletti légkör szén-dioxid koncentráció profiljáról, ami a szén-dioxid légköri transzportfolyamataiba enged betekintést.

2006 januárjában olyan további gázok (metán, dinitrogén-oxid, kén-hexafluorid) légköri koncentráció-

tók a hegyhátsáli mérésekkel, a Biome-BGC adaptálása során a toronymérések eredményeit használtuk fel a modell validálására és kalibrálására (Haszpra, 2011). A modell alapvetően természetes vegetáció szén-dioxid háztartásának szimulálására képes, emiatt módosításokat végeztünk annak érdekében, hogy mezőgazdasági növények szén-dioxid mérlegéről is megbízható információt kapjunk (Hidy *et al.*, 2012).

Fontosabb eredmények, folyamatban lévő kutatások. A hegyhátsáli mérőrendszer sokéves adatai alapján elmond-



1. ábra: A Hegyhátsálon folytatott mérések sematikus rajza.

méréseit kezdtük meg, amelyek üvegházhatásuk révén szintén éghajlatváltozást okozhatnak (Haszpra *et al.*, 2008). Megfigyelési munkánk eredményeképpen egy olyan egyedülálló adatbázissal rendelkezünk, amely nem csak hazai vagy európai, de világviszonylatban is egyedi, és nagyon sok különböző kutatási irányznak szolgálhat és szolgál hátterül.

A növényzet szén-dioxid háztartásának műholdas távérzékelésen alapuló vizsgálatai 2007 óta folynak, különös tekintettel a hegyhátsáli mérőrendszert körülvevő mezőgazdasági területre. A kisparcellás mezőgazdasági művelés alatt álló terület sajátosságait figyelembe vevő módszertan kidolgozásával sikerült az EK mérőrendszer adataival összhangban becsülni a környező növényzet produktivitását (Barcza *et al.*, 2009a; Haszpra, 2011; Gelybó *et al.*, 2013).

Sokéves mérési tapasztalat alapján kezdtünk bele a növényzet szén-dioxid háztartásának modellezésébe a Biome-BGC nevű korszerű biogeokémiai modell segítségével (Running *et al.*, 1993). A modell a növényi szén-, víz- és nitrogénforgalmat szimulálja, és ez alapján becsli a talaj-növény rendszer különböző tározóiban lévő szén és nitrogén mennyiségét, a tározók közti anyagáramokat, illetve a légkör és az ökológiai rendszer közötti anyagáramot is. Mivel a modell eredményei összevethe-

hatjuk, hogy a környező mezőgazdasági terület éves szinten a légkör szempontjából általában nettó szén-dioxid nyelőként viselkedett, kivéve az átlagosnál melegebb és szárazabb 2001-2003-as időszakban, amikor nettó szén-dioxid kibocsátó volt (Haszpra *et al.*, 2005; Haszpra, 2011).

A mezőgazdasági művelésbe vont területek szén-dioxid mérlegének becslésénél azonban figyelembe kell venni, hogy az aratást követően a levágott növényi részek egy részét vagy egészét elszállítják a vizsgált területről. A teljes szén-dioxid mérleg megfelelő pontosságú becsléséhez legalább megközelítőleg ismernünk kell e horizontális transzport mértékét. A megfigyelt területről kikerült szerves anyag az elszállítás után máshol elbomlik, vagyis bekerül a légkörbe. Következésképp hiába tűnik a hegyhátsáli mezőgazdasági terület nettó szén-dioxid nyelőnek a légkör szempontjából, az elszállított szerves anyag mennyiségének figyelembevételével a térség összességében valószínűleg nettó szén-dioxid kibocsátóként viselkedik (Haszpra, 2011).

A mérési eredmények országos szintű kiterjesztéséhez a Biome-BGC modellt használtuk, mely képes kezelni az egyes területekre jellemző eltérő éghajlati és talajszerkezeti sajátosságokat. Az országos szintű modellezés során felhasználtuk az MTA ATK Talajtani és Agrokémiai

Intézet, a Földmérési és Távérzékelési Intézet, illetve az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisait. Négy alapvető növényborítottság-kategóriát definiáltunk (gyepek, szántóföldek, lombhullató, illetve tűlevelű erdők), melyek esetén a szén-dioxid áramok lényegesen eltérnek egymástól. Szántóföldek és gyepek esetén a hegyhátsági mérések alapján kalibrált modellt használtuk (Barcza et al., 2009b). A modellszámítások eredménye szerint a hazai bioszféra nettó szén-dioxid kibocsátó, ami elsősorban az aktív művelés alatt álló területeknek köszönhető.

A hazai szén-dioxid mérleg pontosabb leírása érdekében tervezzük a Biome-BGC további fejlesztését, elsősorban a szántóföldi növényekhez kapcsolódó biogeokémiai folyamatok leírásának pontosítása érdekében. A modellezéssel kapcsolatos munkánk során vizsgálni fogjuk az éghajlatváltozás szén-dioxid mérlegre gyakorolt lehetséges hatásait is, valamint választ keresünk arra a kérdésre, vajon vannak-e olyan alternatív mezőgazdasági művelési módok, amelyekkel többlet szén-dioxid megkötés érhető el. A fentiekben túl továbbfejlesztett műholdas technikák alkalmazásával is becsülni fogjuk a mezőgazdasági növények szén-dioxid mérlegét.

A Springer kiadó felkérésére 2010-ben elkészült egy, a magyarországi üvegházhatású gázokkal kapcsolatos kutatási eredményeket összefoglaló kötet (Haszpra, 2011). A könyv 13. fejezetében a hegyhátsági mérések tapasztalataira építve a bioszférára vonatkozó teljes országos üvegházgáz mérleget becsültünk több különböző módszer (köztük távérzékelésen és a Biome-BGC modellen alapuló becslések) szintézisével.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmányban ismertetett mérések anyagi támogatást kaptak az Országos Tudományos Kutatási Alaptól (KTIA-OTKA-A08-CK77550, K104816), továbbá az Európai Unió 7 K+F Keretprogramjától (EU contract No. 244122). A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg (a támogatás száma TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003).

Irodalom

Baldocchi, D.D., Falge, E., Gu, L., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, Ch., Davis, K., Fuentes, J., Goldstein, A., Katul, G., Law, B., Lee, X., Malhi, Y., Meyers, T., Munger, J.W., Oechel, W., Pilegaard, K., Schmid, H.P., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K. and Wofsy, S., 2001. FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor and energy flux densities. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82, 2415–2435.

Baldocchi, D.D., 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology* 9, 479–492.

Barcza, Z., Kern, A., Haszpra, L., Kljun, N., 2009a. Spatial representativeness of tall tower eddy covariance measurements using remote sensing and footprint analysis. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 795–807. doi: 10.1016/j.agrformet.2008.10.021

Barcza, Z., Haszpra, L., Somogyi, Z., Hidy, D., Lovas, K., Churkina, G. and Horváth, L., 2009b. Estimation of the biospheric carbon dioxide balance of Hungary using the BIOME-BGC model. *Időjárás* 113, 203–219.

Friedlingstein, P., Prentice, I., 2010. Carbon–climate feedbacks: a review of model and observation based estimates. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2, 251–257. doi: 10.1016/j.cosust.2010.06.002

Gelybó, Gy., Barcza, Z., Kern, A. and Kljun, N., 2013. Effect of spatial heterogeneity on the validation of remote sensing based GPP estimations. *Agricultural and Forest Meteorology* 174–175, 43–53. doi: 10.1016/j.cosust.2010.06.002.

Haszpra, L., 1999. Measurement of atmospheric carbon dioxide at a low elevation rural site in Central Europe. *Időjárás* 103, 93–106.

Haszpra, L., Barcza, Z., Davis, K. J. and Tarczay, K., 2005. Long-term tall tower carbon dioxide flux monitoring over an area of mixed vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology* 132, 58–77. doi: 10.1016/j.agrformet.2005.07.002

Haszpra, L., Barcza, Z., Hidy, D., Szilágyi, I., Dlugokencky, E. and Tans, P., 2008. Trends and temporal variations of major greenhouse gases at a rural site in Central Europe. *Atmospheric Environment* 42, 8707–8716. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.012

Haszpra, L. (ed.), 2011. Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective. *Springer, Dordrecht - Heidelberg - London - New York*. ISBN 978-90-481-9949-5, e-ISBN 978-90-481-9950-1, doi: 10.1007/978-90-481-9950-1

Hidy, D., Barcza, Z., Haszpra, L., Churkina, G., Pintér, K., and Nagy, Z., 2012. Development of the Biome-BGC model for simulation of managed herbaceous ecosystems. *Ecological Modelling* 226, 99–119. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2011.11.008

IPCC, 2007. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds.: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Cambridge, United Kingdom and New York. Cambridge University Press*, NY, USA.

Running, S.W. and Hunt, E.R.J., 1993. Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, Biome-BGC, and an application for global-scale models. In: Scaling physiological processes: leaf to globe (Eds.: Ehleringer, J. R., Field, C. B.). San Diego (CA): *Academic Press*. pp. 141–158.

Schulze, E.D., Luyssaert, S., Ciais, P., Freibauer, A., Janssens, I.A., Soussana, J.F., Smith, P., Grace, J., Levin, I., Thiruchittampalam, B., Heimann, M., Dolman, A.J., Valentini, R., Bousquet, P., Peylin, P., Peters, W., Rödenbeck, C., Etiope, G., Vuichard, N., Wattenbach, M., Nabuurs, G.J., Poussi, Z., Nieschulze, J., Gash, J.H. and CarboEurope Team, 2009. Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse-gas balance. *Nature Geoscience* 2, 842–850. doi: 10.1038/ngeo686