

Válasz Dr. Kristóf Gergely egyetemi docens, az MTA doktora,  
“Légköri üvegházhatású gázok felszíni mérlegének vizsgálata eddy  
kovariancia mérések és biogeokémiai modell segítségével” című  
MTA doktori értekezésemre vonatkozó bírálatára

Köszönöm, hogy Bírálóm értékelte a munkámat, és köszönöm a dolgozattal kapcsolatos észrevételeit, felvetéseit. Külön köszönöm a munka társadalmi jelentőségének a pozitív értékelését.

Bírálóm megjegyzi, hogy bizonyos témaköröket, mint pl. a fluxus számítás módszertana, a footprint elemzés, illetve a modellfejlesztés nem fejtek ki. Idézem Bírálóm megjegyzését:

*“Ez a szerkesztési stílus nem könnyíti meg a bírálók munkáját, mivel a tézisek megalapozottsága és újdonságtartalma nem ítéltető meg a dolgozat alapján. Célszerű lett volna az alkalmazott mérési módszereket és számítási eljárásokat a terjedelmi korlátok figyelembevételével, tömörített formában bemutatni, utalva a szakirodalomból ismert módszerektől eltérő újdonságokra.”*

Bírálóm elnézését kérem a nem kellően részletezett módszertani megalapozásért. Ahogy azt Dr. Kiss Gyulának írt válaszüzenetemben is megemlítem, a dolgozat írása közben sokat törtem a fejem, hogy mennyire részletesen fejtsék ki bizonyos részeket. Az írás közben a tömörség fontos szempont volt, viszont nem szerettem volna, hogy ez az érthetőség rovására menjen. Tekintve az alkalmazott módszerek sokféleségét és komplex jellegét az volt az alapvető filozófiám, hogy bizonyos, főleg módszertani részeket nem fejtek ki, és inkább az eredményekre koncentrálok. A módszertan kapcsán viszont hivatkozok azon szakkikre, ahol ezek elérhetők teljes részletességgel.

Konkrétan a felvetett témaköröket tekintve a fluxusszámítás módszertana részletesen le van dokumentálva PhD disszertációmban, ami publikusan elérhető az Interneten, illetve a dolgozatban hivatkozott cikkekben (Barcza, 2001; Haszpra et al., 2005). A PhD disszertáció megírása óta a módszertan lényegét tekintve csak kis mértékben változott. Az adatgyűjtéstől kezdve az adatok rendszerezése, kalibrálása, a szónikus anemométer adatainak korrekciója, a spektrális elemzés, a beszívási idő figyelembevétele, a hiányzó adatok figyelembe vétele, a trendszűrés, a kovariancia számítás, a spektrális korrekciók alkalmazása mind-mind komoly irodalmi háttérrel rendelkezik, és érzésem szerint a megemlítésük csak további kérdéseket vetett volna fel. A nyers fluxusok minőségellenőrzése, a további adatok származtatása, a meteorológiai adatok beszerzése, az adatok értelmezése, integrálása, a fluxus-szeparáció (vagyis a GPP és Reco származtatása), a hiányzó adatok pótlása további módszertani leírást igényelt volna. Az adatok bizonytalanságának származtatása is komplex, és részletezése messze vezetett volna.

A footprint elemzés kapcsán a 2009-ben megjelent tanulmányomban (Barcza et al., 2009) explicit közlöm a módszertan során használt egyenleteket. Itt maga a modell viszonylag egyszerű, de a felhasznált adatok magyarázatot igényeltek volna. Ugyancsak itt részletezni kellett volna a felhasznált műholdas adatokat, a fenológiai ciklus elemzését automatizált szoftverrel, be kellett volna vezetni az Obukhov hossz fogalmát stb. Ezek részletezését próbáltam elkerülni, mert az eredmények a módszertan ismerete nélkül is jól értelmezhetők.

A Biome-BGCMuSo modell fejlesztése kapcsán Dr. Kiss Gyula is megemlítette, hogy az eredményekre koncentrálok a módszertan helyett. Valóban elsősorban a modelleredmények közlése volt a célom, mert az kapcsolódik a mérési részhez, és

önmagában is értelmezhető. A modellfejlesztés egy nagyon összetett, komplex, iteratív folyamat, amit nagyon nehéz röviden leírni. Sok éven át, nagyon sok konzultáció révén, ötletelésekkel, próbálkozásokkal fejlesztettük a modellt Hidy Dórával, majd később Fodor Nándor, Hollós Roland és Dobor Laura bevonásával. A sok éves fejlesztések eredményei részletesen le lettek publikálva azóta immár három szakcikkekben (Hidy et al., 2012; 2016; 2022), tehát a fejlesztések részletei hozzáférhetők igény esetén. Hogy egy kis ízelítőt adjak a fejlesztésekből az 1. ábrán bemutatom a címlapját néhány olyan dokumentumnak, amiket a 2022-ben befejeződött GINOP projektünk keretében készítettünk. (A dokumentumok nem hivatkozhatók, révén nem publikált belső anyagok.) Nyilván ez csak egy része a fejlesztéseknek. Saját hozzájárulásom kapcsán néhány példát talán érdemes megemlíteni: ilyen a többretegű talajmodul bevezetésének a felvetése és a megfelelő módszertan kiválasztása a talajnedvesség származtatására; a maximális sztóma-konduktancia és a légköri szén-dioxid koncentráció kapcsolatának matematikai leírása; a fotoszintézis illetve allkokáció hőmérséklet-függésének különválasztása; a talajok nitrogén-forgalmának számszerűsítése beleértve a dinitrogén-oxid emisszió származtatását; a fotoszintézis hőmérséklet-akklimációjának a leírása; a hőmérséklet-függő Q10 bevezetése. A lista nyilván nem teljes, és Hidy Dóra kolléganőm lényegében minden fejlesztésben szintén alapvető szerepet játszott, hiszen vele egyeztetve algoritmizáltuk a módszereket, és végül Dóri programozta be, hiszen ő tartja karban a C szoftver-kódot. Reményeim szerint a három szakcikk, amelyeket az Ecological Modelling, illetve Geoscientific Model Development szakfolyóiratokban közöltünk jó áttekintést adnak a fejlesztésekről.



1. ábra. Válogatás a modell fejlesztése során készült belső fejlesztési anyagokból (csak a címlapot mutatom be itt; a teljes dokumentumok a <https://nimbus.elte.hu/~bzoli/public/dsc/> címen érhetők el).

4. oldal: „A 20. század közepétől kezdve azonban a szárazföldi növényzet egyre inkább nettó szén-dioxid felvevővé vált. Ez a folyamat részben ellensúlyozta a növekvő, emberi eredetű CO<sub>2</sub> kibocsátást.” – Itt nem az egyre nagyobb mennyiségű mezőgazdasági termény előállításáról és felhasználásáról van szó, tehát arról, hogy a fosszilis szén mellett egyre több mezőgazdasági terményt is égetünk? Ha a folyamat nem jár a biomassza vagy egyéb formában a felszínen tárolt szén felhalmozódásával, akkor az NEE (Net Ecosystem Exchange, mely értésem szerint a légkörbe irányuló átlagos CO<sub>2</sub> fluxusnak felel meg) csökkenése nem segít a légköri CO<sub>2</sub> csökkentéséért folyó harcban.

Itt elsősorban a természetes vegetációban tárolt szén mennyiségének a növekedéséről van szó, ami a légköri CO<sub>2</sub> mennyiség csökkentésének egy módja. Tehát pontosan a szárazföldi

biomassza mennyiségének a felhalmozódása a kulcs. A mezőgazdaság szerepe itt összetett. Az erdőirtások, illetve tágabb értelemben a földhasználat-váltás révén nagyon sok CO<sub>2</sub> került a légkörbe az ipari forradalom kezdete óta. A szántóföldi növénytermesztés viszont önmagában nem köt meg szenet a légkörből jelentős mértékben. Az elfogadott szemlélet szerint (Ciais et al., 2010) a növénytermesztés miatt a CO<sub>2</sub> felvétel igen intenzív a szántóföldeken. Az elszállított termény, illetve adott esetben az elszállított mezőgazdasági melléktermékek miatt a légkörből felvett szén egy része nem a helyszínen oxidálódik, hanem máshol, pl. az emberi fogyasztás hatására, vagy az állati takarmányozás miatt (persze itt megint sok kérdés felmerül pl. a metán kapcsán). Ez azt jelenti, hogy mivel a CO<sub>2</sub> kibocsátás máshol történik, és nem a felvétel helyén, ezért a szántók (és a kaszált gyepek) meglehetősen erős CO<sub>2</sub> nyelőnek látszanak a légkör szempontjából, tehát erős negatív NEE tartozik hozzájuk, ahogy a dolgozatban be is mutatom. De ez nem jelenti azt, hogy CO<sub>2</sub> megkötés történik. A látszólagos ellentmondást (erős negatív NEE, vagyis felvétel, de kvázi zéró megkötés) az NBP bevezetése oldja fel, hiszen az NBP kapcsán nem csak a függőleges CO<sub>2</sub> áramokat származtatjuk (tehát a légkör és a talaj/növény rendszer közötti áramokat), hanem a vízszintes mozgást is (laterális fluxus). És ahogy a Hegyhátsági adótornyon 82 m-es magasságban üzemelő eddy kovariancia rendszer esetén is látható, az NBP már egyáltalán nem mutat jelentős szénfelhalmozódást, hanem szénvesztést jelez. Ez persze csekély mértékű, de pont ellentétes irányú az intuitív, negatív NEE által sugallt szénmegkötéssel – ami egyáltalán nem megkötés.

Tehát, összefoglalásként, valóban az segít a légköri CO<sub>2</sub> szint csökkentésében, ha a biomasszában vagy a talajban hosszabb időre megkötjük a felvett CO<sub>2</sub> széntartalmát. Az említett mondatban a nettó felvétel a növekvő globális NBP-t jelenti.

*7. oldal: „...ha az eddigi összes antropogén CO<sub>2</sub> kibocsátást figyelembe vesszük, és feltételezzük, hogy minden kibocsátott CO<sub>2</sub> molekula a légkörben maradt, akkor a légköri CO<sub>2</sub> koncentráció jelenleg kb. 600 ppm lenne...” – A kibocsátott CO<sub>2</sub> molekulák számába beleértendő a mezőgazdasági termények felhasználásából származó CO<sub>2</sub> is? A kibocsátásnak ez a része nem marad a légkörben, hanem évről évre újra megkötődik, ezért félrevezető lehet az érvelés.*

Az a CO<sub>2</sub>, amit a vegetáció évről évre felvesz, és mezőgazdasági termény formájában kerül felhasználásra, de vissza is kerül a légkörbe, nem befolyásolja a légköri összes CO<sub>2</sub> mennyiséget. Az előző válaszban leírt logikát követve ez a nulla NBP-nek felel meg. Itt a mondat arra utal, hogy ha a természetes CO<sub>2</sub> megkötés nem létezne az óceánok, illetve szárazföldek által, akkor a légköri szint igen magas lenne.

*8. oldalon: „Ma már tudjuk, hogy a szárazföldi ökológiai rendszerek és az óceánok is évről évre nagy mennyiségű szén-dioxidot vesznek fel a légkörből, és kötnek meg ... 3,4 Pg/év a szárazföldi megkötés ...” – A szárazföldi megkötésnek nem a szántóföldi növénytermesztés kapcsán elszállított szén az oka? Ha így lenne, akkor ugyanez a széndioxid mennyiség a kibocsátásban is megjelenik.*

Ahogy az előző válaszokban leírtam, a megkötést nem a szántóföldi növénytermesztés során elszállított szén okozza. Valóban, a felvételnél és a kibocsátásnál is megjelenik a mezőgazdasági szénvesztés egy része.

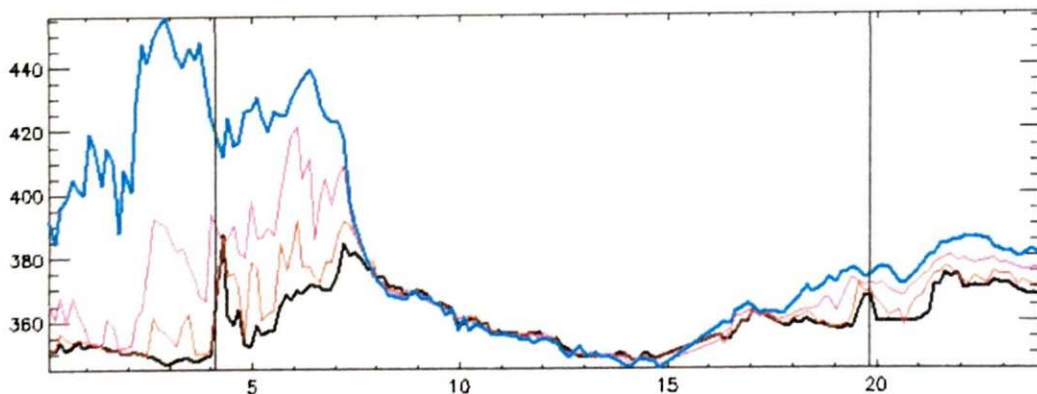
*Összefoglalva: Jól értem-e, hogy A) a füvesített és szántóföldi területeken megkötött széndioxid rövid úton visszakerül a légkörbe. B) Az erdős területek tárolókapacitása jelentős szerepet tölt be a légkör CO<sub>2</sub> háztartásában? Hogyan látja az erdősítés és faültetés szerepét a CO<sub>2</sub> megkötésért folytatott harcban?*

Igen, Bírálóm meglátása korrekt. Annyit finomítanék a szóhasználaton, hogy a szántóföldi, illetve gyepes területeken nem szénmegkötés történik, hanem szénfelvétel a légkörből, ami rövid időn belül vissza is kerül a légkörbe.

Az erdősítés és a faültetés nagyon komoly potenciált hordoz mitigáció szempontjából. A faanyagban tárolt szén hosszú távon megkötődik, és tárolja a légkörből felvett szenet. Persze árnyalja a képet, hogy egy fiatal ültetett erdő az első pár évben jelenlegi tudásunk szerint még nettó CO<sub>2</sub> kibocsátó (vagyis negatív az NBP), és csak évek múlva lesz nettó megkötő. Ugyancsak befolyásolják az erdők szénmérlegét az extrém időjárási események, mint például a hóhullámok, illetve aszályos időszakok. Mindenesetre az erdők természetes megoldást jelentenek a CO<sub>2</sub> kivonására a légkörből, ha megfelelően vannak kezelve. Árnyalja a képet, hogy az erdősítés korábban mezőgazdasági művelés alatt álló terület esetén problémát okozhat az élelmiszer-termelés kiesése miatt (ugyanaz igaz a bioenergia célú szántóföldi művelés kapcsán is), ezért itt a lehetőségek sok esetben korlátozottak.

*Érdekes, hogy negatív NEE esetén is a CO<sub>2</sub> egésznapos átlaga nyári időszakban a felszín irányába haladva növekszik (Barcza, 2001, „Concentration profiles”), tehát az átlagos fluxus iránya ez esetben ellent mond az átlagos koncentráció-gradiensnek. Mi okozza ezt a jelenséget?*

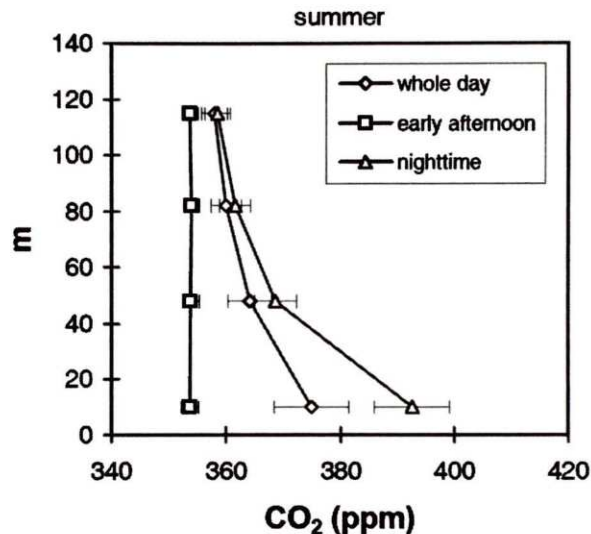
A CO<sub>2</sub> koncentráció napi menetének alakulása magyarázza a látszólagos ellentmondást. A 2. ábrán a felszínközeli CO<sub>2</sub> koncentráció alakulása látható Hegyhátsálon, 1998. egy tipikus nyári napján.



2. ábra. A CO<sub>2</sub> koncentráció alakulása Hegyhátsálon különböző mérési magasságokban egy tipikus nyári napon (1998. július 7.). Vízszintes tengely: idő (óra); függőleges tengely: CO<sub>2</sub> keverési arány (ppm). Fekete: 115 m; piros: 82 m; lila: 48 m; cían: 10 m. A függőleges vonalak a napkelte és napnyugta idejét ábrázolják.

A menet jellegzetessége, hogy éjszaka az inverzió miatt felhalmozódik a CO<sub>2</sub> a felszín közelében (ilyenkor a GPP nulla), és esetenként igen magas értéket is felvehet a háttérkoncentrációhoz képest (akár 200 ppm többlet is felléphet). A határreteg szerkezetének alakulása miatt az éjszakai inverzió felszakadása után napközben a felhamozódott CO<sub>2</sub> a légkör átkeveredése miatt felhígul, de ez több órát vesz igénybe napfelkelte után. Kora délutánra a konvektív határreteg lényegében homogénizálódik, ami a lenti 3. ábrán a kvázi

függőleges profilnak felel meg (négyzet szimbólumok). Ilyenkor a növényzet  $\text{CO}_2$  felvétele erőteljes, de szemben az éjszakai inverzióval ilyenkor az intenzív turbulencia átkeveri a felszínközeli réteget (is), és a  $\text{CO}_2$  felvétel nem okoz látványos pozitív (felfelé mutató) függőleges koncentráció gradienst. A 2. ábrán ez a  $\text{CO}_2$  felvétel úgy vehető észre, hogy 10 m-en mért koncentráció nappal csekély mértékben ugyan, de kisebb értéket mutat, mint a magasabb szinten mért adatok. Ezt a jelenséget a 3. ábrán a függőleges koncentráció profil alsó részének kissé balra dőlése mutatja, bár ez nem igazán látványos. Az egész napi adatok kapcsán a felszínközeli  $\text{CO}_2$  koncentráció magas éjszakai értékei miatt az a benyomást keltheti az ábra, hogy nincs is felvétel. Tehát röviden a  $\text{CO}_2$  felvétel/kibocsátás és a határréteg szerkezete együtt alakítja ki a koncentráció-profil, amit a dolgozatban bemutattam.



3. ábra.  $\text{CO}_2$  koncentráció profilok Hegyhátsálon. Részlet a PhD disszertáció 3.1. ábrájáról.

23.oldal: NEE értékét mutatja be a Photosynthetic Photon Flux Density, és a Vapor Pressure Deficit (VPD) függvényében. Miért nem kétparaméteres regressziót alkalmazott? Mit jelent VPD alacsony és magas értéke?

A bemutatott elemzés a VPD fontosságát mutatja, de nem volt célom a VPD hatásának számszerűsítése. Emiatt nem alkalmaztam többváltozós regressziót. Bírárom észrevétele jogos. Érdekes lehet megvizsgálni alternatív matematikai módszerekkel is a VPD hatását. A VPD, vagyis telítési hiány a légköri szárazság egy mérőszáma. Ha magas az értéke, akkor száraz a légkör, és a növények a vízvesztés csökkentése érdekében részben bezárják a sztómáikat. Ez a fotoszintézis szabályozását vonja maga után, hiszen a gázcsere nyílásokon keresztül történik a vízgőz kiáramlása és a  $\text{CO}_2$  egyidejű felvétele is.

3.5. ábra kapcsán: Nagyon érdekes a NEE éves ciklusa és a  $\text{CO}_2$  megkötés. Miből tudható, hogy nem a mérés nullponthibájának integrálját látjuk?

Az eddy kovariancia alapú fluxusmérés módszertana kiforrott, és jól becsülhető a számított áramok hibája. A Barcza et al. (2020) tanulmányban a napi fluxusokra mutattam be módszert a véletlen hiba becslésére. A fluxusszámítás általánosságban alkalmazott módszertana

biztosítja, hogy szisztematikus hibától mentesek az áramok. Ilyen értelemben nem a hiba integrálját látjuk az ábrákon (beleértve a kumulatív NEE ábrákat), hanem a jelet, a felvétel és a kibocsátás eredőjét. A FLUXNET hálózaton belül az elfogadott álláspont szerint az éves hiba +/-40-50 gC/m<sup>2</sup>/év körül van (Aubinet, 2012). Ennél lényegesen nagyobb éves áramokat mérünk abszolút értelemben, tehát a hiba nem okozhat előjelváltást, és nem nullázhatja le az éves összeget. Konkrétan a nullpont hiba a fluxusszámítások során nem merül fel, mert nem regresszió által számolódnak az áramok, hanem kovarianciaként.

*26. oldal: „-NEE és az elszállított szén alapján becsülhető az NBP (Net Biom Production), ami tulajdonképpen a talaj-növény rendszer teljes szénmérlege (lényegében a talajban tárolt szén változásával egyenértékű légyszárúak esetén). ... Az átlagos NBP -25 gC m<sup>-2</sup> év<sup>-1</sup>, ami azt sugallja, hogy hosszabb távon a hegyhátsági gyepek szénvesztő.” – Látható-e ez a szénmennyiség-változás a talajban?*

Hegyhátsálon a talajok szénkészletére vonatkozóan nincs mérési adatunk. Fontos megjegyezni, hogy a talajok szénkészletének mérése hibákkal terhelt, és sok módszertani probléma van a mai napig a talajok szerves szénkészletének mérése kapcsán (lásd Lehmann and Kleber (2015) összefoglaló munkáját). Emiatt néhány éves időskálán a talajok szénkészletének változása nem is számszerűsíthető reálisan. 50-100 éves horizonton lehet megbízható adatokat származtatni.

Magyarországon hosszú távú talaj szénkészlet változásra kevés adat áll rendelkezésre. Falloon and Smith (2002) tanulmányukban két magyar mérési hely adatát is bemutatja, név szerint Martonvásár és Nagyhorcsók adatait (amik szántóföldi kísérletek). Itt az adatok kis mértékű szénkészlet csökkenést mutatnak hosszú távon, ami a kezelésektől is függ.

A dolgozatban röviden bemutatam az országos léptékű üvegházhatású gáz mérlegre vonatkozó szintézis munkámat. Ennek részeként az Agrártudományi Kutatóintézet munkatársától, Pásztor Lászlótól kaptam adatokat a hazai talajok szénkészletére vonatkozóan, az AGROTOPO és a DKISIS adatbázisokból (Barcza et al., 2010). Itt a becsült jelenlegi állapotot közlöm, ami indikatív, és hosszú távon hasznos referencia adat lehet. A gyepek és a szántóföldek kapcsán országos átlagban a szénkészlet 11-13 kgC/m<sup>2</sup>. Ebben a tekintetben a becsült szénvesztés nem jelentős, de fontos indikátora az esetleges negatív tendenciáknak.

*3. tézis: Számomra nem érthető, hogy mi az új tudományos eredmény. A tézispont túlzottan sok bizonytalanságot tükröző kifejezést tartalmaz: „úgy tűnik”, „egyre inkább”, „nem feltétlenül”. A tézispontot ebben a formában nem tartom elfogadhatónak.*

Az NBP származtatása magas torony talapú eddy kovariancia mérések esetén problematikus. Dr. Kiss Gyula bírálatában több kérdést is feltett a horizontális szénmozgás tekintetében, teljesen jogosan. Amit a munkám során meg tudtam valósítani, az a teljes szénmérleg becslése egy, az eddy kovariancia mérések kontextusában szokatlanul nagy területre vonatkozóan. Kihasználtam, hogy az éves adatok jól korrelálnak a megyei szintű termésátlagokkal, és ugyancsak kihasználtam, hogy a mezőgazdasági termelés kapcsán jól becsülhető a teljes produkció. Csak azokat a fluxusokat próbáltam számszerűsíteni, amelyeket nagyságrendjük miatt fontosnak ítéltam. Az elhanyagolások miatt pontosabb adatokat nem tudok származtatni. Mivel a becsült szénvesztés közel nulla, hasonlóan az európai helyzetképhez (Ciais et al., 2010), ezért véleményem szerint csak óvatosan szabad fogalmazni. A tézispontban felvázolt eredmények véleményem szerint újak, és egy alternatív becslést adnak a talajok szénkészletének változására Magyarországon. Az adatsor

világviszonylatban is hosszú, de még így sem elegendően hosszú ahhoz, hogy tendenciózus változásokat tudjunk belőle detektálni. Kicsit több mint két évtized adatsoráról van szó itt, jelentős évek közötti változékonysággal. Mindenesetre az az eredmény, hogy nagyobb térskálán az elszállított biomassa ellenére produktív években van lehetőség kis mértékű szénfelhalmozásra a talajokban hazai viszonylatban, legjobb tudomásom szerint korábban nem volt megfogalmazva. Nyilvánvaló, hogy további kutatómunkára van szükség ahhoz, hogy ezt az állítást ellenőrizzük, elfogadjuk, vagy elvessük.

*59. oldal: „A számítások egyik legfontosabb eredménye, hogy szén-dioxid tekintetében a nettó mérleg nulla körüli, vagyis összességében a hazai ökológiai rendszerek nem kötnek meg szén-dioxidot a légkörből (NBP~0). Ennek oka, hogy az erdők szénmegkötését ellensúlyozza a mezőgazdaságra jellemző (kisebb mértékű, de nagy területre jellemző) nettó szén-dioxid kibocsátás (Barcza et al., 2010).” – A 4.6. ábrán látható, hogy a talajban tárolt szén mennyisége az erdős területeken kb. 10 kg/m<sup>2</sup>. Ez a mezőgazdasági művelés alatt álló területek esetében valószínűleg kevesebb. Mennyi lehet a talajban tárolt szénkészlet a szántóföldek esetében és milyen szénforrás terhére tud a mezőgazdaság nettó kibocsátó lenni?*

A fent leírtak szerint országos átlagban a mezőgazdasági talajok szénkészlete a felhasznált adatforrástól függően 13.3 és 13.7 kgC/m<sup>2</sup> között lehet (AGROTOPO illetve DKSIS adatok). A negatív NBP a talajok ezen szénkészletének csökkenését okozza, mivel szántóföldek esetén nincs állandó biomassa, ami szenet tud megkötni.

A modellezésre vonatkozó tézispontok kapcsán Bírálóm megjegyzéseire alább válaszolok.

**3. tézispont. Nem világos, hogy a tézispont milyen többletet tartalmaz az 1. tézisponthoz képest. Javaslom a tézispont összevonását az 1. tézisponttal.**

Az 1. tézispont kizárólag a modell adaptálását, fejlesztését, közzétételét és gondozását tartalmazza. Itt a model felhasználása nem merül fel. Számos kutató használ modellt (letölti az Internetről, vagy megkapja egy kollégától), de egyáltalán nem végez rajta módosítást. Itt azt szerettem volna bemutatni, hogy a Biome-BGCMuSo modell kapcsán sokéves munkánk eredményeképpen egy jól dokumentált, széles körben használt, korszerű, nyílt forráskódú és könnyen hozzáférhető modellt hoztunk létre, ami versenytársa az ismert biogeokémiai, illetve mezőgazdasági modelleknek, mint például az ORCHIDEE, a JULES, a CLM, a STICS, a DSSAT, a PaSim stb. Ezzel szemben a 3. tézispont a modell alkalmazását mutatja be, országos térskálán, amit korábban senki nem valósított meg. Itt a modell fejlesztése nem merül fel, csak a használata. Hozzáadott érték, hogy a hegyhátsái mérések adatait is felhasználom, tehát a modell-adat fúzió kapcsán is bemutattam egy fontos lépést.

**4. tézispont. Nem világos, hogy a tézispont milyen többletet tartalmaz az 2. tézisponthoz képest. Javaslom a tézispont összevonását az 2. tézisponttal.**

A 2. tézispont pontszerű szimulációkra vonatkozik. Többek között a CECILIA, MACSUR, illetve AgMIP projektek keretén belül különböző mérőhelyekre készítettünk szimulációkat több modell felhasználásával, és ezzel kapcsolatban végeztünk vizsgálatokat. Kiemelném a gyepekre vonatkozó eredményeket, amelyek világviszonylatban is úttörők (Sándor et al.,

2017). A dolgozat megírása óta megjelent egy újabb tanulmányunk, amelyben a Biome-BGCMuSo modellt amerikai helyszínekre alkalmaztuk multimodell környezetben az evapotranszpiráció becslésére (Kimball et al., 2023). Érdekességképp megemlítem, hogy a Biome-BGCMuSo igen jól szerepelt a tanulmányban, és eredményei sokszor felülmúlták a mezőgazdasági modellek eredményeit.

Ezzel szemben a 4. tézispont térbeli üvegházhatású gáz mérlegre vonatkozik, Magyarország viszonylatában. Ez a munka módszertanát tekintve is teljesen más, mint a 2. tézispontban bemutatott munka. Itt a Biome-BGC modell pusztán egyike volt a számos adatforrásnak, amit felhasználtam (a Biome-BGC térbeli futtatását is elvégeztem ennek részeként). A Barcza et al. (2010) tanulmány elsőként adott átfogó referenciát a tudomány akkori állása szerint Magyarország bioszférikus üvegházhatású gáz mérlegére.

*5. A modell-adat fúzió módszere nem tekinthető jelölt saját kutatási eredményének. Véleményem szerint az első hazai alkalmazás nem fogadható el új tudományos eredményként. A tézispontot nem fogadom el.*

A modell-adat fúzió minél tágabb értelemben vett hazai alkalmazására nem tudok további példát. Mivel a modellfejlesztés, a modell dokumentálása, a modell köré épített informatikai környezet elkészítése és közzététele, a modell optimalizálása, a modell számára klíma-adatbázis létrehozása, a modell alkalmazása, a problémák alapján a modell továbbfejlesztése mind-mind része volt az évek során a munkámnak, ezért ezt a komplexitást szerettem volna itt kiemelni egy tézispontként. Ehhez ad keretrendszert a modell-adat fúzió, ami nem csak a mérési adatok kalibráció célú alkalmazását jelenti. A dolgozatban a 2.2. ábra, illetve a 4.13-as infografika mutatja be ezt a rendszert szemléletesen. A dolgozat befejezését követően jelent meg egy szakcikkünk Hollós Roland doktoranduszom ötlete alapján, ami egy világviszonylatban is új modell-optimalizációs módszert mutat be (CIRM; Hollós et al., 2022). Ezzel az új módszerrel a modell-adat fúzió egy újabb komponensét érintjük.

## **Hivatkozások**

Aubinet, M., Vesala, T., Papale, D., 2012. Eddy covariance: A practical guide to measurement and data analysis. Springer, Dordrecht.

Barcza, Z., 2001. Long term atmosphere/biosphere exchange of CO<sub>2</sub> in Hungary. Ph.D. értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, Budapest, 2001. <http://nimbus.elte.hu/~bzoli/thesis/>

Barcza, Z., Kern, A., Haszpra, L., Kljun, N., 2009. 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., Bondeau, A., Churkina, G., Ciais, Ph., Czóbel, Sz., Gelybó, Gy., Grosz, B., Haszpra, L., Hidy, D., Horváth, L., Machon, A., Pásztor, L., Somogyi, Z., Van Oost, K., 2010. Modeling of biosphere-atmosphere exchange of greenhouse gases — Model based biospheric greenhouse gas balance of Hungary. In: Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective (Ed.: Haszpra, L.). Springer, Dordrecht - Heidelberg - London - New



York, pp. 295-330. ISBN 978-90-481-9949-5, e-ISBN 978-90-481-9950-1, doi: 10.1007/978-90-481-9950-1

Ciais, P., Wattenbach, M., Vuichard, N., Smith, P., Piao, S.L., Don, A., Luyssaert, S., Janssens, I., Bondeau, A., Dechow, R., Leip, A., Smith, P., Beer, C., van der Werf, G.R., Gervois, S., Van Oost, K., Tomelleri, E., Freibauer, A., Schulze, E.D., and CARBOEUROPE Synthesis Team., 2010. The European carbon balance. Part 2: croplands. *Global Change Biology*, 16, 1409-1428. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02055.x

Falloon, P., Smith, P., 2002. Simulating SOC changes in long-term experiments with RothC and CENTURY: Model evaluation for a regional scale application. *Soil Use and Management*, 18, 101–111. doi:10.1111/j.1475-2743.2002.tb00227.x

Haszpra, L., Barcza, Z., Davis, K. J., 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

Hidy, D., Barcza, Z., Haszpra, L., Churkina, G., Pintér, K., 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

Hidy, D., Barcza, Z., Marjanović, H., Ostrogović Sever, M. Z., Dobor, L., Gelybó, G., Fodor, N., Pintér, K., Churkina, G., Running, S., Thornton, P., Bellocchi, G., Haszpra, L., Horváth, F., Suyker, A., Nagy, Z., 2016. Terrestrial Ecosystem Process Model Biome-BGCMuSo v4.0: Summary of improvements and new modeling possibilities. *Geoscientific Model Development*, 9, 4405-4437. doi:10.5194/gmd-9-4405-2016

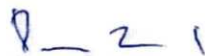
Hidy, D., Barcza, Z., Hollós, R., Dobor, L., Ács, T., Zacháry, D., Filep, T., Pásztor, L., Incze, D., Dencső, M., Tóth, E., Merganičová, K., Thornton, P., Running, S., Fodor, N., 2022. Soil-related developments of the Biome-BGCMuSo v6.2 terrestrial ecosystem model. *Geoscientific Model Development*, 15, 2157–2181. doi:10.5194/gmd-15-2157-2022

Hollós, R., Fodor, N., Merganičová, K., Hidy, D., Árendás, T., Grünwald, T., Barcza, Z., 2022. Conditional interval reduction method: A possible new direction for the optimization of process based models. *Environmental Modelling and Software*, 158, 105556. doi:10.1016/j.envsoft.2022.105556

Kimball, B.A., Thorp, K.R., Boote, K.J., Stockle, C., Suyker, A.E., Evett, S.R., Brauer, D.K., Coyle, G.G., Copeland, K.S., Marek, G.W., Colaizzi, P.D., Acutis, M., Alimaghani, S., Archontoulis, S., Babacar, F., Barcza, Z., Basso, B., Bertuzzi, P., Constantin, J., De Antoni Migliorati, M., Dumont, B., Durand, J.-L., Fodor, N., Gaiser, T., Garofalo, P., Gayler, S., Giglio, L., Grant, R., Guan, K., Hoogenboom, G., Jiang, Q., Kim, S.-H., Kisekka, I., Lizaso, J., Masia, S., Meng, H., Mereu, V., Mukhtar, A., Perego, A., Peng, B., Priesack, E., Qi, Z., Shelia, V., Snyder, R., Soltani, A., Spano, D., Srivastava, A., Thomson, A., Timlin, D., Trabucco, A., Webber, H., Weber, T., Willaume, M., Williams, K., van der Laan, M., Ventrella, D., Viswanathan, M., Xu, X., Zhou, W., 2023. Simulation of evapotranspiration and yield of maize: An inter-comparison among 41 maize models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 333, 109396. doi:10.1016/j.agrformet.2023.109396

Lehmann, J., Kleber, M., 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528, 60–68. doi:10.1038/nature16069

Budapest, 2023. augusztus 11.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'Z' followed by a horizontal line and a vertical stroke, resembling the name 'Zoltán'.

Barcza Zoltán