

Válasz Dr. Kiss Gyula tudományos tanácsadó, az MTA doktora,  
“Légköri üvegházhatású gázok felszíni mérlegének vizsgálata eddy  
kovariancia mérések és biogeokémiai modell segítségével” című MTA  
doktori értekezésemre vonatkozó bírálatára

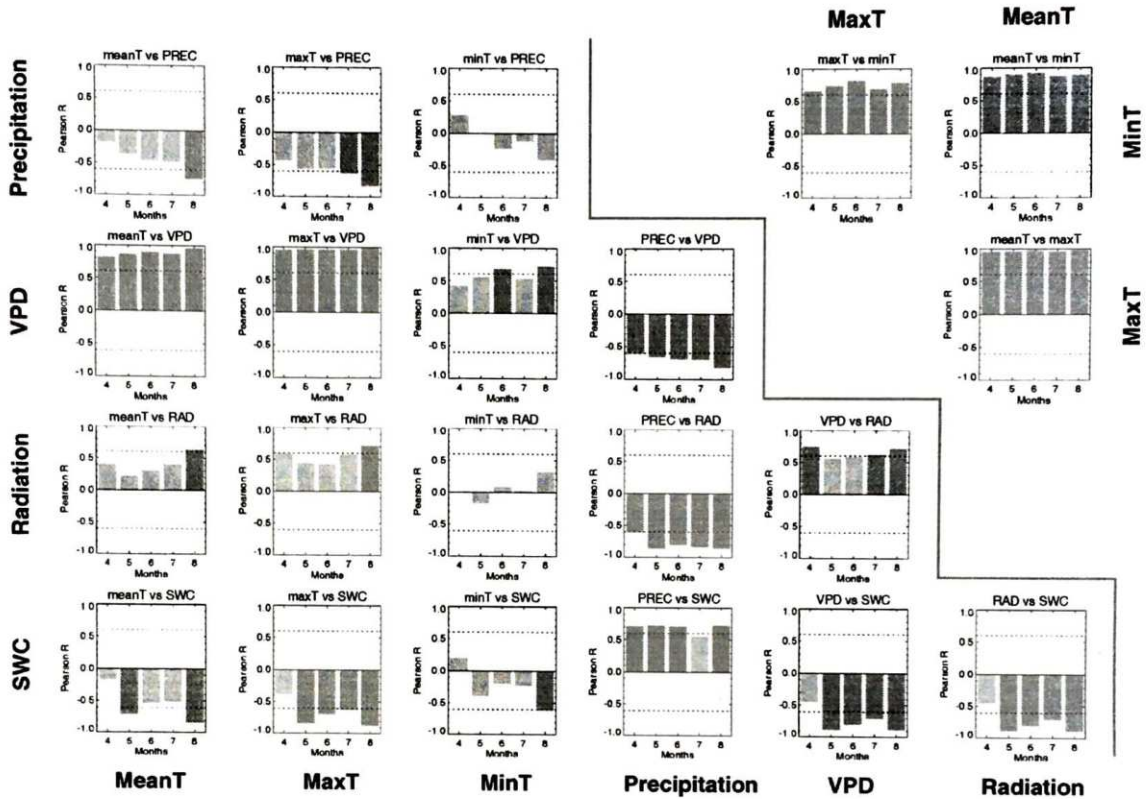
Köszönöm Bírálóm munkáját és a dolgozatommal kapcsolatos észrevételeit, felvetéseit. A gépelési hibákért és a rövidítésjegyzék hiánya miatt elnézést kérek.

Bírálóm megjegyzi, hogy a dolgozatba több helyen „mézes madzag” érzése volt, ami azt jelenti, hogy felvettem gondolatokat, amiket nem fejtettem ki. Köszönöm az észrevételt. A dolgozat írása közben sok esetben szembesültem azzal a dilemmával, hogy mennyire részletesen fejtsék ki gondolatokat. Az alapvető elképzelésem az volt, hogy olyan terjedelmű disszertációt készítsék, ami viszonylag tömör, és ezzel kevesebb munkát ad a bírálóknak, de mégis megfelelő részletességgel mutatja be a főbb gondolatokat, illetve az eredményeimet a pályafutásom kapcsán. Ez a gondolkodásmód tükröződik azon, hogy bizonyos gondolatok nincsenek kifejtve.

A 13. oldalon említett Ciais et al. (2014) tanulmány a Biogeosciences open access folyóiratban jelent meg, terjedelme 56 oldal, és egészen egyedülálló részletességgel mutatja be a globális szén ciklus pontosabb megismeréséhez használt eszközöket. Bármelyik bemutatott komponensről (műholdas távérzékelés, légköri megfigyelések stb.) nagyon sokat lehetett volna írni, ami aránytalanul megnövelte volna az irodalmi áttekintés terjedelmét. Emiatt döntöttem úgy, hogy inkább kiemelem a szócikk fontosságát, és az olvasóra bízom, hogy a részleteket is akarja-e látni. A cikk egyik legfontosabb üzenete, hogy a szén ciklus vonatkozásában égető szükség van a globális megfigyelő-hálózat fenntartására, ami a különböző tér- és időskálájú megfigyeléseket integrálja. Felhívja a figyelmet, hogy a döntéshozók támogatására is nagy szükség van a nemzetek szintjén is. Erre egy aktuális jó példa az ICOS európai hálózat, aminek Magyarország nemrég lett a tagja, és a hegyhátsági mérőállomás a hazai részvétel központja.

Ugyancsak a „mézes madzag” megjegyzése kapcsán Bírálóm említi, hogy nem magyarázom meg a 45. oldalon a Kern et al. (2018) tanulmány kapcsán az adatok kolinearitására vonatkozó módszertani megjegyzésünket. Itt megint csak amiatt nem írtam részleteket, mert egy meglehetősen speciális témáról van szó, és nem akartam túlságosan belemenni a részletekbe. Röviden, itt arról van szó, hogy ha statisztikai modellt építünk pl. a mezőgazdasági termelés vagy a szénmérleg komponensek évek közötti változékonyságának vizsgálatára, a prediktorok, vagyis a meteorológiai paraméterek között mindenképp lesz statisztikai kapcsolat. Ez a kapcsolat az ún. kolinearitás, amit a lineáris korrelációs együtthatóval célszerű kifejezni (ennek négyzete konkrétan a magyarázott varianciára utal). Az alább bemutatott 1. ábra a Kern et al. (2018) tanulmány ide vonatkozó 4. ábrája. A fő mondanó itt az, hogy ha csupán statisztikai szempontból vizsgáljuk a magyarázó adatokat, akkor például a telítési hiány (VPD) és a maximum hőmérséklet (maxT) közül csak az egyik változót érdemes megtartani prediktorként, hiszen a másik változó is kb. ugyanolyan jó prediktor lehet a VPD és a maxT közötti szoros kapcsolat miatt (tehát redundancia lép fel statisztikai értelemben). Viszont a növényi működés szempontjából vizsgálva a helyzet megváltozik: a VPD és a maxT részben más növényi folyamatokat befolyásol. A magas VPD a sztóma záródását okozza, ami csökkenti a transzspirációt, de egyben a fotoszintézist is leszabályozza. A magas maxT a sztómaakat nem befolyásolja általában, de pl. mezőgazdasági növények esetén a virágzás idején részleges terméketlenséget okozhat. Ezen megfontolásokból a kolinearitást nem tekintettük problémának,

és így olyan modelleket sikerült felépítenünk, amik valószínűleg realisabban magyarázzák a növényi működés évek közötti változékonyságát. A részletesebb magyarázat meghaladja ezen válasz terjedelmi korlátait.



1. ábra. A környezeti változók közötti kolinearitás (Pearson R értékkel kifejezve) a növények növekedése és fejlődése szempontjából kritikus időszakokat képviselő kiválasztott hónapokban (áprilistól augusztusig). A szaggatott vízszintes vonal jelzi a statisztikai szignifikancia küszöbértékét ( $p < 0,01$ ).

Az alábbiakban Bíráló további kérdéseire, észrevételeire adok választ.

24. oldal. 3.5 ábra Hegyhátsálon az NEE közvetlenül a kaszálás után megemelkedik a 2007-es 2009-es években (ami csökkenő CO<sub>2</sub> felvételt jelez), de ez nem látszik ennyire jól 1999-2000-ben. Mi lehet az oka?

Ennek több oka is van. 1999-ben az első kaszálás során, ami május végén történt, a szénfelvétel átmeneti megtorpanása szépen látszik (a kumulatív görbe megtorpanása azt jelenti, hogy pár napig az NEE előjelet vált, és nettó CO<sub>2</sub> felvevőből kibocsátóvá válik a gyeper a fotoszintetizáló levélzet eltávolítása miatt). A második, augusztusi kaszáláskor, mint az a kumulatív NEE ábrán látszik, a gyeper már eleve szén-dioxid kibocsátó volt, mivel valószínűleg a növényzet egy része el volt száradva, és nem volt lényegi fotoszintézis (Barcza et al., 2003). Emiatt a kaszálás nem módosította a felvétel/kibocsátás menetét (azaz kibocsátó maradt a gyeper), és emiatt nincs látványos szakadás az adatsorban.

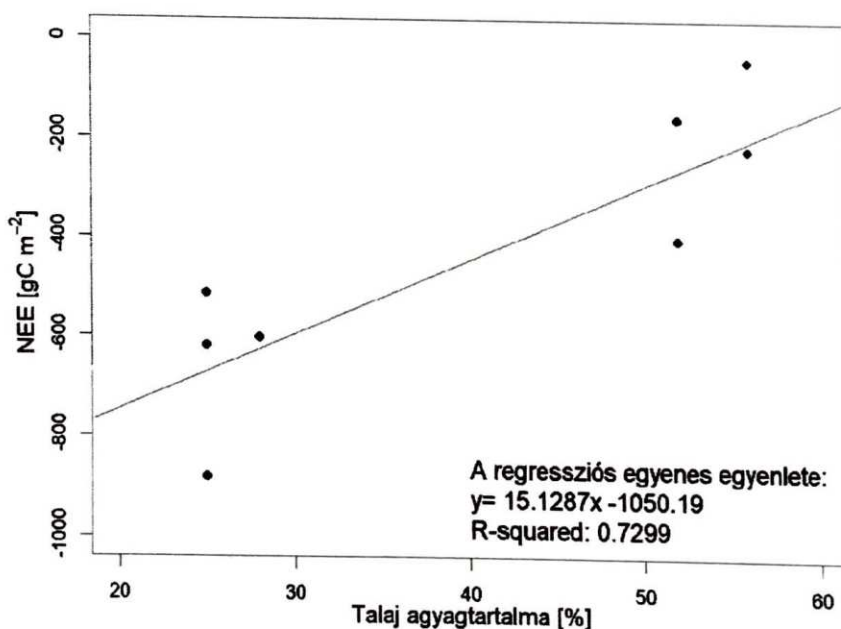
2000 júniusában a kaszálás időpontjában egy néhány napos adathiány miatt az adatokat statisztikai eljárással pótoltam (ezt hívja a szakirodalom “gap filling”-nek). Az adatpótlás jellegéből fakadóan nem tudja reprezentálni a kaszálás okozta átmeneti NEE növekedést. Szeptemberben kevésbé volt jellemző az adathiány – itt megint csak a gyepek CO<sub>2</sub> forrás jellege miatt nem látható a kaszálás hatása, hiszen nem változott meg az NEE előjele.

25. oldal A talajnedvesség hatásának vizsgálata során a Jelölt megállapítja, hogy „Ez a telítődés miatti leszabályozás nem jellemző Mátra és Bugac állomásokra. Az eredmények rámutatnak a talajtípus fontosságára a gyepek szénmérlege vonatkozásában.”

Ezek alapján azt gondolom, hogy a talajtípust is figyelembe kell venni, ha kiterjesztjük a modell eredményeket regionálisan (ahány talaj, annyi NEE). Megoldható ez?

Igen, mindenképpen megoldható, sőt, alapvető jelentőségű a talajok figyelembe vétele azok meghatározó szerepe miatt nem csak gyepek, hanem minden ökoszisztéma esetén.

Statisztikai modell alapján is lehet kezelni a talajtípustól való függést elegendő mennyiségű mérési adat rendelkezésre állása esetén. Erre tettünk kísérletet Nagy Domonkos meteorológus hallgatóval, aki 2020-ban készítette el a diplomamunkáját. Munkájának címe “Szántóföldi környezetben végzett eddy-kovariancia mérési adatok elemzése” volt. A munkája részeként több európai eddy kovariancia állomás adatai alapján elemeztük többek közt a mezőgazdasági szénmérleg komponensek és a talajtextúra kapcsolatát. Az alábbi ábrán kukorica kapcsán látszik a vegetációs időszakra összegzett NEE és a talaj agyagtartalmának a kapcsolata. Az erős kapcsolat ok-okozati összefüggést sugall, ami a különböző talajok eltérő víztartó-képessége, illetve szerves anyag forgalma kapcsán logikus is.



2. ábra. A talaj agyagtartalma és a vegetációs időszakra összegzett NEE közötti összefüggés európai eddy kovariancia állomások alapján. (Forrás: Nagy, 2020; az ottani 18. ábra).

Konkréten az értekezés kontextusánál maradva a folyamatorientált modellek megalkotásának pont az volt a célja, hogy a környezeti változók térbeli (és pl. a meteorológiai változók kapcsán az időbeli) változékonyságát is figyelembe tudjuk venni a szénmérleg számszerűsítésében. A bemutatott Biome-BGCMuSo modell is figyelembe veszi a talajtextúrát, illetve egyéb talajparamétereket a modellezés során. Az utóbbi évek fejlesztéseinek egyik fő irányvonala pont az volt, hogy a talajok víz- és nitrogénforgalmát, és ezen keresztül a teljes szénmérleget minél jobban le tudjuk írni.

26. oldal 3.6. ábra Milyen fajokból áll az a gyepek, ami Bugacon 5% talajnedvesség mellett ugyanannyi CO<sub>2</sub> megkötésére képes, mint a mátrai gyepek 25-35% talajnedvesség mellett? Ezek alapján nem csak a talajtól függ a gyepek szénmérlege, hanem a gyepek alkotó növényfajoktól is, amit szintén figyelembe kell venni a modellezésnél. Egyetért ezzel?

Pintér et al. (2007) alapján a bugacpusztai mérőhelyet *Festuca pseudovina* és *Achillea collina* növényfajok jellemzik elsősorban. A mátrai gyepek fő alkotója a *Festuca rupicola*. A növényfajok összetétele meghatározó a szénmérleg kapcsán, ez kétségtelenül így van. Jelenleg modellezői szempontból ebben az értelemben nem áll jól a tudomány, és mindenképp fejlesztésekre van szükség ebben a vonatkozásban. Pár éve részt vettem a francia INRAE MODIPRAS nevű pilot projektjében, ahol azt vizsgáltuk, hogy a növényi fajösszetétel, illetve tágabb értelemben a biodiverzitás hogyan vehető figyelembe a biogeokémiai modellekben (Van Oijen et al., 2020). Ebből egy szakcikk született, ahol felvázoltuk a tudomány jelenlegi állapotát, és felhívtuk a figyelmet létező megoldásokra, mint pl. a COSMO.

27. oldal A 3.1 táblázat kapcsán több kérdés, észrevétel is felmerült bennem:

- A Reco értékek pozitív előjellel (pl. 2008-ban 1516 gC m<sup>-2</sup> év<sup>-1</sup>) míg a GPP adatok negatív előjellel szerepelnek a táblázatban (pl. 2008-ban -1681 gC m<sup>-2</sup> év<sup>-1</sup>), gondolom, azért, mert ellentétes irányú folyamatokról van szó. Így viszont a 9. oldalon bemutatott definíció ( $NEE = Ra + Rh - GPP = Reco - GPP = Rh - NPP$ ) alapján az NEE értékére meglehetősen nagy pozitív értéket kapnánk (pl. 2008-ban 3197 gC m<sup>-2</sup> év<sup>-1</sup>), a táblázatban viszont az összes tanulmányozott év esetében negatív NEE értékek szerepelnek. Ha a folyamat irányát az előjellel jelezzük, akkor a definíciónak  $NEE = Reco + GPP$ -nek kellene lennie, de ha a definíció  $NEE = Reco - GPP$ , akkor Reco és GPP értékének is pozitívnak kell lennie a táblázatban véleményem szerint.

Köszönöm az észrevételt, Bírálóm meglátása helyes, valóban félrevezető a közölt GPP az előjel miatt. A GPP a közölt érték -1-szerese kellett volna legyen. Elnézést a pongyolaság miatt. A GPP és a Reco egyirányú folyamatok, tehát vagy csak pozitív, vagy csak negatív mennyiségként értelmezhetők. A szakirodalom sem egységes ebben az értelemben, ami a mai napig zavart okoz pl. az NEE értelmezésében. Az ökológusok a szénmérleget a talaj-növény rendszer szempontjából értelmezik, ami azt jelenti, hogy a nettó szénfelvétel pozitív előjelű, tehát a növény szénét vett fel a légkörből szén-dioxid formájában. A klímakutatók szempontjából az ökoszisztéma nettó szénfelvétele negatív előjelű, mert a légköri mennyiség csökkent. Én a dolgozatban ez utóbbi konvenciót használtam.

Az értekezésben a 3.10. illetve 3.11. ábra kapcsán használtam azt az módszert, hogy -GPP értéket közlök annak a szemléltetésére, hogy a Reco és a GPP ellentétes irányú folyamatok. Ezt a nem szokványos prezentálást a 3.10. illetve 3.11. ábra kapcsán ki is emeltem az ábrafeliratban (3.10. ábra: "A könnyű érthetőség kedvéért a GPP -1-szeresét ábrázoltam." 3.11. ábra: "A GPP éves összege a könnyű értelmezhetőség kedvéért negatív előjellel van ábrázolva."). Sajnos, ez a megjegyzés a 3.1. táblázat kapcsán kimaradt.

*- Abszolút értékben Reco és GPP 2015-ben volt a legalacsonyabb a mérések alapján. A bemutatott környezeti jellemzők között nem találtam olyat, ami indokolta volna pl. a kiugróan alacsony GPP-t ebben az évben. Mi lehetett ennek az oka? Más, nem vizsgált környezeti jellemző (pl. csapadék időbeli eloszlása) vagy esetleg mérés technikai okokra vezethető vissza?*

Tapasztalatom szerint az éves szinten átlagolt vagy összegzett meteorológiai adatokkal nem magyarázható jól az éves szénmérleg komponensek évek közötti változékonysága. Ennek az az oka, hogy az időbeli aggregálás elrejtje a sokszor rövidebb időszakokra jellemző időjárási anomáliákat. Például egy év tűnhet átlagosnak csapadék szempontjából, ha az év első felében átlag feletti a csapadékmennyiség, de a második felében átlag alatti. Ugyanez igaz a hőmérsékletre. Ennek felismerése miatt fejlesztettünk ki egy módszert, ami az éven belül rövidebb időszakok meteorológiai adataival hozza összefüggésbe a szénmérleg éves szintű komponenseit. A 82 m-es eddy kovariancia rendszer kapcsán a Barcza et al. (2020) tanulmányban publikáltuk ez a módszertan, és az így létrehozott statisztikai modell jól magyarázta a szénmérleg komponensek évek közötti változékonyságát. A gyeprre vonatkozó adatok kapcsán ez a fajta vizsgálat még nem történt meg. Konkrétan a kérdés kapcsán, igen, a környezeti változók jellemzői határozzák meg az éves összegeket beleértve a vegetációs időszak kezdetét, hosszát, a szénfelvétel intenzitását, a száraz időszakok hosszát stb. De összességében az évekre aggregált jellemzők ezekről nem hordoznak elegendő információt.

*- NEE negatív volt mindegyik évben, azaz kaszálás nélkül szénmegkötő lett volna a gyepr. Ezt módosította a kaszálás után elszállított széna mennyisége, aminek következtében bizonyos években pozitív, más években negatív lett NBP értéke, átlagosan  $-25 \text{ gC m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ , ami arra utal, hogy a gyepr szénvesztő. Mennyire pontos az elszállított széna mennyiségéről rendelkezésre álló információ? Hogyan mérte/számolta/számaztatta a szénával elszállított szén mennyiségét? Mekkora hibával terhelt ez az adat? Az NBP-t befolyásoló többi fluxus (pl. VOC) elhanyagolható volt minden évben? Ezeket azért kérdezem, mert a horizontális szénmozgás alapvetően befolyásolja NBP értékét és a levont következtetéseket.*

Bírálóm kijelentése helytálló, és ahogy a 2.1. ábrán bemutattam, a vizsgált „doboz”, azaz a vizsgált rendszer összes bemenő, illetve kimenő szénáramát vizsgálni kell, illetve kellene optimális esetben az NBP származtatásához, beleértve a függőleges és oldalirányú áramokat is. Az áramok számszerűsítése sok esetben nem teljes körű, még az európai szintézis tanulmányokban is elhanyagolnak bizonyos nehezen számszerűsíthető szénáramokat, mint pl. a VOC vagy a metán széntartalma.

A kaszálás után elszállított széna mennyiségét a kaszálást végző személyektől tudjuk. Kezdetben a hegyhátsági adóállomás gondnokától kaptunk erről tájékoztatást. Az évek során egy helyi

technikus bevonására is sor került, és ő segítette az adatokat összegyűjteni. Rendelkezésre áll az elszállított bálák száma, és egy bála hozzávetőleges tömege, illetve a gyepterülete. Ebből a szakirodalomban használt konverziós faktorokkal számítottam szén egyenértéket. A közölt laterális szénmozgás a legjobb tudásom szerinti becslés. A bála tömegének bizonytalanságából fakadóan az adat pontosságát +/-5% körülire becsülöm. A bizonytalanság ilyen értelemben hozzárendelhető a származtatott NBP értékhez, de ez kétirányú bizonytalanság, és a közölt adatot nem változtatja meg (ami a várható érték). Eleve az NBP bizonytalansága öröklő az éves NEE bizonytalanságát, ami 40-50 gC/m<sup>2</sup>/év körüli. Jelenleg ez a pontosság jellemző az összes eddy kovariancia állomásra.

A VOC kapcsán nem áll rendelkezésre mérési adat hegyhátsálon. Wohlfahrt et al. (2012) szerint a VOC-hoz köthető szénfluxus gyepek felett rendszerint legalább egy nagyságrenddel kisebb, mint a szén-dioxid formájában történő szénáram, és ezért elhanyagolható. Nyilván lehetnek kivételek, de jó eséllyel az eddy kovariancia mérés bizonytalanságába esik a VOC-cal összefüggő szénáram.

36. oldal A hegyhátsági vegyes mezőgazdasági terület szénmérlegével kapcsolatban ezt írja a Jelölt: "A teljes kép felvázolásához (konkrétan az NECB és az NBP becsléséhez) további információra van szükség, mivel a mérés a függőleges irányú fluxusokat méri (lásd 2.1. ábra), de nem ad információt a laterális szénmozgásról. Tekintve, hogy egy túlnyomórészt mezőgazdasági terület szénmérlegét méri a HU-Hel rendszer, kísérletet tettem a szántóföldekről időről időre elszállított szénmennyiség becslésére (bevételi oldalt nem számítottam)."

A szerves trágyázás, a műtrágyázás (pl. karbamid), vagy a vetés (vetőmag széntartalma) hatása elhanyagolható?

A hegyhátsági vegyes mezőgazdasági terület teljes szénmérlegének meghatározásakor mindenképpen elhanyagolásokkal kell élnünk. A mérés területi reprezentativitása igen nagy. Sok különálló szántó, erdős, illetve gyepterület, továbbá Hegyhátsál település is hozzájárul a mért fluxushoz. A teljes szénmérleg pontos meghatározása lényegében lehetetlen emiatt. A becslés során azokat a laterális áramokat próbáltam számszerűsíteni, amelyekre vonatkozóan viszonylag megbízható adat állt rendelkezésre, és nagyobb jelentőséggel bírnak. Ez lényegében az elszállított biomasszára vonatkozó bemutatott adat, ami viszonylag jól becsülhető.

Az évek során Haszpra László kollégámmal próbáltuk felvenni a kapcsolatot a torony körüli szántóföldek tulajdonosaival, hogy további adatokat szerezzünk például a kiszórt szerves trágyáról, illetve a mezőgazdasági gépek CO<sub>2</sub> kibocsátásáról, kevés sikerrel. (Itt meg kell jegyezni, hogy a gazdák meglehetősen bizalmatlanok, ha valaki gazdálkodási adatokat kérdez tőlük.) Amit tudunk a toronytól délre lévő parcella tulajdonosától, hogy főként műtrágyát használ, illetve bizonyos években a jó talajnak köszönhetően még azt sem.

Konkrétan Bírálóm kérdésére válaszolva a Központi Statisztikai Hivatal (KSH), illetve az Agrárközgazdasági Intézet (AKI) által közölt adatok alapján megbecsültem, hogy országos átlagban mennyi lehet a szénbevitel a szerves trágyázás, karbamid alapú műtrágyázás és vetés kapcsán. (Természetesen ez nem jelenti azt, hogy Hegyhátsál környezetében is ennyi a bevétel, de a számított értékek indikatívak). Szerves trágya esetén a 2004-2015 időszak átlagát tekintve, és feltételezve, hogy főleg istállótrágya került kijuttatásra, a bevétel kb. 13 gC/m<sup>2</sup>/év országos átlagban. Ez valószínűleg felülbecslés, mert a felhasznált szerves trágya egy része hígtrágya,

aminek jóval kisebb a széntartalma. Karbamid kapcsán a 2021-ben értékesített mennyiség alapján, megfelelő konverziós faktorok alkalmazásával országos átlagban a szénbevitel  $0,15 \text{ gC/m}^2/\text{év}$ . A vetőmag kapcsán az Agrártudományi Kutatóközpont kollégáinak tájékoztatása alapján búza esetén a becsült bevétel kb.  $8 \text{ gC/m}^2/\text{év}$ , míg kukorica esetén  $1 \text{ gC/m}^2/\text{év}$ . Figyelembe véve a 3.3. táblázat fluxusait, az említett laterális áramok nagyrészt elhanyagolható mennyiségek, különösen, hogy a szerves trágya használat valószínűleg kevésbé jellemző Hegyhátsál környezetében. A bevétel mellett a kiadási oldal elhanyagolásait is meg kell említeni. Nem tudjuk számszerűsíteni a mezőgazdasági munkagépek, illetve a közlekedés kibocsátását, továbbá Hegyhátsál település fosszilis eredetű kibocsátását, amelyek időről időre valamilyen mértékben pozitív irányba tolják el az NEE-t.

*Szintén a laterális szénmozgást (és így NBP értékét) befolyásolja az elszállított szén mennyisége. ... A melléktermék kezelésére vonatkozó feltételezés helytállóságáról, avagy hibájáról, bizonytalanságáról milyen információ áll rendelkezésre? Azért tartom lényegesnek a laterális szénmozgás mértékét, mert hatással van NBP értékére és a 3. fejezethez tartozó 2. és 3. tézispontban is szerepel.*

A mezőgazdasági melléktermék kezelésével kapcsolatban Birkás Márta professzor asszonnyal voltam kapcsolatban, aki a hazai szántóföldi növénytermesztés elismert szakértője. Tőle származnak azok a konverziós faktorok, amelyek segítségével a szemtermésből származtattam búzára és kukoricára vonatkozó NPP-t az ún. Harvest Index módszer alapján. A melléktermék kezelése kapcsán a hazai mezőgazdasági gyakorlatban elterjedt módszer, hogy a búza esetén a szalma kb. 2/3-át bálázzák és elszállítják, a többi a szántóföldön marad. Kukorica esetén a mellékterméket bezúzzák és beszántják. Ezekkel a feltételezésekkel éltem a számítások során. A korábban említett hegyhátsáli gazda is megerősítette, hogy ezt a gyakorlatot alkalmazzák a környékbeli gazdálkodók, tehát a számítási módszer megalapozott. A módszer bizonytalanságáról nem rendelkezem információval.

Szeretném itt kiemelni, hogy a forrásterülettel súlyoztam az elszállított mennyiséget, ami további bizonytalanságot visz a számításokba.

*Az értekezés 36. oldalán az olvasható, hogy a 21 éves átlagos NBP  $-30 \text{ gC m}^{-2} \text{ év}^{-1}$  volt, a 3. fejezethez tartozó 3. tézispontban pedig az szerepel, hogy az NBP kb.  $-20 \text{ gC/m}^2/\text{év}$  volt a vizsgált 1997–2018 időszakban. A két NBP érték más területre vonatkozott vagy esetleg elírás történt?*

Köszönöm Bírálóm észrevételét, itt egy elírás történt. A helyes érték a  $-30 \text{ gC m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ . Elnézést kérek a hibáért.

*Úgy láttam, hogy a 3.2.1 fejezet (eddy kovariancia mérések gyep felett) eredményeiből nem született tézispont. Mi ennek az oka?*

Amiatt nem külön tézispont, mert a gyep feletti mérés egy átlagosnak mondható monitoring program a FLUXNET konktextusában, ahol módszertani fejlesztésekre nem volt szükség.

Alapvetően használtuk a mérés eredményeit a modell fejlesztése során, plusz érdekességképp megemlítem, hogy az RBBGCMuso szoftvercsomagban a gyepes mérés idősorát adjuk közre a felhasználók részére, hogy demonstráljuk a Biome-BGCMuSo modell kalibrációját. Bújtatva valójában a mérés része az 1. tézispontnak, hiszen 14 állomás-év a gyepes méréshez tartozik. Jövőbeli terv a teljes mérési adatsor eredményeinek közzétevése, és az évek közötti változékonyság vizsgálata.

*A 3. fejezethez tartozó 4 tézispontból a 2. és 3. tézispontot a fenti észrevételeim alapján a jelenlegi formájában nem tudom elfogadni, az 1. és 4. tézispontot elfogadom.*

A 2. tézispont kapcsán a térbeli reprezentativitás számszerűsítése véleményem szerint új tudományos eredmény. A footprint (vagy más szóval forrásterület) által súlyozott laterális szénmozgás becslése is új módszertani fejlesztés eredménye, emiatt tartottam kiemelendőnek. Nem ismerek ehhez hasonló tanulmányt a szakirodalomból. A 3. tézispont kapcsán azt gondolom, hogy a megfogalmazott állítás megalapozott, és tulajdonképpen azt a sokak által feltett kérdést válaszolja meg, hogy a szántóföldek talajában lévő szénkészlet csökken-e a művelés hatására. Ha csökken, az hosszú távon a talajok degradációjához vezet, ami rontja a vízháztartást, és a fenntartható mezőgazdasági termelést is nehezíti. Nyilván, ahogy Bírálóm fenti kérdéseiből is kiderül, a számítás bizonytalansággal terhelt. Viszont mivel az eredmény összecseng az elvárásokkal, miszerint a talajok szénkészlete csak igen lassan változik, és rövid távon ez nagyon nehezen mérhető, ezért fontos olyan módszerek alkalmazása, ami ezt vizsgálja, de alternatív módszerrel. Itt pontosan erre törekedtem.

*A 27 oldalas 4. fejezetben a szénmérleg hazai és európai modellezése kapcsán elért eredményeket ismerteti a jelölt. A 3. fejezethez hasonlóan itt is először a módszertant írja le, amiből kiderül, hogy meghatározó szerepe volt/van az alkalmazott Biome-BGCMuSo modell fejlesztésében, tesztelésében, az algoritmusok készítésében, a felhasználókkal való kapcsolattartásban, a dokumentáció készítésében. Ennek ellenére az eredmények között nem a modell fejlesztését helyezi fókuszba, hanem a modellek segítségével levont következtetéseket.*

A modell fejlesztése egy nagyon összetett, komplex folyamat. 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 fejlesztések erősen technikai jellegűek, és nehezen befogadhatók a biogeokémiai modellezésben nem jártas kutatók számára. Emiatt azt a megoldást választottam a dolgozatban, hogy nem részletezem a fejlesztéseket.

A sokéves fejlesztések eredményeit immár három szakcikkben is publikáltuk (Hidy et al., 2012; 2016; 2022), tehát a fejlesztések részletei hozzáférhetők igény esetén.

Azért, hogy egy kis ízelítőt adjak a fejlesztésekből, a 3. 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.)





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

*A modelleredmények bemutatása kapcsán (pl. Magyarország teljes bioszférikus CO<sub>2</sub> mérlege) nem találtam utalást az eredmények bizonytalanságára vonatkozóan (ez alól kivétel csak a 4.4 és 4.7 ábra). Mi ennek az oka?*

Kontextustól függ, hogy a bizonytalanság számítása megtörtént-e. Determinisztikus modellfuttatásnál, mint amilyen pl. a Biome-BGC alkalmazása országos szinten, a bizonytalanság nem számszerűsíthető, mivel egyetlen futtatás történik a kalibrált modellparaméterekkel egy előre definiált rácson (pl. 4.5. ábra). Viszont a munkám egyik fő eredménye az ensemble alapú modellezés, aminek az egyik következménye, hogy több becslés áll rendelkezésre az egyes szénmérleg vagy üvegházhatású gáz mérleg komponensekre. Erre jó példa a 4.4. táblázat, ahol több becslés áll rendelkezésre az egyes komponensekre. Ezek alapján a bizonytalanság számszerűsíthető.

## Hivatkozások

Barcza, Z., Haszpra, L., Kondo, H., Saigusa, N., Yamamoto, S., Bartholy, J., 2003. Carbon exchange of grass in Hungary. *Tellus B*, 55, 187-196.

Barcza, Z., Kern, A., Davis, K.J., Haszpra, L., 2020. Analysis of the 21-years long carbon dioxide flux dataset from a Central European tall tower site. *Agricultural and Forest Meteorology*, 290, article 108027. doi:10.1016/j.agrformet.2020.108027

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

Nagy, D., 2020. Szántóföldi környezetben végzett eddy-kovariancia mérési adatok elemzése. Diplomamunka (témavezető: dr. Barcza Zoltán), ELTE Meteorológiai Tanszék pp 75. [https://nimbus.elte.hu/tanszek/docs/MSc/2020\\_2/Nagy\\_Domonkos\\_2020.pdf](https://nimbus.elte.hu/tanszek/docs/MSc/2020_2/Nagy_Domonkos_2020.pdf)

Pintér, K., Nagy, Z., Barcza, Z., Balogh, J., Czóbel, Sz., Fóti, Sz., Weidinger, T., Tuba, Z. 2007. Az ökoszisztéma-léptékű fotoszintetikus CO<sub>2</sub>-asszimiláció és légzés sajátosságai a mérsékelt övi gyepekben. *Magyar Tudomány* 167/10, 1280-1287.

Van Oijen, M., Barcza, Z., Confalonieri, R., Korhonen, P., Kröel-Dulay, G., Lellei-Kovács, E., Louarn, G., Louault, F., Martin, R., Moulin, T., Movedi, E., Picon-Cochard, C., Rolinski, S., Viogy, N., Wirth, S.B., Bellocchi, G., 2020. Incorporating biodiversity into biogeochemistry models to improve prediction of ecosystem services in temperate grasslands: review and roadmap. *Agronomy*, 10, 259. doi:10.3390/agronomy10020259

Wohlfahrt, G., Klumpp, K., Soussana, JF., 2012. Eddy Covariance Measurements over Grasslands. In: Aubinet, M., Vesala, T., Papale, D. (eds): *Eddy Covariance*. Springer Atmospheric Sciences. Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-94-007-2351-1\_13

Budapest, 2023. augusztus 11.



Barcza Zoltán