

## Opponensi vélemény

### Dr. Barcza Zoltán által az MTA doktora cím elnyerésére benyújtott „Légköri üvegházhatású gázok felszíni mérlegének vizsgálata eddy kovariancia mérések és biogeokémiai modell segítségével” című értekezéséről

Jelölt értekezésében mennyiségileg jellemezte egy tipikus magyarországi mezőgazdasági régió és egy kezelt gyep CO<sub>2</sub> forgalmát. Biogeokémiai modellel különböző ökoszisztémák, valamint Magyarország bioszférikus CO<sub>2</sub> mérlegét becsülte meg. Hazai és külföldi kollégák eredményeit szintetizálva pedig Magyarország teljes bioszféra eredetű üvegházhatású gázmérlegét számította. A szénmérleg becslés bizonytalanságát a modell-adat fúzió módszerével csökkentette.

A meteorológia és a klímakutatás szempontjából vette figyelembe a növényekben, valamint a talajban zajló folyamatokat. Meglátása szerint eredményei ezért speciálisak és nem egyszerűen értelmezhetők, pl. ökológusok vagy mezőgazdasági szakemberek számára.

A dolgozat három fő fejezetre tagolódik. 1./ „A szénmérleg összetevők mérése és modellezése” című fejezetben irodalmi adatokkal alátámasztottan mutatja be a globális szénmérleg elemeit és a széntározók becsült széntartalmát. Ismerteti a talaj – növény rendszer szénanyag- áramait és alapvető fogalmait. A szénmérleg mérését és modellezését 10 oldal terjedelemben foglalja össze. 2./ „A szénmérleg mérése Magyarországon” című fejezetben a hazai Eddy- kovariancia mérések történetét és helyszíneit ismerteti. A Hegyhátsálon 1994 óta működő 82 méter és a talajfelszínhez közeli 3 méter magasan működő Eddy-kovariancia mérőrendszerekkel művelt területre és füves területre vonatkozó méréseket mutatja be. 3./ „A szénmérleg modellezése Magyarországon és Európában” című fejezet a környezeti feltételek változásával a szénmérleg elemeinek változását vetíti előre. A Biom-BGC 4.1.1 biogeokémiai-modellt bemutatásáról, fejlesztéséről, amellyel mezőgazdasági növények és erdők CO<sub>2</sub> mérlegének a leírására vált alkalmassá. A módosított modellt a Biom-BGCMuSo-nak nevezték.

Jelölt eredményei ismertetése előtt az értekezés stílusáról, nyelvezetéről, értehetőségéről és követhetőségéről:

Az értekezés szöveges része köszönetnyilvánítással együtt 75 oldal és 15 oldal az irodalomjegyzék. A 91 számozott oldal terjedelmű MTA doktori értekezés csak látszólag rövid. A koncentrált eredményközlés a terjedelemhez mérten igen nagymennyiségű és túlnyomó részben publikált eredményt tartalmaz. Jelölt számos fogalmat, terminológiát használ. Jelentésüket megmagyarázza és magyar megnevezést is társít, majd nemzetközi jelölésüket használja. Hiányolom ezért a fogalmak és rövidítésük külön jegyzékben megadását. Az értekezés nyelvezetében az értehetőségre törekvés egyértelmű, a megfogalmazás ennek ellenére sokszor bonyolult és emiatt nehezen érthető. Az értekezés Jelölt általi nem kellően gondos átolvasásából eredő hibák is előfordulnak. Két példa ezek típusára:

1. (5. oldal 5. és 6 sor): „...és a tápanyagok (elsősorban a talajnedvesség, a nitrogén és a foszfor) hozzáférhetősége vagy hiánya ugyancsak erősen befolyásolja a növények növekedését.”

A nitrogén és a foszfor tápanyag a víz pedig nélkülözhetetlen lételem.

2. (6. oldal 2. bekezdés 4. sor): „eredmények” betűhiány az értekezésben többször előfordul, esetenként a megértést is zavarja.

A betűhibákat nem részletezem. Az értekezés egyébként szerkezetileg jól felépített. Jelölt hazai és nemzetközi programokban való részvételét „munkamegosztás” címszó alatt, fejezetenként ismerteti. Ezt a megoldást kifejezetten pozitívan értékelem.

Az értekezésben bemutatott eredmények részletes értékelése:

1. A gyepek feletti EK mérések eredményei

Hegyhátsálon a gyepek felett telepített Eddy kovariancia (EK) mérőrendszer forrásterületét, az ún. „footprint modellel” vizsgálta. Megállapította, hogy mind éjjel, mind nappal a forrásterület túlnyomó részt a gyepek és a mérőtorony mintegy 100 m-es környezete.

A gyepek EK adataiból napi, szezonális és éves CO<sub>2</sub> áramokat számolt. A gyepek nappali CO<sub>2</sub> bevitel és kibocsátás egyenlegét az NEE-t a fotoszintetikusan aktív sugárzás függvényében ábrázolta. Az átlagosnál nedvesebb és az átlagosnál szárazabb évre is kimutatta az NEE-re a páratelítési hiány (VPD) hatását.

Az éjszakai NEE-értékek hőmérséklet függését is ábrázolta. Kimutatta, hogy Hegyhátsálon a kilélegzett CO<sub>2</sub> turbulencia hiányában sem vész el, hanem az a napi összegekben jelenik meg.

A napi NEE-ekből a gyepek által egységnyi területen asszimilált szénmennyiségeket, a GPP-t valamint a gyepek teljes légzését (Reco) és a tíznapos átlag talajnedvesség adatokat a Bugacon és a Mátrában mért gyepek adataival együtt ábrázolva megállapítja, hogy Hegyhátsálon a barna erdőtalaj mind kiszáradt, mind víztelített állapota a gyepek GPP-t gátolta, míg a másik két gyepek a talaj víztelítettsége nem korlátozta.

Bemutatja továbbá a hegyhátsági gyepek éves szénmérlegét (NBP=nettó biomassza produkció). Számításához a lekaszált széna elvitt mennyiségét használja fel.

2. Vegyes mezőgazdasági terület EK mérési eredményei

Színes légi-fényképen mutatja be a hegyhátsági 82 m magas EK mérőtorony környezetében lévő mezőgazdasági területek sokféleségét és ábrázolja az EK mérések tipikus forrásterületét.

A magas mérőtorony EK rendszere a széliránytól és a légköri viszonyoktól függően más és más mezőgazdasági kultúra CO<sub>2</sub> fluxusát észleli, ezért a mérések térbeli érvényességét felszín borítottság adatbázissal, és saját fejlesztésű - az őszi- és a tavaszi vetésű gabonaféléket elkülönítő - megoldással azonosította. Számítása szerint az EK jel 77,5 %-a szántóföldekre, 16,3 %-a pedig gyepre vonatkozik.

A magas torony EK adataiból számított NEE-eket a fotoszintetikusan aktív sugárzás és a páratelítési hiány (VPD) függvényében ábrázolta (3.9 ábra). A GPP és Reco növekedését a vizsgált időszak végén megnövekedett szénfluxus átlagokat mutat be (3.10 ábra). Az éves szénáram összegek alapján megállapítja, hogy a 2001-2003 évek kivételével a talaj-növény rendszer nettó szénfelvevő. A GPP és a Reco növekedését a vizsgált időszak végén a megnövekedett légköri CO<sub>2</sub> -tartalomnak, azaz az NEE-t növelő „CO<sub>2</sub> trágázásnak” tulajdonítja.

Statisztikailag szignifikáns kapcsolatot az NEE adatok és Vas vármegye búza és kukorica termésadatai között talált ( $R^2=0,799$ ). Az NEE és a KSH által közölt termésátlagok kapcsolatát éves szinten még országosan is jelentősnek minősítette ( $R^2=0,4$ ).

A megyei termésadatok és az „elszállított szénmennyiség” Harvest Index (HI) módszerű becslésével a Nettó Biomassza Produkciót (NBP) (3.3 táblázat) számította. A 2001-2003 száraz évek átlagolt szénvesztését  $192 \text{ gCm}^{-2}\text{év}^{-1}$ -ben határozta meg. Vagyis a vizsgált időszakban a talajok kimutatott lassú szénmegkötését a rendkívüli időjárású évek megfordították.

A Nettó Ökoszisztéma Produkció (NEP) összegét lineáris egyenletekkel becsülte (3.4 táblázat). Elemezte az átlagostól eltérő meteorológiai változók NEP-re gyakorolt hatását. Kiemelte, hogy 100 Pa légszárazság növekedés az éves NEP összegben  $53\text{-}54 \text{ gCm}^{-2}\text{év}^{-1}$  csökkenést okozott.

Négy tézispontban foglalja össze a gyepre és a vegyes mezőgazdasági területre kapott eredményeit:

1. 23 éves világviszonylatban is egyedülálló adatsort alakított ki a hegyhátsági magas torony eddy-kovariancia (EK) adatokból. A 3 m magasan gyűjtött EK adatokból kaszált gyep  $\text{CO}_2$  mérlegére 14 év,  $\text{N}_2\text{O}$  fluxusára pedig 5 és fél év, vagyis 42,5 év adatsort állította össze.
2. Kimutatta a magas torony EK adatok érvényességét Vas vármegyére ( $\sim 1600 \text{ km}^2$ ). A nettó biomassza produkció (NBP) számításában az elszállított szénmennyiséget is felhasználta. Megállapította, hogy a hegyhátsági régióban az elvitt szén a vizsgált évek átlagában  $201 \text{ gC/m}^2$ . A termésátlagok és az NEE mérések együttes értékelése új módszertani eredmény.
3. Számításai szerint az 1997-2018 időszak átlagos NEE-je  $-170 \text{ gCm}^{-2}\text{év}^{-1}$ , míg az NBP  $-20 \text{ gCm}^{-2}\text{év}^{-1}$  volt. A produktívabb években azonban az NBP is pozitív. Az adatelemzések szerint a mezőgazdálkodás a változó éghajlat ellenére sem feltétlenül jár a talaj szénkészletének lassú kimerülésével.
4. A kritikus időszakelemzés módszerével a szénáramok évenkénti változékonyságát és a 2001-2003-as években az NEE pozitív voltát, azaz a gyep nettó szénkibocsátását magyarázta meg. Meghatározta az NEE előjelváltásának meteorológiai okait.

### 3. A szénmérleg modellezése Magyarországon és Európában

Az eredeti Biome-BGC-modell a természetes vegetáció szén-, víz- és nitrogénháztartását írja le. Jelölt munkatársaival együttműködve továbbfejlesztette a modellt a mezőgazdasági növények szén-dioxid mérlegének leírására. A továbbfejlesztett Biome-BGCMuSo-nak nevezett modellbe újonnan beépített folyamatokat ábrán mutatja be. Kiemeli a továbbfejlesztett modell európai alkalmazhatóságát.

Az eredeti és a módosított modellekkel kapott eredmények:

#### 1. Az eredeti Biom-BGC modellel kapott eredmények

A Biom-BGC modellt a hegyhátsági magas torony mérések kiterjesztésére alkalmazta. A modellt gyepre, mezőgazdasági kultúrákra, lombhullató- és tűlevelű erdőre paraméterezte munkatársaival. Modellszámítása szerint a hazai bioszféra évente nettó  $8,7$  millió tonna  $\text{CO}_2$ -t bocsát ki. A mezőgazdasági  $\text{CO}_2$  kibocsátás az antropogén kibocsátás  $15\%$ -ánál kevesebb. Megállapítja, hogy a mezőgazdaság modellezett szénkibocsátása, - az elszállított

terményszéntartalom más helyen a légkörbe kerülése miatt - felülbecsült. A modell a respirációt is felülbecsli, ugyanis a respirációs CO<sub>2</sub> - egy része az elszállítás miatt -, szintén nem a helyszínen szabadul fel. A felülbecsült respiráció pedig a bioszféra szénmérlegét a kibocsátás felé tolja el.

A hegyhátsági térség mezőgazdasági produktivitását, az NPP-t a modellszámítások ellenőrzésére az ún. "harvest index" (HI) módszerrel is megbecsülte. Megállapította, hogy a Biome-BGC-modell hosszú időszakra átlagosan jól írta le az NPP-t, viszont az NPP évenkénti változékonyságát nem követte megfelelően.

A Biom-BGC modell a vegetációs időszakon kívül túlbecsülte az NEE értékét. Jelölt az NEE pontosítására a Vas vármegyei termésátlagokkal hibakorrekciót alkalmazott. A termésátlagokkal korrigált NEE adatsort már megfelelőnek találta.

A hegyhátsági mérőtorony környezetére kapott modellezési eredményei szerint a régió általában szénvesztő. Ez a lágyszárú növényállományok talajában a tárolt szénmennyiség csökkenését jelenti. Volt azonban olyan év, amikor a talajban a szénmennyiség növekedett. Kérdezem, hogy ez az eredmény a földművelés módjának Jelölt által tulajdonított következménye vagy a számítások bizonytalanságából adódhat?

A hegyhátsági régió kívül a magas toronyban mért EK adatok modellezésével Magyarország egészének szántó-, gyp- és erdőterületei NEE-jét is megadta. Kimutatta, hogy 2003. és 2007. években a bioszféra nettó széndioxid kibocsátó volt.

Megbecsülte továbbá az ország teljes bioszféra eredetű, azaz a szántók, gyepek és erdők üvegházgáz (ÜHG) mérlegét. Megállapította, hogy ha az N<sub>2</sub>O és a CH<sub>4</sub> ÜHG-eket is beszámítja, akkor a teljes ÜHG mérleg, az NGB negatív, azaz a bioszféra nettó ÜHG kibocsátó.

Európai Unió pályázatban szlovák erdészekkel folytatott modellfejlesztésekről és klímaváltozási előrejelzésekről is beszámol. Modellezett eredményként említi, hogy az ökológiailag optimális helyen lévő tölgyesek produkciója a jövőben is stabil marad vagy növekedhet. A lucosok produkciója is növekedhet, míg a bükkösökben nagy bizonytalansággal, de csökkenés várható.

## 2. A továbbfejlesztett Biom-BGCMuSo modellel kapott eredmények

A Biom-BGC modellt a kaszálás, a legeltetés és a növénytermesztés modellezése érdekében mezőgazdászok és ökológusok részvételével fejlesztette tovább. Új és jóval részletesebb talajnedvesség modellrészt is beépítettek.

Eredményként európai EK mérőhelyek talajai nedvességtartalma időbeli alakulásának szimulációs eredményeit mutatja be (Sándor et al., 2017). Jelölt javaslatára a talajnedvesség idő dinamikáját kilenc különböző modell medián értékeivel is közelítették. Megállapították, hogy az egyedi modellek eredményénél a „sokaság modell” kisebb, de nem kielégítő hibájú eredményt ad. Ugyanis a talajnedvesség modellezett időbeli változatossága a mért dinamikánál jelentősen kisebb.

Jelölt „multimodell vagy sokaság” modellezési munkáit gyp- és erdő tanulmányokon szemlélteti. Beszámol jelenleg futó munkákról, amiből szakcikk még nem jelent meg. Kérdezem, hogy Jelölt miért érezte szükségét jelenleg folyó közreműködések ismertetését az

elért tudományos eredményeit összefoglaló, az MTA doktori cím elnyerésére benyújtott értekezésében?

Jelölt tudományos közéleti tevékenységét fontosnak tartva részletesen beszámol a BBGCDB web környezetben kialakított modellezési lehetőségről, ami a Biome-BGC és a Biome-BGCMuSo használatát teszi laikusok számára is lehetővé.

Közli továbbá a BioVeL projekt hazai koordinátorának nevét is, ami korrekt, de szükséges-e Jelölt saját eredményeinek bemutatásakor?

Jelölt beszámol további folyamatban lévő közös munkákról is.

Modellezési eredményeit hat tézispontban foglalja össze. A téziseket az alábbi megfogalmazásban fogadom el:

1. Kezdeményezte a Biome-BGC biogeokémiai modell hazai adaptálását. Részt vett a Biome-BGCMuSo modell fejlesztésében, hogy az mezőgazdasági kultúrák modellezésére is alkalmas legyen. Közreműködött a modell közzétételében.
2. Erdő, gyepek és szántóföldi ökoszisztémák szén- és anyagforgalmát modellezte. Megalapozta a hazai modell-együttes (ensemble) típusú biogeokémiai modellezést. Meghatározó szerepe volt gyepek szén-, nitrogén- és nedvességforgalmát több-modellel leíró projektekben.
3. Elsőként becsült biogeokémiai modellel szénmérleget Magyarország területére. Rámutatott a mezőgazdasági területek szénmérleg-becslésének a hibáira. A hegyhátsági magas torony EK mérésekből a szénmérleg számítások pontosságát módszertanilag javította.
4. Adatgyűjtéssel és adatszintézissel gyepek, szántóföldek, erdők, valamint Magyarország bioszféra eredetű üvegházgáz (ÜHG) mérlegét becsülte meg.
5. A légköri üvegházhatású gázok modell-adat fúzióját elsőként alkalmazta és a hazai viszonyokat a globális modellekénél kisebb hibával írta le.
6. A Biome\_BGC és Biom-BFCMuSo biogeokémiai modellek meteorológiai adatigénye számára a FORESEE publikus, - megfigyeléseket és hibakorrigált regionális klímamodellel eredményeket ötvöző - klímaadatbázis létrehozását kezdeményezte.

A téziszüzettről: Az öt oldal terjedelmű összefoglaló, az értekezés terjedelmével összhangban kifejezetten rövidre szabott. Eredményeit 4+6 tézisbe sűrítve ismerteti, ami előzetes eredményismertetés nélkül szokatlan, de elfogadom. További öt oldalon 34 szerzőségével megjelent közleményt sorol fel.

Jelölt értekezésében bemutatott eredményeit egyértelműen elégségesnek tartom az értekezés nyilvános vitára bocsátásához és sikeres védelem esetén Barcza Zoltán számára az MTA doktora cím magadását javaslom.

Budapest, 2023. június 06.

Rajkai Kálmán László  
az MTA rendes tagja