



Fátlan természetes vegetáció szénmérlegének
meghatározása eddy-kovariancia módszerrel éves
skálán

Doktori értekezés tézisei

PINTÉR KRISZTINA

Gödöllő, 2009

A doktori iskola

megnevezése: Biológia Tudományi Doktori Iskola.

tudományága: Biológiai tudomány

vezetője: PROF. DR. BAKONYI GÁBOR
Intézetvezető egyetemi tanár, az MTA doktora
SZIE, Mezőgazdaság és Környezettudományi Kar
Állattani Alapok Intézet

Témavezető: DR. NAGY ZOLTÁN PHD
Egyetemi docens
SZIE, Mezőgazdaság és Környezettudományi Kar
Növénytani és Ökofiziológiai Intézet

Társtémavezető: DR. BARCZA ZOLTÁN PHD
Adjunktus
ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet,
Meteorológiai Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

Az iparosodás kezdete óta az emberi tevékenység hatására jelentős mértékben megváltozott a légkör összetétele, legfőképpen a szén-dioxid (CO₂), a metán (CH₄), a dinitrogén-oxid (N₂O) és a halogén-tartalmú szerves szénhidrogének mennyisége növekedett. A megváltozott légköri összetétel fokozza üvegházhatást, a földi átlaghőmérséklet megemelkedéséhez és a csapadék térbeli és időbeli eloszlásának megváltozásához, vagyis globális éghajlatváltozáshoz vezet.

Az egyik ilyen változás a metán mennyiségének növekedése, ami főleg emberi tevékenységhez köthető, javarészt a mezőgazdaság, földgáz felhasználás, hulladékok bomlása okozza, de közrejátszanak természetes folyamatok is pl. a vizes élőhelyek metán kibocsátása. Az utóbbi 20 évben a metán koncentráció növekedésének mértéke lelassult, így jelenleg nem nő a metán mennyisége a légkörben. A fosszilis tüzelőanyagok égetésekor dinitrogén-oxid is szabadul fel, aminek egy másik forrása a mezőgazdasági műtrágya-felhasználás. A N₂O természetes forrását a talajban és az óceánokban lejátszódó oxido-redukciós folyamatok jelentik. A halogéntartalmú szerves szénhidrogének döntő többségben emberi tevékenységből származnak és kártékony hatásukat az UV sugarak felszín jutását gátló sztratoszférikus ózon bontásával fejtik ki. Ezzel szemben a felszín közeli légrétegekben található, szintén főleg antropogén kibocsátásból származó ózonmolekulák fokozzák az üvegházhatást. A vízgőz a legnagyobb mennyiségben előforduló és legfontosabb üvegházhatású gáz, ám ennek mennyiségét az emberi tevékenység, csak indirekt módon – a klímaváltozáson és a metán-kibocsátáson keresztül – tudja befolyásolni. Az emberi tevékenység szintén hatással volt a légkörben jelenlévő változatos méretű és kémiai összetételű szilárd részecskékre, az ún. aeroszolakra is. A fosszilis tüzelőanyagok égetése miatt megnőtt a kén-, szerves összetevőket és kormot tartalmazó aeroszolak mennyisége, az ipari tevékenység pedig növelte szálló por mennyiségét a légkörben.

Ahogy a fentiekből is látszik az emberi tevékenység számos direkt és indirekt módon hozzájárul az éghajlatváltozáshoz, mégis a légköri CO₂ koncentráció megváltozást tartják a legfontosabb tényezőnek. A CO₂ légköri koncentrációjának az ipari forradalom óta tartó emelkedése főként a fosszilis tüzelőanyagok elégetésének, a cementgyártásnak, illetve a földhasználati ágak megváltoztatásának, például az erdőirtásnak köszönhető. A fosszilis tüzelőanyagok égetésének és a cementgyártásnak köszönhető kibocsátás 70%-kal nőtt meg az elmúlt 30 évben. Becslések szerint a földhasználati gyakorlat megváltoztatása 6-39%-kal járul hozzá a CO₂ koncentráció emelkedéséhez. Közvetlen és közvetett mérések egész sora bizonyítja, hogy a légkör globális szén-dioxid koncentrációja mintegy 100 ppm-mel (36%) nőtt az elmúlt 250 évben, az iparosodás előtti 275-285 ppm-es tartományról 2005-re 379 ppm-re emelkedett. A növekedés üteme is jelentősen gyorsult, az iparosodás előtti szint feletti első 50 ppm-es növekedést az 1970-es évekre, tehát kb. 200 év alatt, érte el a légköri szén-dioxid keverési arány. A második 50 ppm-es emelkedés azonban már kb. 30 év alatt végbement.

Tíz év alatt, 1995 és 2005 között, a légköri szén-dioxid keverési arány 19 ppm-et emelkedett, ami a koncentráció mérések 1950-es kezdete óta a legmagasabb 10 évre vetített növekedési ütem. A növekedés azóta is folyamatosan tart, jelenleg (2009) 387 ppm a légköri szén-dioxid koncentráció

A szén-dioxid állandó körforgásban van a légkör, az óceánok és a szárazföldi bioszféra között. A CO₂ légkörből történő kikerülése több különböző időskálájú folyamat közvetítésével történik. A CO₂ növekmény kb. 50%-a kerül ki a légkörből 30 éven belül, és további 30% néhány évszázadon belül. A maradék 20% pedig akár évezredekig a légkörben maradhat. A jelenlegi becslések szerint az antropogén kibocsátásból származó CO₂ 30%-át vették fel az óceánok, a vízkörzésben és a biológia folyamatokban bekövetkezett változások nélkül, csupán a CO₂ megemelkedett légköri koncentrációja miatt. A maradékot (25%) a szárazföldi ökoszisztémák kötötték meg, a kiirtott helyén növekvő új növényzetben és a megemelkedett CO₂ koncentráció és N-ülepedés növényi asszimilációt serkentő hatása miatt történő biomassza növekményben.

Az éghajlat és a CO₂ koncentráció között mindkét irányú visszacsatolás előfordul. Például az olyan területeken, ahol víz limitáló tényezője a növényi növekedésnek, ott az éghajlat melegedése és szárazabbá válása csökkenti a nettó primer produktívumot, és így a növényzet által felvett szén-dioxid mennyiségét. Ezzel szemben a hidegebb tájakon a hőmérséklet növekedése emeli a nettó primer produktívumot és a szénmegkötést. Mindemellett a hőmérséklet növekedésével pl. a talaj szén-dioxid kibocsátása megnövekedhet. A nagy veszélyt az ezen hatások közötti pozitív visszacsatolás jelenti.

Mára már kevéssé vitatott, hogy a klímaváltozás - amelyért nagyrészt a mai gazdasági szemlélet okozta CO₂ szint emelkedés a felelős - súlyos következményekkel jár majd nem csak a gazdaság, hanem általában a földi élet egésze szempontjából is. Így a beavatkozás, a mitigáció lehetőségeinek ismerete - éppen úgy mint a C-forgalom minél pontosabb becslésére való képesség kialakítása - kritikus fontosságú.

Számos nemzetközi kutatás kísérli meg mind pontosabban mérni, modellezni a szén-dioxid légköri és óceáni egyenlegét, forgalmát (FLUXNET, GreenGrass, Carbomont, CarboOcean, CarboEurope-IP). Jelen dolgozat két hazai gyepek-ökoszisztémán végzett méréseket, a mérések során felmerült, döntően a mérés technikával és az adatok feldolgozásával kapcsolatos módszertani problémákat és megoldásukat, illetve a többéves idősorok értékelése során kapott ökológiai szempontú eredményeket tárgyalja.

A kutatás célkitűzései

A munkám célja két hazai gyepek, egy homoki legelő (Bugacpuszta, Kiskunság) és egy hegyi kaszáló (Szurdokpüspöki, Mátra-hegység), éves szén-dioxid mérlegének meghatározása, valamint a mérleg környezeti tényezőktől való függésének és az évenkénti változékonyságának vizsgálata volt, az éves

mérleg meghatározásához, illetve bizonytalanságának csökkentéséhez szükséges következő módszertani fejlesztések megvalósításával:

1. a nyers CO₂ fluxus adatok minőségbiztosítása, adatszűrő eljárások alkalmazása,
2. a mérleg számításhoz szükséges hiánytalan adatsor előállítása, adatpótló rutin kidolgozása,
3. a nettó ökoszisztéma CO₂ gázcsere (NEE) felbontása tényezőire, az ökoszisztéma légzésre (R_{eco}) és a bruttó primer produkcióra (GPP),
4. az NEE, a GPP, és a R_{eco} szezonális dinamikájának és évenkénti változékonyságának vizsgálata,
5. az NEE, a GPP, és a R_{eco} éves összegeinek és az éves összegek bizonytalanságának megadása,
6. a két, kis mértékben eltérő klimatikus viszonyokkal, viszont nagyobb mértékben eltérő talajféleséggel jellemezhető mérőhely szén-dioxid cseréjének összehasonlítása.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A mérőhelyek leírása, műszerezettsége

Dolgozatomban két hazai eddy-kovariancia mérőállomás adatait használtam fel.

Az első mérőállomást 2002. júliusában a Greengrass program (FP5) keretében telepítette a SZIE Növényteni és Növényélettani Tanszéke az Alföldre. A mérőtorony (46,69° É, 19,60° K, 111,4 m t.sz.f) a Kiskunsági Nemzeti Parkban, a Bugacpusztaháza település közelében található szürkemarha-telep szomszédságában, egy homoki legelőn található.

A második mérőhely, amely a Carbomont (FP5) kutatási program keretében lett telepítve, 2003. júniusától működik a Mátra hegységben, Szurdokpüspöki közelében (47,85° É, 19,73° K, 300 m t.sz.f).

Az eddy-kovariancia mérőállomások két legfontosabb műszere a szonikus anemométer, amely másodpercenként 10 alkalommal méri a szélesség 3 komponensét (u, v, w), és a gázanalizátor, ami képes ugyanolyan időbeli felbontásban mérni a levegő CO₂- és H₂O-koncentrációját. A bugaci mérőhelyen az eredetileg odatelepített GILL-Solent (*Gill Instruments, U.K*) típusú szonikus anemométert, 2005 júniusában kicseréltük egy CSAT3 típusú műszerre. A Mátrában a mérések kezdetétől folyamatosan egy CSAT3 (*Campbell Scientific Inc.*) típusú szonikus anemométer üzemel. A szén-dioxid és vízgőz koncentráció mérése mindkét mérőhelyen egy Li-Cor 7500 (*Li-Cor Biogeosciences*) nyílt utas infravörös gázanalizátorral történik. Az eddy-kovariancia mérések mellett mindkét

mérőhelyen félórás felbontású mikrometeorológiai méréseket is végzünk, melynek keretében a következő paramétereket mérjük:

- hőmérsékletet (HMP35AC, *Vaisala*),
- relatív nedvességet (HMP35AC, *Vaisala*),
- szélirányt és szélsébséget (Young Wind monitor Model 05103-5, *Campbell Scientific Inc.*),
- globál és visszavert sugárzást (Schenk piranometer, *Schenk GmbH*, CMP3 *Campbell Scientific Inc.*),
- sugárzási egyenleget (Q7 Net Radiometer, NR Lite, *Campbell Scientific Inc.*),
- bejövő és visszavert fotoszintetikus aktív sugárzást (SKP215 Quantum Sensor, *Campbell Scientific Inc.*),
- talajhőmérsékletet (105T Thermocouple probe, *Campbell Scientific Inc.*),
- talajnedvességet (CS615, CS616 Water Content Reflectometer, *Campbell Scientific Inc.*),
- talajhőáramot (HFP01 Heat Flux Plate, *Campbell Scientific Inc.*).

Az adatokat Bugacon 2005 júniusáig Campbell CR23X adatgyűjtővel és személyi számítógéppel, majd 2005 júniusától CR5000 adatgyűjtő segítségével regisztráljuk és tároljuk. A Mátrában a mérések 2003. májusi kezdetétől egy CR5000-es adatgyűjtő működik.

Számítási módszerek

Turbulens áramok számítása eddy-kovariancia módszerrel

A turbulens fluxusokat a nyers (egy félórás adatfájl 21 Hz-es mérés esetén 37800, míg 10 Hz-es mérés esetén 18000 adatot tartalmaz) adatokból IDL programnyelven írt szoftverrel számítjuk, melynek alapjait egy Barcza Zoltán által készített programkód képezi, és amelynek kimenete egy félórás felbontású fluxus-idősor. A turbulens kicserélődés mértékét a két változó (a vertikális szélsébség és egy koncentráció) fluktuációjának, vagyis a pillanatnyi érték átlagtól való eltéréseinek a szorzatának átlagából határozható meg, ami nem más, mint a két mennyiség kovarianciája, amiből a módszer elnevezése is ered. A fluxus-számítás lépései: (1) a nyers adatok abszolút értéken, ill. az adott félórás adatsor szórásán alapuló szűrése, (2) a vertikális szélsébség korrekciója, (3) az adatsorok (lineáris) trendszűrése, (4) a szükséges kovarianciák kiszámítása, majd (5) a turbulens áramok meghatározása a megfelelő kovarianciák és fizikai állandók felhasználásával az (1)-(4) egyenletek alapján.

$$\text{Momentumáram: } \tau = \rho u_* = \rho (\overline{u'w'} + \overline{v'w'})^{1/2} \quad (1)$$

$$\text{Szenzibilis hőáram:} \quad H = \rho c_p \overline{w'T_s'} \quad (2)$$

$$\text{Látens hőáram:} \quad \lambda E = \rho L \overline{w'q'} \quad (3)$$

$$\text{CO}_2 \text{ áram:} \quad F_{\text{CO}_2} = \rho \overline{w'\text{CO}_2'} \quad (4)$$

Az egyenletekben u , v és w a szélesség komponens, T_s a szonikus hőmérséklet, q a levegő specifikus nedvesség tartalma, CO_2 a szén-dioxid koncentrációja, ρ a levegő sűrűsége, c_p a levegő állandó nyomáson vett fajhője, L pedig a víz párolgáshője, a vesszős tagok a fluktuációt jelölik. Ezután még szükség van néhány további, itt nem részletezett, korrekcióra a végleges áramok előállításához.

A félórás adatok szűrése

A nyers adatok fent említett szűrése ellenére még a félórás fluxus adatsorok is igen zajosak, így további szűrés szükséges. Ezt két lépésben végeztük. Az első lépés a 15-napos átlagos napi meneteken, illetve a hozzájuk kapcsolódó szórásokon alapult, míg a második a szomszédos adatok egymástól való eltérésén, annak mediánján, illetve szórásán alapult.

A mérések területi reprezentativitása

Az eddy-kovarinacia technikával történő felszín-légkör kicserélődés mérések minőségbiztosításának fontos lépése a forrásterület („footprint”) azonosítása, és azon adatok kizárása a vizsgálatokból, amikor a műszerek a kívánt térszínen kívüli területekről származó információt mérik. A két gyep határait műholdképek segítségével, a forrásterületet, vagyis a felszínen elhelyezkedő pontforrások a mért turbulens fluxushoz való hozzájárulását pedig terjedési (diszperziós) modellekből kiindulva határozhatuk meg.

A hiányzó CO₂ áramok pótlása

A mért CO₂ áramok adatsorai, a mérőrendszer esetleges meghibásodása, illetve a sikeres méréshez szükséges elméleti feltételek sérülése miatt, csak a legritkább esetekben folytonosnak. Azonban az éves összegek becsléséhez folytonos adatsorokra van szükség. A dolgozatban két adatpótló eljárást használunk, és hasonlítunk össze. Az egyik a Reichstein-féle módszer, ami egy könnyen hozzáférhető, az interneten is elérhető módszer, a másik pedig az általunk, IDL programnyelven megírt adatpótló rutin.

A Reichstein-féle módszer azon alapszik, hogy a hiányzó fluxus adat meteorológiai körülményeihez nagyon hasonló körülményekkel rendelkező adatokat keres, és ezek átlagával pótolja a hiányzó adatot. A hasonló meteorológiai körülmények azt jelentik, hogy a globál sugárzás nem különbözik jobban, mint $\pm 50 \text{ W m}^{-2}$, a léghőmérséklet, mint $2,5^\circ\text{C}$ és a levegő vízgőz telítési hiánya, mint $5,0 \text{ hPa}$. Először az adat ± 7 napos környezetében keresi a fenti feltételeknek megfelelő adatot, majd ha ebben az időszakban nem áll rendelkezésre elegendő

adat, akkor növeli az (idő)ablak nagyságát. Ha 28 napon belül nem talál megfelelő adatokat, akkor már csak a globál sugárzás alapján keres, és ha ebben az esetben sem talál megfelelő számú adatot, akkor szomszédos napok hasonló időpontban (max. $\pm 2,5$ óra eltéréssel) mért adatainak átlagával helyettesíti a hiányzó adatokat. Az eljárást addig ismétli az időablak folyamatos növelésével, amíg minden hiányt be nem tölt.

Az általunk kifejlesztett módszer (**1. ábra**) a CO₂ fluxusok és a környezeti paraméterek (PAR, t) közötti nem lineáris függvény kapcsolatokon alapul. Kiindulásként a nappali adatok pótlásához az adott nap és ± 3 napos időintervallumban (összesen 1 hét) illesztünk egy PAR - F_c összefüggést (fény-fotoszintézis görbe).

$$F_c = \frac{\alpha\beta PAR}{\alpha PAR + \beta} + R_{eco}, \quad (5)$$

ahol PAR a fotoszintetikusán aktív sugárzás, α a fényhasznosítási hatékonyság, β a GPP fénytelítésnél, és R_{eco} az ökoszisztéma légzés.

Az éjszakai adatok pótlásához egy T - F_c függvényt alkalmazunk.

$$F_c = R_{ref} e^{E_0 \left(\frac{1}{56,02} - \frac{1}{t+46,02} \right)}, \quad (6)$$

ahol t a hőmérséklet °C-ban, R_{ref} a referencia légzés 10°C-on, és E₀ az aktivációs energia.

Ha az illesztések nem konvergálnak, akkor ± 3 nappal nő az időablak kiterjedése, ha még a maximális időablak (15 nap) esetén sem sikerült betölteni a hiányzó adatokat, akkor az átlagos napi menet módszerével (MDV, mean diurnal variance) próbáljuk meg betölteni az adathiányokat. Ebben az esetben, ha még ± 20 napos időablakra sem sikerül teljes átlagos napi menet adatsort képezni, akkor interpolációval pótoljuk az átlagos napi menetből hiányzó értékeket. Az interpolációhoz szükséges a napi menet első és utolsó adata. Ám ha ezek hiányoznának, akkor ezeket az adott átlagos napi menet hajnali valamint esti óráihoz tartozó értékeinek átlagával pótoljuk, a maximális ablakméret ebben az esetben ± 32 nap. A januári, februári, novemberi és decemberi adatok esetében csak az átlagos napi menettel való pótlást engedjük meg, mivel télen a nem lineáris függvény kapcsolatok, főleg a fény-fotoszintézis görbe, alkalmazása problémás lehet, hiszen ezekben a hónapokban általában nincs C-felvétel, tehát nincsenek negatív előjelű áramok. A folytonos (pótol) adatokból számoltuk ki az NEE napi, éves és kumulatív összegeit.

GPP becslés

Eredetileg a bruttó primer produkció (GPP) becslése hosszabb időszakra történt, és csak az EK mérések elterjedésével lett igény a GPP félórás felbontásban történő becslésére, ami általában adatpótló eljárással összekapcsolva történik.

A GPP becsléséhez is saját fejlesztésű, IDL program nyelven írt rutint használtunk. Az adatpótlás során (a január, február, illetve november, december hónapokra vonatkozó értékekkel együtt) eltároltuk az éjszakai légzések hőmérséklet függéséhez ((6) egyenlet) tartozó együtthatókat. Azokra a félórákra, ahol minden adat rendelkezésre állt (konstansok és hőmérséklet), a (6) egyenlet segítségével becsültük az ökoszisztéma légzés értéket. Azokban az esetekben, amikor nem lehetett alkalmazni becslést az alapadatok vagy az illesztési konstansok hiány miatt, akkor az átlagos napi menetek módszerével pótoltuk az adatokat, így végül kaptunk egy folytonos R_{eco} adatsort. Az éjszakai mérések esetében természetesen a mért, és nem a modellezett légzés értékeket használtuk. A nyári hónapokban, a növényzet kiszáradása, vagy csapadékhullás után előfordult, hogy az NEE napi összegei pozitívak voltak, illetve nappal is jelentős CO_2 kibocsátás történt, mely esetekben szintén a mért R_{eco} értéket használtuk.

A folytonos NEE és R_{eco} adatsorokból a (7) egyenlet segítségével határoztuk meg a GPP értékét.

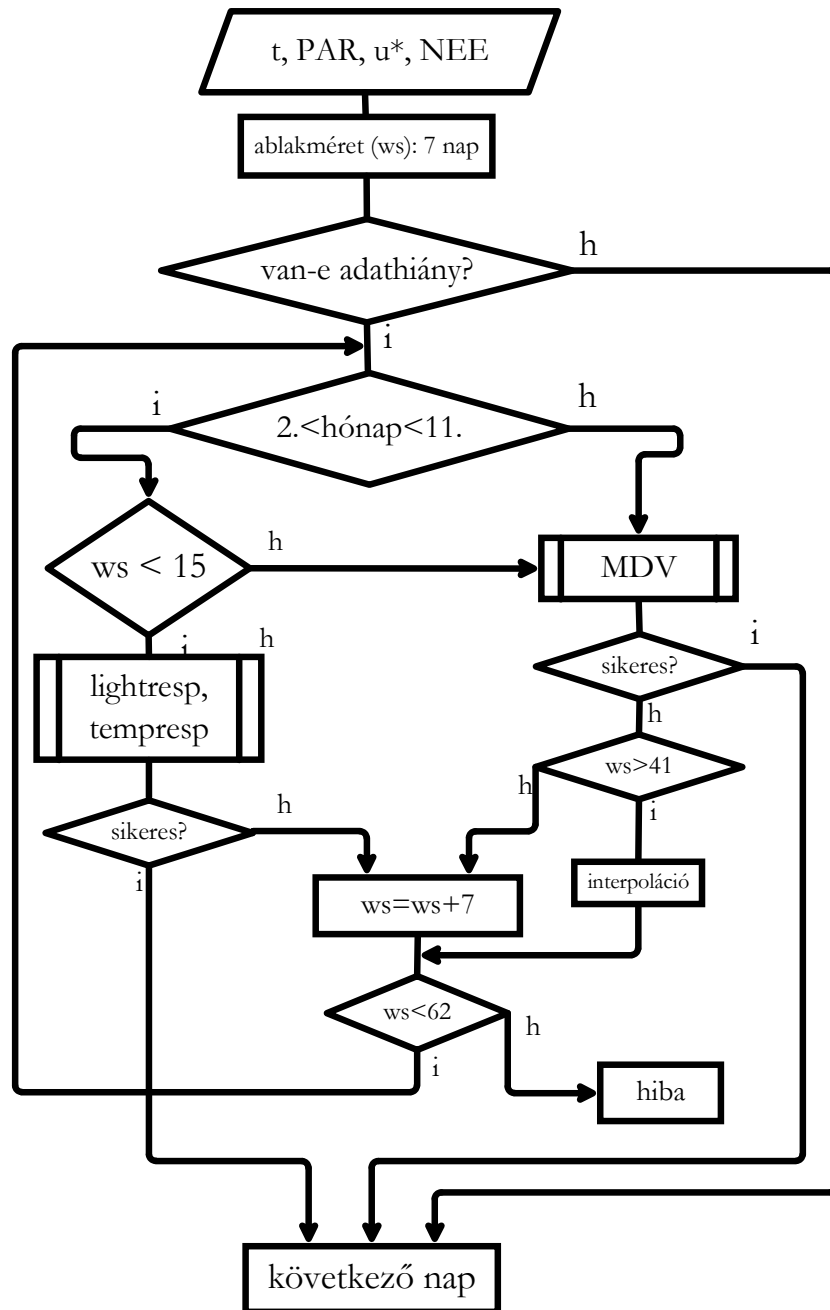
$$GPP = -NEE + R_{eco} \quad (7)$$

Jelen egyenlet alapján a GPP előjele pozitív lesz, vagyis ellentétes előjelű ahhoz képest, ami az NEE esetében jelenti szén-dioxid megkötést. Ezen megkötések bevezetésével a Reichstein-féle módszertől eltérően, elkerülhetőek a negatív értékek a GPP adatsorban.

Az adatpótló eljárás bizonytalanság becslése

Az adatpótló és GPP becselő eljárások éves léptékű bizonytalanságát Monte-Carlo szimuláció segítségével becsültük, szintén egy IDL programnyelven írt rutin felhasználásával.

Ennek kiinduló pontja az adatpótló és GPP becselő eljárások által létrehozott pótolta adatsorok voltak. Az eredeti adatsorok adathiány eloszlásának megfelelően a hiánytalan adatsorokban mesterséges adathiányokat hoztunk létre, majd a fent leírt eljárással pótoltuk őket. Az adathiányok mértéke 5, 10, 20, 40, 50%, illetve a maximális érték az adott mérőhelyre adott évben jellemző tényleges adathiány mértéke volt. A hiánygenerálás, adatpótlás ciklust minden egyes adathiány arány esetében 1000-szer ismételtük meg. A kapott összegek (NEE, R_{eco} , GPP) szórásait tekintettük az adott mennyiség éves bizonytalanságának.



1. ábra

Az adatpótló eljárás lépéseinek vázolata

(t: hőmérséklet, PAR: fotoszintetikusan aktív sugárzás, u: súrlódási sebesség, NEE: CO₂ fluxus, ws: ablakméret, lightrsp: a fény-fotoszintézis görbén alapuló adatpótló eljárás (nappali adatokra), tempresp: a hőmérséklet függésen alapuló adatpótló eljárás (éjszakai adatokra), MDV: átlagos napi meneteket használó eljárás, interpoláció: az MDV-k pótlása interpolációval)*

A vegetációs periódus hosszának meghatározása

A növények CO₂-csere dinamikájának pontosabb megértése szempontjából fontos lehet a vegetációk növekedési periódusának objektív szempontok alapján történő elkülönítésére. Jelen dolgozatban a két gyep vegetációs periódusát (annak kezdetét, hosszát) a kumulatív NEE görbe felhasználásával végeztem el. A 40-edik naptól (ennél előbb nem várható intenzív növekedés) kezdve a kumulatív görbe 5 napos egységeire egyenest illesztettem, és eltároltam a meredekségeket. Azt az időszakot tekintettem vegetációs periódusnak, ahol a meredekség értékek folytonosan negatívak voltak. Azért választottam az öt napos illesztési periódust, mert néha elfordult, hogy egy-egy nagyobb mennyiségű csapadék lehullása után, az NEE napi összegei 2-3 napig pozitívak voltak, tehát ennél rövidebb időszakra történő illesztés esetén pozitív meredekséget kaptunk volna, ami a vegetációs periódus végét jelentette volna, pedig a növényzet még nem is száradt ki.

EREDMÉNYEK

Meteorológiai viszonyok

A vizsgált években az éves átlaghőmérséklet a homoki legelőn (Bugacpuszta) 9,2°C és 11,1°C között változott, míg a hegyi kaszálón (Szurdokpüspöki) 9,7°C és 11,6°C között, a legmagasabb éves átlaghőmérsékletet mindkét mérőhelyen 2007-ben mértük. Az éves átlagolással az éven belüli ellentétes anomáliák kiolthatják egymást, mint ahogy esetünkben is történt, és 2003 nyarán tapasztalt forróság nem jelenik meg az éves átlagban, mert a januári és februári, a szokásosnál alacsonyabb havi átlaghőmérsékletek, kiegyenlíti azt.

Az éves csapadékösszeg a homoki legelőn 2002-ben, 2003-ban és 2007-ben, míg a hegyi kaszálón 2003-ban és 2007-ben volt alacsonyabb, mint a 10 éves átlag. A bugaci gyepon a legszárazabb (2002) és legcsapadékosabb (2004) év csapadékösszege között 270 mm volt a különbség, a Mátra hegységben elhelyezkedő állomás esetében a különbség valamivel kisebb volt (230 mm), és a legszárazabb év 2007 volt, a legcsapadékosabb pedig 2005.

Az adatpótló eljárás tesztelése

Az adatfeldolgozás egyik legfontosabb lépése a hiányzó adatok pótlása (gap-filling), ami – az adathiányok mennyiségétől függően – további bizonytalanságot visz az éves mérleg becslésébe. Az eredeti és pótolta adatok közötti regresszió vizsgálatából kitűnik, hogy a pótolta adatok alulbecsülték az áramokat, mégpedig az adathiány növekedésével egyre jobban. A meredekség szórása kis mértékben nőtt az adathiány mértékének növekedésével. Nem meglepő módon a korreláció gyengült, a szórása pedig általában nőtt, ahogy növekedett a

mesterséges adathiány mértéke. Összefoglalásképpen tehát elmondható, hogy az adathiány mennyisége befolyásolja, mind az éves összegeket, mind azok bizonytalanságát.

A saját adatpótló eljárás tesztelésének második lépése a másik módszer eredményeivel történő összehasonlítás volt. Az esetek túlnyomó többségben nagy eltérést tapasztaltunk az éves összegekben, csak a 2004-es év esetében van jó egyezés köztük, de akkor mindkét mérőhely esetében. Az eltéréseket tovább vizsgáltuk, immár az NEE kumulatív görbéinek felhasználásával, és kiderült, hogy ezek a különbségek konkrét esetekhez köthetők, és nem az adatok közötti kis mértékű szisztematikus eltérésekből összegződnek. Vagyis a két módszer közötti jelentős különbséget az okozza, egy-egy nem szokványos helyzetet eltérő módon modelleznek.

Az két eljárás összehasonlításának következő lépése az NEE napi összegeinek összehasonlítása volt, amiből kiderült, hogy az esetek többségében jó az egyezés a két adatpótló eljárás napi összegei között. A bugaci adatok összevetésekor a regressziók meredekségei 0,98 és 1,29 között volt, míg a mátrai adatok esetében valamivel szűkebb tartományban mozgott a regresszió meredekségének értéke (0,91 – 1,1). A korreláció mindkét mérőhely esetében tág határok között mozgott (0,65 és 0,96). Viszont voltak esetek, amikor jelentősen eltért egymástól a kétféle eljárással becsült napi összeg, melynek elsősorban az volt az oka, hogy ezekben az esetekben az on-line módszer nagymértékű nappali CO₂ kibocsátást becsült, míg a saját eljárás nem.

A bruttó primer produkció-becslés validálása

A bruttó primer produkció (GPP) becslésére szintén egy általunk alkotott módszert alkalmaztunk, így ennek megbízhatóságát is teszteltük. Az általunk becsült napi GPP összegeket ebben az esetben is a Reichstein-féle módszer eredményeihez hasonlítottuk, és meglehetősen jó egyezést kaptunk mindkét mérőhely esetében. A bugaci adatsor esetében mind alul mind felül becsléssel találkoztunk, a különbség a két adatsor között -4 és 16% között volt, míg a mátrai adatok esetében a módszerünk minden esetben alul becsülte az on-line GPP összegeket, az eltérés 0 és 36% között volt.

Az NEE kumulatív összegei

Az NEE kumulatív összege megadja, hogy egy adott napon az év elejéhez képest mennyi a szénforgalom összege. Télen a gyepek általában egész nap forrásként viselkednek, ez alól kivétel volt 2004 tele, amikor a kumulatív görbe vízszintes volt, vagyis a napi összeg 0 körül mozgott, tehát napi szinten a fotoszintézis kiegyenlítette a respirációt. Tavasztól a nappali megkötött szén-dioxid mennyisége lesz a napi szén-dioxid mérleg meghatározó tényezője. A vegetációs periódus (a gyepek fő növekedési időszak) időtartamának meghatározását a kumulatív görbe meredeksége alapján végeztük. E módszert alapul véve az elmúlt

6 évben Bugacon az év 69. és 100. napja között, míg a Mátrába a 89. és 104. nap között kezdődött a vegetációs periódus. A fenti módszerrel a vegetációs periódus hosszát is meghatároztuk, Bugacon a leghosszabb vegetációs periódus 2008-ban volt (125 nap), a legrövidebb pedig 2005-ben volt (37 nap), de azt az értéket nagyban befolyásolja a vegetációs periódus hosszának meghatározására használt módszer. A mátrai gyepek esetében a bugacinál rövidebb vegetációs periódusokat tapasztaltunk, ezen belül is a legrövidebb 34 nap volt (2007-ben), a leghosszabb pedig 83 nap volt (2004-ben). A leghosszabb vegetációs periódus alatt a bugaci gyepek NEE összege -260 gC m^{-2} , a mátraié -113 gC m^{-2} volt.

Méréseink során mindkét gyepek esetében előfordult, hogy a tavaszi-nyári növekedési időszak után a gyepek egy időre C forrássá váltak, majd augusztus végén, szeptember elején egy másodlagos növekedési, szénfelvételi időszak kezdődött. Az ez idő alatt felvett szén mennyisége egyik meghatározó tényezője a gyepek szénmérlegének. Ennek a másodlagos vegetációs periódusnak a hosszát és intenzitását főként az időjárási viszonyok befolyásolják, és jelentős eltérés tapasztalható a két gyepek viselkedése között. 2003-ban a szárazságnak köszönhetően a homoki gyepek már júliustól CO_2 forrásként viselkedtek, ezzel ellentétben 2004-ben az igen kedvező csapadék viszonyoknak köszönhetően 22 gC m^{-2} szénfelvétel történt ebben a kora őszi (szeptember elejétől október első harmadáig) másodlagos növekedési időszakban. 2007 nyár végére már mindkét gyepek kumulatív NEE összege pozitív volt, de a másodlagos növekedési időszakban a gyepek még 32 illetve 41 gC m^{-2} -nyi szenet kötöttek meg, így a bugaci gyepek szén-mérlege végül negatív lett, de a mátrai gyepeké pozitív maradt.

A gyepek szénraktározási képessége az intenzív növekedési időszakban a legnagyobb, az ebben a periódusban hulló csapadék mennyisége ezért döntő jelentőségű. A vizsgált években gyakori volt, hogy szárazság idején a gyepek nettó CO_2 források váltak, és a szárazságot alatti szénleadás volt felelős a napi szinten számított nettó forrás-aktivitás mintegy 70%-áért. A vegetációs periódusbeli szénfelvétel intenzitása a jelentős korrelációt mutatott az ugyanezen időszak alatti talajnedvesség értékével, mint a növények működésének egyik fő limitáló tényezőjével.

Az NEE, a R_{eco} és a GPP havi összegei

A havi összegek tükrében is jól látható, hogy a két vizsgált gyepek szénforgalma erős évenkénti változást mutat, illetve hogy a különbségek főleg a tavaszi-nyári időszakban jelentősek. A két gyepek nettó ökoszisztéma CO_2 kicserélődésének mértéke jelentősen eltér a nyári hónapokban, hiszen amíg a homoki legelőn a májusi, illetve júniusi NEE általában megközelíti, de néha meg is haladja a $100 \text{ gC m}^{-2} \text{ hónap}^{-1}$ értéket, addig a Mátrában inkább csak a $70 \text{ gC m}^{-2} \text{ hónap}^{-1}$ érték körül mozog. A különbség a bruttó primer produkció tekintetében is megmarad, az ökoszisztéma légzés értékeiben viszont sokkal kisebb különbséget tapasztalunk a két gyepek között, ráadásul a R_{eco} adatsorok évenkénti változékonysága is kisebb, hiszen az csak részben függ a növényzet respirációjától,

vagyis a növényzet állapotától, a másik részét a talajlégzés intenzitása határozza meg.

Az NEE, a R_{eco} és a GPP éves összegei és bizonytalansága

Az NEE éves összege tág tartományban mozgott a vizsgált időszakban, a homoki legelő éves szénmérlege -171 és $106 \text{ gC m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ között változott, míg a mátrai agyagos talajú legelő esetében -197 és $14 \text{ gC m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ közötti értékeket vett fel. Az értékek beleillenek a szakirodalomban található skálába. Az éves összegek bizonytalanságának az adatpótló eljárás tesztelésénél (mesterséges adathiányok generálása, majd pótlása 1000-szer egymás után) az adott évhez tartozó adathiány esetében kapott szórást tekintjük. NEE estében az értékek tökéletesen beleillenek a szakirodalomban fellelhető az adathiányok pótlásából adódó bizonytalanságra vonatkozó tartományba ($\pm 10 - \pm 30 \text{ gC m}^{-2} \text{ év}^{-1}$).

Az ökoszisztéma légzés éves összegének értéke a homoki legelőn 707 és $977 \text{ gC m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ között változott, míg a hegyi kaszáló esetében ennél kicsivel alacsonyabb és szűkebb tartományban (664 és $869 \text{ gC m}^{-2} \text{ év}^{-1}$) volt.

A bruttó primer produkció értéke igen széles tartományban, 601 és $1162 \text{ gC m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ között változott a bugaci gyeperésében, míg a mátrai legelő esetében 650 és $1066 \text{ gC m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ közötti értékeket kaptunk.

A becsült bizonytalanság minden esetben az NEE-nél volt a legkisebb, egy kivétellel (Bugac, 2003) ezután jött a R_{eco} bizonytalansága, majd a GPP-é. Ez a sorrend a módszer ismeretében egyáltalán nem meglepő, hiszen a respirációt az alapadatok segítségével becsüljük, majd az alapadatok és a becsült R_{eco} segítségével számítjuk a GPP-t.

Az éves NEE összeg és a csapadékösszeg kapcsolata

Az éves csapadékösszeg és az éves szénmérleg közötti kapcsolat erős, ámde eltérő jellegű a két gyeperésében. A bugaci mérőhely adatait reprezentáló pontokra Michaelis-Menten típusú görbét illesztettünk, míg a mátrai eredmények esetében egyenes illeszthető. A bugaci illesztés alapján definiálhatunk egy küszöbértéket (460 mm), aminél kevesebb csapadék összeg esetén a gyeperés éves skálán várható forrásként viselkedik, ez a küszöbérték kb. 10%-kal van a 10 éves átlagos csapadékösszeg alatt, míg csapadék összegben az utóbbi 6 évben tapasztalt változékonyság a 10 éves átlag fele volt. A küszöbérték közelében a csapadék és NEE összeg közötti kapcsolat nagyon meredek (bugaci gyeperés), így itt a kis csapadékmennyiségek is nagyon fontos szerepűek lehetnek. Mivel a mátrai adatok esetében nagyon alacsony a korreláció, így nem bocsátkozunk további elemzésekbe.

A szénmérleg értékének évenkénti változékonyságát a homokos talajú gyeperésében a főként az éves csapadékösszeg határozza meg, míg az agyagos talajú gyeperésében fontos tényezőnek bizonyult a csapadék időbeli eloszlása is. A két eltérő talajféleség esetében jelentősen eltér az a csapadékmennyiség, ami ahhoz

szükséges, hogy a talajnedvesség-tartalom elérje a szabadföldi vízkapacitás értékét. Továbbá a növényzet számára felvehető vízmennyiség is jelentősen eltér a két talajtípus esetében, nagy bizonyossággal behatárolva az éves NEE összeget, és az elsődleges felvételi időszakban történő szén-dioxid felvétel intenzitását. Továbbá, ha az agyagos talaj kiszárad, akkor lecsökken a vezetőképessége, és megnő a lefolyás aránya. Ugyanezen okból a záporos csapadékesemények kevésbé hatékonyan pótolják a talajnedvesség tartamát, mint a kisebb intenzitású csapadékok. Ezzel szemben a homokos talajnál a növényzetnek szélesebb tartományban áll rendelkezésére a víz a talajban, a talaj vízvezetőképessége is nagyobb, így sokkal jobban tudja hasznosítani záporos csapadékot, mint az agyagos talaj.

A fentieket megerősíti, hogy a homokos talajú gyepek általában nagyobb mennyiségű szén-tartalmat kötöttek meg az agyagos talajhoz képest, annak ellenére, hogy éves összegben kevesebb csapadék hullott. Mivel az előrejelzések szerint mind a szárazságok, mind a heves csapadékok gyakorisága nőni fog, így valószínűsíthetően a kötöttebb (agyagos) talajú gyepek vannak jobban kitéve a nagyobb arányú szénvesztés veszélyének a lazább (homokos) talajú gyepekhez képest.

Új tudományos eredmények

A dolgozatban két hazai gyepek eddy-kovariancia módszerrel mért nettó ökoszisztéma CO_2 kicserélődését (NEE), illetve annak két összetevőjét a bruttó primer produkciót (GPP), és az ökoszisztéma respirációt (R_{eco}) határoztuk meg. A dolgozat felöleli a teljes adatfeldolgozási folyamatot, a nyers adatok szűrésétől, az éves összegek és azok bizonytalanságának becsléséig.

A munka főbb tudományos eredményei:

1. Saját adatpótló („gap filling”) módszer kidolgozása a hiányos (az adatok hiányát pl. a mérőrendszer áramellátásának meghibásodása, vagy méréshez nem megfelelő környezeti feltételek okozhatják) félórás nettó ökoszisztéma CO_2 kicserélődés adatsorok pótlására IDL programnyelven, és sikeres alkalmazása a két mérőhely összesen 13 évnél több adatsorára.
2. Az NEE-t komponenseire – R_{eco} és GPP – felbontó módszer adaptálása és alkalmazása a két mérőhely adataira, az eljárás figyelembe veszi – a más módszerekben megengedett – félórás felbontású negatív GPP-k problémáját. Mivel éjszaka – a fotoszintézis hiányában – $\text{GPP} = 0$ (vagyis $\text{NEE} = R_{\text{eco}}$), ezért a módszerünk csak abban az esetben becsül R_{eco} értéket, ha nem áll rendelkezésre mért adat.

3. A bugaci és mátrai gyepfelszínek éves NEE, R_{eco} és GPP összegeinek megadása az eddigi, a két helyre összesen 13 mérési évre.
4. Monte-Carlo szimuláció segítségével megadtam az egyes éves szén-dioxid mérleg és komponenseinek (R_{eco} , GPP) becsléseihez tartozó bizonytalanságokat.
5. Kimutattuk, hogy az éves NEE összegek jelentős évenkénti változékonysága a homokos talajú bugaci mérőhelyen a csapadék éves mennyiségével magyarázható, míg a kötött talajú mátrai mérőhelyen a kapcsolat sokkal gyengébb és a csapadék időbeli eloszlásának hatása feltehetően sokkal erősebb. A különböző válaszok hátterében az eltérő talajtípusok állnak.
6. A bugaci gyep esetében meghatároztunk egy csapadék küszöböt (460 mm), melynél kisebb csapadékmennyiség esetén a gyep nettó szén-dioxid forrássá válik. Kimutattuk, hogy a csapadékküszöb közelében az NEE-válasz kis csapadék mennyiségre is nagyon érzékeny.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A dolgozatban használt eddy-kovariancia módszer, és a hozzá kapcsolódó módszertan (adathiányok pótlása, a nettó ökoszisztéma CO₂ kicserélődés felbontása összetevőire, bizonytalanságbecslés) széles körben elterjedt különböző vegetációk szén-dioxid mérlegének meghatározására. A sikeres mérésekhez elengedhetetlen a mérőhely alapos kiválasztása (lehetőleg sík, elegendően nagy kiterjedésű, homogén térszínen), és az adatok körültekintő feldolgozása.

Az adatfeldolgozás egyik sarkalatos kérdése a gyenge turbulens átkeveredéskor mért áramok korrekciója (jó átkeveredéskor mért adatokkal történő helyettesítése), illetve ehhez kapcsolódva az éjszakai légzések eddy-kovariancia módszer általi alulbecslése. Az éves mérlegek pontosabb becslése érdekében hasznos lehet az eddy-kovariancia mérések, CO₂ koncentráció profil, vagy kamrás ökoszisztéma légzés mérésekkel történő kiegészítése.

Az adatróplással kapcsolatban két problémakör is felmerül, egyrészt az adathiány növekedtével növekszik az éves összeg becslésének bizonytalansága, így törekedni kell, hogy a lehető legnagyobb legyen az adatlefedettség a mérések során. Másrészt pedig vannak, akik különböző mérőhelyeken mért adatok pontosabb összehasonlíthatósága érdekében fontosnak tartják az adatrópló eljárások egységesítését, aminek egyrésztől valóban lennének előnyei, ugyanakkor nem tűnik lehetségesnek olyan módszer megalkotása, ami minden mérőhely minden sajátosságát ugyanolyan súllyal képes figyelembe venni.

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Angol nyelvű, impakt faktoros tudományos közlemények

Horváth L., Grosz B., Machon A., Balogh J., **Pintér K.** és Czóbel S. (2008): Measurement of methane and nitrous oxide fluxes of grassland soils in Hungary. *Community Ecology*. 9 (Suppl1) 75-80. DOI: 10.1556/Com.Ec.9.2008.S11. (IF: 0.898)

Pintér K., Barcza Z., Balogh J., Czóbel S., Csintalan Z., Tuba Z. és Nagy Z. (2008): Interannual variability of grasslands' carbon balance depends on soil type. *Community Ecology*. 9 (Suppl1) 43-48 DOI: 10.1556/ComEc.9.2008.S.7. (IF: 0.898)

Balogh J., Nagy Z., Fóti S., **Pintér K.**, Czóbel S., Peli E. R., Acosta M., Marek M. V., Csintalan Z. és Tuba Z. (2007): Comparison of CO₂ and H₂O fluxes over grassland vegetations measured by the eddy-covariance technique and by open system chamber. *Photosynthetica*. 45 (2): 288-292 (IF: 0.976)

Gilmanov T. G., Soussana J. E., Aires L., Allard V., Ammann C., Balzarolo M., Barcza Z., Bernhofer C., Campbell C. L., Cernusca A., Cescatti A., Clifton-Brown J., Dirks B. O. M., Dore S., Eugster W., Fuhrer J., Gimeno C., Gruenwald T., Haszpra L., Hensen A., Ibrom A., Jacobs A. F. G., Jones M. B., Lanigan G., Laurila T., Lohila A., Manca G., Marcolla B., Nagy Z., Pilegaard K., **Pintér K.**, Pio C., Raschi A., Rogiers N., Sanz M. J., Stefani P., Sutton M., Tuba Z., Valentini R., Williams M. L. és Wohlfahrt G. (2007): Partitioning European grassland net ecosystem CO₂ exchange into gross primary productivity and ecosystem respiration using light response function analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 121 (1-2): 93-120 (IF: 1.83)

Nagy Z., **Pintér K.**, Czóbel S., Balogh J., Horváth L., Fóti S., Barcza Z., Weidinger T., Csintalan Z., Dinh N. Q., Grosz B. és Tuba Z. (2007): The carbon budget of semi-arid grassland in a wet and a dry year in Hungary. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 121 (1-2): 21-29 (IF: 1.83)

Angol nyelvű nem impakt faktoros tudományos közlemények

Balogh J., Fóti S., Nagy Z., Czóbel S., **Pintér K.**, Péli E. és Tuba Z. (2005): Comparison of carbon dioxide fluxes over sandy grasslands vegetation as measured by the eddy-covariance technique and by open system chamber. *Acta Biologica Szegediensis*. 49 143-147

Czóbel S., Balogh J., Fóti S., Szirmai O., Nagy Z., Péli E., Nagy J., Szerdahelyi T., Engloner A., Horváth L., **Pintér K.** és Tuba Z. (2005): Effects of different land use change on temperate semi-natural grasslands. *Acta Biologica Szegediensis*. 49 133-136

Nagy Z., Czóbel S., Balogh J., Horváth L., **Pintér K.**, Weidinger T., Csintalan Z. és Tuba Z. (2005b): Carbon balance of Hungarian grasslands in years with contrasting weather conditions. *Acta Biologica Szegediensis*. 49 131-132

Magyar nyelvű könyvfejezet

Czóbel Sz, Horváth L, Nagy J, Szirmai O, Péli E, Nagy Z, **Pintér K.**, Balogh J, Ürmös Zs, Marshall Z, Rabnecz Gy, Tuba Z (2008): Üvegházhatású gázok variabilitása és éves mérlege, valamint a légköri emelkedő CO₂-koncentráció növényökológiai hatásai. In: Harnos Zs, Csete L (szerk.) Klímaváltozás: Környezet - Kockázat - Társadalom. Budapest: Szaktudás Kiadó Ház, pp. 201-227.

Magyar nyelvű tudományos közlemények

Czóbel S., Szirmai O., Szerdahelyi T., Nagy J., Balogh J., Fóti S., Péli E., **Pintér K.**, Horváth L., Nagy Z. és Tuba Z. (2007): Megváltoztatott kezelésű hazai gyeptársulásaink funkcionális ökológiai válaszai. *Magyar Tudomány*. 2007/10 1273-1279

Pintér K., Nagy Z., Barcza Z., Balogh J., Czóbel S., Fóti S., Weidinger T. és Tuba Z. (2007): Az ökoszisztéma-léptékű fotoszintetikus CO₂-asszimiláció és légzés sajátosságai a mérsékelt övi gyepekben. *Magyar Tudomány*. 2007/10 1280-1287

Tuba Z., Nagy Z., Czóbel S., Balogh J., Csintalan Z., Fóti S., Juhász A., Péli E., Sente K., Palicz G. J., Horváth L., Weidinger T., **Pintér K.**, Virágh K., Nagy J., Szerdahelyi T., Engloner A., Szirmai O. és Bartha S. (2004): Hazai gyeptársulások funkcionális ökológiai válaszai, C-körforgalma és üvegházhatású gázainak mérlege jelenlegi és jövőben várható éghajlati viszonyok, illetve eltérő használati módok mellett. "Agro-21" Füzetek. 37 123-138

Angol nyelvű konferencia összefoglalók

Balogh J., Nagy Z., **Pintér K.**, Balogh B., Pavelka M, Darenová E. és Tuba Z. (2009) Multi-chamber automatic soil respiration system for grasslands, 8th International Carbon Dioxide Conference, September 13-19, Jena, Germany

- Hidy D, Barcza Z., Haszpra L., Churkina G., Nagy Z. és **Pintér K.** (2009) Bayesian calibration of the Biome-BGC model for Hungarian grassland ecosystems, 8th *International Carbon Dioxide Conference*, September 13-19, Jena, Germany
- Pintér K.**, Nagy Z., Balogh J., Barcza Z., Tuba Z. (2009) Interannual variation of grasslands' C balance as affected by different soil types, 8th *International Carbon Dioxide Conference*, September 13-19, Jena, Germany
- Balogh J., Biró M. és **Pintér K.** (2008): Root respiration in dry grassland. *Cereal Research Communications*. 38 355-358 (IF: 1.19)
- Machon A., Grosz B., Horváth L., **Pintér K.** és Tuba Z. (2008) Non-CO₂ greenhouse gas flux measurement above a nature reserve grassland in Kiskunság in an unusual year. *Cereal Research Communications*. 36 203-206 (IF: 1.19)
- Pintér K.**, Barcza Z., Balogh J. és Nagy Z. (2008): Continuous eddy covariance measurements of grassland's carbon balance in Hungary. *Cereal Research Communications*. 36 563-566 (IF: 1.19)
- Machon, A., Horváth, L., Grosz, B., Weidinger, T., **Pintér K.** és Tuba, Z. (2008) Measurement and modelling of fluxes of nitrogen compounds above a semi-natural grassland ecosystem in Hungary. *NitroEurope General Assembly and Open Science Conference*, 65.
- Weidinger T., Horváth L., Machon A., **Pintér K.**, Barcza Z., Gyöngyösi A. Z., Nagy Z. és Tuba Z. (2008) Uncertainties in the calculation of NO-NO_x-O₃ fluxes by the gradient and profile methods. *NitroEurope General Assembly and Open Science Conference, Gent/Belgium*, 53.
- Pintér K.**, Nagy Z., Balogh J., Fóti S., Barcza Z., Kristóf D., Weidinger T. és Tuba Z. (2006): Interannual variability of C-balance in grassland ecosystems. *Open Science Conference on the GHG Cycle in the Northern Hemisphere*, 191
- Pintér K.**, Nagy Z., Kristóf D., Czóbel S., Balogh J., Fóti S., Barcza Z., Csintalan Z., Dinh N. Q. és Tuba Z. (2006): Relation of broadband NDVI és GPP in wet and dry periods in Hungary. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 8. EGU06-A-06953
- Hagyó A., Nagy Z., **Pintér K.** és Tuba Z. (2005): Hydrophysical properties and evapotranspiration elements of a heavy clay grassland soil. *Cereal Research Communications*. 33 (1): 217-220
- Nagy Z., Czóbel S., Balogh J., Horváth L., Fóti S., **Pintér K.**, Weidinger T., Csintalan Z. és Tuba Z. (2005a): Some preliminary results of the Hungarian grassland ecological research: Carbon cycling and greenhouse gas balances under changing. *Cereal Research Communications*. 33 (1): 279-281

- Pintér K.**, Nagy Z., Balogh J., Barcza Z., Czóbel S., Fóti S., Tuba Z. és Weidinger T. (2005) Comparison of the CO₂ budget under two different climatic conditions in Hungary. *Geophysical Research Abstracts*: Vol 7. EGU05-A-08269
- Tuba Z., Horváth L., Weidinger T., Balogh J., Barcza Z., Czóbel S., Gyöngyösi A. Z., Kugler S., Nagy Z. és **Pintér K.** (2004) Carbon dioxide budget above a semi-arid grassland in Hungar. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 6. EGU04-A-05918
- Pintér K.**, Tuba Z., Nagy Z., Barcza Z., Weidinger T., Czóbel S., Tarczay K., Fóti S. és Balogh J.(2003) Year-long carbon exchange in the Hungarian GREENGRASS site. In: *Climate Change Impacts on Terrestrial Ecosystems*
- Tuba Z., Haszpra L., Weidinger T., Horváth L., Balogh J., Barcza Z., Czóbel S., Nagy Z., **Pintér K.** és Tarczay K. (2003) Long-term CO₂ concentration and flux measurements in Hungary. *Geophysical Research Abstracts*: Vol. 5. EGU03-A-12771

Magyar nyelvű konferencia összefoglalók

- Balogh J., Nagy Z., **Pintér K.**, Fóti Sz., Biró M. (2009) Talajlégzés komponensek azonosítása homoktalajon, 8. Magyar Ökológus Kongresszus: Előadások és poszterek összefoglalói (szerk.: Körnöczy László) ISBN 978-963-482-948-5, Szeged, 2009. augusztus 26-28., 17.
- Fóti Sz., Balogh J., Nagy Z., **Pintér K.**, †Tuba Z., Bartha S. (2009) Funkcionális términtázatok homoki legelőn, 8. Magyar Ökológus Kongresszus: Előadások és poszterek összefoglalói (szerk.: Körnöczy László) ISBN 978-963-482-948-5, Szeged, 2009. augusztus 26-28., 68
- Nagy Z., **Pintér K.**, Balogh J., †Tuba Z. (2009) Gyepek CO₂ forgalmának éves léptékö változékonysága, 8. Magyar Ökológus Kongresszus: Előadások és poszterek összefoglalói (szerk.: Körnöczy László) ISBN 978-963-482-948-5, Szeged, 2009. augusztus 26-28., 160
- Pintér K.**, Nagy Z., Balogh J., Barcza Z., †Tuba Z. (2009) A talajtípus hatása a gyepek szénmérlegére, 8. Magyar Ökológus Kongresszus: Előadások és poszterek összefoglalói (szerk.: Körnöczy László) ISBN 978-963-482-948-5, Szeged, 2009. augusztus 26-28., 181
- Machon A., Horváth L., Grosz B., Weidinger T., **Pintér K.**, Nagy Z. és Tuba Z. (2008) Tájéptéki nitrogénmérleg meghatározása mérések és a DNDC modell alapján. (szerk.: Sáhó Á.) *A levegőkörnyezet állapota: ökológiai kölcsönhatások és egészségügyi kockázatok. A 33. Meteorológiai Tudományos Napok 2007 kiadványa*, Országos Meteorológiai Szolgálat, 58-62.

- Pintér K.**, Nagy Z., Balogh J., Barcza Z., Kristóf D., Weidinger T., Grosz B., Machon A., Horváth L. és Tuba Z.(2007) A tájleptékű szén- és nitrogénmérleg összetevői mikrometeorológiai mérése. (szerk: Weidinger T. és Geresdi I.) *Légkörfizika és mikrometeorológia. 32. Meteorológiai Tudományos Napok*, Budapest, 2006. november 23-24., Országos Meteorológiai Szolgálat, 161-169 ISBN 978-963-7702-97-6
- Nagy Z., **Pintér K.**, Kristóf D., Barcza Z., Fóti S., Balogh J., Czóbel S., Weidinger T. és Tuba Z.(2006):Gyepék szén-dioxid forgalmának mérése a Kiskunságban és a Mátrában. *VAHAVA Zárókonferencia*, MTA, Budapest, 2006. március 9.,
- Pintér K.**, Nagy Z., Balogh J., Czóbel S., Barcza Z. és Tuba Z.(2006): Magyarországi gyepfelszínek szén-cseréje. (szerk: Szentesi Á., Szövényi G. és Török J.) *7. Magyar Ökológus Kongresszus*, Budapest, 2006 szeptember 4-6., 172
- Pintér K.**, Nagy Z., Barcza Z., Gyöngyösi A. Z., Weidinger T., Czóbel S., Fóti S., Balogh J. és Zoltán T.(2004):A szénmérleg becslése éves skálán fűfelszín felett. *HUNGEO 2004, Magyar Földtudományi Szakemberek Világtalálkozója*, Szeged, 2004. augusztus 28. - szeptember 2.
- Pintér K.**, Tuba Z., Nagy Z., Barcza Z., Weidinger T., Czóbel S., Tarczay K., Fóti S. és Balogh J.(2003):Éves szénmérleg becslése fűfelszín felett. *V. Magyarországi Fotoszintézis Konferencia*, Noszvaj, 2003. szeptember 15-16., 11
- Tuba Z., Nagy Z., Weidinger T., Csintalan Z., Horváth L., Szerdahelyi T., Nagy J., Engloner A., Juhász A., Balogh J., Mészáros R., **Pintér K.**, Fóti S. és Péli E.(2003): Az 5. EU&D keretprogrambeli gödöllői gyepökölógiai kutatásokról. (szerk: Domonkos M. és Lakner K.) *6. Magyar Ökológus Kongresszus*, Gödöllő, 2003. augusztus 27-29, 266
- Weidinger T., Barcza Z., Horváth L., Mészáros R. és **Pintér K.**(2003):A felszín és a légkör közötti nyomgáz kicserélődés mérése és modellezése Magyarországon. (szerk: Dombos M. és Lakner G.) *6. Magyar Ökológus Kongresszus*, Gödöllő, 2003. augusztus 27-29., 274