



MŰSZAKI TUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Talajművelő gépek és eljárások hatása a talaj CO₂ kibocsátására

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Rádics János Péter

Gödöllő
2015

**A doktori iskola
megnevezése:**

Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága:

Agrárműszaki tudományok

vezetője:

Prof. Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc SZIE,
Gépészmérnöki Kar

témavezető:

Prof. Dr. Fenyvesi László
egyetemi tanár,
SZIE, Gépészmérnöki Kar
Mechanikai és Géptani Intézet

társ témavezető:

Prof. Dr. Jóri J. István
egyetemi tanár,
BME, Gépészmérnöki Kar
Gép- és Terméktervezés Tanszék

.....
az iskolavezető jóváhagyása

.....
a témavezetők jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés, célkitűzések	4
2. Anyag és Módszer	5
2.1. A szántóföldi mérések általános leírása	5
2.2. A kísérleti területek bemutatása	5
2.3. A mérési eljárás kidolgozása	7
2.4. A kibocsátás modellezésének alapjai	8
3. Eredmények	9
3.1. A mérési eljárás fejlesztésének eredményei	9
3.2. A rövid időtartamú mérések eredményei	13
3.3. A közepes időtartamú mérések eredményei	14
3.4. A CO ₂ kibocsátási modell kidolgozásának eredményei	16
3.5. A kibocsátási modell illesztésének eredményei	18
3.6. A kibocsátási modell továbbfejlesztése	19
4. Új tudományos eredmények	23
5. Következtetések és javaslatok	26
6. Összefoglalás	27
7. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó kiemelt publikációk	28

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A klímaváltozás káros hatásai egyre inkább sürgető tevékenységi kötelezettséggel terheli a kutatókat és a döntéshozókat. A hőmérséklet folyamatos emelkedése, az egyre gyakrabban tapasztalható időjárási szélsőségek miatt egyre nyilvánvalóbb az intenzívebb globális összefogás szükségessége. Intézkedések kellene a hatások mérséklésére, a változás sebességének csökkentésére, megállítására, vagy visszafordítására, hiszen a globális klímaváltozás az emberiség eddigi legnagyobb kihívása (JOLÁNKAI és BIRKÁS, 2005).

Bolygónk klímájának megváltozását a vélelmek szerint elsősorban a földi légkör természetes üvegházhatását szabályzó, üvegházhatású gázok (GHG) koncentrációjának emelkedése okozza. Az antropogén eredetű GHG kibocsátásért elsősorban az energia előállítás, az ipar és az intenzív mezőgazdaság és erdőgazdálkodás felelős.

A mezőgazdasági tevékenységek alapozzák meg a Földünkön élő humán populáció ételtermelését. A káros hatások mérséklése nem csökkentheti a termelést, mivel ez beláthatóan katasztrofális következményekkel járna. A kutatások feladata a megtermelt ételtermelés-alapanyag mennyiségének fenntartása mellett, a klímaváltozást elősegítő hatások mérséklése. Az 1980-as évektől nagy mennyiségű kutatási anyag gyűlt össze az egyes talajművelési rendszerek és művelési eljárásaik kibocsátásáról, amelyek segítik a talaj szén körforgásának elemzését és megértését. Részletes matematikai modellekkel leírható a környezeti változók ismeretében, az erdő- és szántóföldi talajok CO₂ körforgásának abszolút értéke, de hiányosak azok az ismeretek, amelyek segítségével a művelési eljárások CO₂ kibocsátásának modellezése lehetővé válik és a pontosan meghatározható, hogy a különböző művelési eljárások és talajművelési rendszerek használata milyen irányban és mértékben befolyásolja a talaj CO₂ kibocsátását, ezzel együtt szénkészletének változását.

Az előzőek alapján a következő célokat fogalmaztam meg:

- A talajművelési eljárások CO₂ kibocsátásának számszerűsítését lehetővé tevő mérési eljárás kidolgozása, amely összhangban a szakirodalomban található megállapításokkal, lehetőséget ad az egyes művelési eljárások kibocsátásának viszonylag gyors és egyszerű meghatározására és összehasonlítására.
- A rendelkezésre álló kísérleti területeken, a különböző művelési eljárások következtében a talaj megváltozott CO₂ kibocsátásának méréssel történő meghatározása.
- Matematikai modell kidolgozása, az egyes művelési eljárások kibocsátásának meghatározására.
- A modell általánosítása és a talajművelés technológiák teljes kibocsátásának meghatározása.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatási hipotézisben megfogalmazott célok eléréséhez új vizsgálati eljárás kidolgozására, szántóföldi mérések elvégzésére, és a kibocsátási modell alapjainak felállítására volt szükség.

2.1. A szántóföldi mérések általános leírása

A talaj CO₂ kibocsátásának vizsgálatát kamrás mérési eljárással végeztem. A módszer alapja, hogy a talajlégzés során távozó szén-dioxidot a talaj felett egy kamrában akkumuláljuk, és ebből mintát véve, vagy közvetlenül a kamrában vizsgáljuk a gázkoncentrációt. A mért adatok alapján, a kamra által letakart területegység és a kamratérfogót, valamint az inkubációs idő alapján számítható az egységnyi területre vonatkoztatott szén-dioxid kibocsátás.

A vizsgálati területeken, a forgókon belüli részen különböző művelésű vizsgálati parcellát jelöltem ki, amelyeken a művelés után közvetlenül elhelyeztem az inkubációs kamrákat. Így a művelés következtében, a talajból emittált CO₂ akkumulálása a művelés után azonnal megkezdődött. A mérés során minden esetben vizsgáltam a műveletlen (referencia) terület kibocsátását is, amely alapján a művelés hatásának zérus értékét megadó, az adott területre, talajtípusra jellemző értéket határoztam meg. A mérések során egységesen vizsgált paraméter volt a légkör CO₂ koncentrációja. Így a mért adatok alapján, kizárólag a művelés következtében keletkezett CO₂ mennyiségét tudtam kiszámítani.

A mérőkamrákat a terület heterogenitásának reprezentálására, minden ciklus alkalmával, véletlenszerűen kiválasztott mérési ponton talajba süllyesztettem, így minden egyes mérőpont esetében biztosított volt, hogy a mérés megkezdéséig, nem történik beavatkozás a talaj mikroklímájába. A mérések ismétléseinek értékeit átlagoltam, majd számítógépen dolgoztam fel.

A különböző műveléseket követő talaj CO₂ emisszió vizsgálatára rövid és közepes időtartamú méréseket végeztem. A rövid időtartamú mérések esetében a művelést követő 1-5 órában, míg a közepes időtartamú mérések esetében a művelést követő 28-30 órában vizsgáltam a talaj CO₂ kibocsátását. A mintavételi időközöket a kezdeti méréseknél a kibocsátás valószínűsíthető intenzitása, majd a mérési tapasztalatok alapján, a kibocsátás reprezentálásának optimalizálására törekedve határoztam meg.

2.2. A kísérleti területek bemutatása

A CO₂ kibocsátás vizsgálatokat az Enyingi Agrár Zrt., Fejér megyei, Lajoskomárom- és Rádics Balázs mezőgazdasági vállalkozó, Somogy megyei, Mesztegnő térségében lévő területein végeztem. Az Enyingi Agrár Zrt. kezelésébe tartozó vizsgálati területek nagy szervesanyag tartalmú vályogtalajok. Rádics Balázs egyéni vállalkozó kezelésében lévő területek közül a Mesztegnő „T1” és

Hosszúvíz „A1” területek alacsony szervesanyag tartalmú homoktalajok, míg a Mesztegyő „H1” és Mesztegyő „H2” területek szintén alacsony szervesanyag tartalmú, erősen agyagos vályogtalajok.

2.1. táblázat A rövid időtartamú mérések összefoglaló adatai

Mérés száma	Művelet / dátum	Terület	Időjárási- és talajviszonyok	Talajművelő gép	Művelési mélység, [cm]
1.	Tarlóhántás gabonatarlón 2003. 07.15.	Enying “S4”	Száras, szeles idő, 28 °C száras talaj	Rába-IH tárcsás borona+ Güttler henger	14-16
				Komondor mulcskultivátor	14-16
				Kverneland CLE középmélylazító	24-26
2.	Alapművelés kukorica tarlón 2003. 09.23.	Enying “S10”	Száras, szeles idő, 20 °C, száras talaj	Rába-IH tárcsás borona+ Güttler henger	19-21
				Kverneland BB 115 ágyeke	24-26
	2003. 10.16.		Száras, szeles idő, 16 °C, nedves talaj	Komondor mulcskultivátor	18-20
3.	Tarlóhántás gabonatarlón 2007. 06.06.	Mesztegyő “H1”	Száras, napos idő, 26-28 °C, nyirkos talaj	Symba X-press tárcsás borona	12-14
4.	Tarlóhántás repcetarlón 2007. 06.07.	Mesztegyő “A1”	Száras, napos idő, 29-31 °C, nyirkos talaj	Pöttinger Synkro szántóföldi kultivátor + Pöttinger Lion forgóborona	16-18
				Pöttinger Synkro szántóföldi kultivátor	22-25
5.	Tarlóhántás gabonatarlón 2007. 07.14.	Mesztegyő “H1”	Száras, napos idő, 25-28 °C, nyirkos talaj	Középmélylazító	38-45
				Pöttinger Synkro szántóföldi kultivátor	22-25
				Pöttinger Synkro szántóföldi kultivátor + Pöttinger Lion forgóborona	16-18
6.	Tarlóhántás repcetarlón 2007. 07.15.	Mesztegyő “A1”	Száras, napos idő, 29-31 °C, nyirkos talaj	Symba X-press tárcsás borona	12-14
7.	Alapművelés gabonatarlón 2011. 08.09.	Mesztegyő “T1”	Száras, napos idő, 28-31 °C, nyirkos talaj	Egyedi középmélylazító	38-42
8.	Tarlóhántás napraforgótarlón 2011. 09.17.	Mesztegyő “H1”	Száras, napos idő, 25-28°C, száraz talaj	Lemken Thorit szántóföldi kultivátor	14-16

2.2. táblázat. A közepes időtartamú mérések összefoglaló adatai

Mérés száma	Művelet / dátum	Terület	Időjárási- és talajviszonyok	Talajművelő gép	Művelési mélység, cm
9.	Tarlóhántás gabonatarlón 2004.07.15.- 2004.07.16.	Enying “S4”	száras, napos idő, 28 °C, száraz talaj	Kuhn Optimizer kompakt tárcsás borona	12-14
				Kverneland BB115 ágyeke	24-26
10.	Tarlóhántás gabonatarlón 2014.08.18- 2014.08.19.	Mesztegyő “H2”	száras, napos idő, 28 °C, nedves talaj	Pöttinger Synkro szántóföldi kultivátor	20-22
				Vogel&Noot váltvaforogató eke	32-35

2.3. A mérési eljárás kidolgozása

A megbízható mérési adatokat biztosító mérési eljárás kidolgozásának alapvető feladata a megfelelő mérőműszer kiválasztása, és a talajból emittált szén-dioxid gyűjtésére alkalmazott inkubációs kamra kidolgozása volt.

A mérőműszer kiválasztása során összehasonlító vizsgálatokat végeztem a kamrán kívül elhelyezett INNOVA 1312 Photoacoustic Multi-gas Monitor automata mérőrendszerrel, és a kamrába helyezhető, TESTO 535 típusú CO₂ koncentráció mérő műszerrel.

A kamrakialakítás kidolgozása

Az első és második méréssorozatok (2.1. táblázat) alkalmával a méréseket 8,3 dm³ térfogatú, csonkakúp alakú, polietilén anyagú edényekkel végeztük. A kamrák a mérés teljes időtartama alatt nem kerültek elmozdításra. Az inkubációs idő 1,5-4 óra volt. A mérések során szerzett tapasztalatok azt mutatták, hogy az alkalmazott módszer, amely során a mérőedényeket a mérés végéig nem ürítjük, az esetleges telítődés és a talaj mikroklimájára gyakorolt hatás miatt nem alkalmas a megbízható adatokat adó, hosszabb időtartamú mérések elvégzésére.

Ezért az első közepes időtartamú méréssorozat során (2.2. táblázat, 10. mérés), kétféle mérési eljárást alkalmaztam. A mérőkamrák egyik felét a mérőedényeket a mérés teljes időtartama alatt nem mozdítottam el (kumulált mérési eljárás). A mérőkamrák másik felénél, a mérések között szellőztettem a mérőedényeket (ürítéses mérési eljárás).

A kezdeti mérések tapasztalatai alapján, a nagyobb aggregátum méretet eredményező művelések miatt, a kamra által lefedett terület növelése mellett döntöttem, és új kamrákat terveztem és gyártottam le. Az új mérőkamrák alakját négyzet alapú hasábnak választottam, méretét 300x300x350 mm-ben határoztam meg. A jelentősen megnőtt térfogat-felület arány miatt a kamrákban ventilátorokat helyeztem el. A csonkakúp és hasáb alakú mérőkamrákkal összehasonlító méréseket végeztem, melynek célja a különböző kamrákkal végzett mérési eredmények összevethetőségének vizsgálata volt.

A mérési eredmények értékelése

A mérési adatokat mindkét műszer [ppm]-ben adja meg, amely SI mértékegységben értelmezve [μmol/mol]. Az adatfeldolgozáshoz a kamrákban mért koncentráció értékeket, a talaj CO₂ kibocsátási intenzitásának jellemzésére, egységnyi idő és területre értelmezve kell átszámítani, amelyet a következő egyenlet szerint végeztem (MEYER et al., 1987; WIDÉN & LINDROTH, 2003) alapján:

$$F_{CO_2} = \frac{dC}{dt} \frac{V p M}{R(273,15 + T)A}, \quad (2.1.)$$

ahol F_{CO_2} a CO₂ kibocsátás intenzitása $\left[\frac{g}{m^2h}\right]$, dt a mérési idő [h], dC a CO₂

koncentráció változása a mérés időtartama alatt $\left[\frac{\text{mol}}{\text{mol}}\right]$, V a mérőkamra térfogat $[\text{m}^3]$, p a légköri nyomás $[\text{Pa}]$, M a CO_2 moláris tömege = 44,01 $\left[\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right]$, R az univerzális gázállandó = 8,314 $\left[\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right]$, T a hőmérséklet $[^\circ\text{C}]$ és A a mérőkamra által lefedett talajfelszín $[\text{m}^2]$.

2.4. A kibocsátás modellezésének alapjai

A kibocsátási modell kidolgozásának alapja, a talajművelést követő emissziós folyamat általános természeti törvények alapján történő matematikai leírása volt. A művelés hatására megváltozó talaj CO_2 kibocsátás időben változó folyamatának lezajlását a műveléssel a talajba kevert oxigén által katalizált enzimreakciók, és a talaj hőmérsékletének változásai által módosult sebességű enzimreakciók együttes hatása eredményezi. Az enzimek által katalizált reakciók folyamatát a Michaelis-Menten kinetikával szokás jellemezni (NYESTE, 1988), amely sztöchiometriai egyenlete alapján a végtermék képződésre levezethető differenciálegyenlet megoldása a következő:

$$C_{\text{talaj}}(t) = C_0 e^{-k_1 t}, \quad (2.2.)$$

ahol C_{talaj} a talaj mobilizálható szén tartalma $\left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2}\right]$, t az idő $[\text{h}]$, C_0 a talaj kezdeti mobilizálható szén tartalma $\left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2}\right]$, k_1 modell paraméter $[-]$.

A mért adatok közelítésének egyik fontos szempontja a felszíni hőmérséklet hatásának figyelembe vétele. Ugyanakkor a hőmérséklet direkt hatásának, hőmérsékletfüggő változóval való követése nem indokolt. A különböző környezeti hatások és talajadottságok által befolyásolt, méréssel meghatározható kibocsátási értékek már tartalmazzák a hőmérséklet paramétert, hiszen a kibocsátás, a katalizált enzimkinetikai reakció várható dominanciája mellett, a hőmérséklet függvénye is. A hőmérséklet napi változásának jellegét figyelembe vevő modell használatával, a kibocsátás leírása pontosabb eredményt ad. A talajhőmérséklet változása VÖLGYESI (1982) alapján az alábbi függvénnyel írható le:

$$T = T_0 + A \sin\left(\frac{2\pi}{t_0} t + \beta\right), \quad (2.3.)$$

ahol T a talajhőmérséklet $[^\circ\text{C}]$, T_0 a talaj közepes hőmérséklet $[^\circ\text{C}]$, A a talajhőmérséklet változás amplitúdója $[^\circ\text{C}]$, t_0 a periódus hossza $[\text{h}]$, t az idő $[\text{h}]$, β a fáziseltolódás $[\text{h}]$.

Az előzőekben bemutatott összefüggések felhasználásával dolgoztam ki a kibocsátási modellt, és végeztem el a mért adatok regresszió analízisét.

3. EREDMÉNYEK

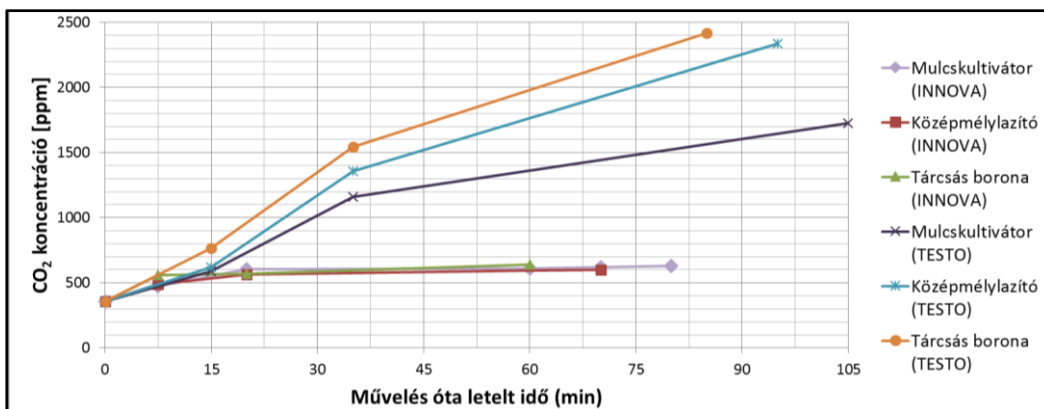
Az előző fejezetben ismertetett vizsgálati tematika szerint, a bemutatott módszertan alkalmazásával, az ismertetett eszközök és mérőműszerek segítségével hajtottam végre a megfogalmazott célkitűzések megvalósítását. Ebben a fejezetben a mérési eredményeket, az adatfeldolgozás eredményét, következtetéseit mutatom be.

3.1. A mérési eljárás fejlesztésének eredményei

A kutatás egyik alapvető célkitűzése, a talaj CO₂ kibocsátásának mérésére rugalmasan alkalmazható, megbízható mérési eljárás kidolgozása volt. Az előző fejezetben bemutatott mérőeszközökkel és mérési eljárásokkal végzett mérések összehasonlításának legfontosabb eredményeit kívánom ebben a fejezetben bemutatni.

A mérési eljárások összehasonlító méréseinek eredményei

A TESTO és INNOVA mérőműszerek összehasonlító vizsgálata alapján (3.1. ábra) megállapítható, hogy az első mérési időpontig a kamrakoncentráció mindkét műszerrel mért értékek alapján hasonló meredekséggel emelkedik. Az első mérési időpontot követően azonban a két műszer esetében teljesen eltérő mértéket mutat. A szakirodalom alapján a művelés utáni néhány órás időszakban a kamrakoncentráció emelkedése volt várható, de csak a TESTO műszerrel mért értékek felelnek meg ennek a trendnek. Az INNOVA műszer által mért értékek alapján a kamrakoncentráció az első mérés után csak nagyon kis mértékben növekszik, esetenként a koncentráció csökkenése mérhető. A kamra gázkoncentrációjának csökkenése és stagnálása valószínűleg a külső INNOVA mérőegység miatti légcserére vezethető vissza. Ennek a légcserének a hatására jelentősen megváltozik a kamra levegőjének CO₂ koncentrációja.



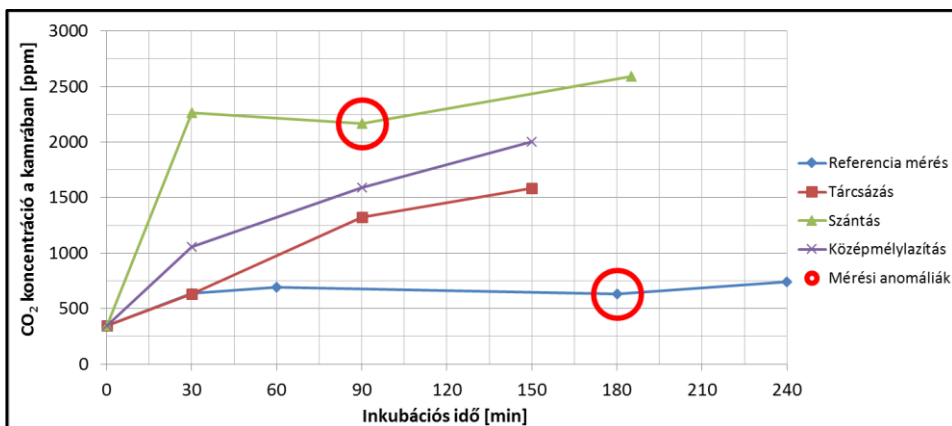
3.1. ábra. Különböző művelések utáni CO₂ emisszió mért értékei (1. mérés)

A fentiek alapján az INNOVA mérőrendszer esetében tapasztalt anomáliák miatt csak a TESTO 535 műszerrel végzett mérések eredményeit vettem figyelembe. Az

INNOVA rendszerrel mért adatokat hibás mérésnek tekintettem, és figyelmen kívül hagytam.

A kumulált és az ürítéssel mérési eljárás összehasonlítása

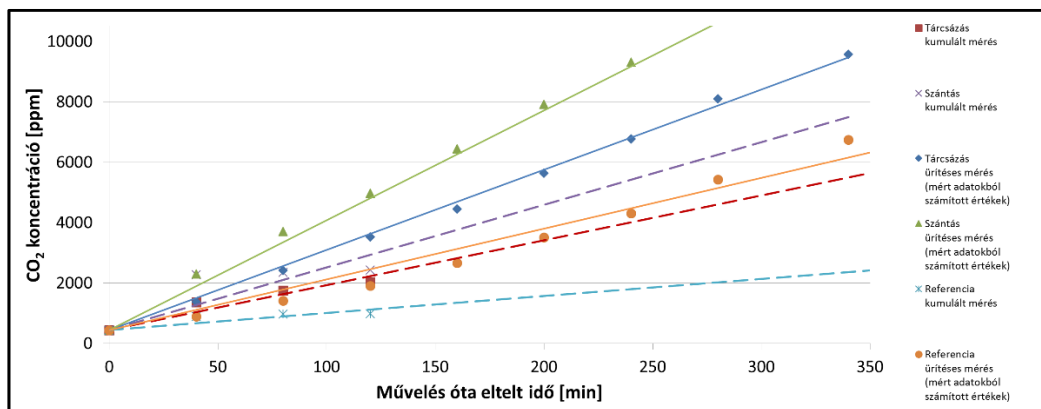
A kumulált mérési eljárás esetén tapasztalt mérési anomáliákat a 2. mérés eredményein mutatom be (3.2. ábra). A tárcsás boronával és a középmezélylázítóval művelt parcellák esetében a mért értékek követik az elméleti trendeket. A műveletlen parcella (referencia mérés) és a szántott terület esetében, viszont a kamrában CO₂ koncentráció csökkenését tapasztaltam. A negatív előjelű kibocsátási érték nem értelmezhető, mivel ebben az esetben a talajnak széndioxidot elnyelőnek kellene lennie.



3.2. ábra. Mérési anomáliák a hosszú inkubációs idejű kamrákban (2. mérés)

A jelenség magyarázata, hogy a vizsgálati parcella feletti légmozgás miatt a kamra körüli légmozgás a kamrából a talaj felé áramoltatta a levegőt. Emiatt számszerűen nem értékelhetők azok a mért értékek, amelyek a kamrakoncentráció csökkenése után találhatóak, mivel nem ismert, hogy a külső hatások milyen mértékben csökkentették a kamrakoncentrációt.

Ugyanakkor a különböző parcellák esetében az egyes művelések emisszió szerinti sorrendje megfelel az egyes művelések talajbolygatásból következő intenzitásának. A 3.3. ábrán a kumulált mérési eljárás esetében a mért értékeket ábrázoltam, míg az ürítéssel mérési eljárásnál a mért értékekből kivontam a kamra lehelyezésekor mért légköri CO₂ koncentrációt, majd mérési pontonként összegeztem a kapott értékeket. Így az ürítéssel mérési eljárás esetében egy elméleti kumulált koncentrációt ábrázoltam. A mért értékeket nulla időpontban mért légköri koncentrációval megegyező pontból kiindulva, lineáris regresszióval közelítettem. Jól látható, hogy a két eljárás mért értékei között jelentős az eltérés, amely azonos művelések esetén különböző mértékű CO₂ kibocsátást feltételez.



3.3. ábra. A kumulált és az üritéses mérés adatainak kumulatív összehasonlítása lineáris regresszió alapján (9. mérés)

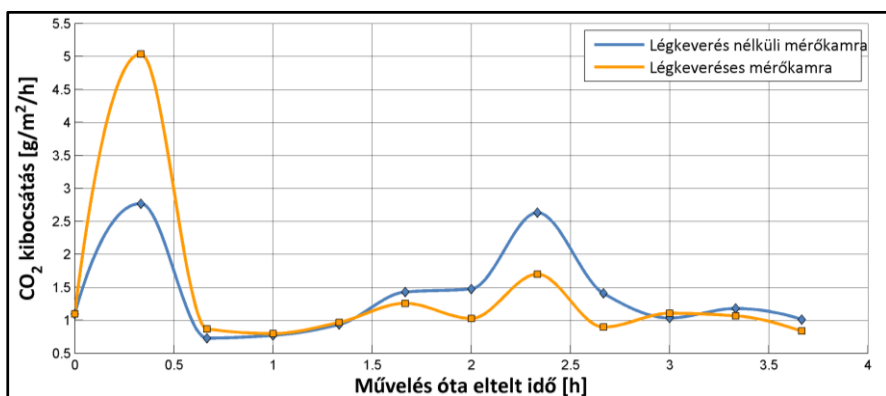
A mért értékek eltérése ellenére, a különböző művelésekre jellemző közelítő függvények meredekségének sorrendje az egyes méréssorozatokon belül, azonos a kumulált és az üritéses mérések esetében is. Ennek oka, hogy az azonos mérőterületen, azonos időben vett mintákat, közel azonos külső hatások érik, valamint a kamra kedvezőtlen hatása a talaj mikroklímájára is azonos mértékű. Megfigyelhető az is, hogy a különböző mérési eljárásokkal mért, kumulatív eredményekre illesztett elsőfokú polinomok meredeksége, valamint a mérési anomáliák bekövetkezése összefüggésben van a jellemző aggregátum mérettel és a légátjárhatósággal. Ezért a hosszú inkubációs idejű, szellőztetés nélküli mérési eljárás mérési adatai kvantitatív módon nem használhatók a kibocsátott CO₂ mennyiségének meghatározására, ugyanakkor a mérési eljárások összehasonlítására, a különböző művelések rangsorolására alkalmasak.

A minimális inkubációs idő meghatározása

Az üritéses mérési eljárás lehetőséget ad a közepes, vagy hosszú időtartamú szántóföldi vizsgálatok elvégzésére. A nagyszámú kamra használata az inkubációs idő csökkentését teszi szükségessé. Ugyanakkor a rövidebb inkubációs idő miatt, a leolvasás bizonytalanságából adódó hiba jelentős hatással van a teljes mérési hibára. A minimális inkubációs idő meghatározására megvizsgáltam, hogy a kamralevegő CO₂ koncentráció mérésének hibája, hány százalékban befolyásolja a mérési eredményekből számolt kibocsátási intenzitás értékeket a jellemző leolvasási hiba tartományában (1-5ppm). Megállapítottam, hogy amennyiben mérési hibát 5% alatt kívánom tartani, az inkubációs idő minimális értéke 12 perc. Ezért a minimális inkubációs időt 15 percben határoztam meg.

A csonkakúp és a hasáb alakú kamrás mérési eljárás összehasonlítása

A 3.4. ábrán mutatom be a légkeveréses és a légkeverés nélküli mérőkamrák által mért adatok alapján meghatározott kibocsátási intenzitás értékeket.



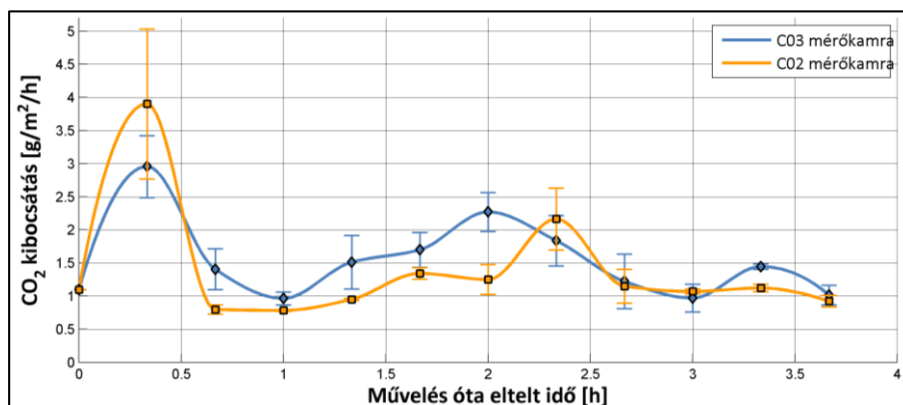
3.4. ábra. Légkeveréses és a légkeverés nélküli kamrák összehasonlítása (7. mérés)

A mért értékek alapján számolt mennyiségeket a 3.1. táblázatban összegeztem. Ezek alapján a két kamra mérési eredményei, a kibocsátott CO₂ mennyiségének tekintetében 4,1%-kal térnek el egymástól.

3.1. táblázat. Légkeveréses és légkeverés nélküli mérőkamrák kibocsátási adatai

	Kibocsátott CO ₂ mennyisége a mérés időtartama alatt [g/m ²]	A kibocsátott CO ₂ mennyiségének eltérése [%]
Légkeverés nélküli kamra	5,2546	100
Légkeveréses kamra	5,4709	104

A 3.5. ábrán mutatom be a homokos talajon végzett mérés eredményei alapján számolt intenzitási értékeket. A mérési eredmények alapján a különböző mérőkamrákkal végzett mérések kibocsátás intenzitása nagyon hasonló.



3.5. ábra. Különböző alakú kamrákkal mért kibocsátási intenzitás és szórás

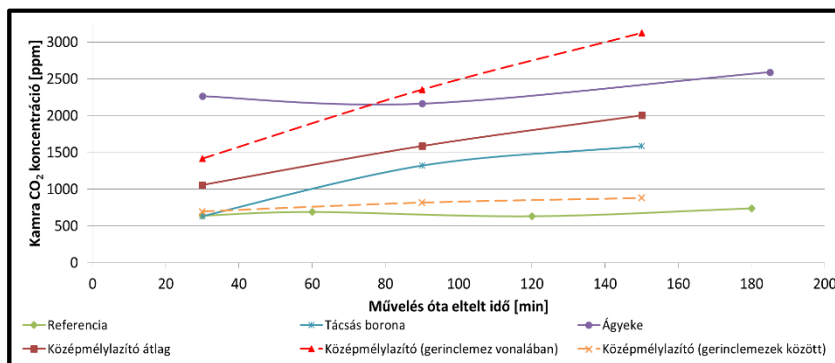
3.2. táblázat. Különböző alakú mérőkamrák kibocsátási adatai

	Kibocsátott CO ₂ mennyisége a mérés időtartama alatt [g/m ²]	A kibocsátott CO ₂ mennyiségének eltérése [%]
Csonkakúp alakú kamra	5,3481	100
Hasáb alakú kamra	5,9015	110

A kisebb térfogatú, csonkakúp alakú cella első mérési pontjában tapasztalható nagy kibocsátási intenzitás érték a talaj heterogenitásából is adódhatnak, amelyet a mérési eredmények nagy szórása is mutat. Jól látható azonban, hogy teljes mérési intervallumot nézve, a hasáb alakú cellával végzett mérési eredmények variációjával jóval kisebb, mint a csonkakúp alakú cellával végzett mérések esetében. Ez alapján a hasáb alakú cellák segítségével egyenletesebb eredmények kaphatók, amely a kamra által lefedett, nagyobb mintavételi területnek is köszönhető.

3.2. A rövid időtartamú mérések eredményei

Az elvégzett rövid időtartamú mérések eredményei alapján megállapítható, hogy a különböző talajművelő gépek munkája után közvetlenül mérhető CO₂ kibocsátást főként a művelés intenzitása, a tömörítő eszköz hatékonysága valamint a keletkező aggregátum méret befolyásolja. A művelési intenzitás hatását a 3.6. ábrán mutatom be. A vizsgált területek rangsora a CO₂ kibocsátás intenzitása szerint növekvő sorrendben a következő: műveletlen terület, tárcsázás, középmedélylazítás, szántás. A legintenzívebb kibocsátást a középmedélylazító gerinclemezeinek vonalában mértem.

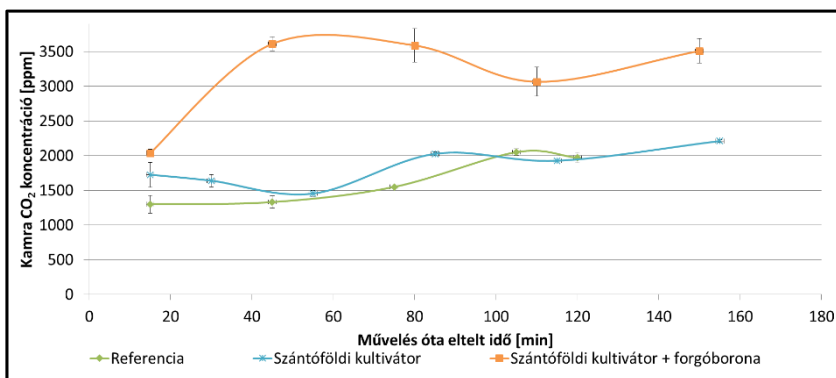


3.6. ábra. A különböző művelések mért CO₂ koncentrációja (2. mérés)

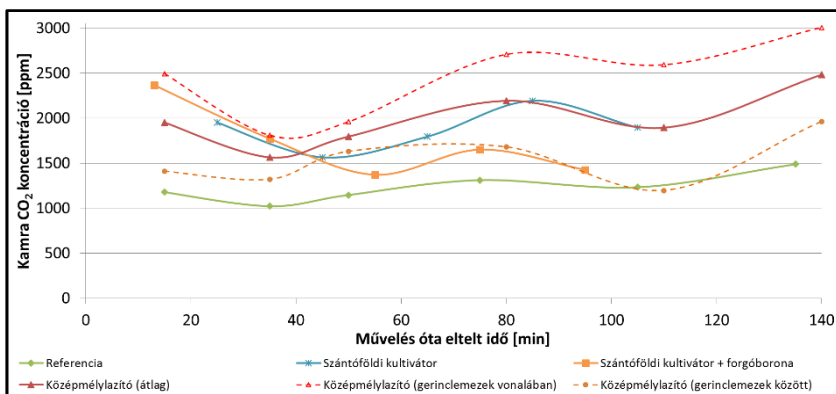
A jellemző aggregátum méret hatását a 3.7. ábrán és a 3.8. ábrán mutatom be. A 4. mérés esetében (3.7. ábra) homoktalajon a forgóboronával kiegészített kultivátorral művelt terület esetében jelentősen nagyobb kibocsátási értékeket mértem, mint a csak kultivátorozott területen. Ez arra enged következtetni, hogy a forgóborona aprító és keverő hatása miatt, az aprómorzás talajszerkezet kialakításával, a levegő oxigéntartalma nagyobb mértékben vált hozzáférhetővé az aerob mikroorganizmusok számára. Az 5. mérés esetében (3.8. ábra) agyagos vályog talajon ezzel ellentétes eredményt tapasztaltam. Itt a forgóborona porhanyító hatása kevésbé érvényesült, és inkább a rögfракció volt túlsúlyban. Ezért a rögök belsejében lévő mikroorganizmusok nem, vagy csak lassabban juthattak oxigénhez.

Az agyagos talajon a középmedélylazító gerinclemezeinek vonalában az összes műveléshez képest jelentősen intenzívebb volt a kibocsátás. Ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy a gerinclemezek között mért értékek jelentősen meghaladják a műveletlen területen mért értékeket, amelynek nagy valószínűséggel az oka, hogy

az agyagos vályog talajon a lazítás során a repedések terjedése intenzívebb volt, és az így nagyobb mennyiségű oxigén vált a mikroorganizmusok számára elérhetővé.



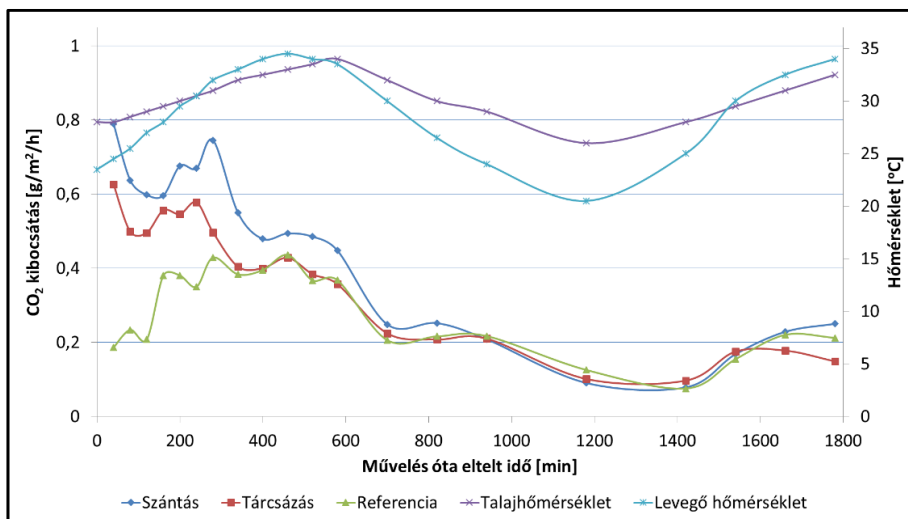
3.7. ábra. Forgóborona hatásának vizsgálati eredményei homoktalajon (4. mérés)



3.8. ábra. Különböző művelések hatása agyagos vályog talajon (5. mérés)

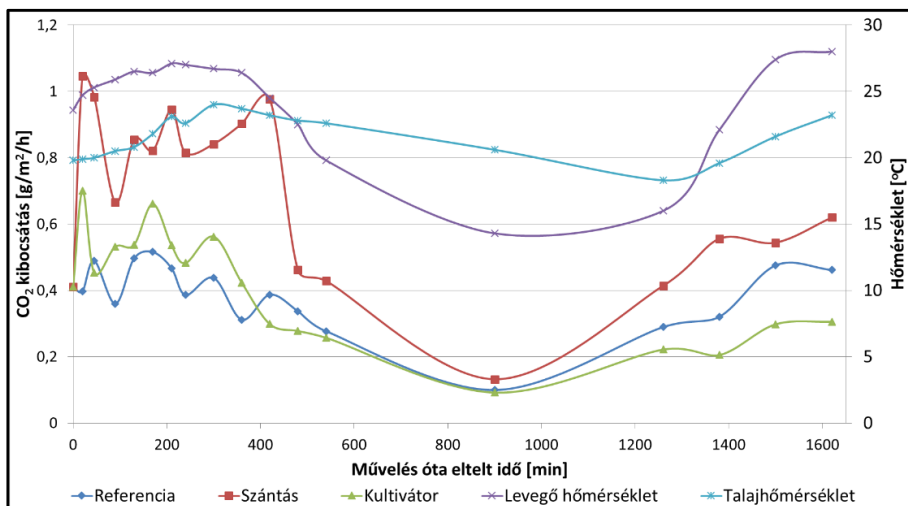
3.3. A közepes időtartamú mérések eredményei

A közepes időtartamú mérések mérési eredményei alapján számolt kibocsátási intenzitás értékeket az 3.9. -3.10. ábrákon mutatom be. Az adatok alapján jól látható, hogy a reakciókinetikai közelítésnek megfelelően, a művelés után közvetlenül a talajba kevert oxigéndús levegő hatására, hullámzó jellegű, de intenzív kibocsátás tapasztalható, majd az intenzitás folyamatosan csökken a műveletlen talajhoz hasonló értékekre. Az intenzitásértékek trendjei alapján megfigyelhető, hogy a művelt terület kibocsátásának intenzitása az exponenciális csökkenés mellett, a hőmérsékletingadozásnak megfelelő jelleget mutat. Az első közepes időtartamú mérés (3.9. ábra) esetében 11-15 óra után megfigyelhető a művelt és a nem művelt terület görbéinek együttfutása is. Ez megegyezik a szakirodalomban megtalálható megállapításokkal, mivel például a művelés hatásának lecsengését (Ellert és Janzen, 1999) közel ilyen időtartamban tapasztalta kanadai csernozem talajon végzett vizsgálataik során.



3.9. ábra. A mért kibocsátási és hőmérséklet adatok megjelenítése polinomális interpolációval (9. mérés)

Ugyanakkor a 10. mérés (3.10. ábra) esetében a kibocsátási értékek együttfutása nem határozható meg egyértelműen, mivel a valószínűsíthető együttfutás időszaka az éjszakára esik, ahol a talajhőmérséklet jelentős csökkenése is nagymértékben mérsékli a kibocsátást.



3.10. ábra. A mért kibocsátási és hőmérséklet adatok megjelenítése polinomális interpolációval (10. mérés)

A görbék lefutásában tapasztalható fluktuáció valószínűsíthetően a térbeli heterogenitás miatt jelentkezik. Ezt a megállapítást támasztja alá, hogy a korábbi méréseknél használt kumulált mérési eljárással, hosszabb ideig azonos mérőpontban történő mérés esetén, a mért eredmények simább lefutású görbéket eredményeztek. Az ürítéses mérési módszer szerint a mintavételi helyek nem azonosak, a mérési eredmények alapján pedig a térbeli heterogenitások

reprezentálása is megvalósul, így a kibocsátási modell illesztésével a vizsgált területre jellemző, valós, átlagos kibocsátás határozható meg. A referenciagörbe értékei alapján jól látható, hogy a műveletlen talaj esetében a reakciókinetikai modelltag elhagyása helyénvaló, hiszen a kibocsátás a talajhőmérséklettől eltolt periódusú, de hasonló jellegű görbelefutást mutat. Megfigyelhető az is, hogy a nem művelt terület kibocsátásának maximuma nem a talajhőmérséklet, inkább a levegő hőmérséklet maximumával esik egybe.

3.4. A CO₂ kibocsátási modell kidolgozásának eredményei

A kitűzött célok elérésének következő lépése, a mérési eredményeket legjobban közelítő, a fizikai-biokémiai folyamatokat figyelembe vevő modell megalkotása és az illesztésre alkalmas regresszió analízis algoritmusának kidolgozása. A művelés utáni CO₂ kibocsátást a korábban megfogalmazottak szerint alapvetően a művelés során a talajba kevert levegő hatására végbemenő katalizált enzimreakció kinetikája és a biokémiai folyamatokra jellemző hőmérsékletfüggőség befolyásolja. Ezt a két természeti törvényt leíró (2.2.) és (2.3.) egyenletek egyszerű összeszorzásából kapható függvény hasonló lenne a csillapított rezgőmozgás leírásához. Jelen esetben ez nem lenne kielégítő, mivel a talajba kevert, oxigént tartalmazó levegő hatására katalizált enzimreakciók, minden esetben pozitív irányba tolják el a függvényértékeket. Ebből következően a modell középértékének exponenciálisan csökkenő jelleget kell mutatnia, vagyis összességében a művelés utáni szén-dioxid kibocsátás modellezése egy exponenciálisan csökkenő amplitúdójú, szinuszos periodicitással változó függvénnyel indokolt, amely periodicitása egyrészt a napi, másrészt pedig az éves hőmérsékletingadozást írja le. Így a kibocsátási modell a következőképpen írható le:

$$W = \left(\left(\frac{(Ae^{(t c_0)})+h}{2} \right) (\sin(c_1 t - c_2)) \right) + \left(\frac{(Be^{(t c_0)})+h}{2} \right) + (C \sin(c_3 t)), \quad (3.1.)$$

ahol W a CO₂ kibocsátás $\left[\frac{g}{m^2 h} \right]$, A az emisszió kezdeti értékét megadó együttható [-], B az emisszió minimumértékének kezdeti értékét megadó együttható [-], C az emisszió éves ingadozásának amplitúdóját megadó együttható [-], t a művelést követően eltelt idő [h], c_0 az emisszió intenzitásának csökkenését megadó együttható [-], h a műveletlen terület maximális kibocsátása $\left[\frac{g}{m^2 h} \right]$, c_1 a műveletlen terület CO₂ kibocsátásának periódusidejét megadó együttható [-], c_2 a kibocsátás szinuszos periodicitásának fáziseltolódását megadó együttható [-], c_3 a műveletlen terület CO₂ kibocsátásának éves periódusidejét megadó együttható [-], j a műveletlen terület kibocsátásának minimumértéke $\left[\frac{g}{m^2 h} \right]$. Az együtthatók meghatározása ennek a modellnek az esetében a bonyolult matematikai problémán túl szinte kivitelezhetetlen mennyiségű mérési adat meglétét feltételezi. Másrészt a művelés hatására kibocsátott CO₂ mennyiségének meghatározása szempontjából túldefiniált. Ez utóbbi szempontot, valamint az általunk elvégzett vizsgálatok

időtartamát és mérési pontjainak számát figyelembe véve, az egyes művelések kibocsátásának leírására alkalmazható gyakorlatias modell a (3.1.) egyenlet egyszerűsítésével az (3.2.) egyenlet szerint írható le. Ennek a gyakorlati szempontból egyszerűen alkalmazható modellnek a felső burkológörbéje exponenciális függvény, míg alsó burkolója a műveletlen terület kibocsátásának minimumértéke alapján konstans függvény.

$$W = \left(\left(\frac{Ae^{(tc_0)} + h}{2} \right) (\sin(c_1 t - c_2) + 1) \right) + j \quad (3.2.)$$

ahol W a CO₂ kibocsátás $\left[\frac{g}{m^2 h} \right]$, A az emisszió kezdeti értékét megadó együttható [-], t a művelést követően eltelt idő [h], c_0 az intenzitás csökkenését adó együttható [-], h a műveletlen terület maximális kibocsátása $\left[\frac{g}{m^2 h} \right]$, c_1 a műveletlen terület CO₂ kibocsátásának periódusidejét adó együttható [-], c_2 a kibocsátás fáziseltolódását adó együttható [-], j a műveletlen kibocsátás minimumértéke $\left[\frac{g}{m^2 h} \right]$.

A kibocsátási modell együtthatóinak meghatározásához, Matlab program segítségével, elvégeztem az (3.2.) egyenlet nemlineáris regresszió analízisét. A kibocsátási modell regresszió analízise esetében az együtthatók viszonylag nagy száma miatt feltételezhető, hogy az együtthatók, a fizikai-kémiai alapoktól elrugaskodó értéken több érték-kombinációban is hasonló illeszkedést eredményezhetnek, másrészt véletlenszerűen megválasztott kezdőértékek esetén, lokális minimumok is elképzelhetők, amelyeket minimum érték keresés során, az együtthatók értékének iterációja nem tud átlépni. Így hiába lesz a függvény konvergens, a globális minimumot nem sikerül elérnie. Ezért a kibocsátási modellek illesztése előtt el kellett végezni az együtthatók kezdőértékeinek meghatározását, amely minden esetben a mért adatok elemzésén alapult.

A kibocsátási modell (3.2. egyenlet) alsó burkolóját, illetve felső burkológörbéjének aszimptotáját a műveletlen terület mért adataira illesztett (3.2.) egyenlet szerinti szinuszos függvény határértékei adják meg.

$$W_{ref} = b_1 + b_2 \sin\left(\frac{2\pi}{b_3} t - b_4\right) \quad (3.3.)$$

ahol W_{ref} a műveletlen terület kibocsátási intenzitása $\left[\frac{g}{m^2 h} \right]$, b_1 az emisszió középérték együttható, b_2 az emisszió amplitúdójához tartozó együttható $\left[\frac{g}{m^2 h} \right]$, b_3 az emisszió periódusidejéhez tartozó együttható, b_4 az emisszió fáziseltolódás együtthatója, t az idő [h].

A (3.3.) egyenlet együtthatóinak meghatározását a legkisebb négyzetek minimalizálásának módszerével végeztem a következők szerint:

$$\min \left\{ \sum_{t_0}^{t_{end}} \left(W_{ref}(b_1, b_2, b_3, b_4) - W_{ref\ mért} \right)^2 \right\} \quad (3.4.)$$

ahol W_{ref} = a referenciaterület a CO₂ kibocsátási függvénye, $W_{ref\ mért}$ a referenciaterület mérésrel meghatározott CO₂ kibocsátása $\left[\frac{g}{m^2 h} \right]$, $b_1, b_2, b_3, b_4 =$ (3.2.) egyenlet együtthatói.

A kibocsátási modell burkológörbéihez tartozó határértékek meghatározását követően, a teljes modell illesztését, a modell kvantitatív jellege miatt, az elemi numerikus integrálok különbségének minimalizálásával végeztem a következők szerint:

$$\int_{t_0}^{t_{end}} |W_{mért} - W(c_0, c_2, A)| dt \rightarrow \min \quad (3.5.)$$

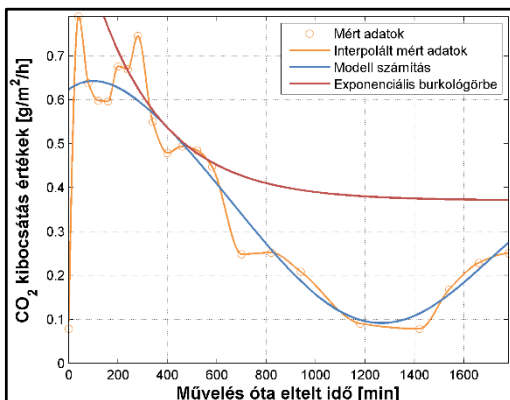
ahol W a talaj CO₂ kibocsátás függvénye, $W_{mért}$ a művelt terület mért CO₂ kibocsátása $\left[\frac{g}{m^2 h} \right]$, $c_0, c_2, A =$ a (3.2.) egyenlet együtthatói.

3.5. A kibocsátási modell illesztésének eredményei

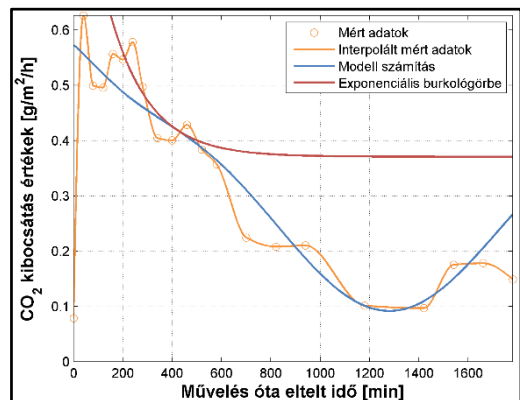
A művelt terület mért értékeire illesztett kibocsátási modell illeszkedését és az exponenciális burkológörbéket az 3.11.-3.14. ábrákon mutatom be.

A műveletlen terület mért értékeire illesztett szinuszos modelltag, valamint a művelt terület értékeire illesztett kibocsátási modell illeszkedésének pontosságát, valamint a mért és számított adatok alapján meghatározott kibocsátási értékeket a 3.3. táblázatban mutatom be.

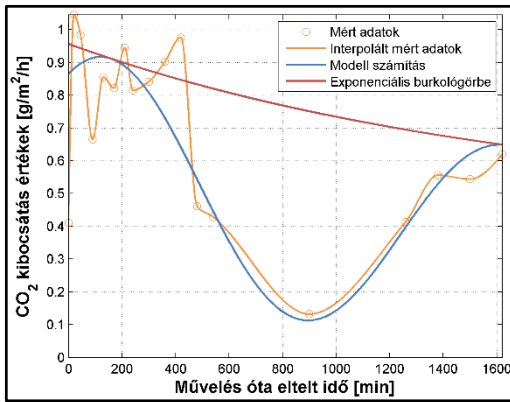
A bemutatott modell nemlineáris regresszió analízise, a definiált feltételek mellett végzett vizsgálatok esetében a 3.4. táblázat szerinti emissziós együtthatókat eredményezte.



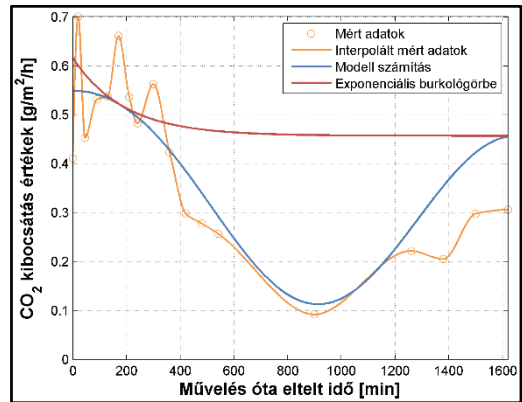
3.11. ábra. Kibocsátási modell illesztése szántott területen (9. mérés)



3.12. ábra. Kibocsátási modell illesztése tárcsázott területen (9. mérés)



3.13. ábra. Kibocsátási modell illesztése szántott területen (10. mérés)



3.14. ábra. Kibocsátási modell illesztése kultivátorozott területen (10. mérés)

3.3. táblázat. A kibocsátási modell illesztésének eredményei

	Determinációs együttható (R^2) [%]	A mért adatok alapján kibocsátott CO_2 mennyisége [g/m^2]	A modell adatok alapján kibocsátott CO_2 mennyisége [g/m^2]	A kibocsátott CO_2 mennyiségének eltérése a műveletlen területhez képest	
				[g/m^2]	[%]
9. mérés					
Referencia	72,58	6,876	6,875	-	100
Szántás	93,26	9,380	9,267	2,392	134
Tárcsázást	88,86	8,162	7,883	1,008	114
10. mérés					
Referencia	81,10	8,074	8,074	-	100
Szántás	77,99	13,044	13,467	5,393	166
Kultivátorozás	88,86	8,509	7,603	-0,471	94

3.4. táblázat A kibocsátási modell együtthatói a művelt területeken

	A	c_0	c_1	c_2	h	j
9. mérés						
Szántott terület	0,6991	-0,0036	0,0037	-0,0870	0,2791	0,0917
Tárcsázott terület	0,6507	-0,0062		-0,0353		
10. mérés						
Szántott terület	0,4994	-0,000058	0,0043	-0,8985	0,3443	0,1127
Tárcsázott terület	0,1589	-0,0052		-0,8234		

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az alkalmazott kibocsátási modell, a vizsgált mért értékeket, a művelt talajok szén-dioxid kibocsátásánál elvárható mértékben közelíti.

3.6. A kibocsátási modell továbbfejlesztése

A mérések eredményeinek közelítésére használt kibocsátási modell szinuszos tagja, a talaj CO_2 kibocsátásának napi hőmérsékletfüggőségét a hőmérsékletváltozás trigonometrikus jellege alapján veszi figyelembe. A hőmérsékletváltozás ilyen

jellegű reprezentálása a kibocsátási modellben a hőmérséklet-CO₂ kibocsátás kapcsolatának lineáris jellegű leírása. A művelést követően emittált CO₂ mennyiségnek meghatározására, ez a módszer, a modell kvantitatív jellege miatt kellő pontosságú eredményt ad, mivel a teljes modell regresszió analízisének alapja, a lépésközönkénti numerikus integrálok minimalizálása. Ezzel a módszerrel, a klímaváltozás vonatkozásában legfontosabbnak tekinthető és a kutatás célkitűzésében is szereplő, emittált CO₂ mennyiségére kaphatunk jó közelítést egy viszonylag egyszerű algoritmus szerint elvégezhető regresszió analízissel. Ugyanakkor lehetséges a kibocsátási modell módosítása abban az esetben, ha a kibocsátási függvény lefutásának a leírása a kitűzött cél. A kibocsátási modell kiegészíthető a szakirodalomban megtalálható (FANG és MONCRIEFF, 2001; LELLEI-KOVÁCS, 2011), a műveletlen talajokra alkalmazott hőmérséklet-CO₂ kibocsátás modellekkel. Ebben az esetben a modell szinuszos periodicitásának lefutása változik meg, amely a kibocsátás hőmérsékletfüggő jellegének pontosabb, módosított szinusz függvény szerinti leírását adhatja. A modell ilyen jellegű teoretikus továbbfejlesztésnek főként a mérések referenciáját adó, műveletlen területek CO₂ kibocsátásának leírásakor lehet jelentősége, hiszen a közepes időtartamú mérések eredményei azt mutatják, hogy a művelt területeken a kibocsátás lefutásában, főként az intenzív művelések esetén, az enzimkinetikai törvényszerűségek dominálnak.

A kvalitatív és kvantitatív megközelítés közötti eltérések feltárására összehasonlítottuk az alkalmazott lineáris függvénykapcsolatot (3.6. egyenlet) és a (LELLEI-KOVÁCS, 2011) által legpontosabb közelítést adóknak ítélt O'Connell modellt (3.7. egyenlet). Ennek a modellnek a leírása kevésbé adja vissza a biokémiai alapokat, azonban (LELLEI-KOVÁCS, 2011) megállapítása alapján, hasonló vagy esetenként jobb közelítést ad, mint például az Arrhenius összefüggés alapján felírt Lloyd-Taylor modellt, és matematikailag könnyebben kezelhető.

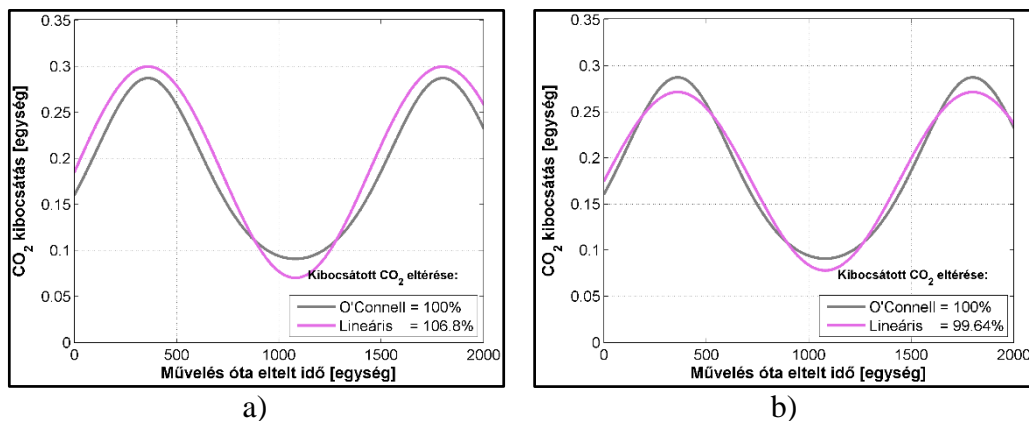
$$Y = a + bT, \quad (3.6.)$$

ahol Y a CO₂ kibocsátás [$\frac{g}{m^2h}$], T a hőmérséklet [°C], a = 0,143 a modell paraméter szántóföldi talajokra [-], b = 0,0164 a modell paraméter szántóföldi talajokra [-] (FANG és MONCRIEFF, 2001).

$$Y = ae^{(bT+cT^2)}, \quad (3.7.)$$

ahol Y a CO₂ kibocsátás [$\frac{g}{m^2h}$], T a hőmérséklet [°C], a = 0,03282 a modell paraméter szántóföldi talajokra [-], b = 0,07640 a modell paraméter szántóföldi talajokra [-], c = 1,485*10⁻⁴ modell paraméter [-] (FANG és MONCRIEFF, 2001). A 3.15. ábra szemlélteti az O'Connell és a lineáris modell eltérését. Az ábrán látható, hogy a (FANG és MONCRIEFF, 2001) által meghatározott együtthatók használatával a két görbe együttlutása és a numerikus integrálok eltérése sem kielégítő. A lineáris modell azért közelíti viszonylag rosszul az O'Connell modellt,

mivel FANG és MONCRIEFF (2001) az általuk használt együtthatókat nem egy (egyenlőre nem létező) univerzális kapcsolati modellre történő illesztéssel, hanem mérési adatok közelítésével határozták meg. Ez indokolja a 3.15./a ábrán látható eltérést a megadott együtthatók használata esetén. Amennyiben a lineáris kapcsolati modell együtthatóinak meghatározása, az O'Connell modell értékeinek regresszió analízisével történik, a modell alapján számítható emittált mennyiségben nincs jelentős eltérés, csak a görbék lefutása tér el kismértékben (3.15./b ábra).



3.15. ábra. Különböző kibocsátási modellek jellegábrázolása és eltérése

- a) Fang és Moncrieff (2001) által meghatározott együtthatók használatával
 b) A lineáris modell illesztésével meghatározott együtthatókkal

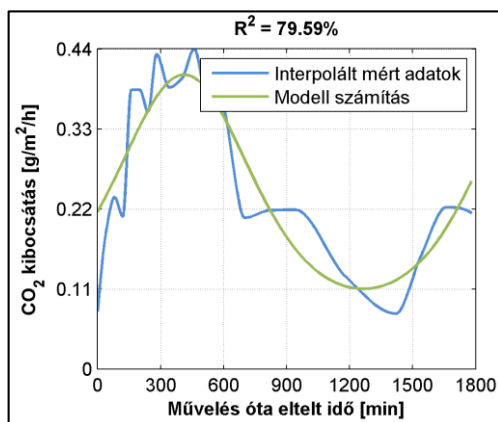
Ez alapján, a felállított gyakorlatias modellben alkalmazott lineáris kapcsolat a hőmérsékletfüggvény és a kibocsátási függvény között nem jelent jelentős elhanyagolást vagy pontatlanságot, hiszen a modell együtthatói a mért pontok közelítésével adódnak. A művelt parcellák esetében, a bemutatott eltérés az enzimkinetikai hatás dominanciája miatt tovább veszít jelentőségéből, hiszen a kibocsátás lefutását főként ez fogja meghatározni, amíg az exponenciális burkológörbe, a mérési pontosságnak megfelelő értékkel meg nem közelíti az asszimptotáját, vagyis a műveletlen terület maximumértékét. A nem művelt, referencia terület esetében a kibocsátást szinte kizárólag az enzimreakciók sebességének hőmérsékletfüggősége határozza meg. Ez miatt a referencia területen célszerű a hőmérséklet-emisszió kapcsolati modellek figyelembe vétele. Ennek értelmében a műveletlen terület mért adatainak O'Connell modell alapján történő közelítéséhez az O'Connell modellbe helyettesíthető be a (2.3.) egyenlet szerinti napi hőmérséklet változás függvény. Így a következő modell illeszkedését vizsgáltuk a közepes időtartamú mérések mért adataira:

$$W_r = a e^{(b [k+l \sin(c_1 t)] + c [k+l \sin(c_1 t)]^2)}, \quad (3.8.)$$

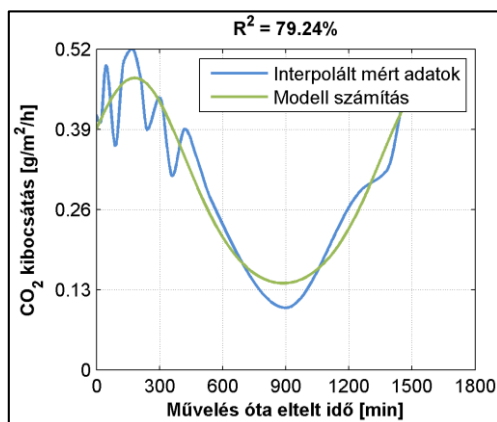
ahol W_r a CO₂ kibocsátás [$\frac{g}{m^2 h}$], $a = 0,03282$ modell paraméter [-](FANG és

MONCRIEFF, 2001), $b = 0,07640$ modell paraméter [-](FANG és MONCRIEFF, 2001), $c = 1,485 \cdot 10^{-4}$ modell paraméter [-](FANG és MONCRIEFF, 2001), a középhőmérséklet együttható [-], l a hőmérséklet amplitúdó együttható [-], c_1 a kibocsátás periódusideje [-] és t az idő [min].

A modell illesztésének eredményeit a 3.16. és 3.17. ábrákon mutatom be. Az ábrák alapján, láthatóan az O'Connell modellel kiegészített kibocsátási modell jobb illeszkedést biztosít, mivel a 9. mérés esetében a determinációs együttható értéke magasabb, de a 10. mérés esetében, ezzel ellentétes eredményt látható, vagyis a determinációs együttható értéke, bár jóval kisebb mértékben, de csökkent. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a vizsgált referencia területeken, a mérés ideje alatt kibocsátott CO₂ mennyisége a korábban használt és az O'Connell kapcsolati modellel kiegészített kibocsátási modell használata esetén elenyésző mértékben tért el egymástól (3.5. táblázat.).



3.16. ábra. A kiegészített modell szinuszos tagjának illesztése (9. mérés)



3.17. ábra. A kiegészített modell szinuszos tagjának illesztése (10. mérés)

3.5. táblázat. A kiegészített kibocsátási modellek illesztésének eredményei

	Műveletlen terület (9. mérés)	Műveletlen terület (10. mérés)
Determinációs együttható (R^2) [%]	79,59	79,24
Az interpolált adatok alapján kibocsátott CO ₂ mennyisége [g/m ²]	6,876	8,074
A lineáris kapcsolati modell alapján kibocsátott CO ₂ mennyisége [g/m ²]	6,875	8,074
A O'Connell kapcsolati modell alapján kibocsátott CO ₂ mennyisége [g/m ²]	6,859	8,096
Az O'Connell és a lineáris modellel számolt adatok eltérése [%]	99,76	100,2

A referenciaterületek esetében a kibocsátási függvény lefutásának jobb bemutatása érdekében, valamint a szakirodalomban található adatokkal történő összehasonlítás miatt, a referencia területek esetében célszerű az O'Connell, vagy más talajhőmérséklet–CO₂ kibocsátás kapcsolatot leíró modellek használata.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Új eljárást dolgoztam ki a különböző talajművelési eljárások talaj-emissziós hatásainak mérésére, amelyek fő elemei a következők:

- A mérések pontosságának biztosításához, az inkubációs kamrák talaj feletti részének, a környezeti levegőtől izoláltnak kell lennie, mert a mérések tapasztalatai alapján jelentős hibát eredményez a nem megfelelő környezeti illesztés.
- A kibocsátási folyamatának pontos leírásához a mérési ciklusidőket minimalizálni kell. Ennek alapja a mérőműszer mérési ideje, a mérőkamrák és a mintavételi területek száma.
- A talaj heterogenitásának reprezentálására, a mérőkamrákat minden mérési ciklusban más mérőpontban kell elhelyezni. A mérések között a mérőkamrákat szellőztetni kell.
- A méréseket a mérőkamra izolációjának a talaj mikroklimájára gyakorolt kedvezőtlen hatása miatt, az inkubációs idő minimalizálásával kell végezni.
- Az optimális inkubációs idő a mérőkamra mérete és a mérőműszer mérési és leolvasási pontossága függvényében határozható meg.

2. Talaj szén-dioxid kibocsátási modellt dolgoztam ki, amely a talajművelés felületi emisszió intenzitásának változásait, a művelés által a talajba kevert levegő katalizáló hatása alapján, az elsőrendű reakciókinetikai törvényeknek megfelelően, valamint a biokémiai folyamatok hőmérséklet függősége miatt, a talaj hőmérsékletváltozás jellege és a talajhőmérséklet-szén-dioxid kibocsátás kapcsolata alapján veszi figyelembe.

Bizonyítottam, hogy a művelés utáni szén-dioxid kibocsátás összességében exponenciálisan csökkenő amplitúdójú, szinuszos periodicitással változó függvénnyel írható le, amelynek a vizsgált feltételek mellett a felső burkológörbéje exponenciális függvénnyel közelíthető, míg alsó burkolója a műveletlen terület kibocsátásának minimumértéke alapján konstans függvény.

Megállapítottam, hogy általános esetben a modell alsó és felső burkológörbéje is szinuszos periodicitású exponenciálisan csökkenő függvény.

3. A megalkotott kibocsátási modell alapján, a talajművelés utáni szén-dioxid emisszió változásának jellemzésére, a következő új összefüggést állítottam fel:

$$W = \left(\left(\frac{(Ae^{(t \cdot c_0)}) + h}{2} \right) (\sin(c_1 t - c_2) + 1) \right) + j.$$

Bizonyítottam, hogy az új összefüggést használva, a talajművelés utáni, talaj szén-dioxid emisszió a kibocsátás kezdeti értéke (A), a burkológörbe meredeksége (c_0), a maximális (h) és minimális (j) referencia kibocsátás, a kibocsátás periódusideje (c_1) és fáziseltolása (c_2) valamint a művelést követően eltelt idő (t) alapján, addig az időpontig határozható meg, amíg az exponenciális burkológörbe, a megadott mérési pontosságnak megfelelő értékkel megközelíti az aszimptotáját.

Megállapítottam, hogy az így bevezetett függvénynek alacsony szervesanyag tartalmú homoktalajon, a definiált feltételek mellett végzett vizsgálatok esetén, az emissziós együtthatói a következők:

	A	c₀	c₁	c₂	h	j
Szántott terület	0,6991	-0,0036	0,0037	-0,0870	0,2791	0,0917
Tárcsázott terület	0,6507	-0,0062		-0,0353		

Megállapítottam, hogy az így bevezetett függvénynek alacsony szervesanyag tartalmú, erősen agyagos vályogtalajon, a definiált feltételek mellett végzett vizsgálatok esetén, az emissziós együtthatói a következők:

	A	c₀	c₁	c₂	h	j
Szántott terület	0,4994	-0,000058	0,0043	-0,8985	0,3443	0,1127
Tárcsázott terület	0,1589	-0,0052		-0,8234		

4. Az általam megalkotott kibocsátási modell $T \rightarrow \infty$ esetén, a bolygatatlan talajra vonatkozóan szinuszos összefüggést mutat. A művelés katalizáló hatásának lecsengése utáni időszakra, a kibocsátás jellegének pontosabb leírására a következő összefüggést állítottam fel:

$$W_r = ae^{(b[k+l \sin(c_1 t)] + c[k+l \sin(c_1 t)]^2)}.$$

Ez az összefüggés a szakirodalom alapján figyelembe veszi a talajhőmérséklet-szén-dioxid kibocsátás kapcsolati modelljeit és alkalmazásával a kibocsátás intenzitása, az a , b , c , modellparaméterek, a középhőmérséklet együttható (k), hőmérséklet amplitúdó együttható (l), a kibocsátás periódusideje (c_1) valamint a művelést követően eltelt idő (t) alapján számítható.

5. Új algoritmust dolgoztam ki a különböző talajművelő gépek emissziós hatásának vizsgálatára, amely alapján a különböző művelések utáni szén-dioxid kibocsátási modell illeszthető, együtthatói meghatározhatók. Az algoritmus első lépése a szántóföldi mérés végrehajtása különböző művelésű és művelés nélküli területen, második lépése a műveletlen területre vonatkozó modelltal illesztése a maximális és minimális referencia kibocsátás, valamint a periódusidő meghatározásához, harmadik lépése a teljes kibocsátási modell illesztése, a kibocsátás kezdeti értékét, a burkológörbe meredekségét, a kibocsátás fáziseltolását megadó együtthatók meghatározásához.

6. Szántás, tárcsázás, kultivátorozás esetében meghatároztam az emittált szén-dioxid mennyiségét, amely alapján megállapítottam, hogy a szántott területek kibocsátásának van a legkedvezőtlenebb hatása a klímaváltozásra. Megállapítottam, hogy a 2-5 óra időtartamú mérések alkalmasak a különböző művelési eljárások rangsorolására, de a kibocsátott szén-dioxid mennyiségének meghatározására nem használhatók.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A korábbi kutatások eredményeként megfogalmazott közelítő modellek, a kibocsátási görbe lefolyásának pontatlan leírását adták. Megítélésem szerint ennek egyik fő oka, hogy a szántóföldi mérések során bonyolult, nagy beruházást és jelentős logisztikát igénylő eljárásokat használtak. Ezért a mintavétel ciklusideje viszonylag nagy volt, így nem nyílt lehetőség a kibocsátási görbék lefutásának pontosabb elemzésére. Az általam kidolgozott és validált mérési eljárással, amely nem tér el jelentősen a hazai kutatók által alkalmazott eljárásoktól, a mérési tapasztalatok alapján megfogalmazott kritikus feltételek betartása mellett, a különböző művelési eljárások szén-dioxid kibocsátásának szántóföldi vizsgálata, a pontos modellezéshez szükséges ciklusidővel és pontossággal elvégezhető.

Megfelelő mért értékek esetén, az eredményekben leírt eljárással a kibocsátási modell illeszthető, és a további művelési eljárások szén-dioxid kibocsátásának kvantitatív meghatározására nyílik lehetőség. Ez alapján új, alacsony kibocsátású eljárások és gépek fejleszthetők ki, amelyek hatása mérhetővé, alkalmazásuk támogathatóvá válik.

Az általam ismertetett eredményekből levonható legfontosabb következtetés, hogy a művelt talajok szén-dioxid kibocsátásának modellezése, a kibocsátási jelenség alapját jelentő fizikai-biokémiai hatások figyelembe vételével megvalósítható. A kibocsátás mértéke, főként a különböző talajművelési eljárások összevetésének tekintetében, az elvárható mértékű pontossággal, számszerűen meghatározható.

A kidolgozott kibocsátási modell, valamint az ennek illesztéséhez szükséges regresszió analízis algoritmusai lehetőséget ad arra, hogy az általam vizsgáltakon felül, a gyakorlati alkalmazásban lévő, akár összes művelési eljárás emissziós hatása modellezhető legyen. Ugyanakkor figyelembe kell venni azt is, hogy az elvégzett regresszió analízis alapját képező mérések különböző körülmények között történtek, azonban ezek nem nevezhetők a talaj állapotát tekintve szélsőértéknek. Vagyis indokolt a modell statisztikai megbízhatóságának vizsgálata kedvezőtlen talajviszonyok között is. Ezen felül, további mérések alapján történő modellillesztés elvégzésével lehetőség nyílik az egyes talaj-, és művelési paraméterek hatásának vizsgálatára. Megfelelő számú és változatosságú mérési adat esetén, faktoranalízis segítségével meghatározható az egyes modellfüggetlen paraméterek (talajtípus, nedvességtartalom, hőmérséklet, stb.) közvetlen hatása a talajművelés utáni szén-dioxid emisszióra. Ezen felül megfelelő számú mérési adat esetén lehetőség nyílik az egyes paraméterek kereszthatásainak feltárására is.

Az általam kidolgozott kibocsátási modell alkalmazhatóságának legfőbb korlátja a környezeti paraméterek gyors változásának hatása. Ezért további kutatásoknak kell kitérniük a hirtelen hőmérséklet, légnyomás, szélsébség és csapadékváltozásokra is. A modell korlátlan alkalmazhatóságához, ezen jelenségek közvetlen hatásainak vizsgálata is szükséges.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt 150 év ipari tevékenysége a légkör üvegházhatású gáz koncentrációjának olyan mértékű növekedését idézte elő, amelyek hatására az éves középhőmérséklet folyamatosan gyorsuló ütemben emelkedik. A változásért elsősorban az energia előállítás, az ipar, az intenzív mezőgazdaság és az erdőgazdálkodás üvegházhatású gáz kibocsátása a felelős. A klímaváltozás mérsékléséhez és visszafordításához, az intenzív kibocsátók mellett a talajművelésnek is hozzá kell járulnia. A művelt talajok szén-dioxid kibocsátásának mérséklése, a klímaváltozásra gyakorolt elsődleges hatás részeként, a talajok szénkészletének védelmét és szervesanyag tartalmának növekedését is szolgálja, amely hosszú távon a talajok minőségének javulását eredményezi.

A mezőgazdasági talajok szén-dioxid kibocsátásának abszolút értéke jól megbecsülhető, de hiányosak azok az ismeretek, amelyek segítségével a művelési eljárások szén-dioxid kibocsátásának modellezése lehetővé válik és pontosan meghatározható, hogy a különböző művelési eljárások és talajművelési rendszerek használata hogyan befolyásolja a talaj szén-dioxid kibocsátását.

Kutatási célkitűzéseim a talajművelési eljárások szén-dioxid kibocsátásának számszerűsítését lehetővé tevő mérési eljárás kidolgozása, a művelés után a talaj megváltozott szén-dioxid kibocsátásának méréssel történő meghatározása, valamint a mérési eredmények alapján, a művelt területek, művelés utáni emissziójának matematikai modellel történő leírása voltak.

A célkitűzések megvalósításához áttekintettem a szakirodalomban megtalálható, korábban használt mérési eljárásokat, és egy a gyakorlatban is használható, egyszerű mérési elvű vizsgálati módszert dolgoztam ki. A mérési eljárás kidolgozását és validálását szántóföldi mérésekkel végeztem.

A kidolgozott mérési eljárással, több kísérleti területen, műveletlen, és különböző talajművelő gépekkel művelt területen, rövid és közepes időtartamú szántóföldi méréseket végeztem, amelyek segítségével meghatároztam a talaj, művelés utáni szén-dioxid kibocsátását.

A frissen művelt talaj szén-dioxid emisszióját meghatározó környezeti és biokémiai törvényszerűségek segítségével kidolgoztam mérésekre alkalmazható és általánosított kibocsátási modellt, valamint a modell illesztéséhez szükséges algoritmust. A kidolgozott algoritmus szerint, regresszió analízis segítségével, az általam mért adatok alapján, elvégeztem a kibocsátási modell validálását, majd meghatároztam a kibocsátási modell együtthatóit és a kibocsátott szén-dioxid mennyiségét.

Az elvégzett kutatás eredményeként új tudományos eredményeket fogalmaztam meg, amelyek figyelembe vételével a különböző talajművelési eljárások és gépek hatása, a talaj szén-dioxid kibocsátására meghatározható.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk idegen nyelven

Rádics, J.P., Jóri, J.I. (2012): State of the art in the hungarian field research: the effect of tillage on CO₂ emission. Hungarian Agricultural Engineering, Vol. 24. pp. 43–48. ISSN 0864-7410

Rádics, J.P., Jóri, J.I., Fenyvesi, L. (2014): Short-term study of tillage induced soil CO₂ loss. International Journal of Innovative Research In Advanced Engineering, Vol. 1. (12) pp. 48–52. ISSN 2349-2163

Rádics, J.P., Jóri, J.I., Fenyvesi, L. (2014): Soil CO₂ emission induced by tillage machines. International Journal of Applied Science and Technology, Vol. 4. (7) pp. 37-44. ISSN 2221-0997

Rádics, J.P., Jóri, J.I., Fenyvesi, L. (2014): Field study of soil CO₂ emission to investigate environment-friendly effect of different tillage practices. The Experiment – International Journal of Science and Technology, Vol. 28. (3) pp. 1915-1922. ISSN 2319-2119

Rádics, J.P., Jóri, J.I., Fenyvesi, L. (2015): Intelligent tillage machines development to mitigate climate change effects. Journal of International Scientific Publications Agriculture & Food, Vol. 3. (1) pp. 1-11. ISSN 1314-8591

Lektorált cikk magyar nyelven

Rádics J.P., Jóri J.I. (2008): Intelligens talajművelőgépek fejlesztésének követelményrendszere. GÉP, LIX. évf. (4) 38–42. o. ISSN 0016-8572

Rádics J.P., Jóri J.I., Fenyvesi L. (2015): Talaj CO₂ kibocsátási modell validálása nemlineáris regresszió analízissel. GÉP, LXVI. évf. (1) 5-9. o. ISSN 0016-8572

Rádics J.P., Jóri J.I., Fenyvesi L. (2015): Talajművelő gépek hatása a talaj széndioxid kibocsátására. Mezőgazdasági Technika, LVI. évf. (2.) 2-5. o. ISSN 0026 1890