

DEBRECENI EGYETEM

**KERPELY KÁLMÁN NÖVÉNYTERMESZTÉSI, KERTÉSZETI ÉS  
REGIONÁLIS TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

**Doktori Iskola vezető:**

Prof. Dr. Nagy János  
egyetemi tanár, az MTA doktora

**Témavezető:**

Dr. habil. Zsembeli József  
tudományos főmunkatárs

**MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁSÚ TALAJOK  
SZÉN-DIOXID-EMISSZIÓJÁNAK VIZSGÁLATA KARCAG TÉRSÉGÉBEN**

**Készítette:**

**Kovács Györgyi**  
doktorjelölt

Debrecen

2014

**MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁSÚ TALAJOK  
SZÉN-DIOXID-EMISSZIÓJÁNAK VIZSGÁLATA KARCAG TÉRSÉGÉBEN**

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében a növénytermesztési és  
kertészeti tudományok tudományágban

Írta: Kovács Györgyi okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem **Kerpely Kálmán Doktori Iskolája**  
(Növénytermesztés és kertészeti tudományok doktori programja) keretében

Témavezető: Dr. habil. Zsembeli József

A doktori szigorlati bizottság:

	név	fokozat
elnök:	Dr. Kátai János	egyetemi tanár CSc
tagok:	Dr. Izsáki Zoltán	egyetemi tanár CSc
	Dr. Juhász Csaba	egyetemi docens PhD

A doktori szigorlat időpontja: 2012. június 18.

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
.....	.....	.....
.....	.....	.....

A bírálóbizottság:

	név	fokozat	aláírás
elnök:	.....	.....	.....
tagok:	.....	.....	.....
	.....	.....	.....
	.....	.....	.....
titkár:	.....	.....	.....

Az értekezés védésének időpontja: 2014.....

## TARTALOMJEGYZÉK:

<b>1. BEVEZETÉS.....</b>	<b>3</b>
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS .....</b>	<b>6</b>
2.1. A talaj szerepe a szén ciklusban. A magyarországi szántóföldek és a gyepek szénkészlete .....	6
2.2. A talaj szénkészlete a globális változások tükrében, a globális változások hatásainak nemzetközi szintű felmérése.....	11
2.3. A talajművelés jelentősége, a hagyományos és az alternatív talajművelési eljárások hatása a mikrobiológiai aktivitásra.....	20
2.4. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének hatása a CO <sub>2</sub> -emisszióra .....	28
2.5. A gyökérlégzés szerepe a talaj CO <sub>2</sub> -emissziójában.....	32
2.6. A gázemisszió meghatározásának módszerei .....	35
2.7. A témához kapcsolódó szakirodalom összegző értékelése .....	41
<b>3. ANYAG ÉS MÓDSZER .....</b>	<b>43</b>
3.1. A mérési helyszínek természeti adottságai .....	43
3.1.1. Földrajzi elhelyezkedés .....	43
3.1.2. A terület geomorfológiája .....	43
3.1.3. A térség klímája .....	43
3.1.4. Talajtani viszonyok .....	45
3.1.5. Hidrológiai viszonyok .....	47
3.2. A mérések helyszínei .....	48
3.2.1. A komplex talajművelési kísérlet.....	48
3.2.2. Az átfolyóvízes liziméterek, mint tenyészedények .....	50
3.2.3. Az eredeti szerkezetű talajoszpok, mint tenyészedények .....	51
3.2.4. A gyeprágyázási kísérlet.....	52
3.3. A talaj CO <sub>2</sub> -emissziójának meghatározása és a kiegészítő mérések .....	53
3.3.1. A CO <sub>2</sub> -koncentráció mérésére alkalmazott módszer .....	53
3.3.2. A CO <sub>2</sub> -emisszió számítása .....	55
3.3.3. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének mérése .....	55
3.3.4. A Forróvíz-oldható (labilis) szervesanyag-frakció meghatározása .....	56
3.4. A talaj szénkészletének számítása az IPCC módszer szerint .....	56
3.4.1. A területadatok meghatározása .....	59
3.4.2. A talajtípusok meghatározása .....	60
3.4.3. A klímazónák meghatározása .....	60
3.4.4. A talajművelési rendszer szerinti besorolás .....	60
3.4.5. A szervesanyag-input szerinti besorolás .....	61
3.5. Az alkalmazott adatfeldolgozási, statisztikai és térinformatikai módszerek .....	62

<b>4. EREDMÉNYEK.....</b>	<b>64</b>
4.1. A talaj CO <sub>2</sub> -emisszió mérési módszerének szántóföldi körülmények közötti alkalmazása, illetve továbbfejlesztése .....	64
4.1.1. <i>A hengeres módszer</i> .....	64
4.1.2. <i>A nagykeretes módszer</i> .....	66
4.1.3. <i>A kiskeretes módszer</i> .....	67
4.1.4. <i>Az ablakos módszer</i> .....	68
4.2. A CO <sub>2</sub> -koncentráció telítődésének vizsgálata az optimális inkubációs idő megállapítására .....	68
4.3. Különböző talajművelési eljárásokkal művelt talajok CO <sub>2</sub> -emissziójának alakulása .....	71
4.3.1. <i>A szántóföldi CO<sub>2</sub>-emisszió mérések eredményei</i> .....	71
4.3.2. <i>A labilis szervesanyag frakció vizsgálatának eredménye</i> .....	80
4.3.3. <i>Az eredeti szerkezetű talajoszlopokon beállított kísérlet eredményei</i> .....	81
4.4. A trágyázás, növénytáplálás, talajkondicionálás hatása a talaj CO <sub>2</sub> -emissziójára .....	83
4.4.1. <i>Hígrágyázás hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára</i> .....	83
4.4.2. <i>A talajkondicionáló-szer hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára</i> .....	85
4.4.3. <i>Juhtrágya alapú komposzt hatása a talaj CO<sub>2</sub>-forgalomára</i> .....	88
4.5. A környezeti tényezők hatása a talajlélegzésre .....	89
4.5.1. <i>A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában</i> .....	89
4.5.2. <i>A talaj nedvességállapota és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggések</i> .....	91
4.5.3. <i>A hőmérséklet hatása a talajlélegzésre</i> .....	93
4.5.4. <i>A napszakok szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában</i> .....	95
4.6. A talaj szénkészletváltozásának becslése különböző művelési eljárások tükrében .....	99
4.7. A talaj szénkészletváltozásának becslése a klímaváltozás tükrében .....	102
4.8. A szénkészletváltozás becslése a karcagi talajművelési kísérletben .....	103
<b>5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....</b>	<b>107</b>
<b>6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....</b>	<b>109</b>
<b>7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA .....</b>	<b>110</b>
<b>8. ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>111</b>
<b>9. SUMMARY .....</b>	<b>113</b>
<b>10. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK .....</b>	<b>115</b>
<b>12. MEGJELENT SAJÁT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK .....</b>	<b>130</b>
<b>MELLÉKLETEK.....</b>	<b>139</b>
<b>NYILATKOZAT.....</b>	<b>145</b>

## 1. BEVEZETÉS

A mezőgazdasági termelés alapja, helye és közege a talaj. A talajok fizikai, kémiai és biológiai állapotát az emberi tevékenység és a természeti tényezők együttesen határozzák meg, illetve befolyásolják. A különböző talajművelési rendszerek, módszerek, agrotechnológiai és agrotechnikai eljárások talajtulajdonságokra gyakorolt hatásai igen sokrétűek. A XXI. században már nem megengedhető az 1970-es 1980-as évekre jellemző kvantitatív szemlélet, amely a növénytermesztésben a termések mindenáron való növelését tűzte ki célul. A környezetvédelmi megfontolások előtérbe kerülésével, általánossá vált a környezetet érő antropogén hatások vizsgálata, sőt a hatások előzetes felmérése is (preventív intézkedések). A talajok mezőgazdasági hasznosításának legfontosabb feladata a talaj termékenységének és minőségének megőrzése, biológiai, fizikai és kémiai romlásának megelőzése a versenyképes növénytermelés mellett.

A környezeti vizsgálatok komplexitása, már csak a környezet önmagában való összetettsége miatt is, szinte lehetetlenné teszi a teljes körű, egzakt és mért adatokon nyugvó elemzéseket. A legtöbb természetes környezetünkben lejátszódó folyamat csak a modellezés eszközével közelíthető meg. Mindazonáltal, ahol csak lehet, méréseket kell végeznünk a folyamatok jobb megértése és az adekvát, az adott helyre ténylegesen vonatkozó adatok nyerése céljából, illetve a modellparaméterek validitásának ellenőrzése érdekében. Az analitika és a mérés technika rohamos fejlődése ma már olyan helyszíni mérések kivitelezését teszi lehetővé, melyekkel gyorsan, viszonylag pontosan, reprodukálhatóan és egyszerűen juthatunk adatokhoz.

Mind több az a megtapasztalás és tudományos megfigyelés, ami tendenciájában az éghajlat globális megváltozását jelzi. Ennek oka, hogy az emberi tevékenység napjainkban már számottevő éghajlat alakító tényezővé vált. Az emberi tevékenység szerepe a jövő éghajlatának kialakításában elsősorban azáltal válhat jelentős mértékűvé, hogy a modern élet következményeként, olyan gázok kerülnek egyre nagyobb mennyiségben a légkörbe, amelyek a rövidhullámú napsugárzást zavartalanul átbocsátják, az infravörös színek tartományban azonban jelentős elnyelési sávjai vannak. Mindez a „légköri üvegházhatás” fokozódásához, illetve a globális klíma melegedéséhez vezet. A feltételezések szerint, az éghajlat globális

melegedésével a nedves trópusi területek csapadékosága növekszik, míg a közepes szélességek kontinensein gyakoribbá válhat a nyári szárazság. A mérsékelt szélességeken feltételezhetően kedvezőtlenebb nyári csapadékviszonyokkal társuló melegebb éghajlat következik be, és az előrejelzések szerint hazánk területein is gyakoribbak lesznek az a leeső nagy csapadékok és az utána következő hosszú aszályos periódusok (DOBOR et al., 2013).

Az üvegházhatást előidéző gázok légköri koncentrációja az elmúlt két évszázadban gyorsuló ütemben növekedett (HOUGHTON, 1997; DALAL et al., 2003; GALLOWAY et al., 2003), és a CO<sub>2</sub>-gáz növekvő kibocsátása tehető felelőssé az üvegházhatás becsült növekedésének több mint feléért (ZÁGONI, 2004). Az összes emittált szén-dioxidnak azonban csak 57%-a marad a légkörben. Az óceánok mintegy 30%-ot kötnek meg, a többi pedig az erdők és más vegetáció fokozott gyarapodására fordítódik, illetve a talaj szervesanyagába épül be. A mezőgazdaságban CO<sub>2</sub>-emisszió származhat a talaj szervesanyagának csökkenéséből, ugyanakkor a növénytermesztés hozzájárulhat a CO<sub>2</sub>-megkötéséhez a talajban (GOUDRIAAN - UNSWORTH, 1990; FOGARASSY et al., 2008).

Míg a légköri CO<sub>2</sub> forrásairól már számos információval rendelkezünk, addig a légköri CO<sub>2</sub> talajba kerülésének, illetve a talajból a légkörbe jutásának folyamata nem tisztázott teljes mértékben. Ezen folyamatok térben és időben igen változékonyak, ezért megismerésük összetett feladat. Mindazonáltal minden ilyen jellegű mért adat kvantitatív és kvalitatív információt szolgáltat az egyes termőhelyekről származó környezeti terhelés és az aktuális talajállapothoz tartozó mikrobiológiai aktivitás tekintetében. A termőhely alapos ismerete pedig minden mezőgazdasági beavatkozás elvégzése előtt elengedhetetlen, hiszen a globális problémákat is csak a lokálisak megértésével együtt tudjuk értékelni (TAMÁS, 2001).

A szervesanyag- és szénkímélő talajhasználatra és művelésre való áttérés globális, térségi és helyi fontosságú. Alacsony szervesanyag-tartalmú erdő- és homoktalajokon a szénkímélés a termelés alapvető feltétele, de nincs arra ok, hogy a klímakár mérséklésében oly fontos anyag bármely talajban csökkenjen (BIRKÁS, 2010). A talaj szerkezetét kímélő művelés alkalmazásakor nem csak a CO<sub>2</sub>-kibocsátás tartható alacsony szinten, hanem egyúttal a szervesanyagok lebontása és felhalmozódása is kiegyenlítetté tehető (BIRKÁS - GYURICZA, 2004).

Magyarország természeti adottságai között a mezőgazdaság fejlesztésének és a környezetvédelemnek, illetve a környezetkímélő növénytermesztésnek egyaránt egyik kardinális tényezője a talajművelés. Véleményem szerint a különböző talajművelési és agrotechnikai eljárások a talaj szén-dioxid-körforgalmára kifejtett hatásának tanulmányozása feltétlenül aktuálisnak tekinthető és további erőfeszítéseket igényel.

Egyik ilyen erőfeszítést a Kyotoi Egyetem Talajtani Laboratóriuma kezdeményezte, amikor 2002-ben beindított egy több országot felölelő projektet, mely a világ különböző részein (Indonézia, Japán, Kazahsztán, Ukrajna, Thaiföld, Magyarország) a talaj CO<sub>2</sub>-emisszióját befolyásoló paraméterek meghatározására irányult. A magyar partnerintézmények a MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete és a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézete voltak. A japán kollégák a magyar partnerintézmények rendelkezésére bocsátottak egy infravörös gázanalizátort. 2005-ben kapcsolódhattam be ebbe a kutatásba, azóta volt lehetőségem a talajművelési kísérletben is kivitelezni méréseket, valamint a talaj szén-dioxid-emissziójára ható tényezőket vizsgálni, mely alkalmat adott adatgyűjtésre, saját megfigyelések végzésére, önálló elemző és értékelő munkára.

Az üvegházhatású gázok problematikája interdiszciplináris, aktualitásához továbbra sem fér kétség. Kutatómunkám céljait a következőképpen határoztam meg:

- A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára irányuló mérési módszerek továbbfejlesztése szántóföldi vizsgálatokhoz.
- A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára ható tényezők vizsgálata (nedvességállapot, hőmérséklet).
- Egyes agrotechnikai elemeknek (talajművelés, növénytáplálás, öntözés) a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára gyakorolt hatásának vizsgálata.
- Különböző becslések elkészítése, amelyek rámutatnak a talajhasználat és a talaj termékenységének összefüggéseire.
- A talaj szénkészletének változására számszerű adatok kalkulálása IPCC módszertan alapján országos illetve tábla szinten is.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A doktori értekezés témájához kapcsolódó hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintését a következő szempontok szerint végeztem el:

- A talaj szerepe a szén ciklusban. A magyarországi szántóföldek és gyepek szénkészlete.
- A talaj szénkészlete a globális változások tükrében. A globális változások hatásainak nemzetközi szintű felmérése.
- A talajművelés jelentősége, a hagyományos és alternatív talajművelési eljárások hatása a mikrobiológiai aktivitásra.
- A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában.
- A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének hatása a CO<sub>2</sub>-emisszióra.
- A gázemisszió meghatározásának módszerei.

### 2.1. A talaj szerepe a szén ciklusban. A magyarországi szántóföldek és a gyepek szénkészlete

MENGEL – KIRBY (1982) megfogalmazása szerint a talaj szilárd, folyékony és gázfázisból álló heterogén rendszer, mely lehetővé teszi a növényi, állati és mikrobiális életet a talajban és annak felszínén. A szervetlen és szerves részekből álló szilárd fázis főként tápanyagtároló, a folyadékfázist jelentő talajoldat a tápanyagok szállítója és a fiziko-kémiai, biológiai átalakulások közege; a gázcsere főként az O<sub>2</sub> és N<sub>2</sub> beáramlását, és a CO<sub>2</sub> távozását jelenti.

A talajok szerepe önmagában is igen jelentős (CARDON et al., 2001), összes széntartalmuk nagyjából kétszerese a légkörben található, és szervesanyagaikban globálisan kb. 1,5 10<sup>18</sup>g szerves kötésű szén található (CHAPIN et al., 2002), amely 2-3-szor nagyobb, mint a vegetációé.

A talajban a szervesanyagok állandó átalakulásban vannak. Az összes humusztartalmat, és a különféle humuszanyagok egymáshoz viszonyított arányát végső soron az szabja meg, hogy a humifikáció és a mineralizáció milyen mértékben érvényesülhet, illetve a két folyamatsorozat



között milyen egyensúlyi állapot jön létre. A körülmények változásával (pl. az őszállapotú talaj művelésbe vétele) megváltozik a szervesanyagok felhalmozódásának és lebomlásának erőssége, s így mindaddig változik a talaj humusztartalma és a humusz minősége is, míg az adott körülményeknek megfelelően újabb egyensúlyi állapot ki nem alakul. A talajhasznosítás módja és a növénytermesztési technológia is hatással van a talaj szervesanyag-gazdálkodására (FILEP, 1999).

A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátása a globális szén ciklus egyik legfontosabb eleme, így fontos szerepet játszik a klímaváltozásban (REICH – SCHLESINGER, 1992). A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának mértéke ökoszisztémák szerint változik és a teljes ökoszisztéma légzésének fő komponense. Az időszakos hatások, mint az őszi lombhullás, a lebontó folyamatok dinamikája, illetve a csapadék mennyisége és időbeni eloszlása is, hatást gyakorolnak a talajlélegzési folyamatokra (RETH et al., 2005).

A talajokra jellemző, hogy oxigént nyelnek el és szén-dioxidot bocsátanak ki. A szabad levegőben a CO<sub>2</sub>-mennyisége térfogatalapon 0,047%. A talajjáratok és pórusok levegőjében lényegesen több a szén-dioxid; meghaladhatja a 6%-ot is. A talajlakó állatok nagyobb CO<sub>2</sub>-koncentrációkat tolerálnak, mint a felszínen élők. Toleranciájuk azonban korlátozott csakúgy, mint a növényeké. A növekvő CO<sub>2</sub>-koncentrációk gátolják a növények víz-, K-, N-, P-, Ca- és Mg-felvételét. A szerves vegyületek kémiai degradálása mind aerob, mind anaerob körülmények között CO<sub>2</sub>-ot eredményez. Szén-dioxidot termel a mikroflóra, a fauna és a növények gyökérzete is. A talajnedvességben felfogott CO<sub>2</sub> mint szénsav fontos tényező a talajásványok kémiai mállásában (KÁTAI, 2008).

A talaj mikrobiális életközössége fontos szabályozó funkciót tölt be a talaj szén, nitrogén és foszfor transzformációs folyamataiban és ezzel nagymértékben hozzájárul a növények tápanyaggal való ellátásához (SZILI-KOVÁCS – SZEGI, 1992).

A talaj oxigén-felvételét és szén-dioxid-produkcióját mérve a talajlélegzés intenzitását állapítják meg, ami egyenes összefüggést mutathat a lebontó folyamatok aktivitásával. Ez megközelítően így is van, habár az elnyelt oxigén további sorsát, a termelt szén-dioxid eredetét, továbbá mindkettőnek a talajban végbemenő veszteségeit és újratermelését

képtelenek vagyunk pontosan nyomon követni. A talajból kiáramló CO<sub>2</sub> karbonátok bontásából is származhat, továbbá a szerves vegyületekből termelt CO<sub>2</sub> egy része szinte azonnal újra el is nyelődhet akár az autotróf, akár a heterotróf CO<sub>2</sub>-fixáláshoz, vagy abiotikus, pl. szervesetlen reakciók során. A talajokban tehát a CO<sub>2</sub> áramlásának, megkötődésének és felszabadulásának útjai rendkívül tekervényesek, alig nyomon követhetők, és mennyiségileg nehezen becsülhetők (SZABÓ, 1986).

A talaj szervesanyagai (humuszanyagai) sokoldalúan befolyásolják a biogeocönózisok működési és szabályozási folyamatait, a talajszerkezetét, hő- és vízháztartását, a felvehető tápanyagok mennyiségét és a talajlégzést, mely folyamat során visszajut a légkörbe a növények számára felvehető CO<sub>2</sub> (MIELNICK – DUGAS, 2000). A talajlégzés általi széndioxid-kibocsátás 10-szer nagyobb a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó CO<sub>2</sub>-mennyiségnél, éppen ezért minden olyan változás, amely a talaj szervesanyag-forgalmát érinti, jelenősen befolyásolhatja a légkörbe jutó széndioxid-mennyiségét, valamint az üvegházhatáson keresztül Földünk hőmérsékletének, klímájának alakulását is.

Számos kutatási eredmény igazolja, hogy az intenzív talajhasználat a légköri széndioxid növekedésében szerepet játszik, amely különösen az elmúlt évtizedekben vált nyilvánvalóvá (LI, 1995; REICOSKY, 1995; LAL et al., 1998; DREES et al., 2001). A talajok intenzív művelése a szénkészlet 30-50%-os csökkenését idézi elő, amely elsősorban a talaj feltörésével hozható összefüggésbe. A szervesanyag fokozott mineralizációja révén felszabaduló széndioxid ilyen módon könnyen a légkörbe távozik (COLE, 1996). Ezzel szemben a talajvédő technológiák (forgatás nélküli eljárások, direktvetés stb.) alkalmazása révén a talaj humusztartalma évente 1 tonnával is növekedhet hektáronként. Az Egyesült Államokban végzett számítások szerint az elmúlt évek talajvédő technológiáinak elterjedése nyomán mérhetően csökkent a talajból a légkörbe kerülő széndioxid-mennyisége (PAUTIAN et al., 1998). Ha Európában a szántóterület 100%-át talajvédő módszerekkel művelnék, az a mezőgazdaság összes emisszióját mérsékelné. Ez, az Európában keletkező éves széndioxid 4,1%-át, globális méretekben az éves kibocsátás 0,8%-át jelenti.

Ha a talaj és a föld feletti növényi részek légzésének összege meghaladja a fotoszintézis által fixált szén mennyiségét, a biogeocönózis szénmérlege negatív lesz. Ez a tény is a talajlégzés

fontos szerepét bizonyítja, valamint az is, hogy a talaj folyamatosan bocsát ki szén-dioxidot, még kedvezőtlen időszakban is, amikor a fotoszintézis nem működik. A folyamatnak tehát meghatározó szerepe van a biogeocönózisok eredő forrás vagy nyelő aktivitásának kialakításában (BALOGH et al., 2005).

A mezőgazdasági, illetve erdősült területek esetében három fontos üvegházgáz forgalmával kell számolni, úgymint a dinitrogén-oxid-, a metán- és a szén-dioxid-fluxusával. A mezőgazdaság, elsősorban a műtrágyázás és az állattenyésztés következtében jelentős forrása a dinitrogén-oxidnak és a metánnak, globális szinten 70, illetve 81%-ban járulnak hozzá a forrásokhoz, míg szén-dioxid esetében ez az arány 21% (ISERMANN, 1994).

A szántóföldi növénykultúrák területi kiterjedése hazánkban rendkívül nagy, az ország mezőgazdasági területének mintegy 77%-ára terjed ki (RAJKAI et al., 2004). Ez azért is fontos, mert a mezőgazdasági- és gyepterületek – a nagy szénfelvevőként számon tartott erdők mellett – fontos szerepet játszanak bioszféra - légkör közötti szénforgalomban. A füves ökológiai rendszerek szén-dioxid-cseréjéről, szén-megkötéséről viszonylag keveset tudunk, jóllehet szerepük a globális szénforgalomban jelentős (SOUSSANA et al., 2007).

A magyarországi talajok szénkészlete folyamatosan változik, különösen az elmúlt évtizedre becsülhető jelentős változás. A talajművelésben beálló szemléletváltozás egyre nagyobb mértékben jellemző. Mivel a talaj – a klíma és az időjárás mellett – a növénytermesztés egyik legfőbb olyan tényezője, amely alapvetően meghatározza a termelés minőségét, gazdaságosságát, a talaj és a növénytermesztés összefüggéseinek feltárása az egyik legfontosabb kutatási feladat. A talajhasználat gyakorlatán belül a talajművelésnek van a legradikálisabb hatása a talaj tulajdonságaira. Mivel az elmúlt évtizedekre jellemző volt a talajt nem kímélő talajhasználat, a talajtulajdonságok leromlása miatt megnőtt az igény a környezetkímélő és energiatakarékos talajművelési módok bevezetésére (BIRKÁS, 2002). A talajhasználat eltérő hatású lehet a humusztartalomra, amely a művelési módtól függően enyhén csökkenhet, vagy növekedhet (BANKÓ et al., 2007).

A talajtermékenység megújulási folyamatát korlátozó tényezők között nemcsak hazánkban, hanem világszerte felgyorsult a szántóföldi termőhelyek rendszeresen művelt rétegének ma

már számszerűsíthetően is kimutatható fizikai degradációja, amelynek következménye a szerkezeti elemek szétesése, a növényélettani szempontból káros mértékű talajtömörödés, valamint a defláció. Ennek okait az antropogén eredetű talajterhelések és ezen belül elsősorban a növénytermesztés-technológiai követelményeknek megfelelő talajművelések következményeiben kell keresnünk. Különösen érvényes ez a kolloidokban gazdagabb nedvességváltozással művelhetőségre érzékenyebben – rögzítéssel vagy képlékenységgel – reagáló talajokra, és azokra a talajművelési rendszerekre, amelyekben az alapvető talajművelési eljárás nagyrészt a mindezekhez legkevésbé alkalmazkodni tudó ekére alapozott. Ez a felismerés vonul végig a hazai talajművelési rendszerek útkeresésében és fejlődésében, a nagy talajművelő klasszikusaink (GYÁRFÁS J. – MANNINGER G. A. – KEMENESSY E.) munkásságában és talajművelésünk gyakorlatában.

Hazai szén-dioxid-kibocsátás mérések eredményeit közölte BIRKÁS et al. (2007). Ebben az átfogó tanulmányban a művelés hatását vizsgálták a talaj fizikai állapotára és többek között a szén-dioxid-fluxusra. A mérések szerint meleg nyári napon a nem bolygatott talajok szén-dioxid-emissziója a nedvesség és a hőmérséklet függvényében  $\sim 5\text{-}8 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ nap}^{-1}$  ( $2,4 \text{ t C ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ ,  $14\text{-}23 \text{ Mt C év}^{-1}$ ), ami különösen a száraz bolygatott talaj esetében egy-két nagyságrenddel megnő (legnagyobb mértékben az elmunkálatlan szántásoknál) a művelés utáni napokban.

TÓTH et al. (2005) a műtrágyázásnak a talaj szén-dioxid-emissziójára gyakorolt hatását vizsgálta meszes csernozjom talajoknál, külön-külön mérve a gyökérlégzésből és a szervesanyag bomlásból származó fluxust. Két különböző mérési szinten tavasztól ősziig a szén-dioxid-emisszió  $\sim 25\text{-}130$  (gyökérlégzés), illetve  $\sim 60\text{-}220 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (mikrobiológiai bomlás) között változott, melyet a műtrágyázás, különösen a nitrogénműtrágya jelentősen megnövelt (maximum:  $\sim 320$ , illetve  $\sim 410 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), különösen tavasszal, a vegetációs időszak kezdetén. Egy hosszú távú hazai műtrágyázási kísérletben (KOÓS - NÉMETH, 2007), a tenyészidőszakban a gyökérlégzésből származó átlagos  $\text{CO}_2$ -emisszió  $\sim 90 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  ( $2,1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ ,  $16,9 \text{ Mt C év}^{-1}$ ), melyet a műtrágyázás  $\sim 25\%$ -kal megnövel.

## **2.2. A talaj szénkészlete a globális változások tükrében, a globális változások hatásainak nemzetközi szintű felmérése**

A globális felmelegedés oka a Föld légkörében jelentkező üvegházhatás erősödése, amit az üvegházhatású gázok koncentrációjának növekedése okoz. Létezését a kutatók egy része vitatja, többségük azonban ma már elismeri, hogy nem csak átmeneti ingadozásról van szó (Internet 1.).

Az üvegházhatás a természetben jelenlévő, az élet alapvető feltételeit megteremtő folyamat. Az üvegház belső hőmérséklete azért magasabb, mint a külső hőmérséklet, mert az üveg csak az ún. rövidhullámú sugarakat engedi át, a hosszuhullámúakat pedig visszaveri. A Föld és környezete is egy nagy üvegházhoz hasonlóan viselkedik: a sugárzási energia a Napból fény formájában érkezik a Föld felszínére, ahonnan az infravörös sugárzás hatására, mint hő kisugárzódik. A levegőben lévő gázok és a vízpára azonban elnyelik az infravörös sugarakat, így a meleg az „üvegházon” belül reked. A földfelszín jelenlegi átlaghőmérséklete 15°C. Ha a légkör teljesen átjárható lenne az infravörös sugarak számára, ez az érték lényegesen alacsonyabb, kb. -15°C lenne (LAL et al., 1998; REICOSKY, 1998).

Az éves középhőmérséklet világszerte növekszik, Európában az elmúlt tíz év folyamán 0,3-0,6°C-os emelkedés figyelhető meg. Számos klímamodell alapján azonban a hőmérséklet további növekedése prognosztizálható (EEA, 1998). A globális felmelegedés fő oka a fosszilis eredetű anyagok elégetése során keletkező szén-dioxid légkörbe kerülése.

A szén természetes körforgását megzavarta az ipari civilizáció. A Földön ma már óriási tömegű fosszilis energiahordozót (kőolaj, szén, földgáz) égetünk el, aminek köszönhetően mostanában évi  $5 \cdot 10^8$  tonna szén kerül a levegőbe. A kémiai ipar során keletkező anyagok, vagyis a fluor, klórvegyületek szintén az üvegházhatást erősítik. Harmadrészen a mezőgazdaság is jelentős mértékben járul hozzá az üvegházgázok légköri koncentráció-növekedéséhez. Amerikai felmérések szerint az ipari tevékenység (beleértve a fosszilis energiahordozók égetését) 77%-kal, a mezőgazdaság pedig 23%-kal járul hozzá a globális felmelegedéshez. Összességében az antropogén eredetű metán és nitrogénvegyületek (NO<sub>x</sub>) 50-75%-a és a CO<sub>2</sub> 5%-a a mezőgazdasági tevékenységekből származik. Az erdőirtások, a

biomassza elégetése (pl. tarlóégetés) és a szántóföldhasználatban előidézett egyéb változások további 14%-ot tesznek ki (LÁNG, 2003).

Világviszonylatban az összes szén-dioxid-kibocsátás 5%-áért a mezőgazdasági tevékenység tehető felelőssé (COLE, 1996). A Kiotói Jegyzőkönyv (1997) állásfoglalása szerint a légköri szén-dioxid-tartalom növekedése a globális klímaváltozás egyik kiváltója lehet.

A talajok szén-dioxid-kibocsátása a szakirodalom szerint igen jelentős, mértéke jóval felülmúlja az antropogén kibocsátást. A kibocsátott szén-dioxidéhoz hasonló nagyságrendű mennyiséget viszont egyúttal fel is vesz a bioszféra, emiatt a nettó fluxus (talajkibocsátás és a bioszféra felvételének különbsége) globálisan negatív, azaz a bioszféra nettó nyelő. A nettó fluxus amplitúdója (egy nagyságrenddel) kisebb a talajkibocsátásnál vagy a bioszféra felvételénél. Globális szinten is megfigyelhető, hogy a természetes szénforgalom mellett az emberi hatás nem jelentős (IPCC, 2007). A bioszféra légkör közti szén-dioxid csere az ipari forradalom előtt kiegyensúlyozott volt (HASZPRA - BARCZA, 2001), napjaink problémája viszont az, hogy az emberi beavatkozás miatt a bioszféra-légkör közti egyensúly megbomlott, nem csak a szén-dioxiddal összefüggésben, hanem a többi üvegházgáz vonatkozásában is. A nemzetközi és a hazai szakirodalomban számos tanulmány jelent meg a talajok szén-dioxid-kibocsátására vonatkozóan.

A légkör CO<sub>2</sub>-készleteinek növekedése, amelynek hatására az elkövetkező 50 éven belül a mezőgazdasági termelésre is kiható klímaváltozásokkal kell számolnunk (SCHNEIDER, 1975; KEULEN et al., 1980) a fosszilis energiahordozók elégetésén kívül elsősorban is a szárazulatok talajainak szervesanyag-veszteségeire vezethető vissza. Az emberiség nekilendült talajforgató tevékenysége, vagy a magyar mezőgazdaság kiváló alakjának, a néhai Gyárfás professzornak a szavaival élve, a szántogatás olyan méreteket öltött, hogy STUIVER (1978) szerint a földfelszín szerves szénkészletei 1850 és 1950 között több mint 100 gigatonnával csökkentek. A mikrobiális aktivitásra is visszavezethető CO<sub>2</sub>-készletek a felső sztratoszférában növelik az infravörös sugarak űrbe való emittálását, és emiatt éppen abban a légtérben idéznek elő lehülést, ahol az ózon keletkezik (ISAKSEN et al., 1980). A lehülés sajátosan serkenti az ózonképző reakciókat, ami viszont ellensúlyozhatja az ózonszféra

antropogén hatásra megindult, ijesztő kimenetelűnek tűnő destrukcióját (ISAKSEN - STRODAL, 1981).

1997-ben a Kiotói Egyezmény keretében a 15 akkori tagország a szén-dioxid ekvivalens csökkentésének 2008-2012 között történő, 8%-os csökkentése mellett kötelezte el magát. Ennek elősegítésére az első Európai Éghajlatváltozási Program (EÉVP) új módszereket dolgozott ki, valamint vizsgálta a talaj szénmegkötésben játszott szerepét. Az első EÉVP jelentés évi 60-70 millió tonnára becsülte a mezőgazdasági művelésű talajban megköthető szén-dioxid (ekvivalens) mennyiségét.

A talajban a szenet a baktériumok, a gombák és a földigiliszták tudják megkötni. Ezek az élőlények a szervesanyagot humusszá alakítják, amely a talaj alkotója marad, így a szén nem távozik el szén-dioxid formájában. Nagyobb mennyiségű szén talajba juttatásának egyik módja a biológiailag lebontható szervesanyagok (mint például gabonamaradvány, gazdasági udvarról származó trágya, komposzt és szennyvíziszap) mezőgazdasági területen való szétterítése. A talaj-és hulladékgazdálkodás ilyen módon történő együttes alkalmazása segítségével a szén oda irányítható, ahol megkötése lehetséges (a talajba), ráadásul ezzel a megoldással csökkenthető a lerakókra kerülő hulladék mennyisége is. Különböző becslések - a talajminőség, a kezelési gyakorlat és az éghajlati jellemzők területenkénti eltéréseinek függvényében - évi 2-20 millió tonna közé teszik a módszer segítségével elérhető szénmegkötés mértékét (Internet 2.) A mezőgazdasági földterületeken és erdőkben történő szénmegkötés célja nemcsak az éghajlatváltozás elleni harc, hanem a talajminőség javítása is. Ennek hatásai megmutatkoznak a természetvédelemben, a biológiai sokszínűség megőrzésében, a vízminőség és az élelmiszerbiztonság javításában, s mindezek következtében az emberi egészség megőrzésében. A szénmegkötés ezért a 2005-ben második programját kezdő EÉVP kulcseleme maradt (MARMO, 2008).

### **A klímaváltozással kapcsolatos főbb nemzetközi állásfoglalások**

Amióta létezik a Föld, éghajlata folyamatosan változik, néha gyorsabban, máskor lassabban. A mostani helyzet abban új, hogy az emberi tevékenység nemcsak a mikro- és a makroklímát, hanem a globális klímát is befolyásolja. Nemzetközi rendezvények témakörei és állásfoglalásai jelzik, hogy a globális klímaváltozásra felfigyeltek, s a különféle

állásfoglalások, ajánlások érzékeltetik a témakörsúlyát, komolyságát, valamint széles körű összefüggéseit.

### **ENSZ Konferencia az Emberi Környezetről (Stockholm, 1972)**

A rendezvény dokumentumaiban a „climate change” kifejezés mindössze egyszer fordult elő. A javaslatokban azonban megjelent, hogy a természeti erőforrások fokozó mértékű felhasználásának a meteorológiai folyamatokra gyakorolt hatását szükséges vizsgálni. Az ajánlásokban pedig szerepelt a légköri szennyeződések klimatikus következményeinek és az ember által okozott hatások vizsgálata (BÁNDI et al., 1994).

### **Környezet és Fejlődés Világbizottsága (Brundtland Bizottság, 1984-1987)**

A Brundtland Bizottság jutott először arra a következtetésre, hogy az éghajlatváltozást „komoly valószínűségének” kell tekinteni, egyetértettek azon szakemberek körének véleményével, akik szerint ok és okozati összefüggés létezik a légkörben lévő üvegházhatású gázok mennyiségének növekedése és klímaváltozás között. A Bizottság a klímaváltozást a fenntartható fejlődés fogalmában integrálta, pontosabban szólva, a fenntartható fejlődést akadályozó, lassító tényező közzé sorolta. A CO<sub>2</sub>-emisszió csökkentése nemcsak a légkör védelmét, hanem a véges mennyiségű fosszilis energiahordozók megőrzését is szolgálta.

A Brundtland Bizottság már 1987-ben, a klímaváltozással kapcsolatban az alábbi négyirányú stratégia kialakítását sürgette (FARAGÓ – GYULAI, 1994):

- A kibontakozó jelenségek intenzitásának megfigyelése és értékelése.
- A jelenségek eredetének, működésének és hatásainak alaposabb vizsgálata.
- Az üvegházhatást előidéző gázok csökkentését szolgáló, nemzetközileg egyeztetett irányelvek kialakítása.
- Az éghajlatváltozások és az emelkedő tengerszint okozta veszélyek minimalizálását szolgáló stratégiák elfogadása.

### **ENSZ Konferencia a Környezetről és a Fejlődésről (Rio, de Janeiro, 1992)**

Ezen a konferencián került aláírásra az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye, amely 1994-ben lépett érvénybe, és amelyhez valamennyi ENSZ tagállam (az Amerikai Egyesült Államok is) csatlakozott. A Keretegyezmény kinyilvánította, hogy cselekedni kell az



éghajlatváltozás növekvő kockázata miatt, azonban nem adott jogilag kötelező érvényű irányadó számokat és határidőket az egyes országoknak. Ezen hiányosságok miatt sok bírálat érte a tagállamokat, közöttük is az iparilag legfejlettebbeket. Ezek hatására öt évvel később, Kiotóban (1997) találkozta a szakértők, ahol részleges megállapodás született (FARAGÓ, 2004).

### **A Kiotói Jegyzőkönyv (1997)**

A Kiotói Jegyzőkönyvet ratifikáló országok vállalták, hogy a 2008-2012-es időszakra összességükben 5,2%-kal csökkentik üvegházhatású gáz kibocsátásukat 1990-hez képest. E csökkentés szabályait számos konferencián lezajlott tárgyalások eredményeképpen dolgozták ki. Maga a Kiotói Jegyzőkönyv 2005-ben lépett hatályba. Fontos tudni, hogy mind a Keretegyezményre, mind a Kiotói Jegyzőkönyvre vonatkozó szabályok egyik fontos része az, hogy az országoknak évente üvegházhatású gáz leltárt kell benyújtania az ENSZ-hez. Ennek a követelménynek Magyarország is megfelel. A leltárok megtalálhatók a [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int) honlapon. A leltárok készítésének módszerét a világ egyik legrangosabb tudományos testülete, a Klímaváltozási Kormányközi Panel (Intergovernmental Panel on Climate Change) dolgozta ki (Internet 3.).

A jegyzőkönyv hatályba lépését követően a legsürgetőbb feladattá vált, hogy elfogadásra kerüljön az a szabályrendszer, amely alapján a jegyzőkönyv rendelkezései végrehajthatók. E szabályok kiterjednek azokra az eszközökre, amelyek segítségével a fejlett államok költséghatékonyabban teljesíthetik kötelezettségeiket. Ilyen eszköz a nemzetközi emisszió kereskedelem, amelynek keretében egy fejlett állam fejlődő vagy átmeneti gazdaságú országban finanszíroz emisszió csökkentést szolgáló beruházást kiotói kötelezettségvállalása részeként, akkor azt saját teljesítéseként számolhatja el (HAJDÚ, 2005; HUSZTINÉ, 2005). A további szabályok a kibocsátások nyomon követésére, a vegetációt érintő emberi beavatkozások, pl. erdőtelepítések által a légkörből kivont szén-dioxid-mennyiség elszámolására, a kötelezettségeiket nem teljesítő államokkal szembeni eljárásokra vonatkoznak. A találkozó egyik alapvető eredménye e szabályrendszer elfogadása.

A Kiotói Jegyzőkönyv azonban konkrét kibocsátás szabályozási előírásokat csak 2012-ig tartalmazta. Az üvegházhatású gázok kibocsátása és az éghajlatváltozás kockázata viszont

tovább növekszik, és ezek mérséklésére az eddigieknél határozottabb lépések szükségesek (EEA, 2005).

Feszült légkörben folyó egyezkedések után sikerült elérni olyan kompromisszumos megállapodásokat, amelyeket minden küldöttség elfogadott. Ezek értelmében egyeztetések kezdődtek:

- az egyezmény hatálya alatt tehát minden állam részvételével a kibocsájtás szabályozás további teendőiről,
- a Kiotói Jegyzőkönyv hatálya alatt az ahhoz csatlakozott fejlett államok további kibocsájtás csökkentési kötelezettségeiről a 2012 utáni időszakra,
- azon tárgyalások előkészítéséről, amelyek általában a Kiotói Jegyzőkönyv felülvizsgálatára vonatkoznak (ez a fejlődő országokat is érintheti),
- az önkéntes kibocsájtás mérséklési programokra kész országok ilyen irányú kedvezményeseinek elismeréséről.

A Montreali ülészak eredményeivel egy fontos időszakot zárt le az ember által kiváltott globális környezetváltozás növekvő veszélyével szembeni eddigi nemzetközi együttműködés folyamatában, s egyúttal megnyitotta az utat, ahhoz, hogy új tárgyalások kezdődhessenek a további remélhetően hathatósabb közös fellépésről (FARAGÓ, 1998; OECD, 1999; OECD-IEA, 2002).

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület harmadik beszámolójában az elmúlt század éghajlatának globális összefoglalója nagy érdeklődést váltott ki. A globális szinten  $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  melegedés több következménye nagymértékben érinti a Föld egyes területeinek lakosságát.

### **Emisszió szabályozás az Európai Unióban**

Az EU igen következetes a Kiotói Jegyzőkönyv kötelezettségeinek teljesítésében sőt „túlvállalást” is ígért, nevezetesen 8%-os csökkentésre tett ígéretet. Ezt a célt az energiahatékonyság növelésével, energiatakarékossgal és a megújuló természeti erőforrások növekvő felhasználási arányával kívánja megvalósítani. A vállalat teljesítése érdekében, 2005. január elsejével az EU mind a huszonöt tagállamra véve kötelező jelleggel beindította a kibocsájtási jogok kereskedelmét lehetővé tevő saját belső rendszerét. Ennek keretében mintegy tizenkétezer EU tagállamban működő ipari létesítmény kereskedhet szabadon a szén-

dioxid-kibocsájtására jogosító engedélyekkel, amelyek egyúttal a korlátozást is magukba foglalják (LÁNG, 2003; EEA, 2005).

### **Emisszió szabályozás Magyarországon**

Az Egyezmény és a Jegyzőkönyv által megadott konkrét kibocsátás-szabályozási előírások első két időszaka már eltelt, de továbbra is érvényben vannak az Egyezmény általánosabban megfogalmazott kibocsátás-szabályozással kapcsolatos előírásai, továbbá a Kiotói Jegyzőkönyv 2012 végén elfogadott Dohai Módosítása által a kibocsátás-csökkentés időbeli kiterjesztésével és újabb szigorításával új kötelezettségek születtek. A hazai teendők tételes számbavételének és teljesítésének lényegesen nagyobb lett a jelentősége az EU-tagsággal. Elsőrendű fontosságú volt az EU korábbi 15 tagállamának a 2012-ig tartó időszakban az általuk közösen vállalt kibocsátás-szabályozási és a fejlődőket segítő finanszírozási kötelezettségek betartása. 2013-tól pedig ugyanez a helyzet mindenekelőtt a Dohai Módosítás alapján 2020-ig közösen vállalt kibocsátás-csökkentési cél vonatkozásában a 2004-től számottevően kibővült EU minden tagállama számára (FARAGÓ, 2013).

Szükséges megjegyezni, hogy a kiotói kötelezettségek teljes mértékű teljesítésekor sem változik meg a légkör jelenlegi módosulása. A veszélyes mértékű éghajlatváltozás Európában akkor kerülhető el (2005. évi Tavaszi Európai Tanács állásfoglalása értelmében), ha a földfelszín globális átlaghőmérséklete legfeljebb 2°C-kal haladja meg az ipari forradalom előtti szintet, ami már ma is mintegy 0,6-0,7°C -kal magasabb. A 2°C -t nagy valószínűséggel csak akkor nem lépi túl, ha az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja nem haladja meg a 450 ppm szén-dioxid mennyiséget. (1750 tájkán 280 ppm értéket figyeltek meg, 2000-ben 368 ppm-et, 2013-ban 400 ppm-et). A romlási folyamat mérsékléséhez 2020-ig 15-30%-os globális kibocsájtás csökkentése szükséges a fejlett országokban, az 1990-es szinthez képest. Emellett a gazdaságilag gyorsan növekvő fejlődő országoknak is részt kellene vállalniuk a globális probléma megoldásában (IEA, 2001).

Elmondható, hogy a Kiotói Jegyzőkönyv vállalásainak teljesítése csupán az első lépés a hosszú úton. A nagy kérdés, hogy a döntéshozók és a társadalom széles körei felismerik-e kellő időben a további határozott lépések megtételének szükségességét, és sikerül-e elkerülni egy globális éghajlati katasztrófát. Az éghajlatváltozással kapcsolatos nemzetközi

együttműködés tehát 2013-tól egy új korszakba lépett. Az eddigi erőfeszítések megalapozták a klímapolitikai együttműködést, de alig mérsékeltek a globális éghajlat változás növekvő kockázatát. A gyorsan változó világpolitikai és gazdasági viszonyok, valamint az EU saját belső gazdasági, együttműködési helyzetének lényeges változása alapvetően új körülményeket teremtettek a nemzetközi és az EU szintű klímapolitika továbbfejlesztése számára a 2020-ig tartó és az azutáni időszakra.

### **IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change)**

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testületet több mint húsz évvel ezelőtt, 1988-ban alapította meg a Meteorológiai Világszervezet (WMO) és az ENSZ Környezeti Programja (UNEP). A testület „háttérben” kutatók ezrei dolgoznak, jelentéseiket azonban politikai döntéshozók – kormánydelegációk - fogadják el. Az IPCC azzal a feladattal alakult meg, hogy átfogóan értékelje az emberi tevékenységek hatását a Föld éghajlati rendszerére, tudományosan megalapozott becsléseket adjon az éghajlat további várható globális változására, felmérje a társadalmi-gazdasági és környezeti következményeket, valamint feltárja és elemesse azokat a lehetőségeket, amelyek megfelelő alkalmazásával egyrészt csökkenthetők a földi éghajlatra gyakorolt veszélyes emberi hatások, másrészt mérsékelhetők az éghajlatváltozás kedvezőtlen következményei.

Ezen belül cél az emberi tevékenységek „mellékhatásaként” az üvegházhatású gázok – mindenekelőtt a szén-dioxid – légköri kibocsátásainak korlátozása, csökkentése, és emellett e gázok légkörből való kikerülésének fokozottabb elősegítése. A testület azt is vizsgálja, hogyan lehet felkészülni a környezeti körülményekben várhatóan bekövetkező változásokra, csökkenteni azok káros hatásait, illetve felkészülni az alkalmazkodásra.

A Testület keretében három munkacsoportban folyik a tudományos megfigyelések és a kutatási eredmények összesítése, értékelése:

- az első munkacsoport az éghajlati rendszerrel összefüggő megfigyelési adatokkal, az eddigi változások nyomon követésével, elemzésével, a hosszabb távon várható változások becslésével foglalkozik;

- a második munkacsoport a globális éghajlatváltozás globális és térségi környezeti hatásaival szembeni érzékenységet, a változások társadalmi-gazdasági és környezeti hatásait, illetve a hatásokra való felkészülés lehetőségeit vizsgálja;
- a harmadik munkacsoport a globális változást kiváltó tényezőknek, mérséklésük illetve csökkentésük lehetséges módjainak, eszközeinek szenteli figyelmét.

A Testület 2007-ben fogadta el Negyedik Értékelő Jelentését. Ebből kiderül, hogy komolyan számolni kell a nagymértékű változásokkal, ezek súlyos következményeivel, és ezek csak úgy kerülhetők el, ha a társadalmak hathatós lépéseket tesznek az üvegházhatású gázok globális kibocsátásainak csökkentésére, valamint a már elkerülhetetlen látszó, de még kezelhető mértékű változásokra való felkészülésre.

A Norvég Nobel Bizottság 2007-ben a Nobel-békedíjat két egyenlő részben megosztva az Éghajlatváltozási Kormányközi Testületnek (IPCC) és ifj. Albert Arnold (Al) Gore-nak ítélte oda, azért az erőfeszítésért, amit az ember okozta éghajlatváltozásra vonatkozó nagyobb tudás létrehozása és elterjesztése, valamint az e változás megakadályozására szolgáló intézkedések megalapozása érdekében fejtettek ki.

A Föld éghajlatának változására utaló jeleket komolyabban kell vennünk, különös tekintettel az elővigyázatosság elvére. Az éghajlat jelentős változásai módosítják, egyben fenyegetik is, az emberiség nagy hányadának életfeltételeit. Széleskörű népvándorlást idézhetnek elő, és fokozódó vetélkedést okozhatnak az elemi létfeltételekért. E változások különösen súlyos terheket rónak a világ legsérülékenyebb országaira, megnövelve a fegyveres konfliktusok és háborúk veszélyét, államokon belül és azok között is.

Az elmúlt két évtizedben az IPCC tudományos jelentései nyomán, egyre szélesebb körű tudáson alapuló egyetértés bontakozott ki arról, hogy az emberi tevékenység és a globális felmelegedés között kapcsolat van. Több mint száz ország tudósainak és hivatali képviselőinek ezrei működtek közre azért, hogy tisztábban lássuk a felmelegedés valódi mértékét. Amíg az 1980-as években a globális felmelegedés még érdekes hipotézisnek tűnt, addig az 1990-es évek ezt szilárd bizonyítékokkal támasztották alá. Az utóbbi néhány évben az összefüggések még inkább egyértelművé, a következmények még nyilvánvalóbbakká váltak (Internet 4.).

Korunk egyik legfontosabb környezetvédelmi problémája az üvegház hatású gázok légköri koncentrációjának növekedése és az ezzel összefüggésben fenyegető esetleges éghajlatváltozás. Mára már csaknem bizonyossá vált, hogy globális éghajlatváltozás előtt állunk, illetve többek véleménye és mérési adatok alapján, bizonyos mértékben klímánk már meg is változott, elsősorban az üvegház hatású gázok légköri koncentrációinak növekedése miatt (IPCC, 2007).

Az IPCC 2011. évi Tematikus Jelentése a szélsőséges éghajlati események kockázatáról és kezeléséről szól. Ebben értékeli a klímaváltozás szerepét az éghajlati szélsőségek intenzitásának és gyakoriságának változásában és hangsúlyozza a kockázatkezelési és alkalmazkodási stratégiák szerepét, amellyel a sérülékeny közösségek csökkenthetik a klímaváltozással szembeni kitettségüket. A jelentés utal az egyes állításokkal kapcsolatos tudományos bizonyosság illetve bizonytalanság mértékére is. A jövőbeli változások előreláthatóan világszerte növelik a klímaváltozással szembeni sérülékenységet, kitettséget és az éghajlati katasztrófákból származó veszteségeket. A javaslatok kiemelik a felkészülés kulcsszerepét és a veszélyforrások megfelelő kezelését. Mindazonáltal regionális felkészülési stratégiák kidolgozásához részletesebb információkra van szükség, amire a célzott finomfelbontású, regionális vizsgálatok nyújtanak lehetőséget.

### **2.3. A talajművelés jelentősége, a hagyományos és az alternatív talajművelési eljárások hatása a mikrobiológiai aktivitásra**

A természet és az emberi tevékenység egymással örök kölcsönhatásban van. A földművelés és a növénytermesztés története 6-8 ezer évet ölel fel. A szántóföldi talajok vetett vagy telepített növények termesztésével hasznosulnak. A termesztés színvonala, gazdasági és környezeti hatása alapján korai extenzív, hagyományos, korai intenzív, integrált, modern intenzív, modern extenzív és ökológiai talajhasználati rendszerek különíthetők el (BIRKÁS, 2001).

Hazánkban MANNINGER (1957) hívta fel a figyelmet arra, hogy a talajművelés során törekedni kell a talajszerkezet megóvására. SIPOS (1972) felhívja a figyelmet, hogy minden művelési eljárás súlyos beavatkozást jelent a talajéletbe. NYÍRI (1993) a művelést a talajban lejátszódó folyamatok szabályozójaként említi. A 20. század talajművelési kutatási

eredményei új vonásokkal gazdagították az elődök által elérteket, figyelmet kapott az agro-ökoszisztémák fenntartható működése, a klíma-érzékenység csökkentése és a környezetvédelem. Előtérbe kerültek azok az irányzatok, amelyek a természeti kívánt növények igényei helyett, de a termésbiztonság fenntartása mellett, a talaj védelmét és a nedvességvesztés csökkentését említik első helyen (ÁNGYÁN – MENYHÉRT, 1997). Hazánkban a művelés egyik legfontosabb feladata többek közt a talajnedvesség-forgalom szabályozása (NYÍRI, 1997; HUZSVAI et al., 2006), a talajfelszínre jutó csapadék talajba szivárgásának és a talajban történő hasznos tározásának elősegítése (VÁRALLYAY, 2005).

A hazai és a nemzetközi kutatási eredmények (TRACY et al., 1990; REICOSKY et al., 1997; REICOSKY et al., 1999; ETANA et al., 2001; GIUFFRÉ et al., 2003) egyaránt azt mutatják, hogy a legjelentősebb szén-dioxid veszteséget a talaj rendszeres szántása idézi elő. Az alternatív gazdálkodás lényege, hogy a ma általánosan vett termelésorientált mezőgazdasági módszereknek a környezetet, illetve a természetvédelmet fokozottabban figyelembevevő alternatíváit (pl. környezetkímélő eljárások, anyagok alkalmazása stb.) keresik (BIRKÁS, 2001).

A talajhasználat a szántóföldön a különböző biológiai igényű és hatású növények és termesztési technológiák összessége. Általa teremthető harmónia a termőhely és a termesztési technológia között (BIRKÁS et al., 1999). A talajművelés befolyásolhatja a talaj biológiai aktivitását, és általa növelhető a talaj aktív felülete, vagyis a talaj produktív potenciálja.

Növénytermesztési szempontból a talajok minőségének egyik legjelentősebb jellemzője a talajtermékenység (BOCZ, 1992). A talaj természetes termékenysége azt jelenti, hogy a környezeti feltételek (éghajlat, éves csapadékmennyiség, stb.), a talaj fizikai és kémiai tulajdonságai, adottságai milyen potenciális termékenységet biztosítanak a termesztett növények számára. A talaj termékenysége semmiképpen sem vonatkoztatható el a benne zajló biológiai és biokémiai folyamatoktól sem, így a termékenység másik természetes faktora a talaj biológiai élete. A talajbiológiai folyamatokat a külső tényezők ugyanúgy befolyásolják, mint a fizikai és kémiai folyamatokat. A biológiai élet döntően a gyökérszónában, a talaj humuszos rétegében zajlik, így a humuszos réteg mélysége, a humusz minősége a talajbiológiai folyamatokat alapvetően befolyásolja, meghatározza. A talaj állandóan változó, dinamikus folyamatok színtere, s elválaszthatatlan egységet képez nemcsak a benne, de a rajta

élő magasabb rendű szervezetekkel is. A talaj termőképessége tehát nagymértékben függ a talajban élő szervezetekkel, azok számával, életműködésével, azaz a talaj biológiai aktivitásával. Úgy is fogalmazhatnánk, hogy a talajbiológiai aktivitás legfontosabb megnyilvánulása a talaj termőképessége, melyben igen jelentős szerep jut a talajban élő mikroorganizmusok élettevékenységének.

Az utóbbi évtizedekben a talajok szervesanyag-tartalma az intenzív gazdálkodás következtében mintegy 50%-kal visszaesett, ami a természetes talajtermékenység kényszerű leromlásával jár együtt (HARROD, 1994). Ugyanakkor más külföldi tartamkísérletek eredményei is arról tanúskodnak, hogy a kímélő művelés (elsősorban direktvetés) a legfelső talajréteg szervesanyagban való gazdagodását segíti elő.

Az úgynevezett hagyományos (konvencionális) talajművelés hozzájárulhat az éghajlati változásokhoz. A talaj ekével történő rendszeres forgatása a szántóföldek szén-dioxid-emisszióját nagymértékben megnöveli (REICOSKY, 1998). Talajművelés hatására nő a lazultság, megváltozik a levegőellátottság, gyors gázcsere indul meg. A talaj megnövekedő oxigéntartalma intenzív mikrobiális tevékenységet indukál. A szervesanyag lebomlásakor keletkező szén-dioxid pedig a légkörbe távozik, aminek következtében a globális klímaváltozás egyik közvetlen előidézője lehet (GYURICZA et al., 2002). Mivel a fokozott mikrobiológiai tevékenység intenzív szervesanyag fogyasztással jár, a talaj levegőöztsége, a szén-dioxid-emisszió és a humusztartalom között közvetlen kapcsolat figyelhető meg (SZABÓ, 1986; ECAF, 1999). A talaj humuszanyagai hosszú évek, esetenként évszázadok során épülnek fel, ezért néhány század százaléknyi csökkenés is nehezen fordítható vissza.

Az intenzív forgatásra alapozott talajművelés a talajok degradációját és erózióját eredményezheti. A hagyományos művelést felváltó, a talajt védő művelési módszerekkel jelentős mértékben javítható a talaj kémiai, fizikai és biológiai állapota. Ezt a tényt a világon sok helyen tapasztalták (DORAN, 1980; BRUCE et al., 1995; BEARE et al., 1994).

A bolygatott talajba kerülő szervesanyagok széntartalmának 2/3 része szén-dioxiddá oxidálódva a levegőbe kerülve fokozza a globális felmelegedést. Az ilyen talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátása jelentősen meghaladja azokét, amelyeket kevésbé bolygatnak (GYURICZA, 2000). A környezet minőségét lerontó károk – a talaj tömörödése, visszatömörödése,



elporosodása, cserepesedése, szervesanyagban elszegényedése, nagy szén-dioxid-kibocsátása, hordképességének romlása – a hagyományos művelés olyan nemkívánatos kísérő jelenségei, amellyel szembe mindössze néhány agronómiai előny állítható (BIRKÁS, 2002).

A helyes mezőgazdasági gyakorlat alkalmazásával a talaj szén-dioxid megkötő képessége növelhető, redukálódik a szerves szén veszteség és erősödik a humifikáció, ami a talaj szervesanyag-tartalmának növekedéséhez vezet (NÉMETH, 2004; KOÓS – NÉMETH, 2007).

Gazdálkodási és környezetvédelmi szempontból egyaránt fontos, hogy a talaj mikrobiológiai tevékenységének tudatos szabályozásával előnyösen befolyásolhatók a humuszgyarapító- és bontó folyamatok, egyúttal a talajmaradványok feltáródása, fenntartható a talaj kultúrállapota és művelhetősége (BIRKÁS, 2002). A forgatás nélküli talajművelési rendszerekben igen fontos tényező a talaj felszínén megmaradó növényi maradványok lebomlása (QUEMADA - CABRERA, 1995).

Számos kutatási eredmény igazolja, hogy az intenzív talajhasználat a légköri szén-dioxid növekedésében szerepet játszik, amely különösen az elmúlt évtizedekben vált nyilvánvalóvá (DREES et al., 2001; GYURICZA et al., 2005).

A műveléssel létrehozott talajállapot-változások befolyásolják a biokémiai és biológiai folyamatokat. A talajban meglévő tápanyagok, a bejuttatott szerves és műtrágyák, a tartómaradványok elbomlásának és érvényesülésének előfeltétele a kedvezően laza állapot kialakítása. Az aerob mikroszervezetek tápanyagfeltáró tevékenységéhez ugyanis kellő nyirkosság, levegőzettség és hő szükséges. A talaj forgatásakor az eredeti talajfelszín aerob módon légző mikrobái anaerob, vagy gyengén átlevégőztött körülmények közé kerülnek. Következésképpen a tömeges mikrobapusztulás, a szabadenzim-aktivitás növekedése, a humifikációs folyamatok erősödése, valamint az ásványosodás lelassulása. A mélyből felszínre került talajban a mikrobák aktívabbá válnak és előtérbe kerülnek a humusz-bontó folyamatok. A sekély, forgatás nélküli művelés a talajokat kevésbé szellőzteti és szárítja, így módon gyengébb, de tartósabb a mikrobiális tevékenység is (BIRKÁS, 1993), a mikrobák számára elérhető szerves széntartalom mennyisége magasabb a bolygatatlan talajban (TÓTH et al., 2009).

A fenntartható mezőgazdaság szempontjából a talaj szervesanyag-készlete kulcsfontosságú indikátorának számít. A földhasználat módjában és az agrotechnikai beavatkozásokban eszközölt változtatások befolyásolják a talaj szerves szénkészletét és a szervesanyagok mennyiségét és minőségét is. Ezek a változások gyakran kismértékűek és fokozatosan mennek végbe, így rövid- és középtávon nehezen észlelhetők. Ugyanakkor a talaj labilis szénkészletéhez tartozó anyagfeleségek - mint pl. a biomassza - érzékeny indikátorai a talaj ökológiai stabilitásának, a különböző stressz hatásoknak és az eredeti állapot helyreállítását célzó tevékenységeknek. A forróvíz-oldható C-tartalom (HWC) a talaj szerves szénkészletének egyik frakciója, mely szorosan összefügg a biomasszával, így labilis sajátságokat mutat (GHANI et al, 2002).

Az ülepedett, és az eredeti szerkezetet csak kismértékben lazító művelés hosszabb időszak alatt mérsékelte, a mélyebb bolygatás, a nagyobb lazultság, a nyitott felszín növeli a CO<sub>2</sub>-vesztéséget. SZABÓ (1992) szerint az intenzív művelés sok év alatt, az aerob légzési folyamatok serkentésével pusztítja a talaj humifikált és ásványosodott szervesanyagait, és idézi elő a szervesanyag fogyást. A talajból ily módon eltávozott szervesanyag a természet szempontjából veszteségnek minősül. A mérések tanulsága, hogy talaj szerkezetét kímélő művelés alkalmazásakor nem csak a CO<sub>2</sub>-kibocsátás tartható alacsony szinten, hanem egyúttal a szervesanyagok lebontása és felhalmozódása is kiegyenlítetté tehető.

A talajművelés intenzitása és a szén-dioxid-kibocsátás között közvetlen összefüggés figyelhető meg: minél nagyobb a pórusrétegben belül a levegőfázis aránya és mélyebben lazított a talaj, annál élénkebb a mikrobiológiai tevékenység, amely a szén-dioxid-emisszió fokozódásában nyilvánul meg (GYURICZA, 2004). Talajvédelmi szempontból is igen fontos tehát, hogy korszerű, a talajt kímélő, az adott klimatikus és edafikus tényezőkhez igazodó művelési rendszerek váltsák fel a forgatáson alapuló hagyományos rendszereket (NYIRI, 1997).

A talajművelés gyakorlatának megváltoztatása a talaj tulajdonságainak megváltozását eredményezi, a megváltozott mikrobiológiai aktivitás és tápanyag dinamika, illetve szervesanyag-profil hatással van a növénytermesztésre (FOLLETT - PETERSON, 1988). A hagyományos művelés elemei - mint pl. a szántás - elősegítik a talaj szervesanyag tartalmának

csökkenését a szármaradványok talajba keverése, az aggregátumok felaprózása és a levegőztetés növelése útján, míg a csökkentett műveletszám és a nagyobb mennyiségű, a talaj felszínén maradó növényi maradvány esetén a talaj szervesanyag vesztesége kisebb (BALESDENT et al., 1990). Ezeknek a hatásoknak az ismerete elengedhetetlen a tápanyagforgalom (HENDRIX et al., 1986; ANDRÉN et al., 1990) és a szervesanyag dinamika megismeréséhez a különböző talajművelési rendszerekben (DORAN, 1980; HOLLAND - COLEMAN, 1987).

A lazító-porhanyító és egyidejűleg tömörítő művelés biológiai szempontból is előnyös, gyengébb az átlegegőztetés, ezáltal az aerob mikrobatevékenység; kisebb a mikrobák szervesanyag igénye, ebből adódóan kevesebb szén-dioxidot termelnek, s a morzsákat összetartó, cementáló humuszanyagok sem degradálódnak. A tenyészdő alatt a mikrobiális légzés – a talaj ülepedettségének is betudhatóan – alacsony szinten van, a keletkezett melléktermékek, a szén-dioxid az újabb művelésig a pórusokban tárolódik. Friss műveléskor a megelőző mikrobiális tevékenység CO<sub>2</sub>-tartalma kerül a légkörbe, a veszteség, ezt követően a talajba juttatott szervesanyag feltáródási folyamata szerint alakul. Pl. átlagos évben 5 t/ha búzaszalma és 2,5 t/ha gyökérmарadvány esetén a szénhozam 3 t/ha. A mélyen szántott és elmunkálatlan talajból ez mind a légkörbe távozhat szén-dioxid formában, ellenben szénkímélő műveléskor ennek legfeljebb a harmada. Friss művelés után 2-3 héttel, a tarlómaradványok feltáródásának felgyorsulása esetén – a mikrobiális bontásnak betudhatóan – a szén-dioxid-kibocsátás mértéke növekszik, amely kedvező esetben a légkörnek legfeljebb 2-2,5-szerese (BIRKÁS, 2010).

A biomassza elégetése (pl. tarlóégetés) szintén a szén-dioxid-koncentráció növekedésének kedvez (BIELEK, 2001). Ezzel szemben a teljesen vagy részben talajfelszínen hagyott növényi maradványok lassítják a szén körforgását, mert kevesebb mikroorganizmus számára elérhető, lassan bomlik le, stabilabb humuszvegyületeket hoz létre, és kevesebb szén-dioxidot bocsát ki az atmoszférába (VAN DER LINDEN, 1989; ECAF, 1999; GYURICZA et al., 2002).

A mikrobiális közösségen belül is eltérő a CO<sub>2</sub>-kibocsátás intenzitása és térbeli-időbeli mintázata (SCHIMEL - GULLEDGE 1998). Általánosságban az eukarióták, például a

gombák lebontó folyamatai hatékonyabbak, kevesebb szén lélegeznek el az összes biomassájukhoz képest, mint a baktériumok, azonos körülmények között, adott idő alatt. Természetesen a baktériumok különböző anyagcseréjű csoportjai között is lényeges különbségek vannak a lebontás hatékonyságában.

Az elmúlt ötven év folyamán a termékek nagysága jelentősen növekedett, köszönhetően a műtrágyák és peszticidek használatának, illetve korszerű fajták alkalmazásának. Manapság a kemikáliák magas költsége és a környezetvédelmi szempontoknak való megfelelés igénye arra ösztönzi a gazdálkodókat, hogy alternatív módszerek használatát is megfontolják a költségek csökkentése, az emberi egészség védelme és az erőforrás készletek megóvása érdekében. Ilyen módszerek a köztes növények zöldtrágyaként való alkalmazása, csökkentett talajművelés különböző típusai, szervesstrágyázás, és az integrált növényvédelem. A növénytermesztési rendszer megváltoztatása a talaj mikroklímájára is kihat és befolyásolja a talaj élővilágát is (PAUL - CLARK, 1989). A mikroflórában beálló változások jelentősen befolyásolhatják az alternatív termesztési módszerek eredményességét és fenntarthatóságát. Az ilyen rendszerekben általában a tápanyagok talajbani (belső) forgalmának optimalizálását, illetve a kívülről bevitt tápanyagok hatékonyságának maximalizálását célozzák meg (BUCHANAN, 1990).

A forgatás nélküli művelés biológiai szempontból azért előnyös, mert a levegőzöttség, az aerob mikrobiális tevékenység és a szervesanyag fogyás csak némileg erősödik fel, így a talajmorzsákat összetartó, cementáló humuszanyagok degradációja nem következik be (BIRKÁS, 2002). Talajvédelmi szempontból is igen fontos tehát, hogy korszerű, a talajt kímélő, az adott klimatikus és edafikus tényezőkhöz igazodó művelési rendszerek váltsák fel a forgatáson alapuló hagyományos rendszereket (NYIRI, 1997).

HOUGHTON et al. (1983) szerint a mezőgazdasági tevékenység csökkenti a talaj szervesanyag-tartalmát és hozzájárul a légköri szén-dioxid-koncentráció növekedéséhez. Azonban az újabb művelési módok (csökkentett művelés, minimum-művelés, talajvédő művelés), a növényi maradványok területen hagyása miatt, nemcsak csökkentik a talaj szén veszteségét, de néhány esetben a talaj szén tartalmát is növelik.

GYURICZA (2000) a talajművelés és a szén-dioxid-kibocsátás között keresett összefüggéseket. Ennek vizsgálatára kísérletben tanulmányozta a különböző talajművelési eljárások szén-dioxid-emisszióra gyakorolt hatását. A különböző kezelések hatására a CO<sub>2</sub>-kibocsátás minden esetben nőtt. A légköri CO<sub>2</sub>-tartalom a vizsgálat ideje alatt 736 mg/m<sup>3</sup> volt, ehhez viszonyítva a direktvetés fölött 844,2 mg/m<sup>3</sup> azaz 14,7%-kal magasabb értéket mért. A 16-20 cm-es mélységben végzett tárcsázás hatására 45,8%-kal magasabb értéket kapott, míg a 22-25 cm-es mélységben elvégzett szántás több mint duplájára emelte a vizsgált légréteg CO<sub>2</sub>-mennyiségét. A lazítás (35-40 cm) + tárcsázás (16-20 cm) 90,5%-kal eredményezett magasabb CO<sub>2</sub>-koncentrációt. Kiugróan magas értéket kapott a lazítás (35-40 cm) + szántás (22-25 cm) együttes elvégzésének eredményeként, ez a művelet ugyanis 119,8%-kal növelte az eredeti légköri CO<sub>2</sub>-koncentrációt.

FARKAS (2004) az eltérő talajművelési rendszerek hatását vizsgálta a talaj nedvességforgalmára és megállapította, hogy a talajadottságokhoz megfelelően alkalmazkodó lazító és mulcshagyó művelési rendszerek hozzájárultak a talajnedvesség veszteség csökkentéséhez.

KÁTAI (1992) különböző talajtípusokon vizsgálta a kölcsönhatásokat a talajtulajdonságok, néhány agrotechnikai eljárás és a mikrobiológiai aktivitás között. Megfigyelései szerint a gyengébb minőségű talajok kisebb CO<sub>2</sub>-termelő képességgel rendelkeznek. A vizsgált helyszíneken öntözetlen műtrágyakezelésekben a műtrágya dózissal közel lineárisan emelkedett a CO<sub>2</sub>-termelés, míg öntözött viszonyok között kisebb adag is elegendő volt hasonló koncentráció eléréséhez. Kukorica növényállományban megállapította, hogy monokultúrában nagyobb a CO<sub>2</sub>-termelés, mint trikultúrában.

Feltétlenül meg kell említenem ZSUPOSNÉ (2003) munkáját, aki az általam is vizsgált helyszínek egyikén, a karcagi komplex talajművelési kísérletben végzett mikrobiológiai vizsgálatokat. A hagyományos és a talajvédő művelési rendszerek összehasonlítása során megállapította, hogy bizonyos enzimek (ureáz, kataláz) aktivitásában nem volt szignifikáns különbség, a foszfátáz enzimaktivitás a hagyományos rendszerben volt nagyobb. A talajvédő művelési rendszerben éves átlagban 7,8%-kal magasabb CO<sub>2</sub>-termelést mért a hagyományos (forgatásos) rendszerhez képest.

TUBA (2013) aszályos és csapadékos évben végzett vizsgálatokat a karcagi talajművelési kísérletben és megállapította, hogy a redukált művelési rendszer a rendszeresen művelt réteg lazultságára és nedvességtartalmára mindkét vizsgált évjáratban kedvezően hatott.

ZSEMBELI - NAGY (2004) a hagyományos, forgatásra alapozott művelési rendszer és a talajvédő művelési rendszer vizsgálatából származó adatok alapján állapították meg, hogy a direktvetéses rendszerben termesztett növények parcelláiból több szén-dioxid távozott a légkörbe, bár a különbségek nem minden esetben voltak számottevőek. Kimutatták a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött rendkívül nagy jelentőségű szerepét. A mérési eredmények azt bizonyították, hogy az aktív, fejlődő növényállományokban az összes kibocsátott CO<sub>2</sub>-mennyiség akár 70-80%-ának is a gyökérlégzés a forrása. A kukorica és a napraforgó állományok összehasonlító elemzésekor megfigyelték, hogy a növényállományban előforduló gyomok mennyiségével arányosan növekszik a CO<sub>2</sub>-emisszió mértéke. A gyomok hatására erőteljesebb gyökérlégzés volt az oka a napraforgó állományban tapasztalt magasabb CO<sub>2</sub>-emisszió értéknek.

#### **2.4. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének hatása a CO<sub>2</sub>-emisszióra**

A kutatókat régóta foglalkoztatja a talajművelésnek és a klímának a talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátására gyakorolt hatása. Ezen oxidáció folyamata igen érzékeny a talaj hőmérsékletére és így közvetve a talaj nedvességtartalmára. (WILDUNG et al., 1975).

A talajművelés és a klíma változása hatással van a talaj nedvességtartalmára és hőmérsékletére. Azok a folyamatok, amelyek a szén oxidációját befolyásolják, igen komplexek. Ezért általában a művelés és a klíma a szén oxidációjára gyakorolt hatásának vizsgálatára szimulációs modelleket alkalmaznak. (GRANT - ROCHETTE, 1994).

ORCHARD - COOK (1983) megállapították, hogy a talaj respirációs rátája szoros, közvetlen összefüggést mutat a talaj nedvességtartalmával. Ez az összefüggés a textúrájukban különböző talajokra is igaz. A talaj szén-dioxid-kibocsátása a nedvességtartalom növekedésével szignifikánsan nő, majd egy maximum értéket elérve stagnál. A

nedvességtartalom és a mikrobiológiai aktivitás összefüggését mutatja az is, hogy számos tanulmány foglalkozik a száraz talajban a gyors benedvesedés után a szén-dioxid-termelés hirtelen bekövetkező növekedésével (FRANZLUEBBERS et al., 2000). A benedvesítés után a CO<sub>2</sub>-termelődés gyakran 500%-kal is megnövekedhet a folyamatosan nedvesen tartott talajállapothoz képest. Ez a megnövekedett CO<sub>2</sub>-termelés általában 2-6 napig tart. Mivel a felszín közeli talajrétegek nedvességtartalma szezonális dinamikát mutat, ezek a rövid tartamú impulzusok nagyon sokféle talajra jellemzőek (FIERER - SCHIMEL, 2003). Az Alföldön a nyári időszakban a talajok gyakran kiszáradnak és a jellemzően nem meghatározott rendszerességgel hulló nyári záporok hatására bekövetkező benedvesedés jelentős mértékben hozzájárul a talaj felszínéről a légkörbe távozó CO<sub>2</sub> összes mennyiségéhez.

A talaj nedvességtartalom és a mikrobiológiai aktivitás összefüggését elemezve SKOPP et al. (1990) megállapítják, hogy az aerob mikrobiológiai aktivitásnak számos fizikai korlátozója van. E két paraméter összefüggését optimum (haranggörbével) lehet jellemezni. A nedvességtartalom növekedésével a mikrobiológiai aktivitás maximumának elérése után éppen az oxigén diffúziójának csökkenése jelenti a legfőbb korlátot.

A nedvességtartalom és a talajállapot a nedvesség veszteség mértékét illetően is kölcsönhatásban van. A kedvezőtlen talajállapot – pl. tömör réteg a felszínhez közel, vagy a gyökérszónában – a csapadék talajba jutását, és a talajban lévő nedvesség hasznosulását is akadályozza. A talaj mélyebb rétegeinek állapota a felszín takartságával összefüggésben módosítja a talaj nedvességtartalmát, a veszteség nagyságát. A mélyebb bolygatások nagyobb vízvesztesége a felszín gyors – lehetőleg egymenetes – elmunkálása esetén kerülhető el (BIRKÁS - GYURICZA, 2004).

A talajra ható tevékenységek közül az erdőirtás, a legelőfeltörés, a hagyományos művelés, a meszezés, az öntözés (jó nedvességellátottság), az aerob mikroba-tevékenység szénfeltárás-fokozó beavatkozások, szénveszteséget okoznak (BIRKÁS, 2010).

A talajvédő művelés során a növényi maradványok jelentős hányada a felszínen marad és hatékony védelmet jelent a talajerózióval szemben (HARROLD - EDWARDS, 1974;

LANGDALE et al., 1979), továbbá jelentősen csökkenti a talajnedvesség-veszteséget (BUCHELE et al., 1955; MIELKE et al., 1986; UNGER, 1984).

A hőmérséklet a talaj mikrobiológiai tevékenységére gyakorolt hatásával közvetve is befolyásolja a növény növekedését. A mikroorganizmusok növekvő, illetve csökkenő tevékenysége következtében megváltozik a talajlevegő hőmérséklete és összetétele. A talaj hőmérsékletétől függ a magasabb rendű növények csírázása, növekedése, fejlődése, a talajban élő mikroszervezetek élettevékenysége, ezen keresztül a talaj tápanyagforgalma. A hőmérséklet befolyásolja a talaj ásványi részeinek mállását, a víz mozgását a talajban (folyékony és pára alakjában) (RÁTONYI, 2006).

A művelés utáni lebontó folyamatokat a talaj legfelső 10 cm-es rétegének hőmérséklete befolyásolja leginkább. Tapasztalatok szerint a hőmérséklet emelkedésével a talajban fejlődő CO<sub>2</sub>-mennyisége növekszik, 65°C-nál maximumot ér el, majd 90°C-ig csökken, és 110°C-nál hirtelen megnövekszik a CO<sub>2</sub>-koncentrációja. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy 65°C-nál a talaj mikrobiológiai aktivitása maximumot ér el, és ezért nő meg a CO<sub>2</sub>-tartalom. 110°C-nál pedig kémiai oxidáció okozza a CO<sub>2</sub>-tartalom növekedését (GYŐRI, 1984).

TÓTH et al. (2008) laboratóriumi körülmények között végzett emisszió méréseket a hőmérséklet és a nedvesség szén-dioxid-emissziót befolyásoló hatásának kimutatására, és azt tapasztalta, hogy növekvő talajnedvesség tartalom egyre nagyobb szén-dioxid-emissziót eredményezett.

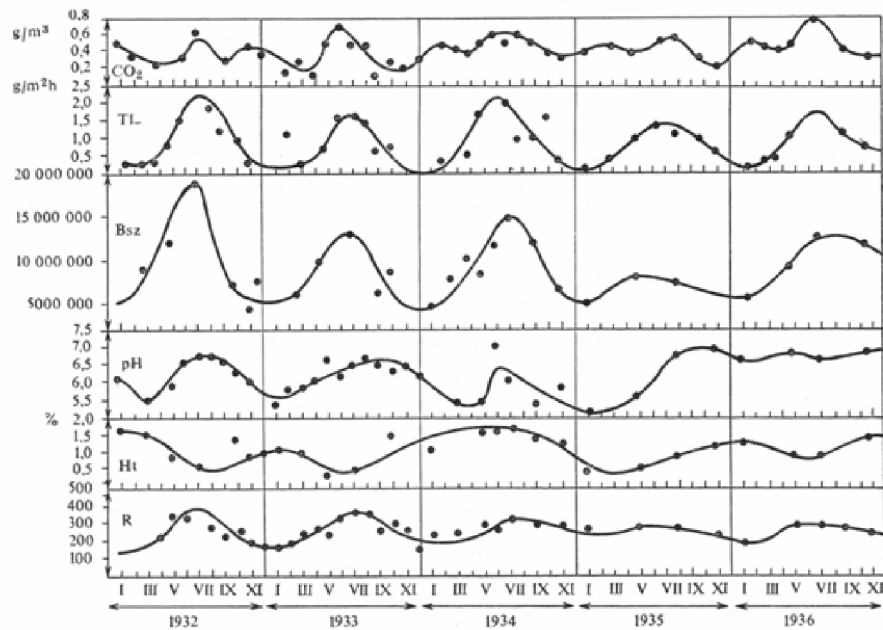
A talajok CO<sub>2</sub>-emisszióját befolyásoló tényezők közül a talajok fizikai tulajdonságainak, azon belül is elsősorban a talajok hőmérsékletének és nedvességtartalmának van meghatározó szerepe (SMITH et al., 2003). A talajhőmérséklet vizsgálat adatai alapján megállapítható, hogy az intenzív szén-dioxid-kibocsátás egyik oka feltehetőleg a nagy talajhőmérséklet. A művelés utáni lebontó folyamatokat a legfelső 10 cm hőmérséklete befolyásolja leginkább. (BIRKÁS - GYURICZA, 2004).

Az időjárási körülmények, elsősorban a hőmérséklet lényegesen befolyásolják a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátását. Az intenzitásfüggvény változásai viszonylag jól követik a napszakváltásból



adódó talajhőmérséklet változást. Ha viszont a hőmérséklet 10°C alá süllyed az eltérő műveletek emissziós értékei között nincs lényeges különbség (CAF, 2007).

A talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátása és a talajhőmérséklet között pozitív korreláció van, továbbá a talaj nedvességtartalma szintén befolyásolja a CO<sub>2</sub>-fluxust. Egyéb tényezők is befolyásolják a CO<sub>2</sub>-emissziót (1. ábra), melyek a talaj pH értéke, a tápanyagok mennyisége illetve a vegetáció aktivitása, azaz a gyökérlégzés és a heterotrofikus élőlények légzése.



**1. ábra:** A levegő CO<sub>2</sub>-tartalmának, a talajlégzésnek (TL), a baktériumszámnak (BSz), a pH-értéknek, a humusztartalomnak (Ht) és az R-értéknek időszakos változásai egy parlagon hagyott szántó földi területen (FEHÉR, 1954). Az R-érték a talajnedvesség és a hőmérséklet szorzata

Bár a talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátása a talajban lejátszódó mikrobiális folyamatok eredménye, mégis az emisszió mértéke erősen függ a talaj fizikai tulajdonságaitól. Számos kísérlet bizonyította, hogy a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátását a hőmérséklet, a talaj szervesanyag-tartalma, valamint a talaj nedvességtartalma alapvetően meghatározza (SZILI-KOVÁCS et al., 1993). A talaj hőmérséklete és nedvességtartalma közvetlenül befolyásolja a CO<sub>2</sub>-termelődését a mikroorganizmusokra és a gyökéraktivitásra gyakorolt hatásuk révén (SMITH et al., 2003).

## 2.5. A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában

A szén-dioxidnak, mint a legfontosabb antropogén üvegházgáznak egyik fő forrása a talaj (RASTOGI et al., 2002). A talajból talajlégzés során szén-dioxid szabadul fel. A talajlégzésnek különböző komponensei vannak, mint a gyökérlégzés, a talaj szervesanyagainak bomlása mikrobák által és a talajfauna légzése a talaj vékony rétegében, ahol a növénymaradványok koncentrálnak (DE JONG et al., 1974; EDWARD, 1975). Ezen kívül még meg kell említeni a kémiai oxidációt, mely elsősorban magas talajhőmérsékletnél jelentős (BUNT - ROVIRA, 1954). Ezek közül a szervesanyagok bomlása és a gyökérlégzés a legfontosabb, melyek kb. fele-fele arányban járulnak hozzá a talaj CO<sub>2</sub>-légzéséhez (MACFAYDEN, 1970).

A talajlégzés, vagyis a talajfelszínen át kibocsátott CO<sub>2</sub>-mérése viszonylag egyszerű, jóval problematikusabb annak felbontása gyökér-, rizoszféra- és mikrobiális légzésre. A CO<sub>2</sub> talajból légkörbe áramlása a földi anyagforgalom egyik legfontosabb komponense, és elsősorban a talajban zajló mikrobiális lebontó folyamatok, valamint a növényi gyökerek respirációjának a következménye (HANSON et al., 2000). Kisebb mértékű, mindössze néhány százaléknnyira tehető a talaj makro- és mezofaunájának CO<sub>2</sub>-kibocsátása (KE et al. 2005).

Nagyságrendjét tekintve a talajlégzés évi összegének területi eloszlása Magyarországon 380–470 g C·m<sup>-2</sup>·év<sup>-1</sup> értékek között változik (ÁCS et al., 2005). A talajnak, mint a légköri szén-dioxid pufferének elnyelő vagy kibocsátó szerepe nagyban függ a talaj széntartalmának eredetétől, formájától és stabilitásától. Lényeges a kibocsátott szén eredetének (növényi eredetű CO<sub>2</sub>, vagy a talaj szervesanyagából származó CO<sub>2</sub>, megállapítása a talaj, illetve az ökoszisztéma szénkészletének jövőbeni sorsát illető előrejelzések szempontjából is (TRUMBORE 1997).

Az ökoszisztémák szénmérlegét két nagy áramlás, a bruttó primer produkció és a különböző eredetű légzések összege alakítja. Az utóbbi komponens nagyobbik hányada a talajhoz köthető. A talajlégzésen belül az adott légzési komponens eredete szerint megkülönböztetünk az aktuális asszimilációs rátához erősen kapcsolt gyökér- és rizomikrobiális légzést, továbbá a

talaj egyéb szervesanyag tartalmának bomlásához köthető egyéb mikrobiális légzést (KRÖEL-DULAI et al., 2008). Emellett a komponensek abszolút mennyisége és egymáshoz való aránya is változhat térben és időben. A mikrobiális közösségen belül is eltérő a CO<sub>2</sub>-kibocsátás intenzitása és térbeli-időbeli mintázata. A fenti állítást támasztja alá az is, hogy az eukarióták közül a gombák lebontó folyamatai hatékonyabbak, kevesebb szén lélegeznek el az összes biomaszájukhoz képest, mint a baktériumok, azonos körülmények között, egységnyi idő alatt. Természetesen a baktériumok különböző anyagcseréjű csoportjai között is lényeges különbségek vannak a lebontás hatékonyságában.

A talajlégzés meghatározása több szempontból is fontos. A talajlégzés intenzitásának értékei nagyléptékű szénforgalmi vizsgálatok bemeneti adatait képezhetik, hozzájárulhatnak a bioszféra-atmoszféra interakciók feltárásához, szénmérlegek készítéséhez, szükségesek a globális klímaváltozás-modellek kialakításához, és ezzel kapcsolatos predikciók megtételéhez (DAVIDSON – JANSSENS, 2006). A talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátási intenzitása alapját képezi talajok minősítésének, és hozzájárul talajszennyezések következményeinek becsléséhez (HUND-RINKE – SIMON, 2008). Sok esetben a talajlégzés természetének és ezen keresztül a talajban zajló folyamatoknak, valamint az azokat meghatározó tényezőknek a vizsgálata a cél: pl. a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásáért felelős egyes összetevők elkülönítése, arányuk meghatározása, illetve a talajlégzést befolyásoló hatások elemzése, mint a talajhőmérséklet, a talajnedvesség, a talaj tápanyagtartalma, valamint a külső CO<sub>2</sub>-koncentráció hatása (BRUCE et al. 2000). Végül célkitűzés lehet közvetlenül magának a talajlégzés vizsgálati, mérési módszertanának a kidolgozása, módszerek összehasonlítása, megbízhatóságuk elemzése is (DORE et al., 2003).

A talajok CO<sub>2</sub>-termelését a talajban zajló bonyolult folyamatok együttese adja, melyben a különböző eredetű szubsztrátok mikrobiális lebontása mellett szerepet játszik a gyökérlégzés és a talaj mezofaunájának légzése is. A CO<sub>2</sub>-kibocsátás komponenseinek szezonális változásokra adott válasza mind mértékében, mind időléptékét tekintve jelentősen eltérhet egymástól. Hosszabb távon a klímaváltozásra adott válaszok is igen különbözőek lehetnek. Ráadásul a légköri, a klimatikus, valamint a tájhasználatbeli globális és regionális változások kihatnak nemcsak a növényi, hanem a talaj mikrobiális társulásainak összetételére is, ami

alapvetően megváltoztathatja az ökoszisztéma-légkör interakciókat (SCHIMMEL - GULLEDGE, 1998).

A CO<sub>2</sub>-gázcseré és annak valamennyi komponense (fotoszintetikus CO<sub>2</sub>-fixáció, fotoszintetizáló és nem fotoszintetizáló szervek sötét- és fénylégzése, valamint a talaj autotróf és heterotróf légzése) térben és időben nagy variabilitást mutat minden vegetációtípusban (STOYAN et al., 2000). E variabilitás (akár természetes, akár mesterséges okok hozták létre) a folyton változó környezeti feltételekhez való alkalmazkodás egyik lényeges megnyilvánulása (CHENG et al., 2007). Emellett a zöld növényzet sűrűsége is befolyásolja a talajnedvesség, a felszíni hőmérséklet, az energia- és vízháztartás, a tápanyagforgalom mintázatát, és ez a viszony kölcsönös (COSH - BRUTSAERT, 2003).

Amikor CO<sub>2</sub>-kibocsátást vizsgálunk, számos különböző tér- és időléptékű folyamat együttes eredményét mérjük. Ezek a folyamatok a környezet változásaira eltérően válaszolhatnak (pl. az olyan abiotikus tényezőkre, mint a hőmérséklet vagy a talajnedvesség, a gyökérszövet élettani folyamatai eltérően reagálhatnak, mint a mikrobáké (BOONE et al., 1998), így nehéz ezekre a folyamatokra, de még közös eredőjükre is adekvát megállapításokat tenni. Ezért tehát lényeges a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátás jövőbeni változásainak becsléséhez az adott ökoszisztémában a komponensek arányának ismerete. Az elkülönítés fontos a szénmérleg vizsgálatoknál, a szénallokációs és szénelnyelési kutatásoknál is, mert sok tanulmány szerint a talaj megfigyelt CO<sub>2</sub> kibocsátásának nagy részét a gyökérlégzés teszi ki.

Az aerob talajlégzést általában a termelt CO<sub>2</sub> és a fogyasztott O<sub>2</sub> mérésével határozzák meg, ill. becslik. Nagyon sokszor azonban csak a CO<sub>2</sub>-termelést mérik: ezt ugyanis mind az aerobok, mind az anaerobok egyaránt kibocsátanak (SZABÓ, 1986).

A tárcsás boronák és szántóföldi kultivátorok hozzájárulnak a rizoszféra-közösség maximális, de lokalizált aktivitását lehetővé tevő pF 2 körüli tenzió értékek fenntartásához, miközben a növény alatt, a morzsastruktúra és a szervesanyag-készlet károsítása nélkül, a talaj még több CO<sub>2</sub>-ot fejleszthet és biomasszája is nagyobb lehet, mintha szántották volna. Ez a tény feltehetően az intenzív gyökéraktivitásra vezethető vissza (BARBER - STANDELL, 1977; ANDERSON - DOMSCH, 1975; LYNCH - PANTING, 1980). Az ilyen művelés hatására a

felszíni réteg végső soron gazdagabbá válik szervesanyagokban és szerves tápanyagokban is, mint a szántott (DOUGLAS, 1977; DREW - SAKER, 1978). A forgatás nélkül művelő lazítók, közöttük az altalaj- vagy mélylazítók működésének biokémiai háttere egészen sajátos. Ezek – a lazítókések távolságától és a lazítás mélységétől függően eltérő mértékben – elsősorban a talaj óvatos ventillációján keresztül mérsékelten aktiválják az aerob dinamikát. A légjáratok levegőjében csökken számos illó anyagcseretermék toxikusan magas szintje. A CO<sub>2</sub> a talaj gázfázisában pl. elérheti a 6%-ot, ami már gátolja a gyökerek K-, N-, P-, Ca- és Mg-felvételét, de a mikrobiológiai aktivitást is (ALEXANDER, 1974).

A mérsékelt övi füves ökoszisztémák föld feletti biomasszájában – eltérően a mérsékelt övi erdőktől – jellemzően az összes szerves szén kevesebb, mint 1 %-a található (BURKE et al., 1997). Ennél lényegesen nagyobb a gyökérzetben tárolt organikus szén mennyisége (az élő biomasszában tárolt mennyiség akár kilenctizede is), de legnagyobb széntároló kapacitással a talaj rendelkezik, mely a füves ökoszisztéma összes szerves széntartalmának döntő tömegét (átlag 90%) tárolja.

## **2.6. A gázemisszió meghatározásának módszerei**

Noha az első talajrespiráció mérés több mint 100 évvel ezelőtt történt, mostanáig sincs egy egyezményes módszer a talajlégzés mérésére (ANDERSON, 1982, NAKAYAMA, 1990). A talajlégzés egy rendkívül heterogén folyamat mind térben mind időben, valamint vertikálisan és horizontálisan is befolyásolják a talajtulajdonságok és számos más változékony tényező. A meglévő mérési módszerek bizonytalansága alapvetően összefüggésben van ezzel a változékonysággal (SMITH et al., 2008).

A gázemisszió meghatározására szolgáló módszereket a Környezettechnika kézikönyv (BARÓTFI, 1991) vonatkozó fejezetének megfelelően tekintem át. Alapvetően két megoldás (számítás és mérés) kínálkozik a kibocsátott gázok kvantitatív meghatározására.

### *a. Az emisszió meghatározása műszaki számításokkal*

A méréseknél egyszerűbb, de természetesen pontatlanabb műszaki számításokat három fő csoportba sorolhatjuk:

- anyagmérlegek,
- fajlagos, empirikus adatok,
- gyors elemzések.

*b. A gázemisszió mérése*

A mérés gázelemző rendszerekkel történik. Ezek lehetnek fix telepítésűek és mobil rendszerek. Működési elvüknek megfelelően a következő csoportokba sorolhatjuk őket:

- hővezetési elven működő gázelemzők,
- paramágneses elven működő gázelemzők,
- infravörös elven működő gázelemzők,
- ultraibolya sugárzás elve alapján működő gázelemzők,
- elektrokémiai elven működő gázelemzők,
- villamos vezetőképesség elvén működő gázelemzők.

A talajlégzés jelentős tér és időbeli változatosságának következtében számos mérési technikát fejlesztettek ki azzal a céllal, hogy a különböző léptékekben uralkodó, eltérő folyamatokat vizsgálják. Az *in situ* terepi mérések általában respirációs kamrák (nyitott vagy zárt, statikus vagy dinamikus) használatán alapszanak. Mivel a talajnedvesség-tartalom és a talajhőmérséklet a két fő tényező, amely befolyásolja a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátást (REICH - SCHLESINGER, 1992, SZILI-KOVÁCS, 2004), így ezen környezeti változók értékét is rögzíteni kell, a CO<sub>2</sub>-emisszió és a környezeti tényezők közötti kapcsolat megismeréséhez. A talaj szén-dioxid-kibocsátásának mérését laboratóriumban általában szerkezet nélküli, bolygatott mintákon végzik (LINN - DORAN, 1984, BOWDEN et al., 1988, BAJGAI et al., 2011).

A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásának mértékét különféle módszerekkel lehet meghatározni, azonban a számos módszer mindegyikének megvannak az előnyök mellett a maguk korlátai is – nem létezik tökéletes módszer. Ráadásul ezen módszerek összehasonlíthatósága a mai napig is kérdéses (HEINEMEYER – MCNAMARA, 2011). A mérés gázelemző rendszerekkel

történik. Ezek lehetnek fix telepítésűek és mobil rendszerek. Működési elvüknek megfelelően a következő csoportokba sorolhatjuk őket:

- Gázelektrodos mérési technika (oxigénelektróddal) WILSON - GRIFFIN (1975) a mikroorganizmusok oxigénfogyasztásának mérésével becsülték a CO<sub>2</sub>-keletkezését elektrolitikus respirométer és a hozzá csatlakoztatott nyomás kompenzátor segítségével.
- Alkáli abszorpciós technika statikus kamra csatlakoztatásával egy lúgos oldatban vagy mészben (általában NaOH, KOH vagy szódamész) elnyeletik a szén-dioxidot, mely adott idő alatt fejlődik egy statikus kamrában, és így az oldat súlygyarapodásából (ROCHETTE - FLANAGAN, 1997), vagy a maradék lúg sósavas titrálásával (WILDUNG et al, 1975) számítják ki a keletkezett CO<sub>2</sub>-mennyiségét.
- A gázkromatográfias módszernél a talajra helyezett zárt kamrában gyúlik fel a szén-dioxid, a kamralevegőből injekcióstűvel mintát vesznek, majd gázkromatográfban megméri a CO<sub>2</sub>-tartalmat (EMMETT et al., 2004).
- Infravörös gázanalizátor (IRGA) statikus vagy dinamikus zárt rendszerű kamrával módszer esetén a zárt kamrában fejlődő CO<sub>2</sub>-mennyiségét infravörös gázanalizátor segítségével is meghatározhatjuk, vagy statikus módon (a kamrából adott időközönként vett levegőminta IRGA-ban való megméréseivel), vagy az IRGA-hoz kapcsolt szintén zárt dinamikus kamrában.
- Infravörös gázanalizátor nyílt rendszerű kamrával. A nyílt rendszer alkalmazása esetén az IRGA-hoz csatlakoztatott nyílt dinamikus kamra levegője folyamatosan a külső levegővel keveredik, elkerülendő a külső körülményeknél jóval magasabb szén-dioxid-koncentráció kialakulását a kamra belsejében (FANG - MONCRIEFF, 1998). Míg előbbi esetben (zárt rendszer) lényeges a kamra CO<sub>2</sub>-koncentrációjának változását a kezdeti állapottól fogva és minél kisebb időközönként mérni, ez utóbbi esetben (nyílt rendszer) meg kell várni, amíg kialakul a dinamikus egyensúly a kamralevegő és a talaj között, és ekkor már közvetlenül a CO<sub>2</sub>-fluxus határozható meg.
- Szén-dioxid-profil technika a talajban: a széndioxid-profil technikával a talaj vertikális CO<sub>2</sub>-eloszlását és áramlási mintázatait becsülik, valamint azok időbeli (napi, szezonális) változásai követhetők nyomon. Itt különböző talajmélységekbe leszúrt szondákkal vesznek mintát a talajlevegőből, és azt elemzik infravörös gázanalizátorral vagy gázkromatográfias módszerrel (NAGY et al., 2011).

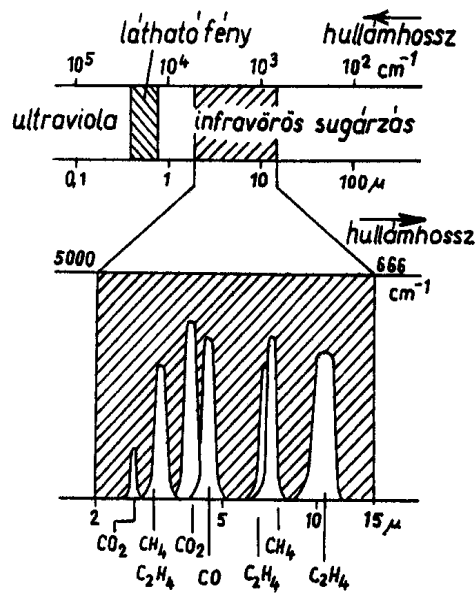
A rendelkezésemre álló Anagas CD 98; illetve GasAlert Mico5 típusú, angol gyártmányú készülékek az infravörös elven működő gázanalizátorok csoportjába tartoznak, ezért ezek működési elvének ismertetését tartottam csak szükségesnek. Az infravörös elven működő eljárás azt a jelenséget használja ki, hogy a különböző atomokból álló (heteroatomos) gázok az infravörös sugárzást is, minden egyes gáz esetében jellegzetes sávokban elnyelik. A gázok a fénysugarakat legnagyobbbrészt átértesztik. Az infravörös sugarak elnyelése függ az infravörös sugarak hullámhosszától, a gázok fajtájától, valamint a gázréteg vastagságától. A maximális értékek minden gáz esetén más helyen vannak, és azonos vastagságú gázrétegre más és más értékűek. Nincs két, egymástól különböző összetételű gáz, amelynek átértesztési görbéi azonosak lennének.

Az elemi gázoknak nincsenek abszorpciós tulajdonságaik. Az infravörös sugarakat mindenütt átengedik. Az infravörös gázelemzők tehát kizárólag vegyületek elemzésére alkalmasak. Sugárforrásul két egyforma, meghatározott fűtésű infravörös sugárzó szolgál, amelyek sugárzását egy motorikus hajtású blendekegész azonos fázisban modulálja. Az egyik sugárzó modulált sugara az analizáló kamrán keresztül az egyik érzékelő kamrába jut, a másiké pedig az N<sub>2</sub>-töltésű összehasonlító kamrán keresztül az előzővel azonos kiképzésű másik érzékelőkamrába. Az összes részek infravörös sugarakat átbocsátó ablakocskákkal vannak lezárva.

Az érzékelőkamrák, amelyeket egy membránkondenzátor választ le egymástól, mindenkor azzal a gázzal vannak töltve, amelynek a koncentrációját mérni akarjuk, tehát infravörös sugárzást csak a mérendő komponens sávjaiban képesek elnyelni. Ha az analizáló kamrán áramlik a mérendő gáz, úgy az infravörös sugárzás egy része már ott elnyelődik. Ezáltal az érzékelőkamra kisebb mértékben melegszik fel, mint az összehasonlító ágban lévő kamra, amelybe a gyengítettlen sugárzás lép be. A moduláció ütemében ingadozó kamrák közti hőmérsékletkülönbség a mérendő komponens koncentrációjától függ. Ez a kompenzátormembrán meghajlítása révén modulált kapacitásváltozást okoz, és ezzel egy ellenálláson a váltakozó feszültség megváltozását. Ezt egy szelektív mérőerősítő egyenárammá alakítja.



Amennyiben a mérendő gáz olyan komponenseket tartalmaz, amelyek elnyelési sávjai a mérendő komponensével átlapolják egymást, úgy az analizáló és az összehasonlító kamra előtt azonos, a zavaró komponenssel töltött szűrőkamrák helyezhetők el, s ezáltal megnövelhető a mérendő komponensre vonatkoztatott szelektivitás (pozitív szűrés). A negatív szűrésnél, amelyet az egymást erősebben átlapoló elnyelési sávok esetében alkalmaznak, a mérendő gáz a mérőküvetta mindkét oldalán átáramlik, míg a csak az összehasonlító oldalon lévő szűrőküvetta a mérendő komponenssel van megtöltve, amely koncentrációja úgy van meghatározva, hogy csak a zavaró komponens által fedett részt nyeli el. Ezáltal a zavaró befolyás a mérő- és az összehasonlító oldalon azonos mértékben lép fel, s így a mérést nem befolyásolja. A 2. ábrán az elektromágneses sugárzási tartomány a  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  és  $\text{CO}_2$  elnyelési sávjaival az infravörös tartományban szemantikusan vázlatát mutatom be.



2. ábra: A gázemisszió infravörös elven történő mérésének vázlata

Szántóföldi körülmények között a leginkább elterjedt gázemisszió meghatározási módszer a hagyományos kamrás mérés (AMBUS et al., 1993). Előnye, hogy biztosítja a folyamatos mérés lehetőségét, így akár a napi dinamika meghatározását is. Mindazonáltal a mintavételi és analitikai korlátok miatt sokkal jellemzőbbek a heti, vagy havi intervallumokra meghatározott emisszió értékek (MOISER, 1989). Ezeket egy egyszerű mérőhenger (3. ábra) lehelyezése, és

a mérés kezdete előtti lefedése (inkubáció) után, a meghatározott mérési intervallum szerinti in situ mérésekkel nyerhetjük.



**3. ábra:** Egyszerű mérőhenger a mérési terület lehatárolására

Jelenleg a szabadföldi gázemissziós mérések technikai csúcsát az automatizált, kvázi folyamatos mérést biztosító, korszerű analitikai egységgel felszerelt, nagyméretű kamrákkal ellátott berendezések jelentik. Egy ilyen berendezésről számol be AMBUS - ROBERTSON (1998). A műszer fotoakusztikus infravörös spektrométeres analitikai egysége CO<sub>2</sub>- és N<sub>2</sub>O-koncentráció, 2,5 percenkénti gyakorisággal történő mérésére alkalmas (4. ábra).



**4. ábra:** Automatikus szabadföldi kamrás gázanalizátor

LOFTFIELD et al. (1992) szintén keretes módszert alkalmaztak (5. ábra), ők a HUTCHINSON - MOISER (1981) által kifejlesztett eszközt fejlesztették tovább, úgy, hogy erdei körülmények között is alkalmas legyen a mérésekre.



**5. ábra:** Duplafalú kerettel ellátott kamra

## **2.7. A témához kapcsolódó szakirodalom összegző értékelése**

A témához kapcsolódó szakirodalomban fellelhető megállapítások közül a következőket tartom az értekezésben foglaltak szempontjából mérvadónak:

- A talajok szerepe igen jelentős a szén ciklusban, összes széntartalmuk nagyjából kétszerese a légkörben található, és szervesanyagaikban kétszer-háromszor annyi szerves kötésű szén található, mint a vegetációban. A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátása a globális szén ciklus második legfontosabb eleme, így fontos szerepet játszik a klímaváltozásban.
- A magyarországi talajok szénkészlete folyamatosan változik, különösen az elmúlt évtizedre becsülhető jelentős változás. A talajművelésben beálló szemléletváltozás egyre nagyobb mértékben jellemző. Mivel a talaj – a klíma és az időjárás mellett – a növénytermesztés egyik legfőbb olyan tényezője, amely alapvetően meghatározza a termelés minőségét, gazdaságosságát, a talaj és a növénytermesztés összefüggéseinek feltárása az egyik legfontosabb kutatási feladat. A mezőgazdasági földterületeken és erdőkben történő szénmegkötés célja nemcsak az éghajlatváltozás elleni harc, hanem a talajminőség javítása is.

- Az intenzív forgatásra alapozott talajművelés a talajok degradációját és erózióját eredményezheti. A hagyományos művelést felváltó, a talajt védő művelési módszerekkel jelentős mértékben javítható a talaj kémiai, fizikai és biológiai állapota. A műveléssel létrehozott talajállapot-változások befolyásolják a biokémiai és biológiai folyamatokat. Az eddigi kutatási eredmények bizonyították, hogy az újabb művelési módok (csökkentett művelés, minimum-művelés, talajvédő művelés), a növényi maradványok területen hagyása miatt, nemcsak csökkentik a talaj szén veszteségét, de néhány esetben a talaj szén tartalmát is növelik.
- A talajok CO<sub>2</sub>-emisszióját befolyásoló tényezők közül a talajok fizikai tulajdonságainak, azon belül is elsősorban a talajok hőmérsékletének és nedvességtartalmának van meghatározó szerepe.
- A talajlégzésnek különböző komponensei vannak, mint a gyökérlégzés, a talaj szervesanyagainak bomlása mikrobák által és a talajfauna légzése a talaj vékony rétegében, ahol a növénymaradványok koncentrálnak. Ezen kívül még meg kell említeni a kémiai oxidációt, mely elsősorban magas talajhőmérsékletnél jelentős. Ezek közül a szervesanyagok bomlása és a gyökérlégzés a legfontosabb.
- A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásának mértékét különféle módszerekkel lehet meghatározni, azonban a számos módszer mindegyikének megvannak az előnyök mellett a maguk korlátai is.

A fentiekben összefoglalt megállapítások természetesen nem ölelik fel a teljes szakirodalmat, amely igen széleskörű, de véleményem szerint kellő áttekintést ad a disszertáció témaköréhez kapcsolódó kutatási eredményekről. Mindazonáltal megállapítható, hogy a mezőgazdasági talajok szén-dioxid-kibocsátásával, a kibocsátást befolyásoló talajművelési és talajfizikai tényezők tisztázásával, és a talajok szénkészletének becslésével kapcsolatos ismereteink nem teljesek és nem általános érvényűek, hiszen nem minden körülményre interpretálhatóak. Ezért véleményem szerint ismereteink ilyen irányú bővítése nem hiábavaló és további erőfeszítéseket igényel.

### **3. ANYAG ÉS MÓDSZER**

#### **3.1. A mérési helyszínek természeti adottságai**

##### ***3.1.1. Földrajzi elhelyezkedés***

Karcag a Nagyalföldön, a Közép-Tiszamente térségben, a Nagykunság kistérségben helyezkedik el a Tisza folyótól keletre, földrajzi koordinátái: É 47° 23', K 20° 56', átlagos tengerszint feletti magassága 87 m Bf.

##### ***3.1.2. A terület geomorfológiája***

Karcag a Kárpát-medence egyik legalacsonyabban fekvő területén található, a Közép-Tiszavidéken belül a Nagykunság kistérségben a Közép-Tiszavidék jelenlegi felszíne kialakulásának, felépítésének és arculatának minden vonását makro- és mezoformáit a folyók építőmunkájának köszönheti. A talajok kialakulása során részben a szél, részben a víz által szállított és lerakott üledékekből jöttek létre az alapkőzetek. A medence jellegű terület feltöltődése során magas agyagtartalmú üledékek depozíciója volt jellemző. A folyók üledéke keveredett a felszínre hulló porral, azaz a szél által szállított ún. eolikus lösszel. A löszanyagok a többé-kevésbé vízzel borított felszínre kerülve az ún. infúziós löszet hozták létre. Ezen folyamatok következményeként a terület alapkőzeteinek agyagtartalma magas. A felszín legnagyobb részét löszös anyag, lösziszap borítja, melyhez téglagyag-készletek kapcsolódnak (Karcag, Mezőtúr, Kisújszállás, Törökszentmiklós, Martfű, Tiszaföldvár).

##### ***3.1.3. A térség klímája***

A Nagykunság kistérség Magyarország egyik legszárazabb, a hőmérsékleti ingadozásokat tekintve legszélsőségesebb, illetve leginkább kontinentális jellegű területe. A maximum középhőmérséklet 20,8°C, június és augusztus között jellemző, a minimum középhőmérséklet -2,9°C, általában januárban mérhető. Meleg, száraz, mérsékelt forró nyarú éghajlati körzetbe esik. A napsütéses órák évi összege 2000-2100 között változik. (DÖVÉNYI, 2010).

A vizsgált időszak meteorológiai adatait az 1. táblázatban mutatom be. A méréseimhez szükséges aktuális meteorológiai adatokat a Kutatóintézet területén felállított OMSZ mérőhálózatába tartozó meteorológiai állomás méréseiből használtam.

**1. táblázat:** Meteorológiai adatok Karcagon a vizsgálati időszakban  
(Forrás: DE ATK Karcagi Kutatóintézet)

	<b>50 éves átlag (1951- 2000)</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Éves átlaghőmérséklet (°C)</b>	10,02	9,8	10,6	12,0	11,4	11,7	10,4	11,1	11,5
<b>Vegetációs időszak (április-október) átlaghőmérséklete (°C)</b>	16,3	16,5	17,1	17,7	16,9	18,1	16,2	17,8	18,6
<b>Éves csapadékmennyiség (mm)</b>	503,4	743,1	585	548	567,9	547,4	889,1	385,7	344,5
<b>Vegetációs időszak (április-október) csapadékmennyisége (mm)</b>	340,3	569,4	420,1	386,9	418,7	272,5	614,0	278,2	246,9
<b>A talajhőmérséklet (-10 cm) közéértéke (április- október) (°C)</b>	-	18,2	18,4	19,2	18,4	18,8	17,6	18,6	19,3
<b>A talajhőmérséklet (-10 cm) maximális értéke (április- október) (°C)</b>	-	27,6	28,3	31,4	26,5	27,0	26,9	28,7	30,2
<b>A talajhőmérséklet (-10 cm) minimális értéke (április- október) (°C)</b>	-	5,6	4,6	7,1	8,8	7,4	5,3	5,8	5,0
<b>A talajlégzés minimális értékei (g*m<sup>-2</sup>*h<sup>-1</sup>)</b>	-	0,03	0,02	0,05	0,01	0,01	-	0,13	0,04
<b>A talajlégzés maximális értékei (g*m<sup>-2</sup>*h<sup>-1</sup>)</b>	-	0,35	0,46	0,56	0,73	0,73	-	0,61	0,84

A vizsgálati időszak időjárása meglehetősen változatos volt, ezzel kiváló alkalmat teremtett az évek közötti összehasonlításhoz. 2011 nyár és 2012 nyár vége kivételesen meleg és száraz volt, valamint a 2009-es év is szokatlanul meleg és száraz nyarat hozott. Ezzel szemben 2005 és 2010 igen csapadékos évjáratok voltak, míg 2006 és 2008 többé-kevésbé átlagos évnék mondható az 50 éves meteorológiai átlagokat tekintve. A legnagyobb évek közötti változatosság az áprilistól júniusig (a vegetációs aktivitás csúcsának időszakában) lehullott csapadék mennyiségében mutatkozott. 2005-ben a vegetációs időszak során 569,4 mm csapadék esett, míg például 2012-ben 246,9 mm, ami az említett mennyiség felét sem érte el.

A Nagykovácsány Alföldünk és egyben országunk legszárazabb tája, az átlagos éves csapadékmennyiség 500mm körüli. Az alacsony csapadékmennyiségen kívül annak éves eloszlása is kedvezőtlen, de szélsőségesen magas csapadékmennyiségű évjáratok is előfordulnak. A csapadék mennyiségének évi változása nagyon erős (a legcsapadékosabb hónapban két és félszer annyi esik, mint a legszárazabbban). A potenciális evapotranszpiráció éves értéke meghaladja a 700-800 mm-t. Az évi vízhiány a kevés csapadék és a meleg nyár miatt itt a legnagyobb hazánkban. A tájra jellemző uralkodó szélirány az északi, északkeleti.

#### ***3.1.4. Talajtani viszonyok***

A különböző talajtípusok kialakulása szoros összefüggésben áll a térség geológiai, hidrológiai és klimatikus viszonyaival. A tájban 9 talajtípus fordul elő. A talajvízhatás alatt álló mélyebb fekvésű területek kiterjedt (15%) talajtípusát az agyag vagy agyagos vályog mechanikai összetételű réti talajok és a fiatalabb, kisebb humusztartalmú réti öntéstalajok (3%) képviselik. Számottevő (30%) a szikes talajok mennyisége, amely a réti szolonyec (9%), a sztyeppesedő réti szolonyec (8%) és a szolonyeces réti talajokból (13%) tevődik össze. A szikes (szolonyec) talajok a mélyebben fekvő területek löszhátain, a csernozjom talajok a magasabb, míg a réti talajok az alacsonyabb fekvésű területeken találhatóak. A táj talajképző közeiteiben az agyag, a löszszerű képződmények, a homok különböző változatai vékonyabb vagy vastagabb rétegekben fordulnak elő. Eloszlásuk és váltakozásuk különösen a felszínhez közeli rétegekben nagy befolyást gyakorol a talajképződési folyamatokra és a kialakuló talajtípus tulajdonságaira is.

### A mérési helyszínek talajának jellemzése

A komplex talajművelési kísérlet talajának, illetve a tenyészedényes vizsgálatokban alkalmazott talajnak a típusa mély humusz rétegű, mélyben szolonyeces réti csernozjom (6. ábra). A talajképző kőzet vályogos agyag textúrájú infúziós lösz.



**6. ábra:** A karcagi réti csernozjom talaj szelvénye (*Saját fotó*)

A mérőhely talajának szelvényleírását az alábbiakban közlöm:

**A<sub>sz</sub>** 0-30 cm: sötétbarna, vályog, poliéderes szerkezet, sok gyökér, fokozatos átmenet

**A<sub>1</sub>** 30-50 cm: feketésbarna, agyagos vályog, kifejezettebb poliéderes szerkezet, kevesebb gyökér, éles átmenet

**B** 50-84 cm: világosbarna, vályog, morzsás szerkezet, csökkenő humusztartalom, karbonátos, folyamatos átmenet

**BC** 84-120 cm: még világosabb szín, agyagos vályog, mészkiválások, kevés gyökér 110 cm-ig, fokozatos átmenet

**C** 120 cm-: sárgás szín, agyag, vasborsók, nincs gyökér.

A mérési helyszínek feltalajának kémhatása gyengén savanyú (2. táblázat), az A-szintben azonban jelentős hidrolitos aciditást mutat, amely a szén-savas mész megjelenésével a 40-50 cm-es rétegtől megszűnik. Mérhető mennyiségű szóda az 50 cm alatti rétegekben mutatható ki.



**2. táblázat:** A terület kémiai alapvizsgálatának eredményei

Kezelés	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	só- tart.	CaCO <sub>3</sub>	Humusz tart.
			%	%	%
Hagyományos művelés	6,81	5,48	<0,02	<0,05	3,27
Redukált művelés	7,17	6,08	0,03	<0,05	3,65

A vizsgált talajréteg mechanikai összetételének elemzése (3. táblázat) kimutatta, hogy a talaj minkét művelési módnál agyag fizikai féleségű, Arany féle kötöttsége alapján szintén ebbe a kategóriába sorolható, e paraméter értékei a szelvényben lefelé haladva fokozatos növekedést mutatnak.

**3. táblázat:** A minták mechanikai elemzésének eredményei és az Arany féle kötöttsége

Kezelés	>0,25 mm	0,25- 0,05 mm	0,05- 0,02 mm	0,02- 0,01 mm	0,01- 0,005 mm-	0,005- 0,002 mm	0,002> mm	K <sub>A</sub>
Hagyományos művelés	0	6,7	8,8	16	11,7	11,7	45,1	49
Redukált művelés	0	4,8	11,5	12	14,7	12,5	44,5	54

A vizsgált talaj agyagtartalmának megfelelően víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságai rosszabbak, a talajlevegő részére rendelkezésre álló makropórusok aránya a talajban kisebb, így a légjárhatósága, szellőzése rosszabb, mint a könnyebb, vályogtalajoké. Ezeken a talajokon különösen fontos a szervesanyag tartalom megőrzése, hiszen ezáltal javítható a levegőgazdálkodás, szellőzőtség.

### 3.1.5. Hidrológiai viszonyok

A talajokat kialakító folyamatok szoros kapcsolatban állnak a felszíni és felszínalatti hidrológiai körülményekkel. A Nagyalföld jelentős része állandó vagy időszakos vízborítás alatt állt a Tisza múlt századbeli szabályozása előtti időszakban. Számos kisebb folyó is finom üledéket szállított a területre. A folyószabályozás után a Tisza és mellékfolyói hatása alatt álló terület jelentősen csökkent, a talajvízszint süllyedt. Ezek ellenére a talajvízszint ingadozása még ma is meghatározó folyamatnak tekinthető. Ez az ingadozás (fluktuáció) mintegy 0,8-1,8

m mértékű Karcag térségében. A Közép-Tiszavidék talajvízszintje geomorfológiai és talajtani körülményektől függően a felszíntől 1-20 m mélységig váltakozhat. A talajvizek ásványi sótartalma egyes esetekben igen jelentős, más esetekben azonban csekély. A vízben oldott ásványi sók minősége helyenként és talajtípusonként igen változó.

A táj legfontosabb jellemzője a nagyfokú vízszegénység, ami a felszíni és felszín alatti vizekre egyaránt vonatkozik. Az egész területnek egyetlen olyan állandó jellegű természetes vízfolyása sincs, mely a táj határán belül eredne. Az átfolyó vízfolyások eloszlását a szomszédos területek vízháztartási viszonyai és a térszín lejtése szabja meg. A tájat fő folyója, a Tisza a szerkezeti vonalnyalábokhoz igazodva keresztezi.

### **3.2. A mérések helyszínei**

A méréseket a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézetének (DE ATK KKI) területein végeztem.

#### ***3.2.1. A komplex talajművelési kísérlet***

Az 1997-ben indított komplex talajhasznosítási és talajművelési kísérlet célkitűzése a talaj fizikai degradációját megállító konzerváló talajművelési rendszer lehetőségeinek és hatékonyságának megállapítása a Tiszántúl agroökológiai és szántóföldi ökoszisztémái között, környezetkímélő energiatakarékos talajművelési rendszer kidolgozása. A program tartalmazza:

- a rendszeresen művelt réteg mélységének csökkentését,
- a forgatásos talajművelési eljárás elhagyását, csökkentett menetszámú talajművelés és direktvetés alkalmazását,
- a termőhelyen képződő szervesanyagok mulcsozási technológiával történő talajba juttatását,
- valamint a mélylazítás alkalmazását a talaj fizikai hibáinak, illetve a termékenységet korlátozó tényezők megszüntetésére.

A talajművelési kísérlet a Kutatóintézet H-1 jelű tábláján (7. ábra) folyik. A tábla mérete 16 hektár, ebből 3,5 hektáron hagyományos művelést folytatunk (továbbiakban HM), 12,5 hektáron talajkímélő, forgatás nélküli, redukált művelést (továbbiakban RM). A 4 parcellán egyszerre 2 növényfaj vetésváltásban került termesztésre. Az itt termesztett növényfajok (őszi búza, kukorica, borsó, napraforgó, őszi árpa) reprezentálják a Nagykunságban kialakult szántóföldi növénytermesztés szerkezetét.



**7. ábra:** A komplex talajművelési kísérlet

2006 őszén a tábla egyharmada, mindkét talajművelési parcella esetében, hígtrágyával volt kezelve. A viszonylag jó tápanyag-ellátottságú talajon, az akkori cirok kísérletben, 60 t/ha termésszint biztosításához szükséges 200 kg/ha nitrogén, 30 kg/ha  $P_2O_5$  illetve 222 kg/ha  $K_2O$  hatóanyagoknak megfelelő hígtrágyakezelés történt. Így a műveléshatáson kívül a hozzáadott anyag hatását is tudtam vizsgálni a  $CO_2$ -emisszió vizsgálatokkal.

2011-2012-ben a terület egyharmada, mind a hagyományosan, mind a redukáltan művelt parcellákon PRP-Sol nevű talajkondicionáló szerrel volt kezelve. A talajkondicionáló szer javítja a talaj szerkezeti állapotát, vízgazdálkodását, növeli annak tápanyagtartalmát. A talajkondicionáló szer gyártója az anyag a talaj biológiai aktivitását serkentő hatást hangsúlyozza. A javítóanyag növeli a talajban élő mikro- és makroorganizmusok tevékenységének aktivitását, lényege, hogy aktiválja a talajfunkciókat. A termék egy olyan pellet, amely természetes kötésű kalcium és magnézium karbonátokat tartalmaz (4. táblázat). Kijuttatás után az anyag szemcséi a talajoldatban oldódnak és szétoszlanak. A gyártó a terméket mindenféle talajtípusra és növényre ajánlja.

4. táblázat: A talajkondicionáló szer jellemzői

CaO	MgO	Semlegesítési érték	pH	Térfogattömeg
35%	8%	46%	7,7	1,19 g/cm <sup>3</sup>

### 3.2.2. Az átfolyóvizes liziméterek, mint tenyészedények

A méréseket a DE ATK KKI liziméter állomásán végeztem, 8 átfolyóvizes liziméter egységben állítottam be a kísérletet, ahol a liziméter hengerek tenyészedényként funkcionáltak.

Általában a talaj CO<sub>2</sub>-tartalma két különböző forrásból származhat, ezek a gyökérlégzés és a talaj szervesanyagainak mikrobiológiai bomlása. Azért, hogy ezt a kétféle folyamatot külön-külön kiértékelhessem, az edények felét befűvesítettem, a többi növényborítás nélkül maradt (8. ábra), így a gyökérlégzés kizárásával, pusztán a mikrobiológiai bontásból származó CO<sub>2</sub>-mennyiségét is meg lehetett határozni. A gyept mindig visszanyírásra került, hogy a növényi fotoszintézis ne zavarja meg a vizsgálatokat.



8. ábra: A növényborítás nélküli és a befűvesített edények (Saját fotó)

A vizsgált 3 évben öntözési kísérletet is rávittem a növényborításos kísérletre. 2008-ban mindegyik sorozatban volt egy egység, amit öntöztem, egy, amit csökkentett dózissal öntöztem és egy-egy edény öntözetlen maradt. 2009-ben egységesen öntöztem a 8 átfolyóvizes liziméter egységet. 2011-ben átalakítottam a kísérletet, 4 edényt öntöztem teljes

dózissal, 2 edényt csökkentett dózissal, 2 pedig öntözetlen maradt (5. táblázat), így az öntözővíz dózissokkal kialakított különböző talajnedvesség-tartalom és a talaj szén-dioxid-kibocsátása közötti összefüggéseket is tudtam vizsgálni.

**5. táblázat:** Az átfolyóvízes lizimétereken beállított kísérlet kezelése

Az egység sorszáma	Felület	Gyökér-légzés	Öntözés 2008	Öntözés 2009	Öntözés 2011
16	Gyep	+		Teljes dózis	Teljes dózis
17	Növényborítás nélkül	-	Teljes dózis	Teljes dózis	Teljes dózis
18	Gyep	+	Teljes dózis	Teljes dózis	-
19	Növényborítás nélkül	-	Csökkentett dózis	Teljes dózis	-
20	Gyep	+	Csökkentett dózis	Teljes dózis	Csökkentett dózis
21	Növényborítás nélkül	-	-	Teljes dózis	Csökkentett dózis
22	Gyep	+	-	Teljes dózis	Teljes dózis
23	Növényborítás nélkül	-		Teljes dózis	Teljes dózis

### 3.2.3. Az eredeti szerkezetű talajoszlopok, mint tenyészedények

A méréseket a DE ATK Karcagi Kutatóintézetének talaj-előkészítőjében végeztem. 8 mintavevő hengerrel eredeti szerkezetű (bolygatatlan) talajminta lett véve az Intézet H-1 jelű táblájáról, a komplex talajművelési kísérletből. A gyakorlatban sokszor előforduló probléma, hogy szerkezet nélküli, bolygatott talajmintákat használnak szerkezetfüggő talajtulajdonságok – mint amilyen a CO<sub>2</sub>-emisszió is – laboratóriumi vizsgálatához. Ezzel megsemmisítik a talajszerkezetének és pórusméret-eloszlásának hatását a talajok szilárd-, folyékony- és légnemű fázisainak arányára és ezek erős befolyását a talaj biológiai folyamataira és a CO<sub>2</sub>-emisszióra. Ritkán találkozunk a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátását bolygatatlan talajoszlopokon, ellenőrzött körülmények között végzett kísérletekkel (TÓTH et al., 2009).

A kísérlethez használt talaj típusa csernozjom. Az első négy mintát hagyományos művelésű (H), a második négy mintát a redukált (R) művelésű parcellából vettem (6. táblázat). A mintavevő henger mindkét vége nyitott, így az alsó részét szitaszövetet helyettesítő selyemmel zártam le, ami a nedvességet át tudja engedni. A hengerek a továbbiakban tenyészedényként funkcionáltak. A mintavétel után a talajoszlopok nedvességtartalmát szántóföldi vízkapacitásig feltöltöttem, így az első emisszió mérés időpontjában a talajok telítettek voltak. Az edényeket cserépdarabok segítségével megemelttem, és tálcára helyeztem, így az öntözés során a kifolyó víz alul távozni tudott, és ezt a tálcán összegyűjtöttem. Mindegyik egység hetenként kapott 0,15 liter öntözővizet, mivel zárt térben szobahőmérsékleten volt beállítva a kísérlet, és így a párolgási veszteségek pótlására ennyi nedvességre volt szükség. A vízpótlásnak abban is volt szerepe, hogy meggátolja a talajoszlop és az edény elválását, illetve repedések képződését, ami duzzadó-zsugorodó (réti csernozjom) talajok esetében bekövetkezhet, és az emisszió vizsgálatokban mérési hibát okozhat. Az edényeket növénymentesen tartottam. A kísérlet 30 napig tartott, 5 alkalommal történt öntözés, és 16 alkalommal végeztem emisszió méréseket.

**6. táblázat:** A tenyészedényes kísérlet néhány jellemzője

Jelölés:	henger magassága (cm)	talajoszlop magassága (cm)	talajoszlop sugara (cm)	talajoszlop térfogata (cm <sup>3</sup> )	edény+talaj tömege (g)	száraz talaj tömege (g)	térfogattömeg (g/cm <sup>3</sup> )
H 0	20,0	17,2	8,7	4102,0	7800	6835	1,666
H 1	20,0	17,2	9,0	4313,6	7800	6835	1,585
H 2	20,0	17,3	8,9	4290,4	8200	7235	1,686
H 3	20,0	17,9	9,0	4537,5	8600	7635	1,683
R 0	20,0	17,9	8,8	4352,6	8500	7535	1,731
R 1	20,0	18,0	8,7	4280,8	8200	7235	1,690
R 2	20,0	17,3	8,4	3851,1	7500	6535	1,697
R 3	20,0	17,7	8,4	3943,2	8300	7335	1,860

### 3.2.4. A gyeprágyázási kísérlet

A DE ATK Karcagi Kutatóintézet juhtelepe mellett található extenzív kezelésű gyeptársuláson, továbbiakban Rainer, is végeztem méréseket. A kísérleti terület WGS 84 koordinátái É 47°23', K 20°56', tengerszint feletti magasság 83 m. A kísérletet egytényezős, négy kezeléssel, négy ismétléssel, véletlen blokkrendezésben állítottuk be 2003 őszén. Az

ismétlések nettó területe 10 m<sup>2</sup> volt. Használt jelölések a kezeléseknél: T0: kontroll; T20: 20 t/ha komposzt; T40: 40 t/ha komposzt; T60: 60 t/ha komposzt. A kísérleti terület talajtípusa közepes réti szolonyec. A talaj nagy agyagtartalmú, nedvességtartalomtól függően hajlamos nagymértékű duzzadásra, zsugorodásra. A feltalaj laboratóriumi vizsgálati adatait az 7. táblázat tartalmazza.

**7. táblázat:** A kísérleti terület talajvizsgálati adatai (0 – 10 cm)

pH(KCl)	y1	K <sub>A</sub>	Össz. Só (%)	Hu (%)	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100 g)	AL-K <sub>2</sub> O mg/100 g)
4,78	18,1	57	0,03	3,82	3,12	4,65	31,7

A kísérletnél felhasznált komposzt természetes úton előállított, tápanyagokkal dúsított szerves juhtárgya. A komposzt aprómorzsa (15mm kisebb frakció), szagtalan, patogén baktériumoktól, gyommagvaktól mentes szagmentes, egyöntetű termék, beltartalmi adatait a 8. táblázat tartalmazza, nagy mennyiségű mikro- és mezoelemet tartalmaz. 2010. novemberében került a komposzt kiszórásra a kísérleti területre, tehát 2012-ben másodéves trágyaként fejtette ki hatását. Kiszórás után csak szét volt gereblyézve a gyepen, hiszen ösgyepeknél nincs bedolgozási lehetőség.

**8. táblázat:** A juhtárgya alapú komposzt beltartalmi adatai

szárazanyag tartalom (m/m%)	szerves anyag tartalom (m/m%)sz.a.	pH (H <sub>2</sub> O)	N (m/m%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (m/m%)	K <sub>2</sub> O (m/m%)	Ca (m/m%)	Mg (m/m%)
legalább	legalább		legalább	legalább	legalább	legalább	legalább
60	50	~8	2,5	1,9	5	1,8	0,7

### 3.3. A talaj CO<sub>2</sub>-emissiójának meghatározása és a kiegészítő mérések

#### 3.3.1. A CO<sub>2</sub>-koncentráció mérésére alkalmazott módszer

Többféle módszer és eszköz létezik a mérési felület lehatárolására, ezek nagyon hasonlítanak, de néhány gyakorlati különbség található közöttük. Magyarországon TÓTH és KOÓS (2006)

is kifejlesztett egy saját mérési technikát, mely többé-kevésbé megegyezik a miénkkel, a fő különbség a gáz mintavétel módszerében és vizsgálatában van. Karcagon egy egyedi, speciális eszközt (fémkeret és műanyag mérőedény) fejlesztettem ki, melyet a disszertáció Eredmények című fejezetében mutatok be részletesen.

A CO<sub>2</sub>-koncentráció mérésére az Anagas CD 98 illetve a GasAlertMicro5wPump típusú infravörös gázanalizátorokat használtam (9. ábra). Az analizátorok mérési tartománya 0-5%, felbontása 0,01%, elemes kivitelezésű, motoros pumpás.



**9. ábra:** Az Anagas CD 98 típusú infravörös gázanalizátor (balra) és a GasAlertMicro5wPump típusú (jobbra) gázanalizátor (*Saját fotó*)

A CO<sub>2</sub>-mérés folyamata a következő:

- a mérési terület lehatárolása,
- a kezdeti CO<sub>2</sub>-koncentráció megmérése, a terület felfedése,
- 30 percet várakozási idő (inkubációs idő), majd
- a megemelkedett CO<sub>2</sub>-koncentrációt megmérése az edényekben.

A mérések során a következő adatokat jegyeztem fel:

- dátum, időpont,
- a levegő hőmérséklete (kezdeti és végső),
- a talaj hőmérséklete a 5 és 10 cm mélyen (kezdeti és végső),
- CO<sub>2</sub>-koncentráció.



A méréseket minden esetben három ismétlésben végeztem, az Eredmények fejezetben közölt adatok mindig a három ismétlés átlagát mutatják be.

### 3.3.2. A CO<sub>2</sub>-emisszió számítása

A CO<sub>2</sub>-emissziós értékek kiszámításához a következő képletet alkalmaztam:

$$F = d * (V/A) * (C_2 - C_1) / t * 273 / (273 + T)$$

ahol

$F$  = CO<sub>2</sub>-emisszió (g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)

$d$  = a CO<sub>2</sub> térfogattömege (1,96 kg m<sup>-3</sup>)

$V$  = a henger talajszint feletti térfogata (m<sup>3</sup>)

$A$  = a mérési felület (m<sup>2</sup>)

$C_1$  = a kezdeti CO<sub>2</sub>-koncentráció (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)

$C_2$  = az inkubáció utáni CO<sub>2</sub>-koncentráció (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)

$t$  = inkubációs idő (s)

$T$  = a levegő hőmérséklete (°C).

### 3.3.3. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének mérése

Minden CO<sub>2</sub>-koncentráció mérés során mértem a levegő és a talaj hőmérsékletét is (5 és 10 cm mélységekben), amelyhez digitális hőmérőt használtam.

A talajok nedvességtartalmát többféle módszerrel határoztam meg a mérések során. A szántóföldi mérések során a gravimetriás módszert alkalmaztam. A mért nedvességtartalmat tömeg %-ban, az abszolút száraz talaj tömegére vonatkoztatva kaptam meg. Helyszíni nedvességmérésre alkalmas TTN-M típusú Sinóros-Szőllősi féle szondákat is alkalmaztam a talajművelési kísérlet utolsó vizsgált évében. A talaj aktuális nedvességtartalmának mérésére a HydroSense TM típusú talajnedvesség-mérőt használtam (5-10 cm-en) az átfolyóvizes lizimétereken beállított tenyészedényes kísérletekben.

### 3.3.4. A Forróvíz-oldható (labilis) szervesanyag-frakció meghatározása

A vizsgálatokhoz a talajmintákat a feltalajból vettem, a hagyományos talajművelésű területeken a művelt rétegből (0-30 cm), míg a redukált művelésű területeken a 0-15 cm-es rétegből. A forróvíz-oldható széntartalom meghatározásához az extrahálást a SZIE Agrokémiai Tanszékén található Hot Water Percolator készülékén végeztük (FÜLEKY - CZINKOTA, 1993). A kivonatok fényelnyelését a 190-900 nm hullámhossztartományban mértük. Az extraktok (alacsony) C-tartalmának meghatározására a DE ATK Karcagi Kutatóintézetében kifejlesztett módosított Tyurin-módszert alkalmaztuk. A módszer alapja az, hogy kénsav jelenlétében, oxidálószer (kálium-bikromát) segítségével a talaj szervesanyag-tartalmát elroncsoljuk, és a feleslegben maradt roncsolószer visszamérésével a fogyott oxidálószerrel egyenértékű szerves kötésű C mennyiségét kiszámítjuk.

### 3.4. A talaj szénkészletének számítása az IPCC módszer szerint

A talaj szénkészletének változásra vonatkozó számításaimat az IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry – továbbiakban IPCC Útmutató - (kb. Helyes Gyakorlati Útmutató a Földhasználatra, a Földhasználat változására és az Erdészetre vonatkozóan) 2003-as kiadásában leírt módszertan szerint végeztem. Ez a kézikönyv segítséget nyújt a talaj földhasználatától függő CO<sub>2</sub>-emissziója és elnyelése mértékének becsléséhez. Ez a metodika a talaj szénkészletét egységesen és egyezményesen a felső 30 cm-es rétegben veszi figyelembe, és nem kalkulál a felszínen esetlegesen felhalmozódó növényi maradványok széntartalmával vagy a szervesetlen szén (pl. karbonát ásványok) változásával.

A számítási módszer azon alapszik, hogy egy a földhasználatban bekövetkezett változás utáni meghatározott időszak alatt a talaj szénkészlete annak hatására megváltozik. A változást a következő egyenlettel lehet leírni:

$$\Delta C_{CC} = [(SOC_0 - SOC_{(0-T)}) * A] / T$$
$$SOC = SOC_{REF} * F_{LU} * F_{MG} * F_I$$

ahol

$\Delta C_{CC}$  = a talaj szénkészletének éves változása, t C év<sup>-1</sup>

$SOC_0$  = a talaj szénkészlete a vizsgálati évben, t C év<sup>-1</sup>

$SOC_{(0-T)}$  = a talaj szénkészlete a kiindulási évben T évvel a vizsgálati év előtt, t C év<sup>-1</sup>

T = vizsgálati időszak, év (alapbeállítás 20 év)

A = a vizsgált terület nagysága, ha

$SOC_{REF}$  = referencia szénkészlet, t C ha<sup>-1</sup>

$F_{LU}$  = a talajhasználat típusától függő készletváltozási faktor, dimenzió nélkül

$F_{MG}$  = a talajművelési rendszertől függő készletváltozási faktor, dimenzió nélkül

$F_1$  = a szerves C-inputtól függő készletváltozási faktor, dimenzió nélkül.

Az adott területre vonatkozó kiindulási szénkészlet ( $SOC_{(0-T)}$ ) és a vizsgálati évben meglévő szénkészlet ( $SOC_0$ ) a referencia szénkészletekből és a készletváltozási faktorokból számítható ki a vizsgálati időszakra. A növénytermesztéssel hasznosított területet a számára specifikusan megfelelő klíma-, talaj- és művelési rendszer kombinációjával jellemezzük. Az emisszió, illetve az elnyelés éves értékét úgy kapjuk meg, hogy a vizsgálati időszakra eső szénkészletváltozást osztjuk a vizsgálati időszak éveinek számával. Az IPCC metodikában az alapbeállítás 20 év.

Természetesen a fenti egyenlet csak egy olyan terület szénkészletének változást írja le, ahol csak egy bizonyos talajtípus fordul elő, adott a talajhasználat típusa, a talajművelési rendszer és a szervesanyag-gazdálkodás intenzitása. Amennyiben tehát ezek az adatok a rendelkezésünkre állnak, az adott területnagyságra ki lehet számolni a talaj szénkészletének változását. Ennek megkönnyítésére az IPCC felkérésére a Colorado State University Natural Resource Ecology Laboratory (kb. Colorado Állami Egyetem Természeti Erőforrások Ökológiai Laboratóriuma) egy számítógépes programot (IPCC Soil Carbon Tool – a továbbiakban SCT) fejlesztett ki. A program leírása szerint ez egy olyan eszköz, amely a szántó és gyepterületek talajának szénkészletében a talajhasználat változásának hatására bekövetkező változások becslésére szolgál az IPCC által meghatározott alapértelmezett értékek alapján. Az SCT-ben a következő alapparamétereket kell beállítani:

- ország (country),
- éghajlat típus (climate region),
- talajtípus (native soil type).

Az utóbbiak az IPCC saját kategóriái, de a WRB, vagy a USDA kategóriarendszerének felhasználásával az adott talajtípusok besorolhatóak ebbe a rendszerbe. Ezen alapparaméterek ismeretében a program becslést ad az adott talaj meglévő szénkészletének (existing carbon stock) nagyságáról MgC/ha dimenzióban ( $t\ ha^{-1}$ ).

Az egyes faktorok és paraméterek meghatározását és alapértelmezett értékeit is tartalmazza a program, ezeket a megfelelő fülre kattintva egy-egy megnyíló kis dialóg négyzetben olvashatjuk (10. ábra).

10. ábra: Az IPCC Soil Carbon Tool program kezelőfelülete (minta)

Ezután a módosító tényezőket kell figyelembe venni mind az eredeti (FROM system), mind a 20 évvel későbbi (TO system) talajhasználati jellemzőknek megfelelően. Meg kell adni az eredeti talajhasználatra (FROM system) jellemző adatokat, elsőként a talajhasználati módot. Az én esetemben ez mindig szántó (long-term cultivated) volt, mivel csak a magyarországi szántók szénkészlet változásának becslésével foglalkoztam ebben a dolgozatban. A talajhasználati módon belül az adott területünket a talajművelési rendszer (management system) szerint kell meghatározni, ez határozza meg az ún. management faktort. Ennek

értékét a program azonnal meg is jeleníti az addig betáplált paraméterek ismeretében. Ezt követően a szervesanyag-input (inputs) kategóriákba való besorolást kell elvégeznünk. A következő lépésként ugyanezeket az adatokat meg kell adnunk a 20 évvel későbbi állapot (TO system) esetében is. Eredményként a program azonnal megjeleníti mindkét évre vonatkozóan a talaj becsült szénkészletét (predicted carbon stock) szintén MgC/ha dimenzióban ( $t\ ha^{-1}$ ), továbbá az egy évre eső szénkészlet változás értékét (annual carbon stock change - MgC/ha/yr).

Ahhoz, hogy egy nagyobb területre is meg tudjuk határozni a talajok szénkészletének változását, a területet fel kell osztanunk klímazónák és talajtípusok szerint. Minden egyes klímazónára és talajtípusra eső területet be kell sorolnunk a releváns talajművelési rendszer és a szervesanyag-input szerint. Ez egy igen összetett, nagyléptékű munka, amely egyrészt központi, pl. statisztikai, illetve azokból származtatott adatokból táplálkozik, másrészt szakértői becsléseken alapszik. A DE ATK Karcagi Kutatóintézetének munkatársai évek óta részt vesznek egy olyan munkában, amely erre a metodikára épül. Konkrétan az ENSZ-nek, illetve az Európai Uniónak évente készített ÜHG-leltár elkészítéséről van szó, amelybe nekem is volt szerencsém bekapcsolódni, s a metodikát megismerni, használni. Az egyes tagországok által elkészített éves nemzeti jelentések (NIR: National Inventory Report) megtalálhatók az ENSZ honlapján: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories).

#### **3.4.1. A területadatok meghatározása**

A területi adatok meghatározásakor szükség van azok felosztására, azaz alkategóriákba való besorolásra. Az egyes területeket az IPCC metodikának megfelelően a talaj típusa, a klíma, a talajművelési rendszer és a bevitt szervesanyag mennyisége (input) alapján osztályoztam. Az egyes alkategóriák területi kiterjedésének meghatározásához a KSH adatokat kombináltam a CORINE adatbázissal, mely utóbbi az 1990-es és a 2000-es évre vonatkozó felmérések eredményeit tartalmazza. Habár a földhasználat változására vonatkozóan nem állnak rendelkezésre adatok 1990 előtti és a 2000 utáni időszakról, a hiányzó időszakokra a meglévő adatok interpolációjával becsültem értékeket.

### ***3.4.2. A talajtípusok meghatározása***

A talajoknak az IPCC metodikának megfelelő besorolását három lépésben végeztük el. Először a magyar talajosztályozási rendszernek megfelelő talajtípusokba soroltuk be Magyarország szántóit az AGROTOPO (Magyarország talajainak digitális térképe) adatbázisára támaszkodva. A második lépésben az egyes talajtípusokat a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete GIS Laborjának munkatársai sorolták be a WRB klasszifikációnak megfelelően, majd csoportosították azokat az IPCC talajtípusoknak megfelelően. Az egyes talajtípusok területi kiterjedését kiszámolták és térképen ábrázolták. Ezen adatok voltak az alapadatai a további területi leosztásoknak.

### ***3.4.3. A klímazónák meghatározása***

Magyarország szántóinak klímazónák szerinti besorolását, az egyes éghajlati zónák területi kiterjedésének meghatározását az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársai végezték a Karcagi Kutatóintézet megbízásából. Az OMSZ-nál két IPCC metodika szerinti klímakategóriát neveztek meg, amelyek Magyarország teljes területét lefedik:

1. mérsékelt hideg, száraz (Cold Temperate Dry), ahol az éves középhőmérséklet 10°C alatti és az éves csapadékmennyiség kevesebb, mint a potenciális evapotranszspiráció mértéke,
2. mérsékelt meleg száraz (Warm Temperate Dry), ahol az éves középhőmérséklet 10°C feletti és az éves csapadékmennyiség kevesebb, mint a potenciális evapotranszspiráció mértéke.

A klímazónák meghatározása után azokat harmonizáltuk a talajtípusok szerinti besorolással, azaz a négy talajtípust elhelyeztük a két klímakategóriába.

### ***3.4.4. A talajművelési rendszer szerinti besorolás***

Az IPCC metodika alapján a szántóföldi művelés alatt álló területeket a következő művelési rendszerekkel jellemezhetjük:

*Direktvetés:* az elsődleges művelés nélküli talajművelési mód, a lehető legkisebb talajbolygatás a vetési mélységben. A gyomirtás tipikusan kémiai módszerrel történik.

*Redukált talajművelés:* elsődleges és/vagy másodlagos talajművelést is magába foglal, de mérsékelt talajbolygatással (általában sekély művelést jelent a talaj forgatása nélkül). Általában 30%-nál nagyobb növényi maradványokkal való fedettséget biztosít a talajfelszínen.

*Hagyományos talajművelés:* a valódi talajforgatást foglalja magába és/vagy gyakori (az adott éven belül) talajművelési beavatkozásokat. Vetéskor a növényi maradványokkal borított talajfelszín aránya kisebb, mint 30%.

Ahhoz hogy fel lehessen mérni a talajok szénkészletének változását, meg kellett állapítani a hagyományos és a redukált művelés alatt álló területek nagyságát a vizsgálati periódus elején és végén. Mivel erre vonatkozóan nem állnak rendelkezésre kielégítő adatok, a területlehatárolást szakértői becsléssel kellett megállapítani. A becslés alapját a főbb gabonanövények (őszi búza, őszi és tavaszi árpa, illetve kukorica) vetésterülete adta, amely nagyjából azonosnak tekinthető évről évre (2,6 millió ha), jelentős mértékben nem változik. Mivel az újnak számító talajvédő művelési rendszereket elsősorban ezen gabonanövények termesztése esetében használják, ezért indultunk ki a vetésterületük nagyságából. A KITE Zrt-től (amely Magyarország legnagyobb mezőgazdasági szolgáltató és kereskedelmi vállalata) kapott gépeladási statisztika alapján számba vettük azokat a gépeket és eszközöket, amelyek a talajvédő művelési rendszerekben használatosak. Az eladott gépek és eszközök számából megbecsültük, hogy mekkora területen használják ezeket (a gabona vetésterület egy negyedén).

#### ***3.4.5. A szervesanyag-input szerinti besorolás***

Az IPCC metodika szerint az input faktorok a talajba bekerülő szervesanyag széntartalmának a talaj szénkészletének változására gyakorolt hatását jellemzik annak függvényében, hogy pl. mennyi a területen maradó növényi maradvány, a fekete ugaroltatás gyakorisága, vagy az alkalmazott javítóanyagok és trágyaszerek mennyisége. Az IPCC metodika szerint az input faktor kategóriák a következők: alacsony, közepes, magas-szervestrágyázás nélkül és magas-szervestrágyázással.

- *Alacsony*: kevés növényi maradvány visszajuttatása köszönhetően a növényi maradványok eltávolításának (azok összegyűjtése vagy elégetése útján), a gyakori ugaroltatásnak vagy olyan növények termesztésének, amelyek kevés növényi maradványt produkálnak (pl. zöldség félék, dohány, gyapot).
- *Közepes*: közepes mennyiségű növény maradvány jellemzi azokat a rendszereket, amelyekben általában gabonaféléket termesztenek és az összes növényi maradvány a területen marad. Ha a növényi maradványok mégis eltávolításra kerülnek, akkor egyéb anyagok (pl. szerves trágya) talajba jutásával egészül ki a szerves anyag bevitel.
- *Magas-szervestrágyázás nélkül*: olyan vetésváltási rendszerek tartoznak ide, amelyekben a növényi maradvány input szervestrágyázás nélkül is lényegesen nagyobb a sok növényi maradványt produkáló növények termesztésének, a zöldtrágyázás-, köztesnövények alkalmazásának, a zöldugaroltatásnak, az évelő fűféléknek a vetésváltásban való gyakori használatának köszönhetően.
- *Magas-szervestrágyázással*: a fenti kategóriához hasonlóan magas növényi maradvány input, de rendszeres állati eredetű szerves trágyázással kiegészítve.

A fenti kategóriák közül hármát alkalmaztunk, mivel a nagy mennyiségű szerves trágya rendszeres kiszórása, különösen olyan területeken, ahol egyébként is magas a szervesanyag-input, egyáltalán nem jellemző a mai magyar mezőgazdasági gyakorlatra.

### **3.5. Az alkalmazott adatfeldolgozási, statisztikai és térinformatikai módszerek**

A mérési adatok számítógépes feldolgozását, az ábrák és táblázatok szerkesztését Microsoft Office operációs rendszerben futó szoftverek alkalmazásával végeztem el. A mért adatokból EXCEL alapú adatbázist hoztam létre.

A talaj nedvességtartalma, hőmérséklete és a talaj CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggések feltárásához a trendvonalak illesztését választottam. Ez az eljárás a legkisebb négyzetek módszere alapján a legjobban illeszkedő görbét adja meg az ismert adatok megadott tartományra történő kiegészítése céljából.

A kísérletekben a talajművelés, növénytráplálás kezeléshatását SPSS statisztikai program segítségével értékeltem ki. A Statistical Package for Social Science (SPSS) egy olyan Windows operációs rendszerben működő program, mely statisztikai adatok osztályozására,



feldolgozására és elemzésére szakosodott. Az alkalmazott vizsgálatok a varianciaanalízis és a t-próba voltak. A varianciaanalízis számos, egyező szórású, normál eloszlású csoport átlagának összevetésére alkalmas statisztikai módszer. A kétmintás t-próba azt vizsgálja, hogy két külön mintában egy-egy valószínűségi változó átlagai egymástól szignifikánsan különböznek-e. A statisztikai vizsgálatokat SzD 5% mellett végeztem. A kiugró értékek kiszűrésére valamint a kezeléshatások ábrázolására a szintén SPSS programmal készített box-plot analízist használtam.

A H1 jelű tábla mérési pontjainak felvételéhez nagy pontosságú kézi GPS-t (THALES) használtam, mely szubméteres pontosságot tud és DGPS jeleket használ. Erre azért volt szükség, hogy minden mérésnél vissza tudjak menni a legelső mérés helyére.

Ábrázoláskor megjelenítéshez használtam egy kataszteri fedvényt (1:10000-es méretarány), a Karcagi Kutatóintézet üzemi táblák fedvényét (poligonok), illetve a saját mért pontok rétegét. Ortophoto térképet, meg még egy fedvényt is alkalmaztam. Látható a volt vízfoltok rétege is. Ezen fedvények szerkesztése, megjelenítése mind a kézi GPS-re, mind az irodai számítógépen magyar Digiterra Explorer V4 térinformatikai szoftverrel történt (1-2. *Melléklet*).

A Rainer terület térképi munkáit EOVRendszerben készítettem Digiterra Explorer 6.0 illetve ArcGIS 9.2 térinformatikai szoftverek segítségével. A felhasznált térképi fedvények az 1:100ezres AGROTOPO és saját kutatóintézeti GIS adatbázisunkból származnak. A vizsgált kísérleti tér összes attributív adatait felhasználtam (4-5. *Melléklet*), tehát információnk van a talajféleségről/típusról, a közetről, fizikai talajféleségről, talajásványról, a talaj vízgazdálkodásáról, illetve kémhatásáról. Természetesen ezen térképi attributív adatokat a saját adatbázisaink tovább pontosították (helyszíni mintavételek, akkreditált laboratóriumi vizsgálataink).

A gyepterület talajának alakulásában fontos szerepet játszott a mikrodomborzat, a természetes és mesterséges vízfolyások, tereptárgyak (fő- és mellékutak, csatorna műtárgyak, erdősávok stb.). Ezek feltérképezésében felhasználtuk a saját, valamint az OTAB (Országos Térinformatikai Alapadat Bázis) digitális alapadatbázisát, rárakva a kiinduló térképi rétegünkre (kataszteri- és saját fedvényeink) a talajtípusok foltjai, a fő- és mellékutak, a csatornahálózatok fedvényeit.

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1. A talaj CO<sub>2</sub>-emisszió mérési módszerének szántóföldi körülmények közötti alkalmazása, illetve továbbfejlesztése

Számos módszer létezik a mérési felület lehatárolására, ezek sok mindenben hasonlítanak, de van köztük néhány gyakorlati különbség. A következőkben az általam használt eszközöket mutatom be, illetve azt a munkafolyamatot, mely során az eszközöket mindig az egyes mérőhelyek sajátosságaihoz igazítottam, hogy a legjobb konstrukció alakuljon ki. A méréseim helyszíneit a következő sajátosságok jellemzik (9. táblázat).

9. táblázat: A mérőhelyek sajátosságai

	Növényállomány	Gyep	Tarló
Felület	csupasz talaj	növényborítás	részleges fedettség
Rendelkezésre álló tér	korlátozott	korlátlan	korlátlan
Talajállapot	művelt, egyenetlen	kemény, egyenletes	kemény, egyenetlen
Gyökérlégzés	+	+	-

Különböző eszközök használata indokolt a mérési terület lehatárolásához a mérőhelyek tulajdonságai miatt. A megfelelő eszközök kifejlesztésében mindig a korábbi mérések tapasztalatai segítettek. Az egyes mérőhelyeken általam használt eszközök leírását közlöm használatuk és fejlesztésük szerinti kronológiában.

#### 4.1.1. A hengeres módszer

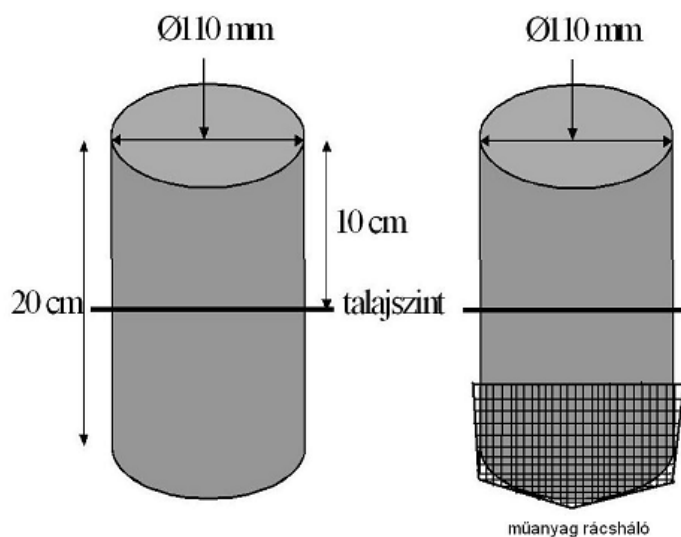
Ezt a módszert először a komplex talajművelési kísérletben használtam, ebben az esetben művelt talaj adta a mérési felületet. A vizsgálati terület lehatárolására legelőször a karcagi intézetben talajfizikai vizsgálatokhoz már korábban is használatos és bevált, a kereskedelmi forgalomban is kapható Ø110 mm-es PVC csövek 20 cm-es hosszúságú

darabjait használtam. A hengereket 10 cm mélységig helyeztem a talajba, így a mintavételi tér 10 cm magas és 95 cm<sup>2</sup> felületű volt. Az inkubációhoz egyedi megoldásként a szintén vízszereelésben használatos záródugóból és karmantyúból kialakított könnyen feltehető és levehető, szigetelt kupakokat használtam. Tíz ilyen eszköz volt kialakítva, így egy-egy alkalommal 2 mérőhelyen 5 ismétlésben lehetett mérni a CO<sub>2</sub>-koncentráció értékeket (11. ábra).



**11. ábra:** A hengeres módszer (Saját fotó)

Általában a talaj CO<sub>2</sub>-tartalma két különböző forrásból származhat, ezek a növénygyökér légzés és a talaj szervesanyagainak mikrobiológiai bomlása. Ahhoz, hogy ezt a kétféle folyamatot külön-külön ki lehessen értékelni, két sorban ötösével helyeztem el a hengereket. Az első sorozatot a talajfelszín alá 10 cm-es mélységbe tettem le (A-hengerek), itt a CO<sub>2</sub>-kibocsátás mértékéhez a gyökérlégzés is hozzájárul. A másik sorozatot is 10 cm-es mélységre helyeztem, a hengerek alját hálóval fedtem le (12. ábra), hogy az a talajt visszatartsa. Méréskor a kiemelt henger aljára húzott műanyag tasakkal azt légmentesen lezártam (B-hengerek), így a gyökérlégzés kizárásával, pusztán a mikrobiológiai bontásból származó CO<sub>2</sub>-mennyiségét is meg tudtuk határozni.



**12. ábra:** A mérőhengerek paramétereit

#### **4.1.2. A nagykeretes módszer**

A komplex talajművelési kísérletben és a műtrágyázási kísérletben használt 950 cm<sup>3</sup>-es PVC csövek a gyepel borított talajfelszínre nem voltak alkalmasak, azon egyszerű oknál fogva, miszerint a műanyag csöveknek a szikes legelő kemény talajába való inzertálása gyakorlatilag lehetetlen. Ennek megfelelően egy új eszközt kellett kifejleszteni a gyepen történő mérések igényéhez igazítva azt. Az eszköz egy fémkeretből és egy műanyag edényből áll (13. ábra).



**13. ábra:** A nagykeretes mérőszett (Saját fotó)

Az élezett szegélyű fémkeret talajba inzertálása és a fémkereten kiképzett vályús perem vízzel való feltöltése biztosítja a légmentes izolációt. Az edény térfogata  $18\,000\text{ cm}^3$ . A fémkeret átmérője 44 cm, 8 cm magas, melyből 5,5 cm van a talajban, és 2 cm a felszín feletti pereme. Mindegyik esetben 3 ismétlést alkalmaztunk a méréseknél.

A mérések kivitelezése, illetve a kapott adatok feldolgozása után úgy vélem, az így kifejlesztett nagykeretes (*fémkeret + mérőedény*) mérőszett alkalmas a legelő (gyeppel borított talajfelszín)  $\text{CO}_2$ -emissziójának mérésére.

#### **4.1.3. A kiskeretes módszer**

A speciálisan gyepfelszínre kialakított nagykeretes módszert kipróbáltam szántóföldi körülmények között is. Növényállományban való mérésekre nyilvánvalóan nem praktikus az eszköz, elsősorban méretei miatt (sortáv), mindazonáltal úgy véltem, hogy egy ugyanilyen, de kisebb méretű szett megfelelő lenne a növényállományokban, illetve a tarlókon való emissziós mérések kivitelezéséhez. Ezért a nagykeretes eszközt továbbfejlesztettem, kisebb edényt és keretet készítettem, így egy könnyen szállítható és kezelhető szettet kaptunk, amely véleményem szerint kiválthatja az általam korábban alkalmazott hengeres módszert. Az így kialakított műanyag edény térfogata  $4000\text{ cm}^3$ , a fémkeret átmérője 20 cm, és ugyanúgy 8 cm magas (14. ábra). Hat ilyen eszközt alakítottam ki, így egy-egy alkalommal több ismétlésben tudtam mérni  $\text{CO}_2$ -koncentráció értékeket.



**14. ábra:** Az eredeti méretű (balra) és a kisebb térfogatú (jobbra) mérőeszközök  
(Saját fotó)

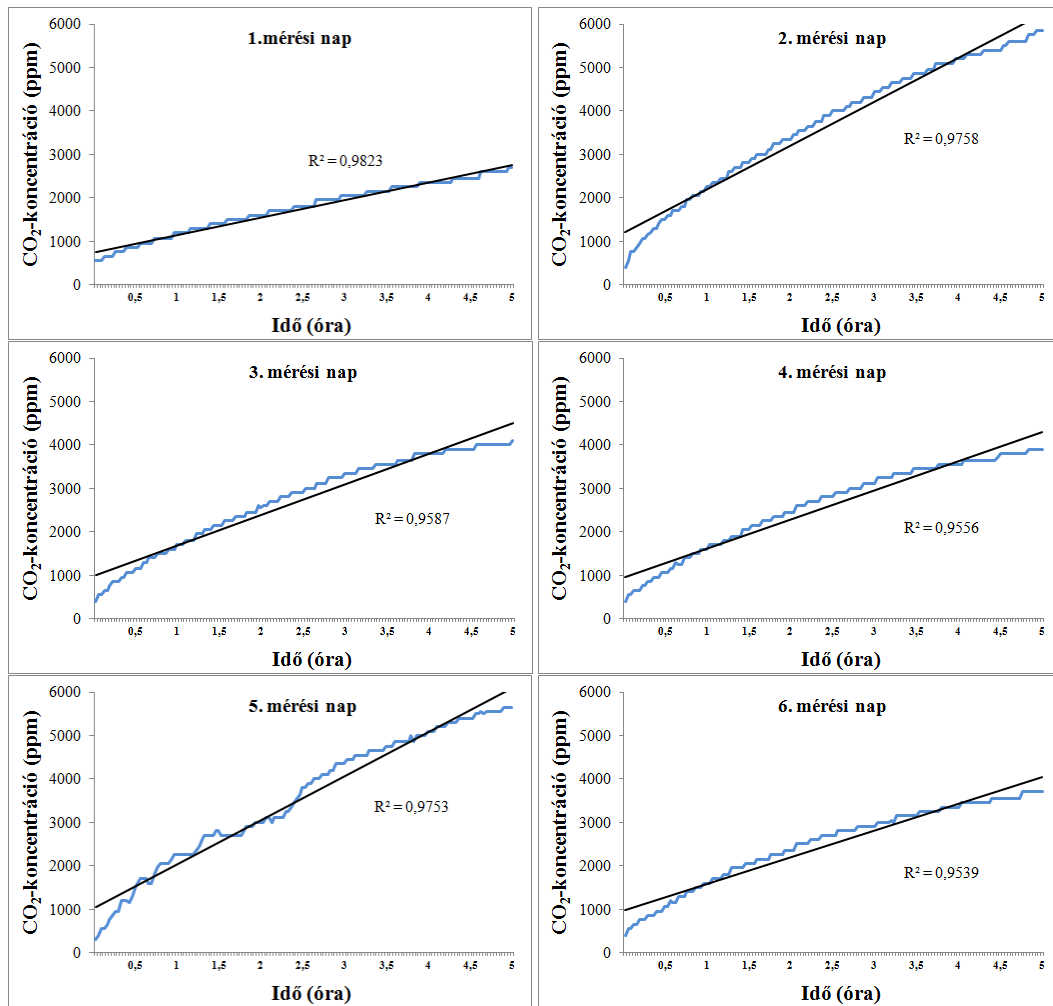
#### **4.1.4. Az ablakos módszer**

A GasAlertMicro5 típusú mérőműszer beszerzése lehetővé tette a CO<sub>2</sub>-koncentráció telítődésének mérését is. A mérés kivitelezése során a mérőműszert az inkubációs térbe helyeztem, viszont a teljesen fedett tér nem tette lehetővé a mérési nyomon követését folyamat (a műszer feltöltöttségének ellenőrzését, illetve a gázkoncentráció riasztási szintjének elérését). A probléma megoldására, az egyik műanyag edényünkön egy átlátszó plexi lap segítségével ablakot alakítottam ki, melynek segítségével betekintést nyertem az inkubációs tér belsejébe. Így már a telítődés mérés is eredményesebb volt.

#### **4.2. A CO<sub>2</sub>-koncentráció telítődésének vizsgálata az optimális inkubációs idő megállapítására**

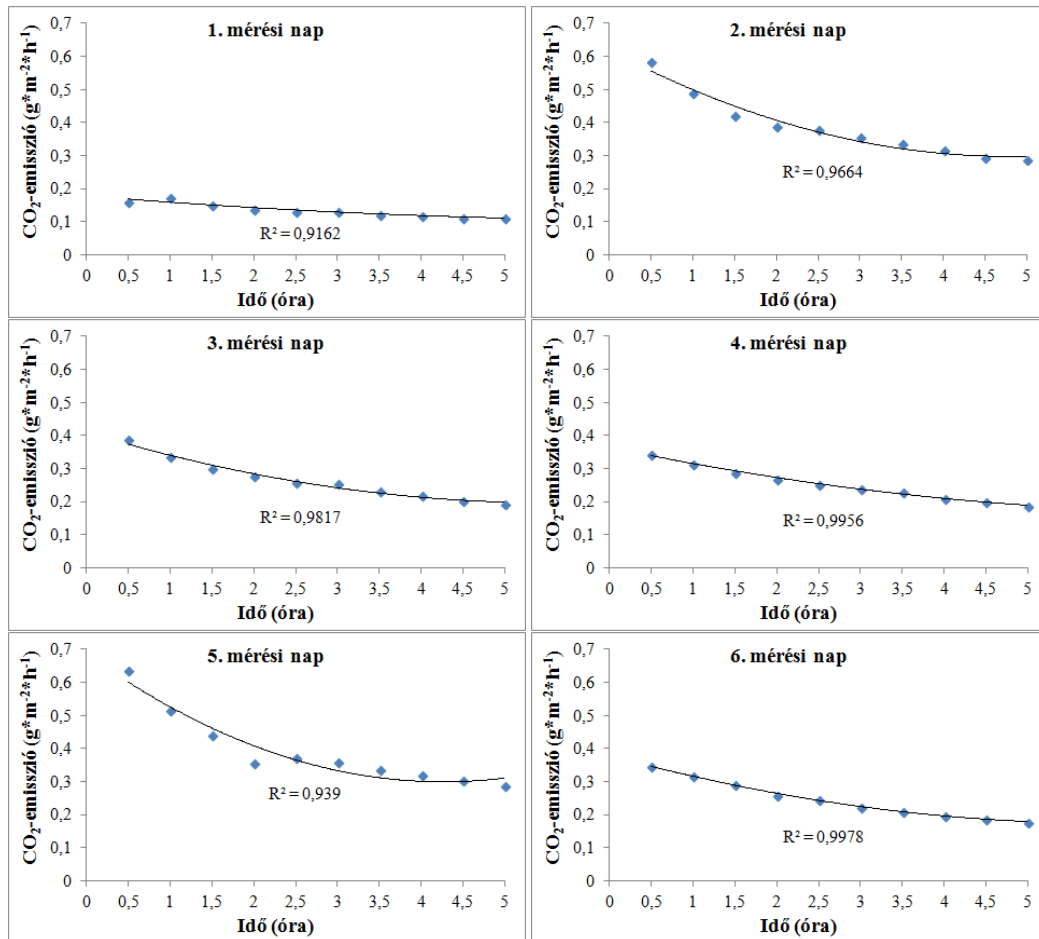
A GasAlertMicro5 típusú gázanalizátor tartozékai lehetővé tették a készülék átszerelését, vagyis a mintavevő csőnek és pumpának az eltávolítását és egy pumpa nélküli fej felszerelését, így a készülék, szivattyúzás nélkül, folyamatosan tudja mérni a tér szén-dioxid-tartalmát és a műszerben elhelyezett memóriakártyára 2 percenként tudja menteni az aktuális koncentráció értékeit. Az így átalakított készülékkel a lizimétereken beállított tenyészedényes kísérletben tudtam mérni az inkubációs térben a gázkoncentráció alakulását, illetve vizsgálni az időbeli telítődés folyamatát. A kísérlet beállítás során az is a célom volt, hogy egy optimális inkubációs időtartamot meghatározzak. Erre mérés technikai szempontból volt szükség.

A 15. ábrán 6 mérési nap eredményét mutatom be. Jól látható, hogy 5 óra hossza alatt egyik esetben sem állt be a teljes telítettség a lezárt légtérben, ezért próba jelleggel végeztem mérést 8 órahosszán keresztül is, ott is ezt tapasztaltam, de így az összehasonlíthatóság miatt, csak az 5 órás mérések eredményeit mutatom be. A nagyságrendi különbségek (a koncentrációs értékek szórása) a hőmérsékleti és öntözési különbségekből adódtak, de ebben a mérésorozatban nem az emissziót befolyásoló hatótényezők feltárása volt a célom. Az inkubációs téren belüli CO<sub>2</sub>-koncentráció változás linearitását, mely a telítetlen állapotot igazolja, minden esetben sikerült kimutatni. Látható, hogy bár koncentráció értékek szinte lineárisan nőnek az inkubáció időtartama alatt, a telítődési görbe a második mérési napon jobban illeszkedik a mért CO<sub>2</sub>-koncentráció értékekre ( $R^2=0,9758$ ).



**15. ábra:** A CO<sub>2</sub>-koncentráció alakulása 5 óra inkubációs idő alatt

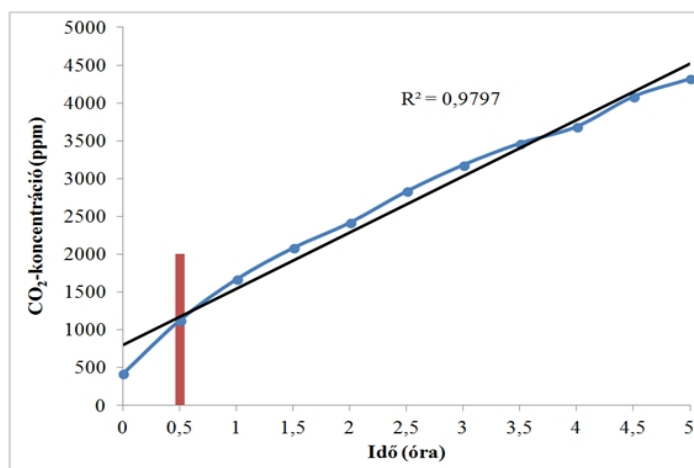
Ha egy zárt térben növekszik a gázkoncentráció, akkor az emisszió folyamatának időben csökkennie kell, hiszen transzmisszió (terjedés) is lassul a zárt térben. A talajfelszín pórusai és az inkubált tér közötti nyomáskülönbség elkezd kiegyenlítődni. Ennek igazolására kiszámítottam félórás időközönként (30 perc) az emissziós értékeket (a 2. mérési nap adataira) és a 16. ábrán jól megfigyelhető, hogy az értékek folyamatosan (polinomiális trendet követve) csökkennek az inkubációs idő növekedésével. A legmagasabb emissziós értéket az első félóra elteltével detektáltam.



**16. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása az idő függvényében

Ezek után a 6 nap mérési eredményeit 30 perces időközökre osztottam és a 6 mérési sorozat félóránkénti értékeit átlagoltam, és ezen átlag értékeket szintén ábrázoltam (17. ábra) és a linearitását szintén igazoltam. A grafikonon jól látszik, hogy a telítettségi görbe és a trendvonal inflexiós pontja 0,5 óránál található, vagyis addig a legnagyobb a görbe meredeksége. Ez azt mutatja, hogy félóránál hosszabb inkubációs időre a koncentráció-különbségen alapuló vizsgálatoknál sincs szükségünk, mert ennyi idő megfelelő a gázkibocsátás jellemzésére, valamint hosszabb időtartam alatt már nem a természetközeli állapotot modelleznénk. Megnéztem a 10 és 20 perces inkubációs időtartam adatait is, viszont ekkora időintervallumban még túl nagy szórást mutattak a koncentrációs értékek.





17. ábra: Az átlagos CO<sub>2</sub>-koncentráció alakulása 5 óra alatt az inkubációs térben

Az így kapott eredményekre támaszkodva alkalmaztam a koncentrációkülönbségen alapuló emissziós méréseknél a 30 perces inkubációs időtartamot.

### 4.3. Különböző talajművelési eljárásokkal művelt talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása

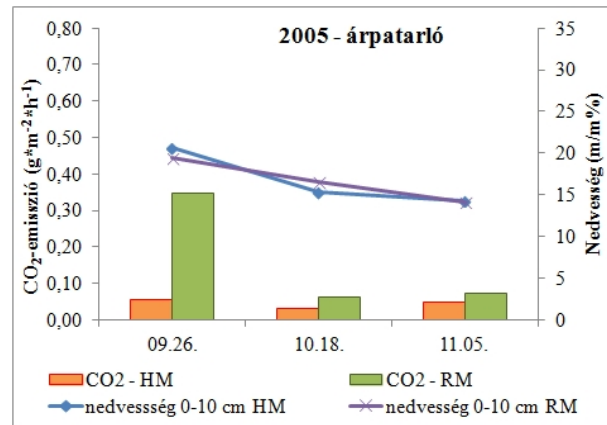
#### 4.3.1. A szántóföldi CO<sub>2</sub>-emisszió mérések eredményei

A komplex talajművelési kísérletben került sor a szabadföldi mérésekre. Itt 1997 óta folyik talajművelési kísérlet, nekem 2005-óta volt itt lehetőségem a CO<sub>2</sub>-koncentráció mérésére, hogy a különböző talajművelési módok szén-dioxid-emisszióban betöltött szerepét vizsgálhassam összehasonlító elemzésekkel. A legtöbb esetben az emisszió méréseket tarlón végeztem, betakarítás után. A talajművelési kísérletben mért eredményeket évenként külön szükséges értékelni, mert minden év, minden tenyészidőszak más körülményeket teremt, mind meteorológiai, mind növénytermesztési, mind a talajállapot szempontjából. Minden mérési időpontban legalább 3 ismétlésben mértem, az ábrákon az egyes mérési időpontokban mért mérések átlagát tüntettem fel.

A vizsgált hét év időjárása igen változatos volt (5. táblázat), kiváló alkalmat teremtve az évek közötti összehasonlításhoz.

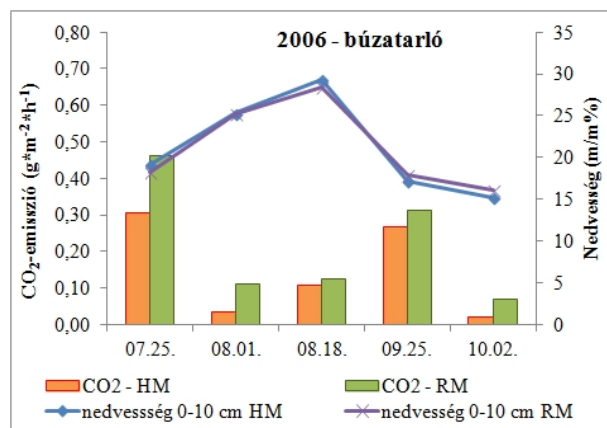
2005-ben három időpontban volt lehetőség a mérések kivitelezésére, mindhárom időpont öszre tehető (18. ábra). Magasabb emisszió értékeket mértem a redukált

parcellában minden alkalommal, és (SzD5% = 0,14; 0,02; 0,01) mindegyik időpontban szignifikánsnak tekinthető a különbség a művelési módok között. A 09.26-i időpontban a redukált művelésű parcella talajában a mikrobiológiai aktivitás őszi csúcsa is kimutatható volt, a későbbi időpontokban még lehetőség volt a talajélet számszerűsített kimutatására, de már a hőmérsékleti és nedvességviszonyok gyengülésének következményeként alacsonyabb értékeket tapasztaltam.



**18. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2005-ben

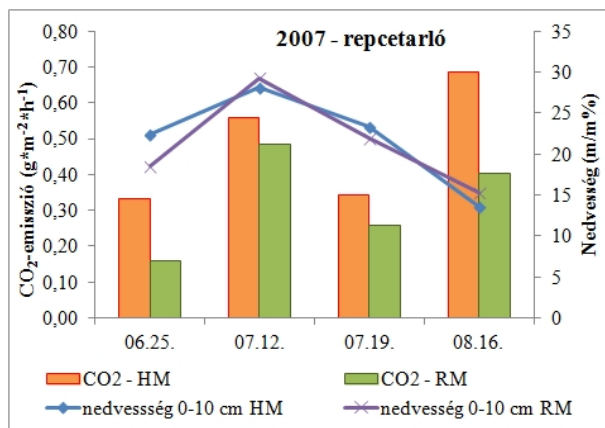
2006-ban öt mérést sikerült elvégezni (19. ábra). A 2006. júliusi 25-i adat aratás utáni érték, számottevő különbség látható búzatarló estén a hagyományos és a redukált művelésű parcellán kapott eredmények között. Majd a hagyományos parcella nyári szántása, illetve redukált tarló esetén diskripperezés után 3 nappal megismételtem a méréseket (08.01.). Augusztusban csapadék hullás után ismét végeztem méréseket (08.18.), hiszen a mérés előtt 6-7 nappal hullott csapadék, meghatározta a talaj aktuális nedvességtartalmát, ezen keresztül annak mikrobiológiai aktivitását, így közvetve a CO<sub>2</sub>-emissziót is. Szeptemberben a búzatarlóba megtörtént a repce elvetése. A kezelések után mért értékek még a kora őszi időszakban kicsúcsosodó biológiai aktivitást mutatják (09.25.), az októberi értékek (10.02.) pedig a mikrobiológiai aktivitás szezonális dinamikájának megfelelő csökkenést. 2006 őszén az átlagnál jóval kevesebb csapadék hullott térségünkben, ennek hatása a szeptember végén és október elején mért alacsony emissziós értékeket is befolyásolta. Minden időpontban szignifikáns a különbséget tapasztaltam a két művelési mód esetén a CO<sub>2</sub>-emisszió értékekben (SzD 5% = 0,08; 0,04; 0,01; 0,02; 0,02).



**19. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2006-ban

A kísérlet vizsgált parcelláiról 2007. június 21-én repce volt learatva, így a mérések idejére a terület tarlón maradt. A 20. ábrán négy mérési időpont adatai vannak feltüntetve, ezeket a méréseket 2007. június közepe és augusztus közepe között végeztem. A 2007-es év több szempontból is kirívó évnak számított. Az éves átlaghőmérséklet ekkor volt a legmagasabb (12,0 °C), illetve a talajhőmérséklet (-10 cm) maximális értéke is 2007-ben volt a legmagasabb (31,4 °C), a nyári forróság szempontjából, pedig emlékezetes lehet július második fele, amikor a léghőmérséklet közel egy hétig 40 °C közelében maradt. Ezt azért tartom fontosnak megemlíteni, mert a mérési időpontok a nyár ezen időszakára estek. Így az időjárás által kialakított feltételek sem kedveztek a talajélet számára. Az első mérést a betakarítás után 4 nappal végeztem el (06.25.) a releváns művelési beavatkozások előtt. A második mérést közvetlenül szárazzás után (07.12.), a harmadikat (07.19.) pedig redukált művelési rendszer esetén mulch finisher kezelés, hagyományos művelés esetén pedig gyűrűshengerezés után. A harmadik időpontban (07.19.) mért értékek jól mutatják, hogy a felszín lezárása csökkent a párolgást, a szervesanyagok lebomlását, és a szén-dioxid légkörbe távozását. Aszályos nyári napokon a száraz bolygatott talajok esetén nő meg a szén-dioxid-fluxus a művelés utáni napokon. Sajnálatos hiba volt (az eszköz meghibásodása), hogy augusztus 16-a után nem tudtam a kísérletben méréseket végezni, így „beérett” tarlóról nincs adat ebben az évben, amikor a kezeléshatás, a redukált művelés kedvező hatása kimutatható lenne. Az agrotechnikai beavatkozások után mért értékekből még nem derülhet ki a takarás/mulcsolás nedvességmegőrző hatása. A mulch finisher-rel való művelés hatására a felszínen hagyott növényi maradványok jelentős hányada a talaj felső rétegébe (0-10 cm) lett bekeverve, így annak felszintakaró hatása a mérés

időpontjában még kevésbé érvényesülhetett. Mindazonáltal a levegőzött, szervesanyagban dúsított és kedvező szerkezetűvé tett talajtól, a tapasztalataim alapján, várt magasabb CO<sub>2</sub>-emissziós értékeket tarlón ebben az évben nem tudtam kimutatni.

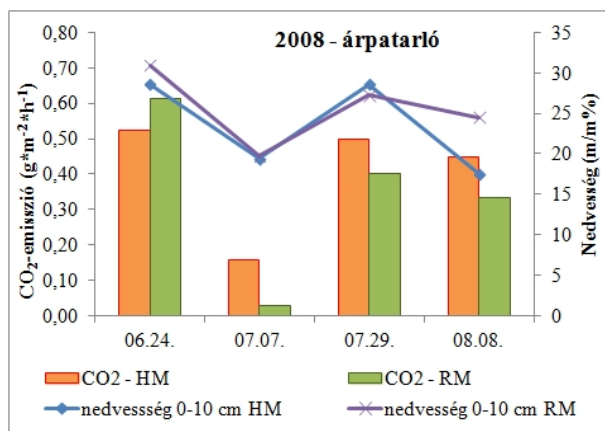


**20. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2007-ben

Mivel a talaj mikrobiális aktivitása, így CO<sub>2</sub>-emissziója is szoros összefüggésben van a talaj nedvességtartalmával, ezért a mérések kivitelezésekor figyelembe vettem a mérések közötti időszakokban lehullott csapadék mennyiségét is, hiszen a nedvességtartalom növekedése a talajélet aktivitását idézheti elő. Az aratás és a mérések megkezdése előtt 14 mm eső esett, az első és a második mérés között 42,5 mm, a második és a harmadik között nem esett csapadék, míg az utolsó kettő között 23,8 mm. Ezek a nyári időszakban viszonylag nagy számító mennyiségek biztosították, hogy a vizsgált időszakban végig meglehetősen magas CO<sub>2</sub>-emissziós értékeket mértem. A kísérlet egyéb eredményeit tekintve azonban annyi megállapítható erre az évre, hogy a terméseredményekben számottevő különbség nem mutatkozott a kezelések között. A gyökérvizsgálatok mélyebbre hatoló és nagyobb tömegű gyökereket fedtek fel a hagyományos művelésű területen, mely a gyökérlégzés nagyobb arányú jelenlétét mutatja a hagyományos művelés esetén.

2008-ban négy alkalommal végeztem méréseket a komplex talajművelési kísérletben (21. ábra). A legnagyobb szén-dioxid-kibocsátást a betakarítást követően a redukált művelés után tapasztaltam (06.24.), míg a felszíni lezárás miatt ez az érték jelentősen lecsökkent (07.07.). A forgatásos művelésű területeken tárcsa+gyűrűhengerezés, míg a redukált művelésű területeken mulch tillerezést hajtottak végre. Nyári napokon végzett

tárcsázás/forgatás esetén kitüntetett szerepe van az azonnali, lehetőleg a műveléssel azonos menetben végrehajtott elmunkálásnak. A felszín hengerrel történő lezárása csökkenti a párolgást, valamint a szervesanyagok lebomlását, és a szén-dioxid légkörbe távozását. A második (07.07.) és harmadik mérés (07.29.) közötti időszakban jelentős mennyiségű csapadék (több, mint 30 mm) esett, ami a vizsgált területre nem jellemző a nyári időszakban, ez a talajnedvesség-tartalom értékek megemelkedésében is látható. Ez biztosította, hogy meglehetősen magas CO<sub>2</sub>-emissziós értékeket mértem, az eső okozta megnövekedett biológiai aktivitásnak köszönhetően a redukált és hagyományosan művelt területeken. A negyedik mérést megelőzően (08.08.) nem volt jelentős csapadék mennyiség (15 mm), tartósan meleg és száraz idő volt.

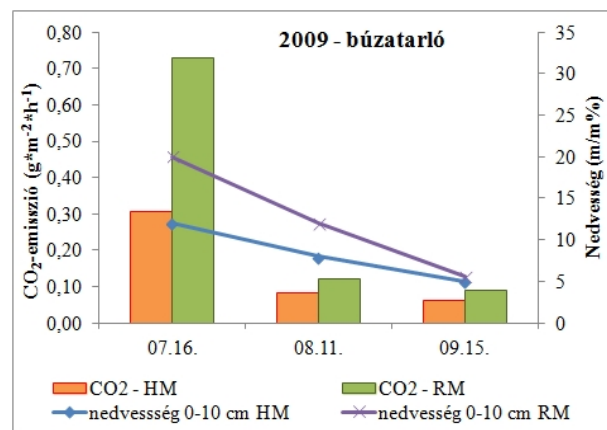


**21. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2008-ban

Míg az abszolút értékek nem csökkentek jelentősen, a talajművelési kezelésekből származó különbségek mindvégig megmaradtak, azaz a hagyományos művelésben mértem magasabb emisszió értékeket. Sajnos ebben az évben sem tudtam őszi méréseket végezni, így redukált művelés által előidézett talajélet számára kedvezőbb körülményeket teremtő hatást ebben az évben sem tudtam mérésekkel igazolni.

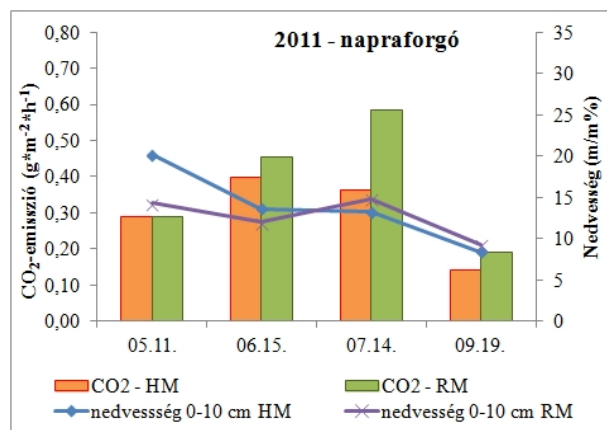
2009-ben folytattam aratás (07.14) után 2 nappal a méréseket búzatarlón (22. ábra). A legnagyobb szén-dioxid-kibocsátást ismételt betakarítást követően tapasztaltam, míg a felszíni lezárás (07.24.) miatt ez az érték jelentősen lecsökkent. A forgatásos művelésű területeken tárcsa + gyűrűshengerezést, míg a redukált művelésű területeket mulch finisherrel művelték. A vizsgált időszakban nagyon kevés csapadék hullott, az első és a második (08.11.) mérés közötti időszakban 38,5 mm, míg a második és a harmadik

mérés (09.15.) között 15,9 mm, ami az ilyenkor megszokottnál jóval alacsonyabb, valamint tartósan meleg és száraz idő volt ez a nedvességtartalmi értékek csökkenésében is megmutatkozott. Ez az egyik oka annak, hogy meglehetősen alacsony CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket mértem. Míg az abszolút értékek nem csökkentek jelentősen, a talajművelési kezelésekből származó különbségek mindvégig megmaradtak, azaz a kezeléshatás kimutatható, a redukált művelésű parcellán a száraz időjárás ellenére a nedvességmegőrző hatás és a magasabb szervesanyag tartalom révén kiegyensúlyozottabb volt mindegyik mérési időpontban a talajélet aktivitása. A kezelések közötti különbség minden esetben szignifikáns (SzD5% = 0,21, 0,02; 0,02).



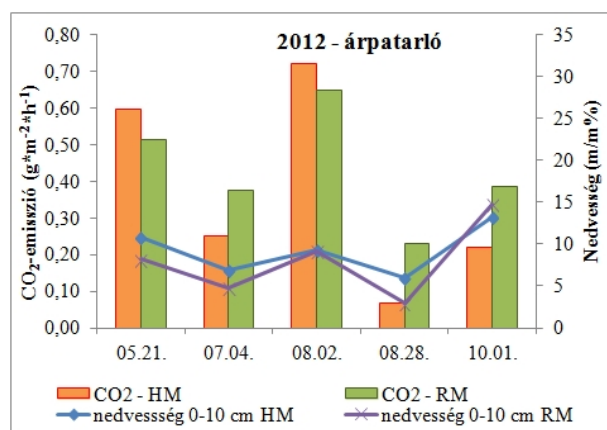
**22. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2009-ben

2011-ben 4 alkalommal volt lehetőségem mérni (23. ábra). Az egész táblán napraforgó került termesztésre ebben az időszakban, a mérések elején még pár leveles állapotú volt a növényállomány (05.11), valamint mértem a tenyészidőszak közepén (06.15. és 07.14.), az utolsó mérés pedig közvetlenül a betakarítás utáni (09.19) tarlón történt. Májustól júliusig a növények fejlődéséhez elegendő mennyiségű csapadék hullott, viszont augusztus eleje után nem volt nagyobb mennyiségű csapadék, aszályos időjárás következett, a tarlón végzett mérés eredménye ezt a száraz időszakot jellemzi. Összességében (az első mérési időpont kivételével) a redukált művelésű parcellán szignifikánsan is magasabb emisszió értékeket tapasztaltam, mint a forgatásra alapozott művelés esetén.



**23. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2011-ben

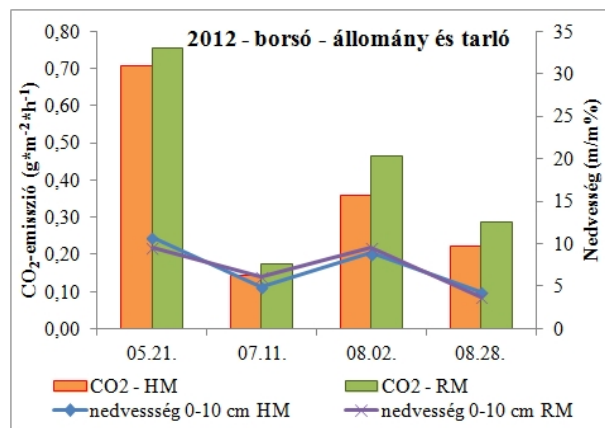
2012-ben két parcellán árpát, kettőn pedig takarmányborsót termesztettek a vizsgált időszakban. Az árpa parcellában (24. ábra) vizsgálatok elején még árpaállományban mértem (05.21.), majd a következő mérést közvetlenül a betakarítás után végeztem (07.04.). Az augusztusi mérések (08.02. és 08.28.) tarlón történtek, majd az utolsó (őszi) mérést (10.01.) már az őszi borsó elvetése után végeztem el. Hosszú száraz időszak után májusban és júniusban a növények fejlődéséhez elegendő mennyiségű csapadék hullott, viszont augusztus eleje után nem volt nagyobb mennyiségű csapadék, aszályos időjárás következett, a tarlón végzett mérések eredménye ezt a száraz időszakot jellemzi. Az őszi mérési időpont előtt hullott egy kevés csapadék, valamint a vetés és gyűrűshengerezés elvégzése után történt a mérés.



**24. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2012-ben árpatarlón

Az adatok jól mutatják, hogy az augusztus végi szárazságban tarlón és az őszi mérési időpontban tapasztaltam magasabb CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket a redukált művelésű parcellában, ekkorra tudott kialakulni a talajélet aktivitása számára a kedvező állapot a csökkentett művelési mód esetén.

Borsó indikátor növény esetében (25. ábra) is az első mérést (05.21.) növényállományban végeztem, majd legközelebb közvetlenül a borsó betakarítása (07.11.) után mértem. Az augusztusi méréseket (08.02. és 08.28.) már tarlókon végeztem. Májusban az állományban megfelelő nedvességtartalom mellett magasabb emisszió értékeket tapasztaltunk, mint a későbbi időszakban, viszont ekkor a kezeléshatások még nem voltak egyértelműen kimutathatóak. A betakarítás utáni értékek nagyon alacsonyak voltak, viszont az augusztus elejei mérés (08.02.) előtt hullott csapadék hatása a már kimutatható volt az emelkedett emisszió értékekben. Augusztusban összesen 4,1 mm csapadék hullott és a szárazsághoz nagy meleg társult, ami nem kedvezett a mikrobiológiai aktivitásnak. A redukált művelésű parcellán végig magasabb emisszió értékeket tapasztaltam, mint a hagyományos művelés esetén. Ez redukált művelés talajnedvesség megőrző szerepét és szervesanyag többletét is bizonyítja. A nedvességmegőrzés a talaj felső 10 cm-es rétegének nedvességtartalmi értékeiben nehezen mutatható ki.



**25. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2012-ben borsó esetén

A talaj szén-dioxid-kibocsátása a nedvességtartalom növekedésével szoros összefüggésben van, hiszen a talajok szervesanyag tartalmának változását (felhalmozódását illetve csökkenését), így a talajban élő mikroszervezetek



életkörülményeit a környezeti feltételek (nedvesség-tartalom, hőmérséklet, kémhatás stb.) döntően befolyásolják. A talaj benedvesítése után a CO<sub>2</sub>-termelés megnövekedhet és ez a megnövekedett CO<sub>2</sub>-termelés általában 2-6 napig tart. A mérések kivitelezésére legtöbbször a csapadék hullást követő 2-6 napon került sor, hogy jól mérhető eredményeket kapjak, mert kiszáradt talajnál a rendelkezésemre álló eszközök segítségével nehezen mutatható ki emisszió. A szakirodalmi leírásokkal összecsengően a beavatkozások magasabb emisszió értékeket eredményeztek közvetlenül a betakarítás és szárzúzás után (például 2007-ben), legmagasabb CO<sub>2</sub>-kibocsátása a hagyományosan, forgatásra alapozott műveléssel kialakított parcella talajának volt ezekben a mérési időpontokban. A mérsékelt talajbolygatás és a mikrobiológiai aktivitás szempontjából kedvezőbb talajállapot miatt, a redukált művelési mód a hagyományos, forgatásra alapozott művelési módhoz képest időben kiegyensúlyozottabb, de mértékében magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót idézett elő.

Az egyes időpontokban a kezelések különbségében szignifikáns különbség figyelhető meg, viszont az összes mérési adat felhasználásával, a szén-dioxid-emisszió és a talajművelés közötti statisztikai elemzések eredményeiből a művelési különbségek eredményei egyértelműen nem mutathatók ki. A CO<sub>2</sub>-emisszió és a talajművelés közötti összefüggés vizsgálatára t-próbát végeztem el. Mivel a t-próba csak akkor végezhető el, ha a független minták szórása megegyezik, a t-próba elvégzése előtt ezt is vizsgáltam a Levene teszt F próbájával. Az F próba alapján a minták szórása megegyezett, az F értéke kicsi (0,013) a szignifikanciaszint magas (0,909), így az összefüggés vizsgálatára a t-próba megfelelőnek bizonyult (10. táblázat).

**10. táblázat:** A t-próba eredményei a CO<sub>2</sub>-emisszió és a talajművelés között

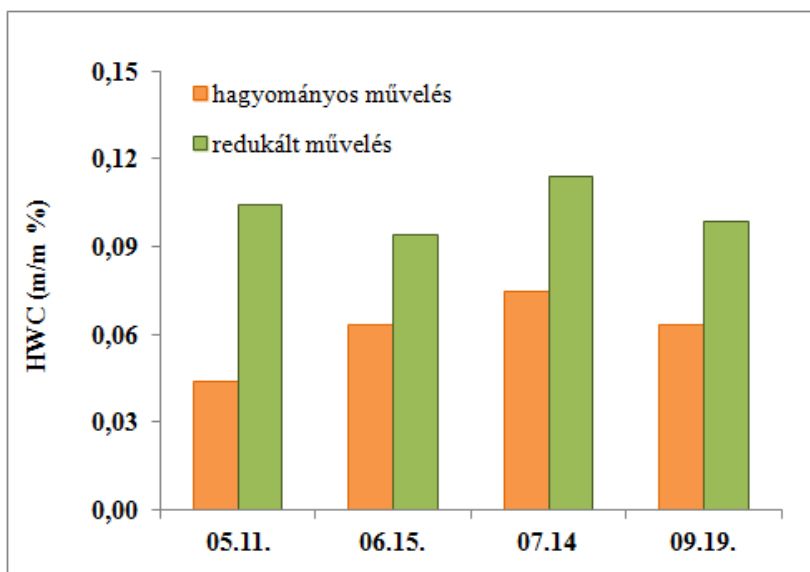
Independent Samples Test									
	Levene's Test for quality of Variance		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
CO2_emiss: Equal variance assumed	.013	.909	-.766	72	.446	-.03630	.04739	-.13076	.05816
CO2_emiss: Equal variance not assumed			-.766	71.978	.446	-.03630	.04739	-.13076	.05817

A t-próba szignifikanciaszintje az elfogadott 5%-os határ fölé esik (0,446), így nem vethetem el a nullhipotézist, tehát a két kezelésben nincs statisztikailag bizonyítható különbség, amit magyaráz az, hogy különböző időpontokban (eltérő időjárési viszonyok és talajállapot), különböző körülmények között végeztem a méréseket és a műveléshatás statisztikailag nehezen mutatható ki.

#### ***4.3.2. A labilis szervesanyag frakció vizsgálatának eredménye***

A talaj forróvíz-oldható szén frakcióját is vizsgáltam, hogy a talajművelési módoknak a talaj szénkészletére gyakorolt hatását kimutathassam. A forróvíz-oldható C-tartalom a talaj szerves C-készletének egyik frakciója, mely szorosan összefügg a biomasza mennyiségével. A talajok széntartalma függ az adott hely éghajlati, hidrológiai és biológiai adottságaitól, a talaj szerkezetétől, és a talajhasználat, valamint a művelési mód is jelentősen befolyásolja annak mennyiségét és anyagi összetételét. A könnyen mineralizálódó frakció mennyisége közvetlenül utal a talaj termékenységére. A földhasználat módjában és az agrotechnikai beavatkozásokban eszközölt változtatások befolyásolják a talaj szerves C-készletét és a szervesanyagok mennyiségét és minőségét is. BANKÓ (2008) szerint a talajművelés felhagyásával elsődlegesen a labilis szerves frakció aránya növekszik a talajban.

A hagyományos művelés elemei - mint pl. a szántás - elősegítik a talaj szervesanyag tartalmának csökkenését a szármaradványok talajba keverése, felaprózása és a levegőztetés növelése útján. A csökkentett műveletszám, sekélyebb művelés - nagyobb mennyiségű, a talaj felszínén maradó és sekélyen bekevert - növényi maradványt hagy, így a talaj szervesanyag vesztesége kisebb, tehát magasabb lehet a labilis szervesanyag aránya is. A 26. ábra mutatja, hogy redukált művelés esetén a labilis szervesanyagok mennyisége a kísérlet teljes időtartamában, minden mérési időpontban, jelentősen meghaladta a hagyományos művelés alatt álló területeken mért mennyiségeket. Ugyanez a műveléshatásból eredő különbség a CO<sub>2</sub>-emisszió vizsgálatokkor nem volt ennyire egyértelműen kimutatható.



26. ábra: A talaj forróvíz-oldható C-tartalmának (HWC) változása a vizsgálati időszakban hagyományos és redukált művelési rendszerben (2011)

A varianciaanalízis (11. táblázat) a talajművelés szignifikáns hatását igazolja, sig. <0,05 a forróvíz-oldható széntartalom esetében. Statisztikailag is igazolható volt, hogy a redukált művelés a hagyományos műveléshez képest gazdagította a talajt könnyen mineralizálható szervesanyagokban. A redukált művelés talajéletre gyakorolt kedvező hatását a tenyészidőszak közepétől lehetett igazán kimutatni, ekkortól érvényesül igazán ezeken a talajokon a szervesanyag tartalom megőrzése, ami által javul a levegőgazdálkodás, a szellőzőtség, így a víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságok jobb feltételeket teremtenek a mikrobiológiai tevékenységhez.

11. táblázat: A varianciaanalízis (Anova) eredményei a forróvíz-oldható C-tartalomra (HWE)

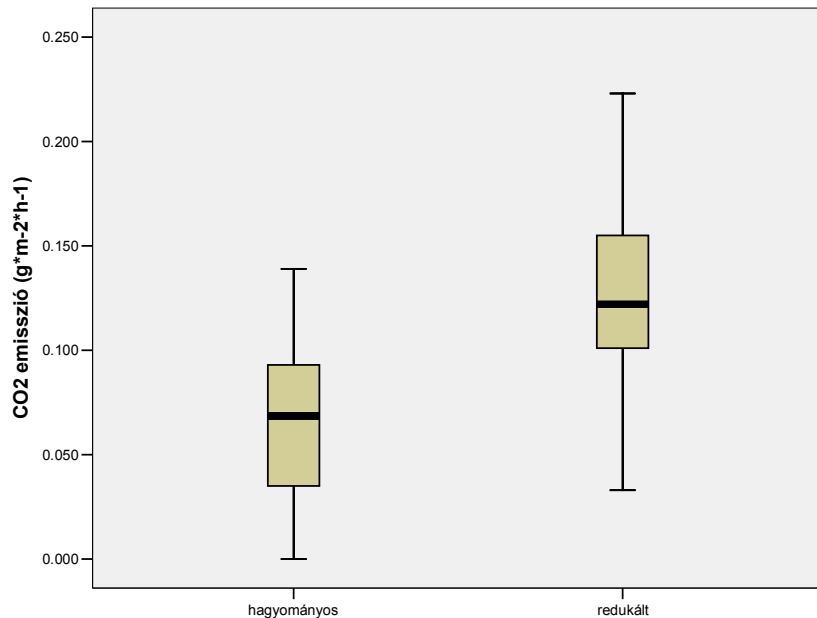
	Négyzetösszeg	df	Négyzetes átlag	F	Sig.
Kezelések között	0,007	1	0,007	18,516	0,001
Kezelésen belül	0,005	14	0,000		
Összes	0,012	15			

#### 4.3.3. Az eredeti szerkezetű talajoszlopokon beállított kísérlet eredményei

A komplex talajművelési kísérlet tábláiról bolygatatlan talajmintákat vettünk a különböző művelésű (hagyományos és redukált) parcellákból, hogy a talajművelés emisszióban betöltött szerepét is vizsgálhassam. Az eredeti szerkezetű mintákon végzett

emisszió mérések adatainak értékelése során különbséget tapasztaltam a hagyományos művelésű és a redukált művelésű parcellákról vett minták CO<sub>2</sub>-kibocsátásában.

A 27. ábrán jól látható, hogy a redukált művelésű talajok CO<sub>2</sub>-emissziós értékei magasabbak voltak (átlag 0,123 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), mint hagyományos művelés esetén (átlag 0,067 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), a szórásuk 0,34 és 0,45 hasonló, vagyis a redukált talajművelés során kedvezőbb feltételek alakulhatnak ki (szerkezet, légjárhatóság, szervesanyag tartalom) a mikrobiológiai aktivitáshoz.



**27. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a talajművelés függvényében

Az eredetű szerkezetű redukált művelésű területről származó minták több szármaradványt, szervesanyagot tartalmaztak, azonos körülmények között, azonos hőmérsékleten, azonos nedvességtartalom mellett ezekben a talajszlopokban jobb feltételek teremtődtek a mikrobiális tevékenységhez. A szerkezet sem volt összetömörödve, a magasabb szervesanyag, a megfelelő hőmérséklet és nedvességtartalom élénkítette a talajéletet.

A két kezelés adatainak elemzésére t-próbát végeztem (12. táblázat). Az átlagok különbözőek, a szórások közt nincs jelentős különbség. A statisztikai próba elvégzése

után megállapítom, hogy a próba szignifikanciája az elfogadott 5%-os határ alá esik (0,000), tehát a két kezelésben eltérés van a CO<sub>2</sub>-emisszió tekintetében.

**12. táblázat:** A t-próba eredményei a CO<sub>2</sub>-emisszió és a talajművelési kezelések között

művelés		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CO2 emisszió	hagyományos	62	.06680	.034015	.004320
	redukált	57	.12323	.045297	.006000

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
CO2 emisszió	2.935	.089	-7.723	117	.000	-.056430	.007306	-.070900	-.041960
			-7.633	103.562	.000	-.056430	.007393	-.071091	-.041768

A behozott talajoszlopok között csak abban volt különbség, hogy eltérő művelésű területről származtak, a továbbiakban azonos körülmények között voltak (szobahőmérséklet, azonos nedvességtartalom), így a CO<sub>2</sub>-kibocsátásban tapasztalt különbséget, a művelésnek tulajdonítom. A hagyományos talajoszlopokat valószínűleg tömörödés, elporosodás jellemezte, és szervesanyagban szegényebbek voltak, míg redukált művelés kevésbé szellőzteti, szárítja a talajokat, ily módon tartósabb mikrobiális tevékenység tud benne kialakulni, és a mikrobák számára elérhető szerves széntartalom mennyisége magasabb bennük. Az aerob mikroszervezetek tápanyagfeltáró tevékenységéhez kellő nedvességtartalom és hőmérséklet mellett levegőzöttség is szükséges. A talaj szerkezetét kímélő művelés alkalmazásakor, a szervesanyagok lebontása és felhalmozódása is kiegyenlítetté tehető, és mindez hozzájárulhatott az emisszióban tapasztalt különbséghez.

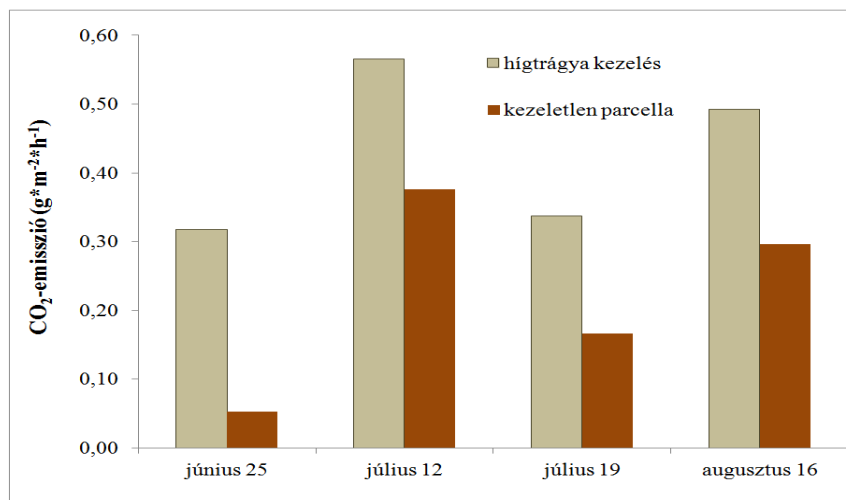
#### 4.4. A trágyázás, növénytáplálás, talajkondicionálás hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára

##### 4.4.1. Hígtrágyázás hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára

A műveléssel létrehozott talajállapot-változások befolyásolják a biokémiai és biológiai folyamatokat. A talaj termékenységének növelése céljából a trágyázási módokat (az

istállótrágyázástól a zöldtrágyázásig) lehet kombinálni a talajművelési módszerekkel (GYURICZA et al., 2006).

Azzal a céllal, hogy vizsgáljuk a különböző talajok válaszát a szerves trágyázásra is, 2006 őszén elindítottunk egy másik kísérletet is a talajművelési kísérletben. Hígrágya került kijuttatásra mind a hagyományos mind a redukált művelési rendszer parcelláira. Az emisszió vizsgálattal célom volt a kezelések hatásának kimutatása. Nyilvánvaló, hogy szerves- illetve szervesetlen anyag hozzáadása jelentősen befolyásolja a talaj mikrobiológiai aktivitását, így jelentősen hozzájárul az alternatív termesztési módszerek eredményességéhez, a 28. ábrán is látható, hogy a trágyával kezelt területek emissziója minden esetben magasabb a kezeletlenhez képest minden mérési időpontban.



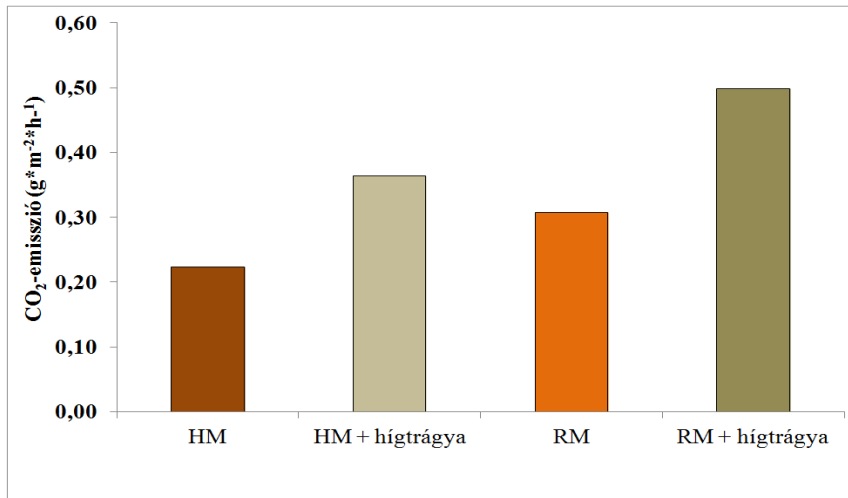
28. ábra: A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a trágyakezelésekben (2007)

A 13. táblázatban közölt statisztikai adatok is azt mutatják, hogy a hígrágyával kezelt parcellában átlagosan (0,43) és maximálisan (0,57) is magasabb emisszió értékeket tapasztaltam. A kezeletlen parcellában mért értékek minimuma (0,05) és maximuma (0,38) is alacsonyabb volt, míg a szórásuk (0,14) nagyobb volt a kezelt parcellában mért értékek szórásához (0,12) képest.

13. táblázat: A CO<sub>2</sub>-emisszió és a kezelések közötti összefüggések statisztikai adatai

CO <sub>2</sub> -emisszió (g m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	Várható érték	Standard hiba	Medián	Szórás	Minimum	Maximum
<i>Hígrágya kezelés</i>	0,43	0,06	0,41	0,12	0,32	0,57
<i>Kezeletlen</i>	0,22	0,07	0,23	0,14	0,05	0,38

A 29. ábrán bemutatom, hogy mindkét vizsgált talajművelési rendszerben megemelkedett CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket mértem a trágyakezelésben. A szervesztrágyakezelés minden esetben stimulálta a talajban lejátszódó mikrobiológiai folyamatokat.



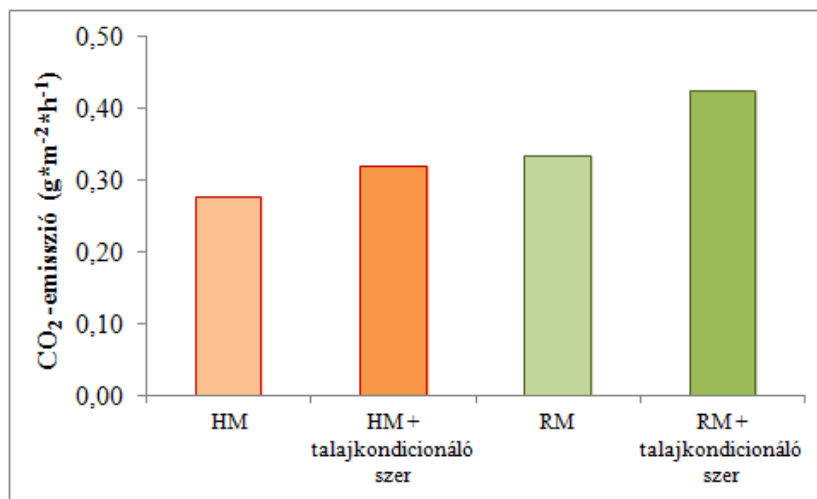
**29. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a trágyakezelésekben különböző talajművelés esetén (2007)

A szén talajba juttatásának egyik módja ez is, amikor biológiailag lebontható szervesanyagokat terítünk szét a mezőgazdaságilag művelt parcellán. A talajban meglévő tápanyagok, a bejuttatott hígtrágya, a tarlómaradványok elbomlásának és érvényesülésének előfeltétele a kedvezően laza állapot kialakítása. Viszont az aerob mikroszervezetek tápanyagfeltáró tevékenységéhez kellő nyirkosság, levegőzöttség és hő szükséges.

#### **4.4.2. A talajkondicionáló-szer hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára**

A talajművelési kísérletben először 2011-ben alkalmazták a talajkondicionáló szert. A gyártó szerint a termék serkenti a talaj biológiai aktivitását. A termék leírása szerint a ellátja a talajt a szükséges anyagokkal, hogy annak humuszszférája a megfelelően működjön, növeli a talajban élő mikro- és makroorganizmusok tevékenységének aktivitását, ennek kimutatására végeztem CO<sub>2</sub>-emisszió méréseket a kísérletben.

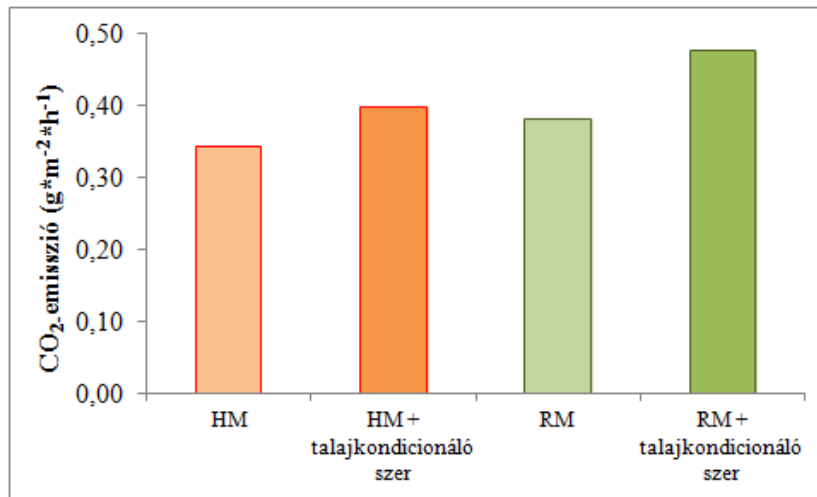
A 30-32. ábrákon a talajművelési kísérlet parcelláinak talajában mért CO<sub>2</sub>-kibocsátás átlagértékeit mutatom be a 2 év alatt mért eredményeim alapján. Amint az a 30. ábrán jól látszik, a CO<sub>2</sub>-emisszió a redukált művelésű parcella talaján magasabb volt, a hagyományos művelésű talajon mérttel szemben. Ez alátámasztja a Kutatóintézet munkatársainak korábbi méréseredményeit, miszerint a redukált művelés a talajban élő mikroorganizmusok számára kedvezőbb életfeltételeket biztosít (elsősorban a magasabb szervesanyag szint és a nedvességmegőrzés miatt), így aktívabb talajéletet, ennek következtében magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót eredményezve.



**30. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a kezelésekben 2011-ben búzatarlón

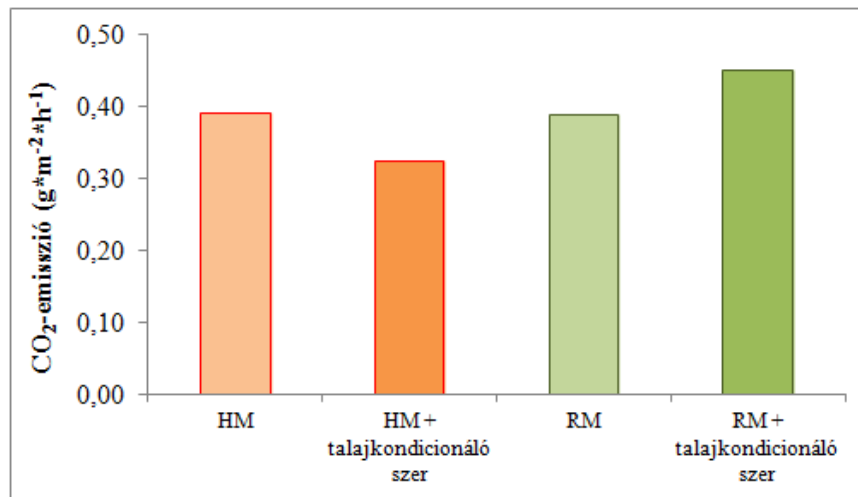
A talajkondicionáló szer a talaj fizikai-kémiai paramétereit javítja (porozitás növelése, jobb vízbefogadó képesség, jobb levegőzöttségi viszonyok) és ezáltal a biológiai életét (mikroflóra és fauna egyensúly, jobb szervesanyag újrahasznosítás) kedvezően befolyásolja, így aktívabb talajéletet, magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót vártam ezen kezelések esetében. 2011-ben búzatarlón kapott eredmények ezt igazolták is mind a hagyományos, mint a redukált művelésű parcellán. Nem volt okom azt feltételezni, hogy a különbségeket valamilyen más tényező okozza, mert a mérési körülmények azonosak voltak. 2012-ben árpatarlón (31. ábra) hasonló eredményeket kaptam.





**31. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a kezelésekben 2012-ben árpatarlón

Viszont 2012-ben borsótarlón végzett vizsgálatokban látható (32. ábra), hogy a talajkondicionáló szer a hagyományos művelésű parcellán nem tudta ugyanúgy kifejteni hatását, mint a redukált művelésű parcellán.



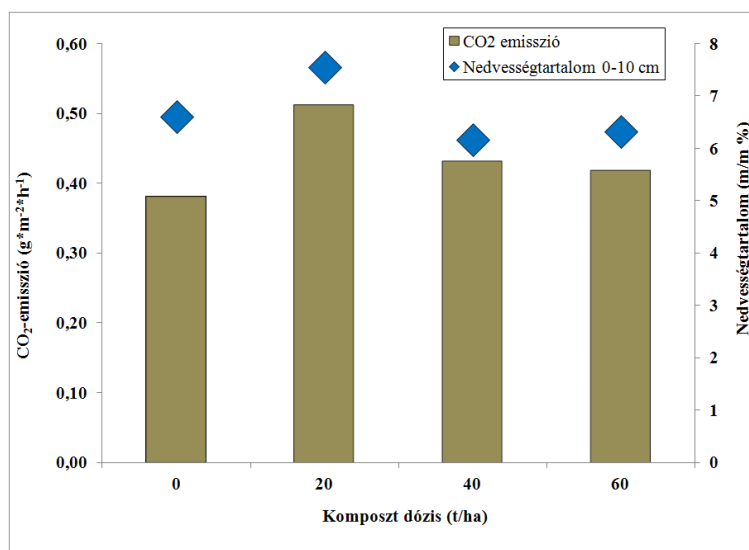
**32. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a kezelésekben 2012-ben borsótarlón

Mindezek alapján megállapítom, hogy a talajkondicionáló szer talajéletet befolyásoló hatása redukált művelésű talajban hamarabb érvényesült, mint a hagyományos művelésű területen. A gyártó szerint a termék hatása lassan érvényesül (3 év után) ezért lehetséges az, hogy 2012-ben a borsó elővetemény után hagyományos művelésű területen még nem tudtam igazolni a talajkondicionáló szer pozitív hatását. Ahhoz, hogy a hagyományos parcellán kifejtett pozitív hatást ki lehessen egyértelműen mutatni, a

termék további használata és további vizsgálatok szükségesek. A talajkondicionáló szer alkalmazása viszont ez esetben is jelentősen befolyásolta a talaj mikrobiológiai aktivitását, és a redukált talajművelési mód eredményességéhez bizonyítottan hozzájárult.

#### 4.4.3. Juhtrágya alapú komposzt hatása a talaj CO<sub>2</sub>-forgalomára

Mivel térségünk szikes talajainak jórészt gyepterületként hasznosítják, így a fűhozam javítása érdekében ajánlott a gyep trágyázása. Méréseket végeztem három ismétlésben a három különböző komposzt dózissal kezelt és a kezeletlen (kontroll) parcellákon gyepterületen. Az eredményeket az 33. ábrán foglaltam össze.



33. ábra: A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a komposztkezelésekben

Amint az ábra mutatja, a kezeletlenhez képest megemelkedett CO<sub>2</sub>-emisszió jellemezte a kezelt gyepcellák talaját, ami fokozott gyökérlégzésre, illetve mikrobiológiai aktivitásra utal. A legmagasabb értéket a 20 t/ha komposzt alkalmazásánál tapasztaltam, ebben a kezelésben volt a legmagasabb a feltalajtalaj nedvességtartalma is, ami bizonyítja, hogy a mikrobiális tevékenység fokozásához – a szervesanyag tartalom mellett – megfelelő hőmérséklet és nedvességtartalom egyaránt szükséges.

Az eredmények azt mutatják, hogy a juhtrágya alapú tápkomposzt extenzív gyepen javítja a talaj vizsgált fizikai és biológiai tulajdonságait. Adott időjárási körülmények között a kísérletben alkalmazott dózisek közül a 20 t/ha adag bizonyult

leghatékonyabbnak. A 40 és 60 t/ha komposztadagok is növelték a talaj CO<sub>2</sub>-emisszióját és a feltalaj nedvességtartalmát, de nem akkora mértékben, mint a 20 t/ha-os adag.

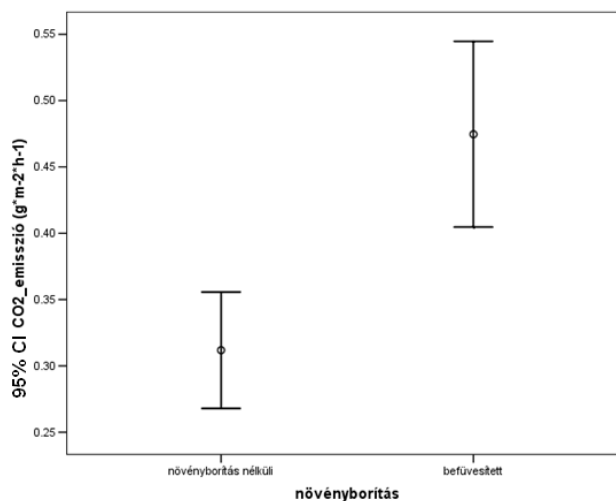
#### **4.5. A környezeti tényezők hatása a talajlégzésre**

Számos környezeti tényező befolyásolja a talajlégzést (ami a heterotróf – főként mikrobiális- és az autotróf – gyökér-respiráció összege). Ezek közül a tényezők közül is legfontosabb a talaj hőmérséklete, nedvességtartalma, a szubsztrátok hozzáférhetősége (RUSTAD et al., 2001, KIRSCHBAUM, 2004, REICHSTEIN – BEER, 2008). Ezért ebben a fejezetben az adott környezeti változók talajlégzésre gyakorolt hatásainak elkülönítését és számszerűsítését vizsgálom.

A levegő és a talaj hőmérséklete a talaj borítottsága, valamint a talaj nedvességállapota és a talajok CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggéseket az átfolyóvizes liziméterekben beállított kísérletekben vizsgáltam. A vizsgálatban 3 év során 6 liziméter egységen mért adatokat vettem figyelembe.

##### ***4.5.1. A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában***

A gyökérlégzés szerepét az átfolyóvizes liziméterekben beállított kísérletben volt lehetőségem tanulmányozni. Az edények felét befűvesítettük, a növényeket rendszeresen visszavágtam, a többi edény növényborítás nélkül maradt. A vizsgált 6 egységben ekkor nem volt az öntözési dózisokban különbség, így a befűvesített egységekben a növények állapota megegyezett, rendszeresen le volt nyírva, így az emissziós értékekben jól lehetett vizsgálni a gyökérlégzés szerepét. A következő *34. ábrán* a növényborításos illetve a növényborítás nélküli edényekben tapasztalt CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket mutatom be. Az ábrán az általam mért emisszió értékek láthatóak 95%-os konfidencia intervallum mellett.



**34. ábra:** CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a növényborított és a növényborítás nélküli edényekben

A diagram egyértelműen mutatja, hogy a növényborítás nélküli edényekben jelentősen kisebb emisszió értékek voltak tapasztalhatóak (átlag 0,294 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), mint a befűvesített edényekben (átlag 0,442 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), az értékek szórásánál is hasonló volt a helyzet. Mivel a 2 intervallum nem fedi egymást, így 95%-os valószínűséggel az átlagok közötti különbség valódi, ami a növényborításnak köszönhető. A növényborított talajfelszín emisszió értékei magasabbak, hiszen ezekben az értékekben a gyökérlégzés és a talajban lejátszódó mikrobiológiai bomlásból származó CO<sub>2</sub>-kibocsátás együttesen szerepel. A két adatsor közötti különbség igazolására a t-próbát is alkalmaztam (14. táblázat).

**14. táblázat:** A t-próba eredménye a CO<sub>2</sub>-emisszió és a növényborítás kezelések között

**Independent Samples Test**

	Levene's Test for quality of Variance		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
CO2_emissz: Equal variance assumed	34.902	.000	-3.519	190	.001	-.15076	.04284	-.23527	-.06625
Equal variance not assumed			-3.360	121.803	.001	-.15076	.04487	-.23959	-.06193

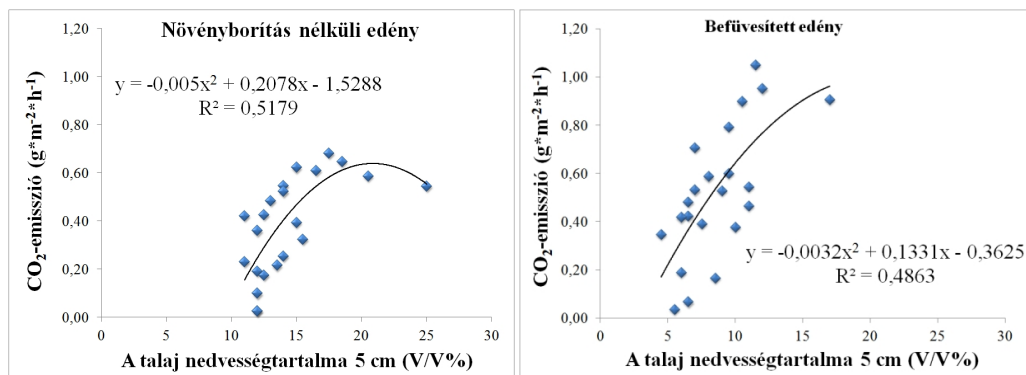
A t-próba szignifikanciája az elfogadott 5%-os határ alá esik, tehát a két mintában eltérés van, vagyis a növényborításos edényekben a gyökérlégzés szerepet játszik a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójában.

#### ***4.5.2. A talaj nedvességállapota és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggések***

Azok a folyamatok, amelyek a szén oxidációját befolyásolják, igen komplexek. A felszínhez közeli talajrétegek nedvességtartalma általában szezonális dinamikát mutat, ezek a rövid tartamú impulzusok nagyon sokféle talajra jellemzőek. Az Alföldön a nyári időszakban a talajok gyakran kiszáradnak és a jellemzően nem meghatározott rendszerességgel hulló nyári záporok hatására bekövetkező benedvesedés jelentős mértékben hozzájárul a talaj felszínéről a légkörbe távozó CO<sub>2</sub> összes mennyiségéhez. A nedvességtartalom növekedésével a mikrobiológiai aktivitás maximumának elérése után éppen az oxigén diffúziójának csökkenése jelenti a legfőbb korlátot. A talaj nedvességtartalmának szerepét az átfolyóvizes liziméterekben beállított kísérletben volt lehetőségem vizsgálni. A meglévő adatok felhasználásával, statisztikai módszerekkel (varianciaanalízis, regresszió elemzés) kerestem összefüggést a talaj nedvességtartalma és a CO<sub>2</sub>-emissziója között.

Mind lineáris, mind exponenciális valamint a polinomiális összefüggés illesztését elvégeztem a mért CO<sub>2</sub>-emisszió és a talaj nedvességtartalmi értékeire, és megállapítottam, hogy a két vizsgált tulajdonság között a polinomiális kapcsolat tűnt szorosabbnak. Egy ponton túl az egyenes elhajolna, ezért a lineáris összefüggés illesztése itt nem célszerű.

A 35. ábra a függő változó (CO<sub>2</sub>-emisszió) értékeit tartalmazza a független változó függvényében. Világosan látszik, hogy az illeszkedés nem tökéletes, ugyanakkor a trend fellelhető.



**35. ábra:** A nedvességtartalom és a CO<sub>2</sub>-emisszió közötti összefüggés különböző talajtakarások esetén

A bemutatott két a talaj nedvességtartalomra és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti determinisztikus együttható (R<sub>2</sub>) értékei értelemszerűen 0,51 és 0,48 voltak, ami a közepes erősségű kapcsolatot jelzi, a 15. táblázatban látható egy F próba, amelynek szignifikanciája (0,002) a kapcsolat létét engedi sejtetni.

**15. táblázat:** A varianciaanalízis eredménytáblázatai a CO<sub>2</sub>-emisszió és a növényborítás kezelések között

VARIANCIAANALÍZIS (növényborítás nélküli edény)					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F szignifikanciája</i>
Regresszió	1	0,338	0,338	12,388	0,002
Maradék	20	0,545	0,027		
Összesen	21	0,882			

VARIANCIAANALÍZIS (befűvesített edény)					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F szignifikanciája</i>
Regresszió	1	0,768	0,768	17,552	0,000
Maradék	20	0,876	0,044		
Összesen	21	1,644			

A víz a növényi növekedés fokozásán keresztül, közvetlen is hat a talajlégzésre, egyrészt nagyobb mennyiségű szervesanyag visszajutását eredményezi a talajba, másrészt fokozza a gyökérlégzést. A befűvesített edényben nagyobb CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket tapasztaltam.

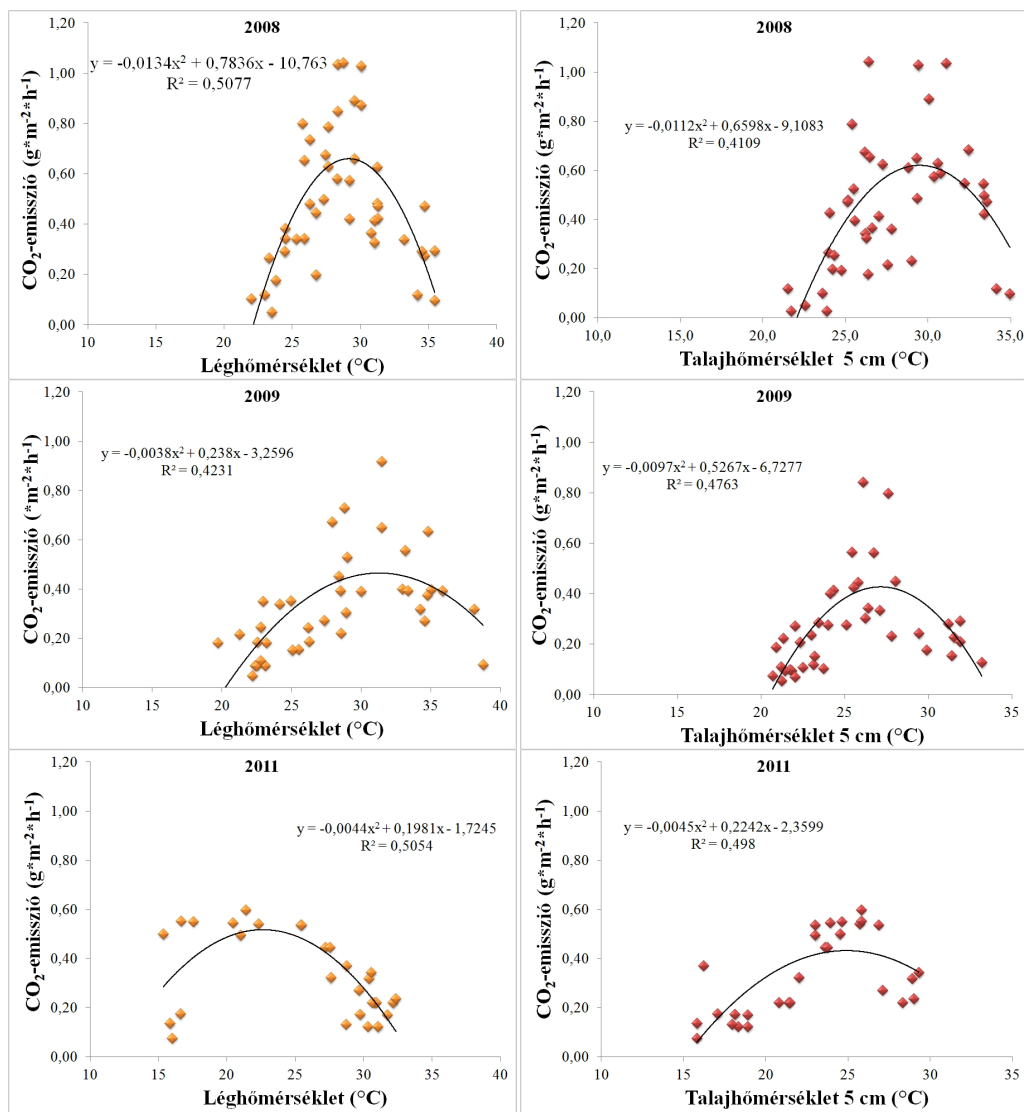
#### 4.5.3. A hőmérséklet hatása a talajlégzésre

A talajhőmérséklet változása a levegőével szoros összefüggésben van, ugyanis ez utóbbi növekedése magával vonja a talaj hőmérsékletének emelkedését. A talaj hőmérséklete változékonyabb a felszín közelében, mint a mélyebb talajrétegekben, valamint várakozásaim szerint a talaj szén-dioxid-kibocsátása, mint fizikai folyamat, szorosabb kapcsolatban áll a talajfelszín hőmérsékletével, mint a mélyebb talajrétegekével (PAVELKA et al., 2007), így a talajlégzés-hőmérséklet függésének vizsgálatához a talajfelszínhez közeli (5 cm) rétegben mért hőmérsékleti értékeket használtam fel.

Az átfolyóvizes lizimétereken beállított kísérlet CO<sub>2</sub>-emisszió értékeinek a léghőmérséklet és talajhőmérséklet értékeivel végzett összefüggés vizsgálatát a következő 36. ábrán mutatom be a 3 vizsgált évben. A levegő hőmérsékletének változása valamennyi kezelésben korrelációt mutatott a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójával.

A vizsgált három évben jól megfigyelhető, hogy az évjáratnak megfelelően a hőmérsékleti értékek is különböző intervallumban mozogtak, így a hozzájuk tartozó emisszió értékek is ennek megfelelően alakultak. 2008 időjárása, hőmérséklete átlagosnak tekinthető, ekkor tapasztaltam a legmagasabb kibocsátási értékeket, míg 2009 szokatlanul meleg száraz évnek tekinthető, 2011 nyáreleje pedig az átlagnál hűvösebb volt, tehát mindegyik évjáratban máshogy alakul az optimumgörbe csúcossága, de egy közepesen erős kapcsolat a vizsgált 2 paraméter között végig kimutatható.

A heterotróf talajlégzés során komplex enzimmösszetétellel találkozunk, ahol az enzimeknek változatos az aktiválási energiája, tehát működésükhöz eltérő hőmérsékleti igényekkel rendelkeznek. A hőmérséklet növekedésével a különböző enzimek különböző időpontban érhetik el a denaturáció állapotát, tehát megfelelően magas hőmérsékleten elkezdhet csökkenni a talajlégzés mértéke. Adott enzimmösszetétel aktivitásának a talajban van optimális hőmérséklete, amely hőmérsékleten a legtöbb enzim aktív és ami felett a respiráció aktivitása csökken. A jelenség haranggörbével jellemezhető, mely illeszkedést részben sikerült igazolnom. Az ábrákon megtalálhatjuk az R<sup>2</sup> értékét (~0,5; ~0,4), ami a közepes erősségű kapcsolatot jelez minden esetben.



**36. ábra:** A lég- és a talajhőmérséklet valamint a talajok CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggés vizsgálat

A talajlégzés optimális hőmérséklete változhat akár rövidtávon is a talajnedvesség- és szervesanyag ellátottságával (DAVIDSON et al., 2006). A talaj nedvességtartalmának növekedésével illetve a labilis szervesanyag-tartalommal a CO<sub>2</sub>-emisszió hőmérsékleti toleranciája (a haranggörbe szélessége) változhat. Az általam vizsgált liziméteregységekben a talaj szélsőséges hőgazdálkodású, alacsony víztartó képességű, a szervesanyag felhalmozódása csekély volt, ráadásul minden évben öntöztem, de így is hozzájárulhatott a talajlégzés hőmérsékleti optimumának számszerűsítéséhez. A környezeti tényezőknek a klímaváltozás során végbemenő tartós megváltozása



(hőmérséklet, csapadékmintázat) azonban már akár maradandó változást is okozhat a talajélet működésében és a mikroorganizmusok összetételében.

#### **4.5.4. A napszakok szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában**

A CO<sub>2</sub>-kibocsátás napi dinamikájának vizsgálatára végeztem 24 órás mérést, úgy hogy egyik nap reggel 8 órától másnap reggel 8 óráig (vagyis 24 órán keresztül nappal és éjjel) 2 órás időközönként mértem a koncentráció alakulását. A mérések helyszínül ismételtelen az átfolyóvizes liziméterek szolgáltak. Mértem mind a befűvesített, mind a növényborítás nélküli egységekben öntözött és öntözetlen körülmények között.

A mérésre 2011. augusztus 31. reggel 8 óra és szeptember 01. reggel 8 óra között került sor, az akkori összefoglaló meteorológiai jellemzőket a 16. táblázatban ismertetem.

**16. táblázat:** Összefoglaló meteorológiai adatok a mérés ideje alatt

		<b>2011.08.31. 8:00 - 2011.09.01. 8:00</b>
<b>Átlaghőmérséklet</b>	<b>°C</b>	20,6
<b>Hőmérsékleti maximum</b>	<b>°C</b>	28,8
<b>Hőmérsékleti minimum</b>	<b>°C</b>	13,3
<b>Relatív nedvességtartalom</b>	<b>%</b>	24,0
<b>Légnyomás</b>	<b>hPa</b>	1003,3
<b>Csapadék</b>	<b>mm</b>	0,0
<b>Talajhőmérséklet (10 cm)</b>	<b>°C</b>	22,9

2011. augusztus végén térségünkben kánikula volt, csapadék hetekig nem esett, ennek következtében aszályos napunk volt, ami a relatív nedvességtartalmi adatból is látható. A légkörben található alacsony páratartalom hatására légköri aszály alakul ki. Az aszályos időjárás visszatükröződik a talajnedvesség tartalmi adatokban is. A mérések elején vettem talajmintát a gravimetriás nedvességtartalom meghatározásához. A felső 20 cm-es réteget vizsgáltam, mivel a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára ez a szint van hatással. A

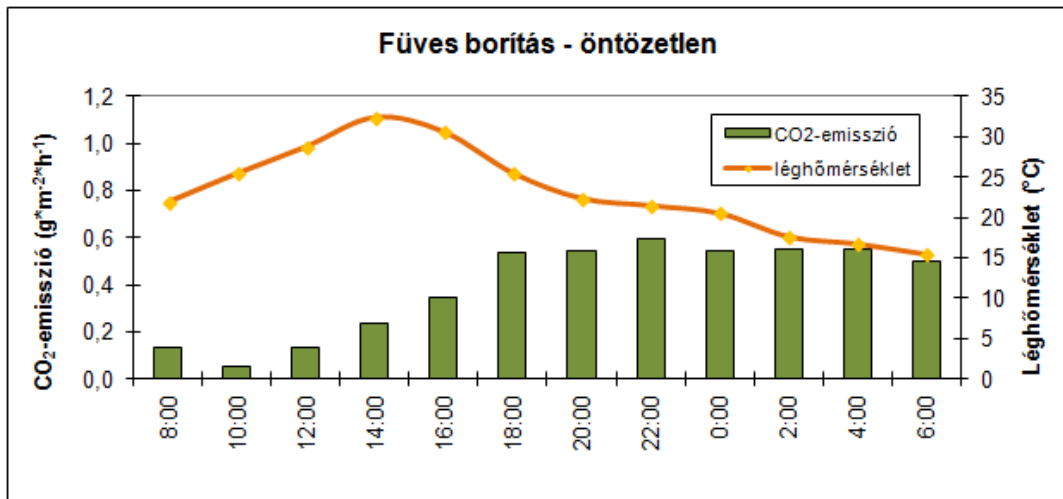
nedvességtartalmi értékek a meleg és csapadékmentes időszak miatt nagyon alacsonyak (17. táblázat).

**17. táblázat:** A talajoszlopok nedvességtartalma (m/m %) 2011. 08. 31-én

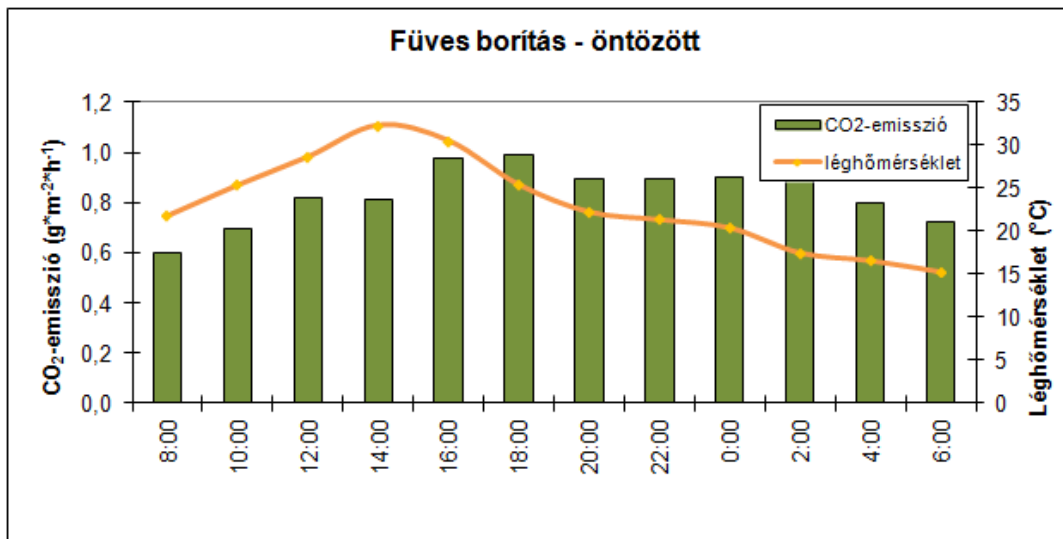
	<b>Réteg</b>	<b>Nedvesség (s%)</b>
<b>Füves - öntözetlen</b>	0 - 10 cm	2,4
	10 - 20 cm	6,8
<b>Növényborítás nélküli- öntözetlen</b>	0 - 10 cm	6,0
	10 - 20 cm	14,3
<b>Füves - öntözött</b>	0 - 10 cm	5,6
	10 - 20 cm	8,3
<b>Növényborítás nélküli- öntözött</b>	0 - 10 cm	10,6
	10 - 20 cm	14,6

Az adatokban is látható, hogy az öntözött edények feltalaja nedvesebb, valamint a füves borítás nedvességmegőrző szerepe is kimutatható. A mikroorganizmusok tevékenységéhez szükség van megfelelő nedvességtartalomra. A nedvességtartalom növekedése egy ideig a mikrobiális aktivitás növekedését vonja maga után.

A legalacsonyabb értékeket a délelőtti órákban tapasztaltam. A határréteg ekkor jól átkevert, vagyis az éjszaka felhalmozódott (és kizárólag a mérőhelyre és közvetlen környezetére jellemző) többlet szén-dioxid ekkorra elkeveredik a határrétegben. A növényvel borított egységekben a délutáni és az éjszakai órákban nagyobb emisszió értékeket kaptam, ami a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött nagymértékű arányát mutatja (37-38. ábra). Valamint a növények nappal fotoszintetizálnak, éjjel sötétben pedig gázcsereenyílásaikon keresztül ők is lélegeznek, vagyis szén-dioxidot bocsátanak ki, tehát ez is közrejátszhatott az emelkedett emisszió értékekben. A növényborítás nélküli egység CO<sub>2</sub>-kibocsátása a 24 óra alatt végig kiegyenlített volt, a füves borítás nedvességmegőrző és hűtő szerepe valószínűleg jobb körülményeket teremtett a mikroorganizmusok számára.

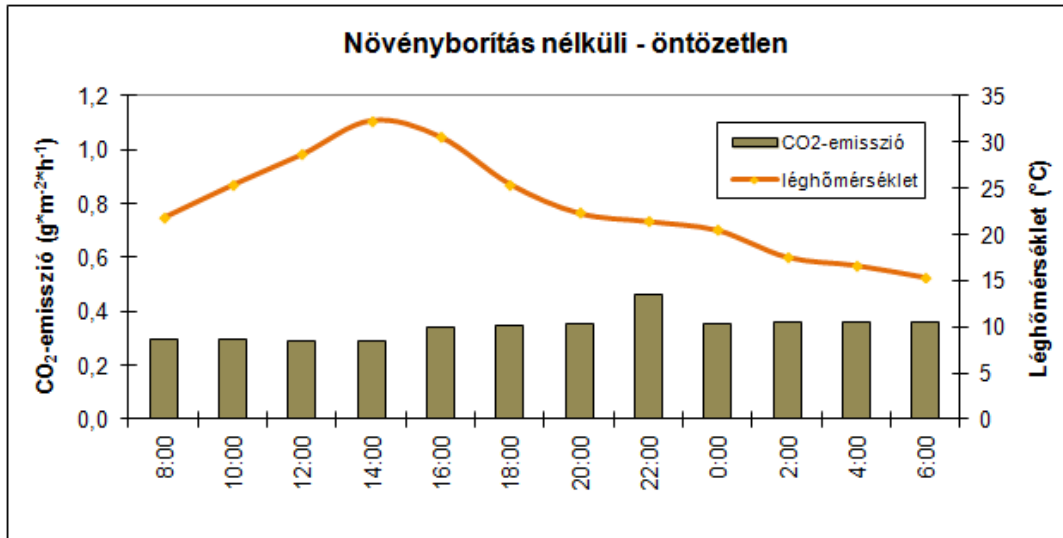


37. ábra: A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás esetén öntözetlen körülmények között

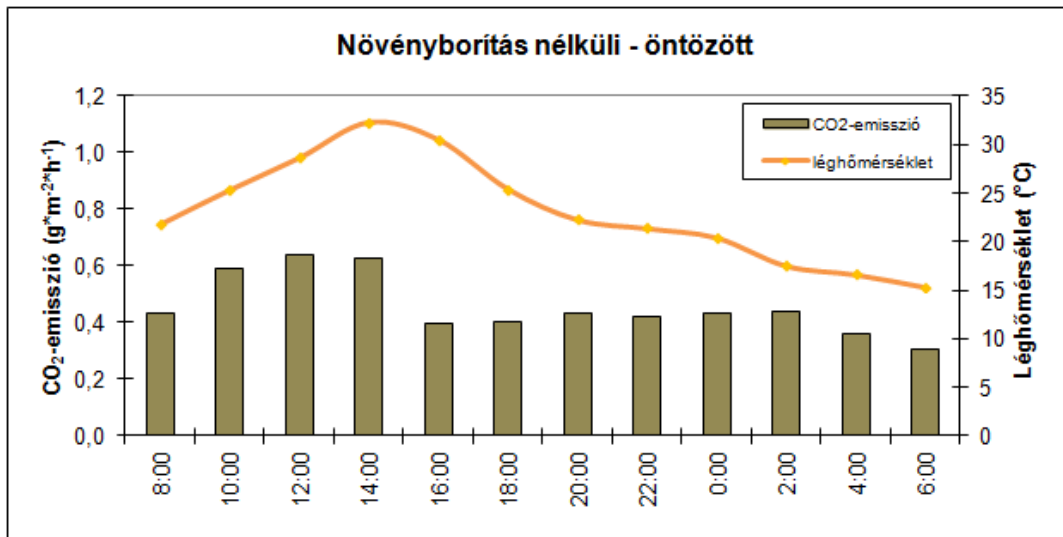


38. ábra: A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás esetén öntözött körülmények között

A befűlesztett edényekben öntözött körülmények között is hasonló tendenciát vonhatok le (39-40. ábra), mint öntözetlen esetben. Nagyobb emisszió értékeket tapasztaltam, és szintén az esti és éjszakai órákra emelkedett meg a szén-dioxid-kibocsátás.



**39. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás nélküli esetben öntözetlen körülmények között



**40. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás nélküli esetben öntözött körülmények között

A növényborítás nélküli edényekben öntözött körülmények között is alacsonyabb emisszió értékeket kaptam. A talaj CO<sub>2</sub>-emissziója 4 és 6 óra között volt a legalacsonyabb. A maximális talaj CO<sub>2</sub>-koncentrációkat 12-kor (0,64 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) és 14 órakor (0,63 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) tapasztaltam (utóbbinál maximális lég hőmérséklet értékek).

#### 4.6. A talaj szénkészletváltozásának becslése különböző művelési eljárások tükrében

A magyarországi szántóterületek szénkészlet változására irányuló számításaimhoz figyelembe vett művelési scenáriókat a 18. táblázatban foglaltam össze. Bázisévnek 2006-ot vettem alapul, így az azt követő 20. évre tudtam elvégezni becsléseket. Véleményem szerint Magyarországon most és a jövőben a potenciálisan alkalmazott talajművelési rendszerek a direkt vetés, a redukált és a hagyományos talajművelés, így ezeket alkalmaztam úgy, mintha az ország teljes területén az adott művelési rendszerekre térnének át. Természetesen ezeknek a művelési rendszereknek a különböző arányú megjelenése valószínűsíthető, mindazonáltal a szélsőséges alternatívákra vonatkozó számítások eredményeivel a talajok szénkészletében beálló különbségek nagyságrendjére kívánom csak felhívni a figyelmet. Az egyes talajművelési rendszereket különböző inputok alkalmazása mellett vizsgáltam.

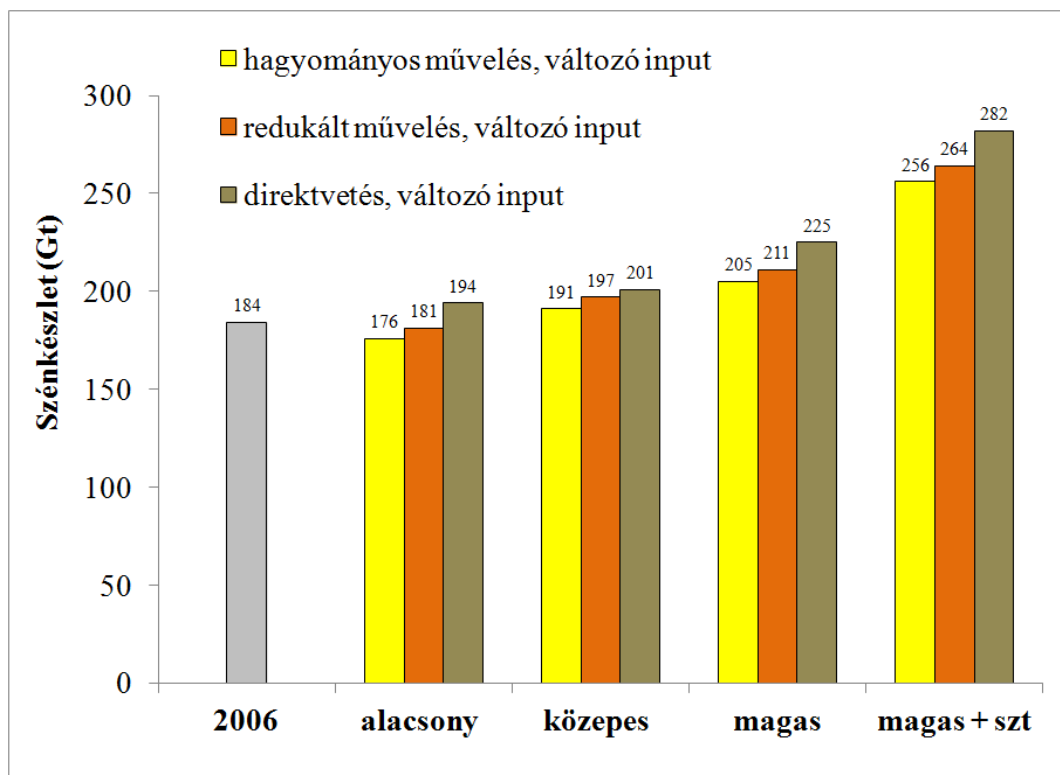
18. táblázat: A vizsgált talajművelési scenáriók

Szenárió	Talajművelési rendszer	Input
1.1.	direkt vetés	magas + szerves trágya
1.2.	direkt vetés	magas
1.3.	direkt vetés	közepes
1.4.	direkt vetés	alacsony
2.1.	redukált	magas + szerves trágya
2.2.	redukált	magas
2.3.	redukált	közepes
2.4.	redukált	alacsony
3.1.	hagyományos	magas + szerves trágya
3.2.	hagyományos	magas
3.3.	hagyományos	közepes
3.4.	hagyományos	alacsony

Az alkalmazott talajművelési rendszer megváltoztatása által kiváltott szénkészletváltozást a 41. ábra foglalja össze. Az ábrán megfigyelhető, hogy az inputtényező változásával (a talajba bevitt szervesanyag mennyiségének növekedésével)

a talajban található szerves szén összessége is növekszik, azonban ennek mértéke az egyes talajművelési rendszerek esetében eltérő.

A direkt vetés a legkevésbé talajbolygató talajművelési rendszer, a szakirodalmi adatok alapján ezzel őrizhető meg leginkább a talajban lévő szerves szén mennyisége, s csökkenthetők az emissziós veszteségek. A direktvetéses művelési rendszerre való átállás esetén, magas szervesanyag bevitel mellett (ami ennek a rendszernek alapvetően jellemzője) mintegy 22%-kal lenne növelhető talajaink szénkészlete. Amennyiben még szervestrágyázás (továbbiakban: szt) is párosulna ehhez, akkor akár 53%-os növekedéssel is számolhatnánk, azonban ennek a realitása kicsi.



**41. ábra:** Magyarország szántóinak szénkészlet változása különböző művelési rendszerek esetén változó inputtal

A redukált talajműveléssel elért szénkészletváltozás adatait is ez az ábra tartalmazza. A redukált talajművelési rendszerrel a talaj eredeti szerkezetének megőrzése érdekében mérsékelt talajforgatást, gépkombinációkat és egy menetben történő több munkafázis elvégzését alkalmazzák. Magyarországon e talajművelési rendszer nagyobb mértékű elterjedésével reálisan lehet számolni az elkövetkező évtizedben. Egyre több

gazdálkodó gondolja úgy, hogy a forgatásra alapozott talajművelési rendszerek felváltása nemcsak költségtakarékos, hanem jótékony hatással van a talaj szervesanyag gazdálkodására is. Természetesen a redukált művelési módok elterjedéshez szükség lenne az ilyen rendszerekben használatos gépek árának csökkenésére is, mivel az jelenleg még igen magas. Mindazonáltal az eladások növekedésével az árcsökkenés valószínűsíthető.

A redukált talajművelésre való áttérés és az arra szintén jellemző magas szervesanyag bevitel eredményeként szénkészleteink növekedésére számíthatunk, bár ennek mértéke elmarad a direktvetéses rendszerre való átálláshoz képest. A talaj legfelső 30 cm-es rétegének szénkészlete a 2006-os referencia évhez képest mintegy 7-15%-kal növekedne az erre a művelési rendszerre leginkább jellemző közepes-magas szervesanyag input esetén. Véleményem szerint ez a növekedés is jelentős mértékű és bekövetkezésének esélye sem kicsi a talajművelés szemléletében jelenleg tapasztalható változások tükrében.

Bár Magyarországon a hagyományos talajművelést perspektivikusan felválthatják a talajvédő művelési rendszerek, a forgatásra alapozott technológia a domináns. A direktvetéses és a redukált talajművelési rendszerekre kiszámított szénkészlet változási adatok értékelése érdekében azt az esetet (szcenáriót) is megvizsgáltam, amikor az ország szántóinak teljes területén hagyományos művelést alkalmaznak. A legújabb kutatási eredmények azt mutatják, hogy az optimális időben, megfelelő talajállapot mellett elvégzett szántással és a szántott talajfelszín mihamarabbi lezárásával elkerülhető a magas szervesanyag veszteség, így a talaj szénkészletének védelme szempontjából a szántás sem minősül károsnak (BIRKÁS-GYURICZA, 2004). Ennek a scenáriónak a megvalósulása esetén csak akkor lehet számítani a szénkészlet növekedésére, ha fokozott szervesanyag bevitel valósul meg, ennek esélye azonban igen kicsi. A hagyományos művelési rendszerre manapság is jellemző alacsony szervesanyag input esetén a 2006-os évhez viszonyítva a szénkészlet mennyiségének mintegy 4%-os csökkenése várható.

Talajvédelmi szempontból is igen fontos tehát, hogy korszerű, a talajt kímélő, az adott klimatikus és edafikus tényezőkhöz igazodó talajművelési rendszerek legyenek jellemzőek Magyarországon a jövőben. A művelési rendszer megváltozásának hatására

a talaj szénkészletében bekövetkező változásokra vonatkozó számításaim eredményei arra engednek következtetni, hogy a talajművelés szerepe döntő, hatásainak vizsgálata a fenntartható mezőgazdaság szempontjából aktuális kérdés.

Véleményem szerint a talajvédő művelési rendszereknek a következő évtizedben várható elterjedésével, illetve az általam feltételezett scenáriók gyakorlati realitását figyelembe véve, talajaink 20 éves ciklusra számított szénkészlete mintegy 5-10%-kal lesz növelhető az elkövetkező mintegy 30 évben.

#### **4.7. A talaj szénkészletváltozásának becslése a klímaváltozás tükrében**

Magyarország szántóit klímazónák szerint alapvetően két típusba soroltuk: a mérsékelt meleg (évi átlaghőmérséklet  $10^{\circ}\text{C}$  felett) és a mérsékelt hűvös (évi átlaghőmérséklet  $10^{\circ}\text{C}$  alatt) kategóriákba. Mivel a számításoknál a klímakategóriák közti határérték  $10^{\circ}\text{C}$ , és Magyarország egy területére sem jellemző, hogy az éves átlaghőmérséklet ettől az értéktől több mint 0,1 fokkal eltérne, könnyen elképzelhető, hogy hosszú távon már az egész ország területére ugyanaz a klímakategória lesz jellemző. Nyilván ez a megközelítés, illetve a számításokhoz használt alapadatok magukban hordozzák a hiba lehetőségét, különös tekintettel a számok abszolút értékére, de a tendenciákról és a változások nagyságrendjéről véleményem szerint jó becslést adnak.

Számos tanulmány és előrejelzés szerint a Magyarországra becsült klímaváltozások rövidebb és hosszabb távon is elsősorban a szélsőséges időjárási helyzetek gyakoriságának növekedését hangsúlyozzák. A szélsőséges helyzetek gyakoriságától elvonatkoztatva és figyelembe véve az elmúlt évek tendenciáit (az átlag hőmérséklet növekedése, kevesebb csapadék, szárazság gyakorisága) valószínűnek tartom, hogy a meleg száraz klíma Magyarország nagyobb területén fog érvényesülni.

A hűvös nedves klímazóna típusra is becslést készítettem a szénkészlet változás tükrében. A vizsgált klíma scenáriókat a *19. táblázatban* közlöm. Ezek a scenáriók azokat az eseteket foglalják magukban, amikor az ország egész területe az adott klímakategóriába esik. Az összehasonlításban referenciaként szereplő 2006-os év az az

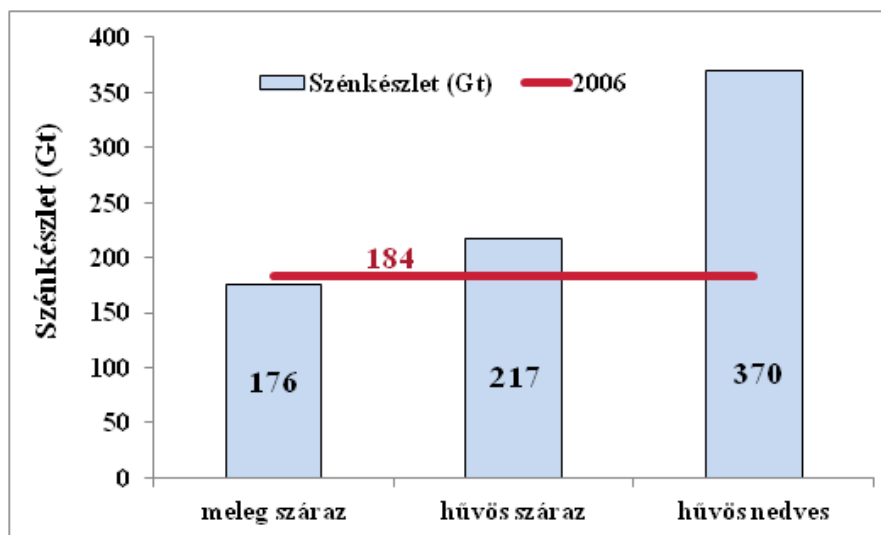


állapot, amikor az ország területének durván 60%-a a mérsékelt meleg száraz, míg 40%-a mérsékelt hűvös száraz kategóriákba esik.

**19. táblázat:** A vizsgált klíma scenáriók

Szenárió	Klíma
1.1.	meleg száraz
1.2.	hűvös száraz
1.3.	hűvös nedves

A különböző klíma scenáriókra kiszámolt szénkészleteket bemutató 42. ábrán láthatjuk, hogy amennyiben Magyarország teljes területén meleg száraz klíma lenne a jellemző a talajaink szénkészlete némileg csökkenne, de hasonló mértéket mutatna a referencia évhez képest. A szénkészlet viszont mintegy kétszeresére nőne, ha a klíma az ellenkező irányba változna és évről évre hidegebb és csapadékosabb időjárás váltaná fel a mostanit.



**42. ábra:** Magyarország szántóinak szénkészlet változása különböző klíma scenáriók esetében (bázisév 2006 – 184Gt)

#### 4.8. A szénkészletváltozás becslése a karcagi talajművelési kísérletben

Az IPCC metodikáját felhasználtam arra is, hogy kisebb léptékben, akár táblaszinten is meghatározzam a talaj szénkészletének változását. A számításokhoz a 3.2.1. fejezetben leírt komplex talajművelési kísérlet parcelláinak adatait használtam fel, a faktorok

meghatározását a 3. fejezetben ismertetett SCT programmal végeztem. Mivel a kísérlet 1997-ben indult, az akkori állapotot tekintetem kiindulási állapotnak. Azt kívántam kiszámítani, hogy vajon a kísérlet indítása után 20 évvel milyen mértékben fog változni a kísérleti parcella szénkészlete. Mivel erről a területről konkrét adatok állnak rendelkezésre a talaj humusztartalmát illetően, az abból számított szénkészlet figyelembevételével is kiszámítottam a szénkészleteket mindkét időpontra. Mivel a talaj szervesanyagainak széntartalmát átlagosan 58%-nak vesszük, a humusztartalom és a szerves szén mennyisége között az alábbi összefüggés állapítható meg (FILEP, 1999):  $Hu\% = \text{szerves C} \times 1,72$ . Ezen összefüggésre alapozva számítottam ki a mért humusztartalom alapján a talaj szénkészletét.

A számítás menete a következő volt:

1. *kiszámítottam 1 ha, azaz 10000 m<sup>2</sup> területen a talaj 30 cm-es (0,3 m) rétegének a térfogatát:  $10000 \times 0,3 = 3000 \text{ m}^3$ ,*
2. *kiszámoltam 3000 m<sup>3</sup> talaj tömegét, úgy hogy a térfogatot (m<sup>3</sup>) megszoroztam a talaj térfogattömegével ( $\text{g cm}^{-3} = \text{t m}^{-3}$ ):  $3000 \text{ m}^3 \times 1,59 \text{ t m}^{-3} = 4770 \text{ t}$ ,*
3. *kiszámoltam a talaj humusztartalmának a tömegét, úgy a talaj tömegét megszoroztam a százalékos humusztartalommal:  $(4770 \times 2,68) / 100 = 127,836 \text{ t}$ ,*
4. *végül a humusz tömegének széntartalmát számoltam ki:  $127,836 \text{ t} \times 0,58 = 74,14488 \text{ t}$ .*

A fenti számítások alapján tehát a talaj felső 30 cm-es rétegének a szénkészlete 74,1 t ha<sup>-1</sup>.

A 20. táblázat adatai az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával a 20 éves időszakra számított szénkészlet változás mértékét mutatja a talajművelési kísérlet talajában. Az eredeti állapot (1997) hagyományos művelésű, alacsony szervesanyag inputtal jellemezhető, a talaj felső 30 cm-nek szénkészlete hektáronként 28,7 t ha<sup>-1</sup>. A redukált művelésre való áttérés és a megnövelt szervesanyag bevitel eredményeként évi 0,17 t ha<sup>-1</sup> szénkészlet növekedésre számíthatunk, ami az eredetinel kb. 12%-kal magasabb szénkészletet jelent 2017-re.

**20. táblázat:** A talajművelési kísérlet hagyományos művelésű parcellájának talajában bekövetkező becült szénkészlet-változás a művelési rendszer redukáltra történő változtatásával az IPCC alapértelmezett adatok felhasználásával

Év	Klíma	Talaj típus	Művelés	Input	SOC <sub>ref</sub>	F <sub>LU(0)</sub>	F <sub>MG(0)</sub>	F <sub>I(0)</sub>	SOC (t ha <sup>-1</sup> )
1997	meleg száraz	HAC	hagyományos	alacsony	38	0,82	1,00	0,92	28,7
2017	meleg száraz	HAC	redukált	közepes	38	0,82	1,03	1,00	32,1
<b>Éves változás: 0,17 t ha<sup>-1</sup></b>									

A 21. táblázat adatai a humusztartalomból számított szénkészletből kiindulva mutatják a 20 éves időszakra számított szénkészlet változás mértékét a talajművelési kísérlet talajában. Az így számított szénkészlet hektáronként 55,9 t ha<sup>-1</sup>, ami jóval magasabb az IPCC alapértelmezett adataiból számolténál. A redukált művelésre való áttérés után 20 évvel 62,6 t ha<sup>-1</sup> szénkészlet adódik, ami évi 0,33 t ha<sup>-1</sup> növekményt jelent, természetesen a növekedés mértéke ebben az esetben is 12%.

**21. táblázat:** A talajművelési kísérlet hagyományos művelésű parcellájának talajában bekövetkező becült szénkészlet-változás a művelési rendszer redukáltra történő változtatásával a humusztartalomból számított szénkészlet (SOC<sub>calc</sub>) felhasználásával

Év	Klíma	Talaj típus	Művelés	Input	SOC <sub>calc</sub>	F <sub>LU(0)</sub>	F <sub>MG(0)</sub>	F <sub>I(0)</sub>	SOC (t ha <sup>-1</sup> )
1997	meleg száraz	HAC	hagyományos	alacsony	74,1	0,82	1,00	0,92	55,9
2017	meleg száraz	HAC	redukált	közepes	74,1	0,82	1,03	1,00	62,6
<b>Éves változás: 0,33 t ha<sup>-1</sup></b>									

Egy másik megközelítésben, azt is meg akartam tudni, hogy vajon mennyiben változna a terület szénkészlete, ha az elmúlt 14 évben (1997-2010) redukált rendszerben művelt talajon hirtelen váltással direktvetéses művelési rendszerre tértek volna át. Feltételezve a szénkészlet-változás egyenletes voltát (évi rendszerességgel mért adatok híján csak ez jöhet szóba) kiszámoltam, hogy 2010-re mennyire gyarapodott az 1997-ben redukált művelésbe vett parcella szénkészlete, s ebből az adatból kiindulva becslést adtam a 2030-ra várható szénkészlet-változásra, amennyiben ezen a területen direktvetést (minimális műveléssel) alkalmaznának az elkövetkező 20 évben. Ezt a számítást az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával végeztem el, a humusztartalomból számított SOC értékkel nem, mivel tendenciájában ugyanazt az eredményt kaptam volna más abszolút értékekkel.

A 22. táblázat adatai az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával azt az esetet jellemzik, ha az elmúlt időszakban (1997-2010) redukált rendszerben művelt talajon hirtelen váltással direktvetéses művelési rendszerre térnének át. Az eredeti állapot (1997) után 14 évvel (jelenlegi állapot) a talaj felső 30 cm-nek szénkészlete hektáronként 31,08 t ha<sup>-1</sup>. A talajművelési rendszer direktvetésessé (no-till) történő megváltoztatása után 20 évvel már 34,3 t ha<sup>-1</sup> szénkészletre számíthatunk, ami az eredetinel kb. 12%-kal magasabb szénkészletet jelent 2017-re.

**22. táblázat:** A talajművelési kísérlet redukált művelésű parcellájának talajában bekövetkező becsült szénkészlet-változás a művelési rendszer direktvetésre történő változtatásával az IPCC alapértelmezett adatok felhasználásával

Év	Klíma	Talaj típus	Művelés	Input	SOC <sub>ref</sub>	F <sub>LU(0)</sub>	F <sub>MG(0)</sub>	F <sub>I(0)</sub>	SOC (t ha <sup>-1</sup> )
1997	meleg száraz	HAC	hagyományos	alacsony	38	0,82	1,00	0,92	28,7
2010	meleg száraz	HAC	redukált	közepes	38	0,82	1,03	1,00	31,08
2030	meleg száraz	HAC	direktvetés	közepes	38	0,82	1,10	1,00	34,3

Amint az a táblázatokból is jól látszik, jelentős különbség van a két megközelítés között, ami felhívja a figyelmet az alapadatok megválasztásának fontosságára. Mivel az ilyen jellegű számításokhoz általában nem állnak rendelkezésre mért adatok, a tapasztalati értéken nyugvó alapértelmezett adatok is jó közelítést adnak és a számítások eredményei tendenciájukban helyesnek tekinthetők. Azonban az alapértelmezett adatok részben vagy egészében mért adatokkal történő helyettesítése az adott területre jobban jellemző eredményeket ad, így mindenképpen javasolható. Ez az IPCC metodikában is létező módszer (Tier 2.), ebben az esetben csak az alapegyenletek használatosak, mind a referencia szénkészlet értékek, mind a faktorok lehetnek specifikusak.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Azok a folyamatok, amelyek a szén oxidációját befolyásolják, igen komplexek. Vizsgálati eredményeim kiegészítő információkat szolgáltatnak a különböző talajművelési és agrotechnikai eljárások valamint klimatikus elemeknek a talaj szén-dioxid-emissziójára kifejtett hatásának pontosításához, tanulmányozásuk feltétlenül aktuálisnak tekinthető és további erőfeszítéseket igényel.

Az általam használt ANAGAS CD 98 és GasAlertMicro5 típusú infravörös gázanalizátorokat alkalmasnak találtam a talajból származó CO<sub>2</sub>-emisszió vizsgálatára. A műszer cellájának szén-dioxiddal való feltöltődése után reális adatok nyerhetők az értékeléshez.

A CO<sub>2</sub>-emisszió mérések egyik problematikus pontja a mérési terület lehatárolása, mivel a vizsgálandó talajfelszín egyenetlen lehet, és a megfelelő izoláció feltétlenül szükséges. Csak a mérési terület minél precízebb és annak jellegzetességeihez minél jobban alkalmazkodó térbeli lehatárolása biztosítja a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának meghatározásához szükséges mérések szabatos kivitelezését. A kifejlesztett keretes (fémkeret + mérőedény) módszerek alkalmasak a legelő (gyeppel borított talajfelszín), illetve más, mezőgazdasági művelés alatt álló talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának mérésére.

Kimutattam, hogy félóránál hosszabb inkubációs időre a koncentráció-különbségen alapuló vizsgálatoknál sincs szükség, mert ennyi idő megfelelő a gázkibocsátás jellemzésére, valamint hosszabb időtartam alatt már nem a természetközeli állapotot modelleznénk.

A CO<sub>2</sub>-emisszió mérésekkel és a labilis szervesanyagok meghatározásával igazoltam, hogy a redukált művelési mód, a mérsékelt talajbolygatás révén a kiegyensúlyozottabb talajélet kialakulásában jelentős szerepet játszik. A növekvő légköri szén-dioxid-koncentráció klímaváltozásban betöltött szerepének miatt, javasolom a talajok szén-dioxid-kibocsátását alacsony szinten tartó talajvédő művelési mód alkalmazását, valamint a hagyományos műveléseknél a felszín lezárását, illetve a talajmunkák jó minőségű kivitelezését.

A hozzáadott anyagok, mint például a szerves trágyák, komposztok, talajkondicionáló szerek élénkítik a talajéletet, ezt a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának növekedésével, mint a talajtermékenység számszerűsítésének eszközével bizonyítottam.

Kimutattam a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött nagy jelentőségű szerepét. A mérési eredmények azt bizonyították, hogy az általam beállított kísérleti feltételek között és az adott talajon az aktív, fejlődő növényállományokban az összes kibocsátott CO<sub>2</sub>-mennyiség akár 60-70%-ának is a gyökérlégzés a forrása.

A talajhőmérséklet és a talajnedvesség tartalom a talajélet szabályozó szerepét is vizsgáltam. Az eredmények azt mutatják, hogy a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásának fő limitáló tényezője a talajnedvesség és a talajhőmérséklet. A CO<sub>2</sub>-emisszió napi menetét tekintve is a hőmérséklet a meghatározó tényező.

Vizsgálataimmal adatokat szolgáltatottam a talajhasználat és a szénkészlet változás összefüggéseinek feltárásához. Az IPCC metodikája és módszertana alapján különböző talajművelési és klíma scenáriókat állítottam fel, meghatároztam a hazai szántó területek talajainak legfelső 30 cm-ében szénkészlet változását a 2006-os évre.

A hagyományos, forgatásra alapozott talajművelési rendszer és a talajvédő művelési rendszer vizsgálatából származó adatok alapján megállapítottam, hogy a direktvetés a szénkészlet megőrzése érdekében hatékonyabb talajművelési rendszer a hagyományossal szemben. A művelési rendszer megváltozásának hatására a talaj szénkészletében bekövetkező változásokra vonatkozó számításaim eredményei arra engednek következtetni, hogy a talajművelés szerepe döntő, hatásainak vizsgálata a fenntartható mezőgazdaság szempontjából aktuális kérdés.

A kutató munkám során használt IPCC módszerrel viszonylag jól becsülhető a talaj szénkészlete, illetve annak változása. Igazoltam, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.

## 6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A szabadföldi CO<sub>2</sub>-emisszió mérések egyik problematikus pontjának, a mérési terület lehatárolásának megoldására új eszközt fejlesztettem ki. Igazoltam, hogy a keretes (fémkeret + mérőedény) módszer eszközei alkalmasak a különböző felszínű talajok mérési területének lehatárolására. Kimutattam, hogy 30 percnél hosszabb inkubációs időre a koncentráció-különbségen alapuló vizsgálatoknál nincs szükség, mert ennyi idő megfelelő a gázkibocsátás jellemzésére, valamint hosszabb időtartam alatt már nem a természet közeli állapotot modelleznénk.

2. Szántóföldi mérésekkel igazoltam, hogy a mérsékelt talajbolygatás és a mikrobiológiai aktivitás szempontjából kedvezőbb talajállapot miatt, a redukált művelési mód a konvencionálishoz képest időben kiegyensúlyozottabb, de mértékében magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót eredményezett.

3. Az általam vizsgált, a talaj termékenységet növelő anyagok, a hígtrágya, komposzt és talajkondicionáló szer élénkítik a talajéletet, a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának növekedését eredményezik, amelynek számszerűsítésével ezen hatásukat bizonyítottam.

4. Statisztikailag igazoltam a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött szerepét. A mérési eredményeim alapján számszerűsítettem a növényvel borított talajfelszín nagyobb CO<sub>2</sub>-kibocsátását a növényborítás nélküli felszínhez képest.

5. A talajhőmérséklet és a talajnedvesség tartalom a talajéletet szabályozó szerepét is bebizonyítottam. Közepes erősségű kapcsolatot sikerült statisztikailag igazolnom a feltalaj nedvességtartalma illetve CO<sub>2</sub>-kibocsátása között. A levegő és a talaj hőmérsékletének változása valamennyi kezelésben korrelációt mutatott a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójával. 24 órás méréssel képet kaptam CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájáról és megállapítottam, hogy annak nagyságrendjét tekintve a hőmérséklet a meghatározó tényező.

6. Megállapítottam, hogy az IPCC módszerrel jól becsülhető a talaj szénkészlete, illetve annak változása. Igazoltam, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.

## **7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA**

A 6. pontban ismertetett új tudományos eredmények közül az alábbiakat tartom a gyakorlatban is hasznosíthatónak:

1. A szántóföldi illetve gyepterületen végzett CO<sub>2</sub>-emissziós mérések egyik problematikus pontja a mérési terület lehatárolása, mivel a vizsgálandó talajfelszín egyenetlen lehet, és a megfelelő izoláció feltétlenül szükséges. Az értekezésben bemutatott keretes (fémkeret + mérőedény) módszerek alkalmasak a legelő (gyeppel borított talajfelszín), illetve más, mezőgazdasági művelés alatt álló talajok felszínének lehatárolásához a CO<sub>2</sub>-emissziójának meghatározásához. A koncentrációkülönbségen alapuló CO<sub>2</sub>-emissziós vizsgálatoknál 30 perces inkubációs idő elegendő a gázkibocsátás jellemzésére.

2. A vizsgált, a talaj termékenységét növelő anyagok, a hígtrágya, a juhtrágya alapú komposzt és talajkondicionáló szer élénkítik a talajéletet, a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának növekedését eredményezik, amelynek számszerűsítésével, ezen hatásukat bizonyítottam, mivel ezek az anyagok az ökológiai gazdálkodásban is használhatóak.

3. Az IPCC módszerrel jól becsülhető a talaj szénkészlete, illetve annak változása. Számításaim igazolják, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.



## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az értekezés alapjául szolgáló vizsgálatokat a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézetében végeztem 2005 és 2012 között. Kutatómunkám során olyan kérdéseket határoztam meg, amelyek megválaszolásával további, illetve új információk szerezhetők a talajban lejátszódó mikrobiológiai folyamatokról, a talajhasználattól függő CO<sub>2</sub>-emisszió és széntartalom dinamikájáról és sajátosságairól.

A CO<sub>2</sub>-emisszió méréseknél a terület lehatárolásának megoldására bemutattam azokat az eszközöket, illetve azt a munkafolyamatot, mely során az eszközöket az egyes mérőhelyek sajátosságaihoz igazítottam. A keretes (fémkeret + mérőedény) módszer eszközei alkalmasak a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának mérésére. Az inkubációs térben a gázkoncentráció alakulásának nyomon követésével, illetve az időbeli telítődés folyamatának vizsgálatával az optimális inkubációs időtartamot határoztam meg. Bebizonyítottam, hogy 30 percnél hosszabb inkubációs időre a koncentrációkülönbségen alapuló vizsgálatoknál nincs szükség.

A különböző talajművelési módok szén-dioxid-emisszióban játszó szerepének vizsgálatához az intézet H-1 jelű tábláján szabadföldi, illetve eredeti szerkezetű, bolygatatlan mintákon tenyészedényes körülmények között végeztem méréseket. A legtöbb esetben az emissziós méréseket tarlón végeztem, betakarítás után. A vizsgált hét év időjárása igen változatos volt, kiváló alkalmat teremtve az évek közötti összehasonlításhoz. A betakarítás, szárazzás magasabb emisszió értékeket eredményeztek közvetlenül a beavatkozások után, viszont tarlón, amikor már nem végeztünk beavatkozásokat, a redukált parcella talajára kiegyenlítettebb emisszió értékek voltak jellemzőek. A tenyészedényes kísérletben a redukált művelésű talajoszlopok CO<sub>2</sub>-emisszió értékei magasabbak voltak, mint hagyományos művelés esetén, vagyis a redukált talajművelés során kedvezőbb feltételek alakulnak ki a mikrobiológiai aktivitáshoz.

A talajok szervesanyagban való dúsítása élénkíti a talajokban lejátszódó mikrobiológiai folyamatokat. Ennek kimutatására hígtrágyával kezelt talajon is vizsgáltam a CO<sub>2</sub>-emisszió alakulását. A trágyával kezelt területek emissziója minden esetben magasabb a

kezeletlenhez képest. Ugyanígy a talajkondicionáló szer a talaj mikro- és makroorganizmusainak aktivitását növelő hatását is a CO<sub>2</sub>-emissziós mérésekkel igazoltam. Megállapítottam, hogy a talajkondicionáló szer hatása redukált művelésű talajban hamarabb érvényesül, mint a hagyományos művelésű területen. Méréseket végeztem különböző komposzt dózissal kezelt és a kezeletlen parcellákon gyepterületen. A kezeletlenhez képest megemelkedett CO<sub>2</sub>-emisszió jellemezte a komposzttal kezelt parcellák talaját, ami fokozott gyökérlégzésre, illetve mikrobiológiai aktivitásra utal.

A levegő és a talaj hőmérséklete, a talaj borítottsága, valamint a talaj nedvességállapota és a talajok CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggéseket az átfolyóvízes liziméterekben beállított kísérletekben vizsgáltam. Statisztikailag igazolható különbséget tapasztaltam a növényborításos edények talajának CO<sub>2</sub>-emissziójában a növényborítás nélküli felszínéhez képest. A talaj nedvességtartalma és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggéseket elemezve közepes erősségű kapcsolatot sikerült statisztikailag igazolnom a két paraméter között. A levegő hőmérsékletének változása valamennyi kezelésben korrelációt mutatott a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójával.

A CO<sub>2</sub>-kibocsátás napi dinamikájának vizsgálatához 24 órán keresztül végeztem méréseket. A legalacsonyabb emisszió értékeket a délelőtti órákban tapasztaltam. A határreteg ekkor jól átkevert, vagyis az éjszaka felhalmozódott (és kizárólag a mérőhelyre és közvetlen környezetére jellemző) többlet szén-dioxid ekkorra elkeveredik a határretegben. A növényvel borított egységekben a délutáni és az éjszakai órákban nagyobb emisszió értékeket kaptam, ami a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött nagymértékű arányát mutatja.

Az IPCC metodikája és módszertana alapján különböző talajművelési és klíma scenáriókat állítottam fel, meghatároztam a hazai szántó területek talajainak legfelső 30 cm-ében szénkészlet változását. Megállapítottam, hogy a direktvetés a szénkészlet megőrzése érdekében hatékonyabb talajművelési rendszer a hagyományossal szemben. Az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával a 20 éves időszakra számítottam a szénkészlet változás mértékét a karcagi talajművelési kísérlet talajában. Igazoltam, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.

## 9. SUMMARY

Investigations providing the basis of this dissertation were carried out in Karcag Research Institute of CAS, University of Debrecen between 2005 and 2012. During my research work I determined questions for that the answers provide additional or new information on the microbial processes taking place in the soil, the CO<sub>2</sub> emission dependent on soil use and the dynamics of carbon content and characteristics.

I introduced the tools and the work process suitable for the spatial delimitation of the measurement area. The tools were adjusted to the specific characteristics of each measuring place. The tools of the frame + bowl method are suitable to determine the CO<sub>2</sub> emission of the soil. The optimal incubation term was determined by the evolution of the gas concentration in the incubation space and analysis of the temporal saturation process. It has been proved that no more than 30 minutes incubation time is needed for the examinations based on the measurement of concentration difference.

My measurements were carried out under field circumstances and in plots containing undisturbed samples in order to examine the effect of different soil tillage methods on carbon dioxide emission from the soil. In most cases, the emission measurements were carried out on stubbles after harvest. In the investigated seven years the weather has been very diverse so it created an excellent opportunity for comparison between years. Increased emission level was induced immediately after the cultivation intervention but on the stubble on the plot without disturbance higher emission values were characteristic. CO<sub>2</sub> emission levels were higher on the reduced cultivated soil columns than on conventional tillage, because reduced tillage created favourable conditions (structure, air permeability, organic matter content) for microbiological activity.

Enriching the soil with organic matter stimulates soil microbial processes. In order to quantify this, I studied the evolution of CO<sub>2</sub> emission on soil treated with thin manure. Higher emissions were detected from the manure-treated fields in each case as compared to the untreated plots. Similarly, the soil conditioner increases the activity of soil micro- and macro organisms, this effect was proven by CO<sub>2</sub> emission measurements. I found that the effect of soil conditioner prevails faster in the reduced

cultivation system than in the conventional tillage system. Measurements were performed in grassland plots treated with different compost doses. In the treated plots I detected higher values compared to the untreated plot. Nevertheless it is obvious that organic and inorganic matters added to the soil have significant influence on the microbiological activity in the soil.

The correlation between air and soil temperature, soil coverage and soil moisture content and the soil CO<sub>2</sub> emissions was examined in a simple drainage lysimeter experiment. Statistically significant difference was found in the CO<sub>2</sub> emissions of the soil of the plant cover units compared to the lysimeter units with bare soil surface. The correlation between soil moisture content and CO<sub>2</sub> emissions are analyzed statistically with moderate correlation between the two parameters. The change of the air temperature was correlated with soil CO<sub>2</sub> emissions of each treatment.

To examine the time dynamics of the CO<sub>2</sub> emissions measurements for 24 hours were carried out. The lowest emission values were observed in the morning. In the plant covered units higher emission values were observed in the afternoon and at night, which shows that the root respiration has big role in the CO<sub>2</sub> emission of the soil.

According to the IPCC methodology and methods different cultivation and climate scenarios were set up to determine the change of soil carbon stocks of the top 30 cm layer in the arable lands of Hungary. I established that the direct seeding system is more efficient compared to the conventional tillage system regarding the preservation of soil the carbon stocks.

Using the default data of the IPCC method I quantified the change in carbon stocks of the soil of the soil tillage experiment at Karcag for a 20-year-long period. I could prove that using this method it is possible to determine the carbon stocks not only at national, but even at plot level.

## 10. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

1. ÁCS, F. – BREUER, H. – TARCZAY, K. - DRUCZA M.: 2005. A talaj és az éghajlat közötti kapcsolat modellezése. *Agrokémia és talajtan*. 54. (2005) 3–4 257–274.
2. ALEXANDER, M.: 1974. *Advances in Applied Microbiology*. 18, 1.
3. AMBUS, P. – CLAYTON, H. – ARAH, J.R.M. – SMITH, K.A. – CHRISTENSEN, S.: 1993. Similar N<sub>2</sub>O flux from soil measured with different chamber techniques. *Atmos. Environ.* 27A:121-123.
4. AMBUS, P. – ROBERTSON, G.P.: 1998. Automated near-continuous measurement of carbon dioxide and nitrous oxide fluxes from soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:394:400.
5. ANDERSON J. P. E. 1982. Soil respiration. 831–871. p. In: Page A. L., Miller R. H., Keeney D. R. (Szerk.): *Methods of Soil Analysis. Part 2*. Madison: Soil Science Society of America, 1692.
6. ANDERSON, J.P.F. – DOMSCH, K.H.: 1975. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Canadian Journal of Microbiology*. 21, 314.
7. ANDRÉN, O. – LINDENBERG, T. – PAUSTIAN, K. – ROSSWALL, T.: 1990. *Ecology of arable lands – Organisms, Carbon and Nitrogen Cycling*. Munksgaard Int., Copenhagen.
8. ÁNGYÁN, J. – MENYHÉRT, Z.: 1997. *Alkalmazkodó növénytermesztés, ésszerű környezetgazdálkodás*. Budapest, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Ház, 414.p.
9. BAJGAI, Y. – KRISIANSEN, P. – HULUGALLE, N. – MCHENRY, M. 2011. A laboratory study of soil carbon dioxide emissions in a vertisol and an alfisol due to incorporating corn residues and simulating tillage. *Journal of Organic Systems* 6 (3) 20-26.
10. BALESSENT, J. – MARIOTTI, A. – BOISGONTIER, D.: 1990. Effects of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from <sup>13</sup>C abundance in maize fields. *J. Soil Sci.* 41:584-596.

11. BALOGH, J. – FÓTI, SZ. – JUHÁSZ, A. – CZÓBEL, SZ. – NAGY, Z. – TUBA, Z.: 2005.: Seasonal CO<sub>2</sub>-exchange variations of a temperate semi-desert grassland in Hungary. *Photosynthetica*, 43 (1) 107-110. p.
12. BÁNDI, GY. – FARAGÓ, T. – LAKOSNÉ HORVÁTH, A.: 1994. Nemzetközi környezetvédelmi és természetvédelmi egyezmények. Budapest, KVTVM. 1994..80. p
13. BANKÓ, L. –HOFFMANN, S. –DEBRECZENI, K.: 2007. A talaj forróvíz-oldható C-frakciójának vizsgálata trágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 56 (2007) 2. 271-284. p.
14. BANKÓ, L.: 2008. A talajtermékenység egyes tényezőinek vizsgálata szerves és műtrágyázási tartamkísérletben. [http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2009/Banko\\_Laszlo\\_theses\\_hu.pdf](http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2009/Banko_Laszlo_theses_hu.pdf)
15. BARBER, D.A. – STANDELL, C.J.: 1977. *Agr. Res. Counc. Letcombe Lab. Ann. Rep. for 1976* 58.
16. BARÓTFI I.: 1991. Környezettechnika kézikönyv. Környezettechnikai Szolgáltató Kft., Budapest.
17. BEARE, M.H. – HENDRIX, P.F. – COLEMAN, D.C.: 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:777-786.
18. BIELEK, P.: 2001. CO<sub>2</sub> released from different soil conditions. In: Garcia-Torres, L., Benites, J., Martinez-Vilela, A., (eds.) 2001. *Conservation Agriculture, a worldwide challenge. Proc. of Conf.* 151-154.
19. BIRKÁS, M. – GYURICZA, CS.: 2004. A talajhasználat és a klimatikus hatások kapcsolata. In: *Talajhasználat, Műveléshatás, Talajnedvesség.* (Szerk.: Birkás M. – Gyuricza Cs.). Quality-Press Nyomda & Kiadó Kft. p. 10-47.
20. BIRKÁS, M. – GYURICZA, CS.: 2004. *Talajhasználat, műveléshatás, talajnedvesség.* Szent István Egyetem, Gödöllő.
21. BIRKÁS, M. – KRISZTIÁN, J. – NAGY, J.: 1999. *Talajhasználat és talajvédelem, Növényterm. Tud. Nap, 1999.01.26.* Kiadvány, „Magyarország az ezredfordulón” Startégiai Kutatások az MTA-n. Növénytermesztés és környezetvédelem (szerk. Ruzsányi L., Pepó P.) MTA Agr. Tud. Oszt., Budapest, 19-29.p.

22. BIRKÁS, M. – JOLÁNKAI, M. – STINGLI, A. – BOTTLIK, L., 2007: Az alkalmazkodó művelés jelentősége a talaj- és klímavédelemben. "Klíma-21" füzetek 51, 34-47.
23. BIRKÁS, M.: 2001. A talajhasználat. A talajhasználati módok értékelése. In: Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban (szerk.: Birkás M.) Akaprint Kiadó, Budapest, 99-120.p.
24. BIRKÁS, M.: 2002. Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Akaprint Kiadó és Nyomda, Budapest.
25. BIRKÁS, M.:1993. Talajművelés. In: Földműveléstan. 1993. Szerk. Nyiri L. Bp. Mezőgazda Kiadó, 96-194.
26. BOCZ, E.: 1992. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
27. BOONE, R.D. – NADELHOFFER, K.J. – CANARY, J.D. – KAYE, J.P.: 1998. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature* 396: 570-572.
28. BOWDEN R., – NEWKIRK K.M., – RULLO G.M. 1988. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions. *Soil Biol. Biochem.* 30 (12) 1591-1597
29. BRUCE, K.D. – JONES, T.H. – BEZEMER, T.M. – THOMPSON, L.J. – RITCHIE, D.A.: 2000. The effect of elevated atmospheric carbon dioxide levels on soil bacterial communities. *Global Change Biol.* 6: 427-434.
30. BRUCE, R.R. – LANGDALE, G.W. – WEST, L.T. – MILLER, W.P.: 1995. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 654-660.
31. BUCHANAN, M.A.: 1990. Carbon and phosphorus cycling in no-till and reduced chemical input maize agroecosystems: Experimental and simulation analysis. North Carolina State Univ., Raleigh.
32. BUCHELE, W.F. – COLLINS, E.V. – LOVELY, W.G.: 1955. Ridge farming for soil and water control. *Agric. Eng.* 36, 324-329.
33. BUNT, J.S. – ROVIRA, A.D., 1954: Oxygen uptake and carbon dioxide evolution of heatsterilized soil. *Nature* 173, 1242.
34. BURKE, I.C. – LAURENROTH, W.K. – MILCHUNAS, D.G.: 1997. Biogeochemistry of managed grasslands in central North America. [In: Paul E.

- A. et al. (eds.) Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America.] Boca Raton: CRC Press, 414. 85-102.
35. CAF: 2007. A talajművelő gépek feladatai, lehetőségei és műszaki megoldásai a számítógéppel támogatott mezőgazdaságban. OTKA Nyilvántartási szám: T 043355. Budapest.
  36. CARDON, Z.G. – HUNGATE, B.A. – AMBARDELLA, C.A. – CHAPIN, III F.S. – FIELD C.B. – HOLLAND, E.A. – MOONEY, H.A.: 2001. Contrasting effects of elevated CO<sub>2</sub> on old and new soil carbon pools. *Soil Biology and Biochemistry*. 33 365-373. p.
  37. CHAPIN, III F.S. – MATSON, P.A. – MOONEY H.A.: 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology. New York: Springer-Verlag, 484 p.
  38. CHENG, X. – AN, S. – CHEN, J., LI, B. – LIU, Y. – LIU, S.: 2007. Spatial relationships among species, above-ground biomass, N, and P in degraded grasslands in Ordos Plateau, northwestern China. *Journal of Arid Environments*, 68. 652-667.
  39. COLE C.V.: 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change. 1995. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emission IPCC Working Group 11, Chapter 23, Washington, D.C.
  40. COSH, M.H. – BRUTSAERT, W.: 2003. Microscale structural aspects of vegetation density variability. *Journal of Hydrology*, 276. 128-136.
  41. DALAL, R.C. – WANG, W. – ROBERTSON, G.P. – PARTON, W.J.: 2003. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review, *Australian Journal of soil Research*, 41, 165-195.
  42. DAVIDSON, E.A. – JANSSENS, I.A.: 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440: 165-173.
  43. DE JONG, E. – SCHAPPEART, H.J.V. – MACDONALD, K.B., 1974: Carbon dioxide evolution from virgin and cultivated soil as affected by management practices and climate. *Can. J. Soil. Sci.* 54, 299-307.
  44. DOBOR, L., BARCZA, Z., HLÁSNY, T., HAVASI, Á., 2013. Creation of the FORESEE database to support climate change related impact studies In: Proceedings, International Scientific Conference for PhD Students, March 19-20, 2013, Győr, Hungary
  45. DORAN, J.W.: 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 765-771.



46. DORE, S. – HYMUS, G.J. – JOHNSON, D.P. – HINKLE, C.R. – VALENTINI, R. – DRAKE, B.G.: 2003. Cross validation of open-top chamber and eddy covariance measurements of ecosystem CO<sub>2</sub> exchange in a Florida scrub-oak ecosystem. *Global Change Biol.* 9: 84-95.
47. DOUGLAS, J.: 1977. *Agr. Res. Counc. Letcombe Lab. Ann. Rep. for 1976.* 46.
48. DÖVÉNYI, Z.: 2010. Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
49. DREES, R.L. – WILDING, L.P. – NORDT, L.C.: 2001. Reconstruction of soil inorganic and organic carbon sequestration across broad geoclimatic regions. *Soil carbon sequestration and the greenhouse effect.* SSSA Spec. Publ. No. 57., 155-171.
50. DREW, M.C. – SAKER, L.R.: 1978. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 29, 201.
51. ECAF: 1999. *Conservation Agriculture in Europe: Environmental Economic and EU Policy Perspectives.* Brussels. 23 p.
52. EDWARD, N.T., 1975: Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. *Proc. Soil Sci. Soc. Am. J.* 39 361-365.
53. EMMETT, B. – BEIER, C. – ESTIARTE, M. – TIETEMA, A. – KRISTENSEN, H.L. – WILLIAMS, D. – PEÑUELAS, J. – SCHMIDT, I. – SOWERBY, A.: 2004. The response of soil processes to climate change: Results from manipulation studies of shrublands across an environmental gradient. *Ecosystems* 7, 625-637.
54. ETANA, A. – HAKANSSON, I. – ZAGAL, E. – BUCAS, S.: 2001. Effects of tillage depths on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils. *Kézirat.*
55. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY.: 1998. *Soil Degradation*, chapter 11, p.23 1-246.; chapter 2 climate change, p. 37-59. In: *Europe's Environment: The Second Assesment* Elsevier Science Ltd., pp.293.
56. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY.: 2005. *European environment outlook.* Luxemburg: OOEPEC, 2005. 87. (EEA report; 4/2005)
57. FANG, C. – MONCRIEFF, J.B.: 1998. An open-top chamber for measuring soil respiration and the influence of pressure difference on CO<sub>2</sub> efflux measurement. *Functional Ecology* 12, 319-325.

58. FARAGÓ T., 2013: Nemzetközi klímapolitikai együttműködés, Magyarország részvétele és feladatai, Grotius, 84.p.
59. FARAGÓ, T.. 1998. Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése: kiotói jegyzőkönyv az ENSZ éghajlatváltozási keretegyezményéhez és a hazai feladatok. In.: Fenntartható fejlődés és környezet. Fenntartható Fejlődés Bizottság. Budapest. KTM Fenntartható Fejl. Biz. 1998. p. 96
60. FARAGÓ, T.: 2004. Globális környezeti problémák és a riói megállapodások végrehajtásának helyzete. (Szerk.: Faragó T.-Kerényi A; Összeáll. Ángyán J. et al.) Környezet és Vízügyi Minisztérium; Debrecen. Debreceni Egyetem, 2004. p.166.
61. FARAGÓ, T. – GYULAI, I.: 1994. Környezet és társadalom közös jövője: Az ENSZ Környezet és Fejlődés Konferenciáján elfogadott „Feladatok a XXI. Századra” című program áttekintése és megvalósításának első eredményei. Budapest, FFB.1994.p.121.
62. FARKAS, Cs.: 2004. A művelés és a talajállapot hatása a talaj nedvességforgalmára. In: Talajhasználat. Műveléshatás. Talajnedvesség. (Szerk.: Birkás M. – Gyuricza Cs.) Szent István Egyetem. 61-81. p.
63. FEHÉR, D.: 1954. Talajbiológia. Akadémiai Kiadó, Budapest.
64. FIERER, N. – SCHIMEL, J.: 2003. A proposed mechanism for the pulse in carbon dioxide production commonly observed following the rapid rewetting of a dry soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 798-805
65. FILEP, GY. 1999 Talajtani alapismeretek I. 79.p.
66. FOGARASSY, Cs. – LUKÁCS, Á. – BÖRÖCZ, M.: 2008. Basic structure of CO<sub>2</sub> emission management practice in agricultural land use. Cereal Research Communications Vol.36. 327-330.p.
67. FOLLETT, R.F. – PETERSON, G.A.: 1988. Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:141-147.
68. FRANZLUEBBERS, A. – HANEY, R. – HONEYCUTT, C. – SCHOMBERG, H. - HONS, F.: 2000. Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 613-623
69. FÜLEKY Gy. – CZINKOTA I.: 1993 Hot Water Percolation (HWP): - A New Rapid Soil Extraction Method. Plant and Soil, 157, 131-135.

70. GALLOWAY, J.N. – ABER, J.D. – ERISMAN, J.W. – SEITZINGER, S.P. – HOWARTH, R.W. – COWLING, E.B. – COSBY, B.J.: 2003. The nitrogen cascade, *BioScience*, 53, 341-356
71. GHANI, A. – DEXTER, M. – PERROTT K. W.: 2002. Hot-water carbon is an integrated indicator of soil quality. Symposium 32.WCSS, Thailand 1650.p
72. GIUFFRÉ, L. – HEREDIA, O. – PASCALE, C. – COSENTINO, D. – CONTI, M. – SCHNUG, E.: 2003. Land use and carbon sequestration in arid soils of northern Patagonia (Argentina). *Landbauforschung Völkenrode*, 53, 13-18.
73. GOUDRIAAN, J. – UNSWORTH, M.H.: 1990. In: Lægheid, M. - Bøckman, O.C. - Kaarstad, O.: *Agriculture, Fertilizers and the Environment*. (1999) CABI Publishing. University Press, Cambridge, UK, 67.
74. GRANT, R.F. – ROCHETTE, P.: 1994. Soil microbial respiration at different water potentials and temperatures: theory and mathematical modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58 :1681-1690.
75. GYŐRI, D., 1984. *A talaj termékenysége*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 254.
76. GYURICZA, CS. – BIRKÁS, M. – JÓRI, J.I.: 2002. Művelési rendszerek hatása a talaj szén-dioxid kibocsátására. *Tud. Konf. Debrecen*.
77. GYURICZA, Cs. – FÖLDESI, P. – MIKÓ, P. – UJJ A.: 2005. Carbon dioxide emission from arable lands. *Cereal Research Communications* Vol. 33. No. 1. 89-92. p.
78. GYURICZA, CS. – MIKÓ, P. – FÖLDESI, P. – UJJ, A. – KALMÁR, T.: 2006. Investigation of green manuring plants as secondary crop improving unfavorable field conditions to efficient food production. - *Cereal Research Communications*, Vol. 34 No. 1. 191-195.p.
79. GYURICZA, CS.: 2000. Az értékmegőrző és hagyományos talajművelés egyes fizikai és biológiai hatásának értékelése. *Doktori értekezés*. Gödöllő.
80. GYURICZA, CS.: 2004. A szántóföldi talajhasználat és az üvegházhatás összefüggései mért adatok alapján. In: *Talajhasználat, Műveléshatás, Talajnedvesség*. (Szerk.: Birkás M. – Gyuricza Cs.). Quality-Press Nyomda & Kiadó Kft. pp. 47-61.
81. HAJDÚ, V.: 2005. Kibocsátási jogok és emisszió kereskedelem. *Gazdasági statisztika*. 2005. 17.2. p.18-31.

82. HANSON, P.J. – EDWARDS, N. – GARTEN, C.T. – ANDREWS, J.A.: 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry* 48: 115-146.
83. HARROD, T.R.: 1994. Runoff, soil erosion and pesticide pollution in Cornwall. In: Rickson, R.J. (edit.) 1994. Conserving soil resources, CABI, Oxford, U.K.
84. HARROLD, L.L. – EDWARDS, W.M.: 1974. No-tillage system reduces erosion from continuous corn watersheds. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 17, 414-416.
85. HASZPRA L. – BARCZA Z., 2001: A magyarországi légkör/bioszféra széndioxid fluxus mérések eredményei. *Fizikai Szemle* 2001/2. 50.o.
86. HEINEMEYER, A. – MCNAMARA, N.P.: 2011. Comparing the closed static versus closed dynamic chamber flux methodology: Implications for soil respiration studies. *Plant and Soil* , 296. 1-5 p.
87. HENDRIX, P.F. – PARMELEE, R.W. – CROSSLEY, Jr., D.A. – COLEMAN, D.C. – ODUM, E.P. – GROFFMAN, P.M.: 1986. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. *Bio-Science* 36:374-380.
88. HOLLAND, E.A. – COLEMAN, D.C.: 1987. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. *Ecology* 68:425-433.
89. HOUGHTON, J.: 1997. In: Lægveid, M. - Bøckman, O.C. - Kaarstad, O.: *Agriculture, Fertilizers and the Environment.* (1999) CABI Publishing. University Press, Cambridge, UK., 65.
90. HOUGHTON, R.A. – HOBBIE, J.E. – MELILLO, J.M. – MOORE, B. – PETERSON, B.J. – SHAVER, G.R. – WOODWELL, G.M.: 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *Ecol. Monogr.* 53: 235-262.
91. HUND-RINKE, K. – SIMON, M.: 2008. Bioavailability assessment of contaminants in soils via respiration and nitrification tests. *Environ. Pollut.* 153(2):468-75
92. HUSZTINÉ, B. K.: 2005. Some commercial questions of the CO<sub>2</sub> emission. *Cereal Research Communications.* 2005. 33. 1. 221-224.
93. HUTCHINSON, G.L. – MOISER, A.R.: 1981. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Sci., Soc. Am.* 45: 311-316.

94. HUZSVAI, L. – RÁTONYI, T. – MEGYES, A. – SULYOK D.: 2006. The effect of reduced tillage methods in physical characteristics of the soil and organic matter cycles. *Cereal researches Communications* 33 (1) 399-402.p.
95. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.: 2001. The road from Kyoto: Current CO<sub>2</sub> and transport policies in the IEA.OECD. 2001. p.169
96. IPCC, 2007: IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report.
97. IPCC, 2011: Tematikus Jelentés a szélsőséges éghajlati események kockázatáról és kezeléséről. Döntéshozói összefoglaló. IPCC, 2011.
98. ISAKSEN, I.S.A. – HESSTVEDT, E. – STORDAL, F.: 1980. *Nature*. 283, 189.
99. ISAKSEN, I.S.A. – STRODAL, F.: 1981. *Ambio*, 10, 9.
100. ISERMANN, K., 1994: Agriculture's share in the emission of trace gases affecting the climate and some cause-oriented proposals for sufficiently reducing this share. *Environmental Pollution* 83, 95-111.
101. KÁTAI J.: 1992. Kölcsönhatások a talajtulajdonságok, néhány agrotechnikai eljárás és a mikrobiológiai aktivitás között. Kandidátusi értekezés. Debrecen.
102. KÁTAI J.: 2008. Talajtan, talajökológia. 148-163.p.
103. KE, X. – WINTER, K. – FILSER, J.: 2005. Effects of soil mesofauna and farming management on decomposition of clover litter: a microcosm experiment. *Soil Biol. Biochem.* 37: 731-738.
104. KEULEN, van H. - LAAR, – van H.H. - LOUWERSE, W. – GOUDRIAAN, J.: 1980. *Experientia*, 36, 786.
105. KIRSCHBAUM, M.U.F.: 2004. Soil respiration under prolonged soil warming: are rate reductions caused by acclimation or substrate loss? *Global Change Biology* 10, 1870-1877.
106. KOÓS, S. – NÉMETH, T.: 2007. Relation between carbon –dioxide fluxes and nitrogen content of soil in a long-term fertilization experiment. *Cereal Research Communications* Vol. 35. No. 2. 641-644.p.
107. KRÖEL-DULAY, GY. – KALAPOSS, T. – MOJZES, A. (szerk.): 2008. Talaj – vegetáció - klíma kölcsönhatások. Köszöntjük a 70 éves Láng Editet. MTA ÖBKI, Vácrátót. 135-146.
108. LAL, R. – KIMBLE, J.M. – FOLLETT, R.F. – COLE, C.V.: 1998. The potential of U.S. cropland sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Sleeping Bear Press*, 128.

109. LÁNG, I.: 2003. Agrártermelés és globális környezetterhelés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 215.
110. LANGDALE, G.W. – BARNETT, A.P. – LEONARD, R.A. – FLEMING, W.G.: 1979. Reduction of soil erosion by the no-till system in the Southern Piedmont. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 22, 82-86, 92.
111. LI, C.: 1995. Modeling impact of agricultural practices on soil C and N<sub>2</sub>O emissions. In: Lal, R., Kimble, J., Levine, E., Stewart, B.A., (eds.) 1995. *Soil management and greenhouse effect*. Lewis Publishers, 101-112.
112. LINN D.M., –DORAN J.W., 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci Soc Am J.* 48 (1984) 1967-1972
113. LOFTFIELD, N.S. – BRUMME, R. – BEESE, F.: 1992. Automated monitoring of Nitrous oxide and carbon dioxide flux from forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1147-1150.
114. LYNCH, J.M. – PANTING, L.M.: 1980. *Soil Biology and Biochemistry.* 12, 29.
115. MACFAYDEN, A., 1970: Soil metabolism in relation to ecosystem energy flow. In: *Methods of Study in Soil Ecology* (ed. Phillipson, J.), IBP/UNESCO Symp, Paris, 1970, pp 167-172.
116. MANNINGER, G. A. (1957): A talaj sekély művelése. (Sajtó alá rend. Manninger I.) Budapest, Mezőgazdasági Kiadó.
117. MARMO, L.: 2008. EU strategies and policies on soil and waste management to offset greenhouse gas emissions. */Waste Management/.* 28: 685-689.
118. MENGEL, K. – E. A. KIRBY.: 1983. *Principles of Plant Nutrition*, 3rd. Ed. Bern.
119. MIELKE, L.N. – DORAN, J.W. – RICHARDS, K.A.: 1986. Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil Till. Res.* 7, 355-366.
120. MIELNICK, P.C. – DUGAS, W.A.: 2000. Soil CO<sub>2</sub> flux in a tallgrass prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, 32 221-228. p.
121. MOSIER, A.R.: 1989. Chamber and isotope techniques. In: Andreae, M.O., Schimel, D.S. (ed.) *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere*. John Wiley & Sons, New York. 175-187.
122. NAGY, Z. – PINTÉR, K. – PAVELKA, M. – DARENOVÁ, E. – BALOGH, J.: 2011. Carbon fluxes of surfaces vs. ecosystems: advantages of measuring eddy

- covariance and soil respiration simultaneously in dry grassland ecosystems. *Bio geosciences* 8, 2523-2534.
123. NAKAYAMA, F.S. 1990. Soil respiration. *Remote Sensing Review*, 5 311-321.
  124. NÉMETH, T.: 2004. Organic matter cycles in agriculture. In: Láng I., Jolánkai M., Kőmíves T. (eds.): *Pollution process in agri-environment*.
  125. NYÍRI, L.: 1993. *Földműveléstan*. (Szerk.: Nyíri L.) Budapest, Mezőgazda Kiadó.
  126. NYIRI, L.: 1997. *Az aszálykárok mérséklése*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
  127. ORCHARD, V.A. – COOK, F.J.: 1983. Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biol. Biochem.* 15: 447-453.
  128. ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2002. *Beyond Kyoto: Energy dynamics and climate stabilisation*. Paris. P.162
  129. ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. (1999). *National Climate Policies and the Kyoto Protocol* Paris. p.87
  130. PAUL, E.A. – CLARK, F.E.: 1989. *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, San Diego.
  131. PAUTIAN, K. – COLE C.V. – SAUERBECK, D. – SAMPSON, N.: 1998. CO<sub>2</sub> mitigation by agriculture: An overview, *Climate Change* 40 (1):135-162.
  132. PAVELKA, M. – ACOSTA, M. – MAREK, M.V. – KUTSCH, W. – JANOUS, D.: 2007. Dependence of the Q<sub>10</sub> values on the depth of the soil temperature measuring point. *Plant & Soil* 292, 171-179.
  133. QUEMADA, M. – CABRERA, M.L.: 1995. Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of four cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 471-477.
  134. RAJKAI, K. –SZÁSZ, G. – HUZSVAI, L. (2004). *Agroökológiai modellek*. Debrecen, Debreceni Egyetem.
  135. RASTOGI, M., –SINGH, S. – PATHAK, H., 2002: Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science* 82, 510-517.
  136. RÁTONYI, T.: 2006. Termőhelyi tényezők szerepe a szántóföldi növénytermesztésben. In: *Földművelés és földhasználat*. (Szerk.: Birkás M.). Mezőgazda Kiadó, Budapest. ISBN 963 286 238 4.
  137. REICH, J.W. – SCHLESINGER, W.H.: 1992. The global carbon-dioxide flux in soil respiration and its relationship to climate. *Tellus* 44 B. 81-89.

138. REICHSTEIN, M. – BEER, C.: 2008. Soil respiration across scales: The importance of a model-data integration framework for data interpretation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171, 344-354.
139. REICOSKY, D.C. – REEVES, D.W. – PRIOR, S.A. – RUNION, G.B. – ROGERS, H.H. - RAPER, R.L.: 1999. Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss. *Soil Till. Res.* 52, 153-165.
140. REICOSKY, D.C.: 1995. Impact of tillage on soil as a carbon sink. In: *Farming for a better environment. A White Paper*, Soil, Water Conservation Soc., Ankeny, Iowa, 67.
141. REICOSKY, D.C.: 1998. Tillage and short-term CO<sub>2</sub> emissions from soils in the laboratory. *Kézirat*.
142. RETH, S. – REICHSTEIN, M. – FALGE, E.: 2005. The effect of the soil water content soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO<sub>2</sub> efflux – A modified model. *Plant and Soil* 268. 21-33.
143. ROCHETTE, P. – FLANAGAN, L.B.: 1997. Quantifying rhizosphere respiration in a corn crop under field conditions. *Soil Science Society of America Journal* 61, 466-474.
144. RUSTAD, L.E. – CAMPBELL, J.L. – MARION, G.M. – NORBY, R.J. MITCHELL, M.J. – HARTLEY, A.E., – CORNELISSEN, J.H.C., – GUREVITCH J., *GCTE NEWS*.: 2001. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia* 126, 543-562.
145. SCHIMEL, J.P. – GULLEDGE, J.: 1998. Microbial community structure and global trace gases. *Global Change Biol.* 4: 745-758.
146. SCHNEIDER, S.H.: 1975. *J. Atmos. Sci.* 32, 2060.
147. SIPOS, G.: 1972. *Földműveléstan. Mezőgazdasági Kiadó Budapest*.
148. SKOPP, J. – JAWSON, M.D. – DORAN, J.W.: 1990. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1619-1625.
149. SMITH, K.A. – BALL, T. – CONEN, F. – BOBBIE, K.E. – MASSHEDER, J. – REY, A.: 2003. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science* 54. 779.



150. SMITH, P., –FANG, C., – DAWSON, J. J. C., –MONCRIEFF, J. B. 2008. Impact of global warming on soil organic carbon. *AdvAgron*, 97 1–43.
151. SOUSSANA, J. F. – ALLARD, V. – PILEGAARD, K. – AMBUS, P. AMMAN, C. – CAMPBELL, C., – CESCHIA, E. – CLIFTON BROWN, J., – C.ZÓBEL, S. – DOMINGUES, R. – FLECHARD, C. – FUHRER, J. – HENSEN, A. – HORVATH, L. – JONES, M. – KASPER, G. – MARTIN, C. – NAGY, Z. – NEFTEL, A. – RASCHI, A. – BARONTI, S. – REES, R. M., – SKIBA, U. – STEFANI, P. – MANCA, G. – SUTTON, M. – TUBA, Z. – VALENTINI, R. (2007). Full accounting of the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121 121–134.p.
152. STOYAN, H. – DE - POLLI, H. - BÖHM, S. - ROBERTSON, G. P. - PAUL, E. A.: 2000. Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale. *Plant and Soil*, 222. 1-2. 203-214.p.
153. STUIVER, M.: 1978. *Science*. 199, 253.p.
154. SZABÓ, I. M.: 1992. A mikroorganizmusok aktivitásának szabályozása. A talajművelési eljárások, trágyázási és növénytermesztési rendszerek célszerű kombinációjával. In: Szabó I. M.: *Az általános talajtan biológiai alapjai*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 325-335.p.
155. SZABÓ, I.M.: 1986. *Az általános talajtan biológiai alapjai*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. ISBN 963 232 249 5.
156. SZILI-KOVÁCS, T. – RADIMSZKY, L. – ANDÓ, J. – BICZÓK, GY.: 1993. CO<sub>2</sub> evolution from soils formed on various parent materials in the East-Cserhát mountains (Hungary) during laboratory incubation. *Agrokémia és Talajtan* 42. 140-146.
157. SZILI-KOVÁCS, T.: 2004. Szubsztrát indukált respiráció a talajban. *Agrokémia és Talajtan*, 22 1–22. p.
158. SZILI-KOVÁCS, T: - SZEGI, J.: 1992. Néhány magyarországi talaj mikrobiális biomassza C-tartalmának meghatározása kloroform fumigációs és szubsztrát indukált respirációs módszerrel. *Agrokémia és Talajtan* 41. 227-240.
159. TAMÁS, J.: 2001. *Precíziós Mezőgazdaság*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.

160. TÓTH, E. – FARKAS, Cs. – KOÓS, S: – NÉMETH T.: 2009. A művelés hatása a talaj szén-dioxid kibocsátására I. Laboratóriumi módszertan tesztelése bolygatatlan talajoszlopokon. *Agrokémia és Talajtan* 58 (2009) 2. 215-226.p.
161. TÓTH E. – KOÓS S.: 2006. Carbon dioxide emission measurements in a tillage experiment on chernozem soil. *Cereal Research Communications*. Vol. 34. No. 1. 331-334.
162. TÓTH E. – KOÓS S: - FARKAS Cs.: 2008. A talaj szén-dioxid emissziója és nedvességtartalma közötti kapcsolat vizsgálata talajművelési tartamkísérletben. *Talajvédelem különszám* (szerk.: Simon L.). 175-184.
163. TÓTH, E. – KOÓS, S: - FARKAS, Cs.: 2009. Soil carbon dioxide efflux determined from large undisturbed soil cores collected in different soil management systems. *Biologia* 64/3. 643-647. p.
164. TÓTH, E. – KOÓS, S., – FARKAS, CS., – NÉMETH, T.: 2005. Carbon dioxide emission from calcareous chernozem soil. *Cereal Research Communications* 33, 129-132.
165. TRACY, P. – WESTFALL, D.G. – ELLIOTT, E.T. – PETERSON, G.A. – COLE C.V.: 1990. Carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur mineralization in plow and no-till cultivation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 457-461.
166. TRUMBORE, S.E.: 1997. Potential responses of soil organic carbon to global environmental change. *Colloquium Paper in Proc. Nat. Acad. Sci.* 94: 8284-8291.
167. TUBA, G.: 2013. A talaj fizikai állapotának vizsgálata hagyományos és redukált talajművelési rendszerben. *Agrártudományi Közlemények* 51. Debrecen, 183-186.p.
168. UNGER, P.W.: 1984. Tillage and residue effects on wheat, sorghum, and sunflower grown rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 885-891.
169. VAN der LINDEN, A.M.A.: 1989. Turnover of soil microbial biomass as influenced by soil compaction. cit. Brussaard, L. – Faasen, H.G., 1994.
170. VÁRALLYAI, Gy.: 2005. Talajvédelmi stratégia az Európai Unióban és Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan*, 54. (1-2) 203-216. p.
171. WILDUNG, R.E. – GARLAND, T.R. – BUSCHBOM, R.L.: 1975. The interdependent effects of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root and decomposition in arid grassland soils. *Soil Biol. Biochem.* 7: 199-204.

172. WILSON, J.M. – GRIFFIN, D.M.: 1975. Water potential and the respiration of microorganisms in the soil. *Soil Biology & Biochemistry* 7, 199-204.
173. ZÁGONI, M.: 2004. Az üvegházhatás, a globális felmelegedés és a légköri széndioxid-tartalmi összefüggéséről, "AGRO-21" Füzetek. (Szerk.: Csete L.) AKAPRINT, Budapest, 33, 95-105.
174. ZSEMBELI, J. – NAGY, I.: 2004. Talajművelési technológiák hatása a széndioxid emisszióra. 4. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok. Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Főiskolai Kar, 2004. (ISBN:963 217 059 8, Paper 41.
175. ZSUPOSNÉ, OLÁH Á.: 2003. Talajt javító és kímélő technológiák talajbiológiai tesztelése. Talajjavítás–talajvédelem. Debrecen. 63-70.p.

#### **AZ ONLINE SZAKIRODALOM JEGYZÉKE**

- Internet1.: <http://www.zoldtech.hu/lexikon/szocikkek/uveghazhatas> 2009. 12. 15. 14.26.h
- Internet2.:<http://www.humusz.hu/hirek/talaj-szenmegkotes-csokkentheti-co2-kibocsatast/2783> 2010. 05. 23. 20.12.h
- Internet3.:[http://forestpress.hu/jie\\_hu/index.php?option=com\\_content&task=view&id=13330&Itemid=225](http://forestpress.hu/jie_hu/index.php?option=com_content&task=view&id=13330&Itemid=225) 2010. 05. 23. 21.03.h
- Internet4.: <http://www.kvvm.gov.hu/index.php?pid=1&sid=1&hid=1809> 2012. 09. 23. 15.06.h



Iktatószám: DEENKÉTK/142/2014.  
Tételszám:  
Tárgy: Ph.D. Publikációs Lista

Jelölt: Kovács Györgyi  
Neptun kód: P3CXRO  
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Növénytermesztési- és Kertészeti  
Tudományok Doktori Iskola  
Mtm-t azonosító: 10028403

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (1)

1. Óri N., Füleky G., Zsigrai G., **Kovács G.**: Mútrágyázás és melioratív meszezés hatása egy csernozjom talaj szervesanyag-frakcióinak mennyiségére.  
In: Talajvédelem. Szerk.: Farsang Andrea, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudomány Egyetem, Szeged, 229-236, 2011. 978-963-306-089-6

#### Idegen nyelvű, külföldi könyvrészlet(ek) (1)

2. Tóth, E., Barcza, Z., Birkás, M., Gelybó, G., Zsembeli, J., Bottlik, L., Davis, K.J., Haszpra, L., Kern, A., Kljun, N., Koós, S., **Kovács, G.**, Stingli, A., Farkas, C.: Arable lands.  
In: Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective. Ed.: Haszpra L., Springer, London, 157-197, 2011. 978-90-481-9949-5  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-9950-1>

#### Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (6)

3. **Kovács G.**, Tuba G., Czibalmos R., Csízi I.: Különböző komposztadagok hatása az extenzív gyepek talajának néhány tulajdonságára.  
*Gyepgazdálk. közl.* 2010/11 (2), 9-14, 2013. 1785-2498.
4. Szöllösi N., Juhász C., **Kovács G.**, Zsembeli J.: A növényborítás hatása a talaj CO<sub>2</sub> emissiójának napi dinamikájára.  
*Agrártud. Közl. [Debrecen]*. 42, 97-102, 2010. 1587-1282.



5. Szöllősi N., **Kovács G.**, Zsembeli J.: A talaj szén-dioxid emissziója árpa tarlón.  
*Agrártud. Közl. [Debrecen].* 35, 95-102, 2009. 1587-1282.
6. **Kovács G.**, Szöllősi N.: A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának mérésére szolgáló eszközök mérőhelyspecifikus fejlesztése.  
*Agrártud. Közl. [Debrecen].* 30, 53-58, 2008. 1587-1282.
7. Szöllősi N., Zsembeli J., **Kovács G.**, Juhász C.: A talajművelés szerepe környezetünk CO<sub>2</sub> terhelésében.  
*Talajvédelem. Különszám,* 517-526, 2008. 1216-9560.
8. **Kovács G.**, Zsembeli J.: A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának dinamikája hagyományos és redukált talajművelési rendszerekben.  
*TSF Tud. Közl.* 7 (1), 103-108, 2007.

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (8)

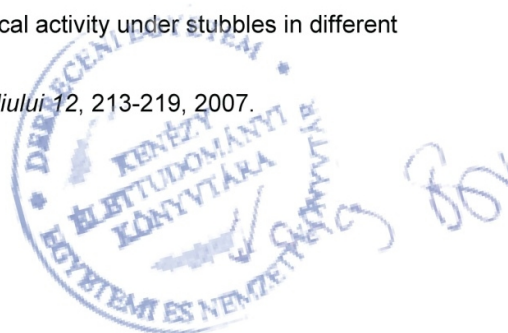
9. Óri, N., Zsigrai, G., **Kovács, G.**: Effect of fertilizers and meliorativ liming on soil organic matter fractions.  
*Növénytermelés.* 60 (Suppl.), 183-186, 2011. 0546-8191.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556>
10. **Kovács, G.**, Óri, N., Tuba, G.: Effects of soil cultivation systems on the factors of the soil carbon cycle.  
*Növénytermelés.* 59 (Suppl.), 37-40, 2010. 0546-8191.
11. **Kovács, G.**: Examination of CO<sub>2</sub> emission of different stubbles on a chernozem soil.  
*J. Agr. Sci., Debr.* 38, 53-59, 2010. 1916-9752. -1916-9760.
12. Zsigrai, G., Zsembeli, J., **Kovács, G.**: Effects of regular under- and over-fertilisation on the chemical features of a chernozem soil and on the yield of winter wheat.  
*Cereal Res. Commun.* 37 (Suppl.), 117-120, 2009. 0133-3720.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/117> CRC.37.2009.Suppl.2
13. **Kovács, G.**, Zsembeli, J., Szöllősi, N., Juhász, C.: Effect of reduced cultivation systems on the CO<sub>2</sub>-emission of the soil.  
*Cereal Res. Commun.* 36 (Suppl.II), 1247-1250, 2008. 0133-3720.



14. Szöllősi, N., Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Juhász, C.: Role of Cultivation systems in environmental pollution by CO<sub>2</sub> emission from the soil.  
*J. Agric. Sci. Suppl.*, 277-282, 2008. 1588-8363.
15. Zsembeli, J., **Kovács, G.**: Dynamics of CO<sub>2</sub>-emission of the Soil in Conventional and Reduced Tillage Systems.  
*Cereal Res. Commun.* 35 (2), 1337-1340, 2007. 0133-3720. -1788-9170.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/CRC.35.2007.2.293>  
IF:1.19
16. Zsembeli, J., Tuba, G., **Kovács, G.**: Development and extension of CO<sub>2</sub> -emission measurements for different soil surfaces.  
*Cereal Res. Commun.* 34 (1), 359-362, 2006. 0133-3720.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/CRC.34.2006.1.90>  
IF:1.037

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (4)

17. Czibalmos, Á., **Kovács, G.**, Zsembeli, J., Czibalmos, R., Tuba, G.: Yields of winter wheat varieties bred at Karcag in different soil cultivation systems.  
*Res. J. Agr. Sci.* 45 (3), 71-80, 2013. 2066-1843.
18. **Kovács, G.**, Tuba, G., Czibalmos, R., Csízi, I.: Effect of different compost doses on some properties of an extensive grassland soil.  
*Res. J. Agr. Sci.* 45 (2), 157-165, 2013. 2066-1843.
19. Szöllősi, N., Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Juhász, C.: CO<sub>2</sub> emission and Long-term prediction of Carbon stock change of the soil in different soil tillage systems.  
*Anal. Univ. Oradea Fac. Protect. Med.* 14, 1139-1150, 2009. 1224-6255.
20. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Tamás, J.: Microbiological activity under stubbles in different soil cultivation systems.  
*Analele Univ. Oradea Fascicula. Protect. Mediului* 12, 213-219, 2007.





Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (7)

21. Zsembeli J., **Kovács G.**: A talaj szén-dioxid emissziója hagyományos és redukált művelésben.  
In: Vyuxzivanje pod v prihranicnej oblasti Slovensko-Maxdarsko. Ed.: Jana Jakubová, Agroökológiai Kutató Intézet, Mihalovce, Slovakia Mihalovce, 95-101, 2012. 978-80-89417-38-4
22. **Kovács G.**: Gazdálkodás és környezetvédelem: Gazdálkodói felmérés az alföldi leader kistérségekben.  
In: Gazdaságosság és/vagy biodiverzitás? : LII. Georgikon Napok. Szerk.: Tóth Gábor, PE Georgikon Kar, Keszthely, [10], 2010. 978-963-9639-39-3
23. Szöllösi N., Zsembeli J., **Kovács G.**, Juhász C.: A talajélet aktivitása különböző talajművelési rendszerekben.  
In: AGTEDU 2009. Szerk.: Belina Károly, Klebniczki József, Lipócziné Csabai Sarolta, Borsné Pető Judit, Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, 113-118, 2009.
24. Szöllösi N., Juhász C., Zsembeli J., **Kovács G.**: A fenntartható növénytermesztés megvalósulásának vizsgálata különböző talajművelési rendszerekben.  
In: LI. Georgikon Napok [elektronikus dokumentum] : Nemzetközi tudományos konferencia : Keszthely, 2009. október 1-2. Szerk.: Tóth Gergely, Pannon Egyetem, Keszthely, 923-929, 2009.
25. **Kovács G.**, Kun A., Zsembeli J.: A talaj széndioxid emissziója és nedvességtartalma közötti összefüggés vizsgálata.  
In: VI. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok. Közread.: Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, Szolnoki Főiskola, Mezőtúr, 32, 2008.
26. Szöllösi N., **Kovács G.**, Zsembeli J.: A redukált talajművelési rendszer hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára.  
In: I. Országos Környezetgazdaságtani PhD. Konferencia : Budapest, Magyarország, 2007.11.27. Szerk.: Kerekes S. ; közread. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, 116-128, 2007.
27. **Kovács G.**, Zsembeli J., Tuba G.: CO<sub>2</sub>-emissziós mérések kiterjesztése különböző talajfelszínre.  
In: V. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok : Mezőtúr, 2006. október 26-27. : összefoglalók. Szerk.: Kalmár Imre, SZF MMF, Mezőtúr, 1-5, [2006]. 963-06-0816-2



Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (2)

28. Szöllösi, N., **Kovács, G.**, Bakti, B., Zsembeli, J., Gyuricza, C.: CO<sub>2</sub>-emission of the soil on the basis of the comparison of measured and calculated data.  
In: Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia : Globális kihívások, lokális megoldások : 2009. szeptember 3-4., Kecskemét : konferenciakiadvány. Szerk.: Ferencz Árpád, Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar, [Kecskemét], 1352-1356, 2010.
29. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Szöllösi, N., Gyuricza, C.: Correlations of soil management and carbon stock change in soils.  
In: ECOMIT Proceedings of the 5th International Scientific Conference on Sustainable Farming Systems November 5-7 (Szlovákia, Piestany). Ed.: Zuzana Lehocká, Marta Klimeková, Wijnand Sukkel, Slovak Association for Sustainable Agriculture, Považany, 75-80, 2008. 978-80-969603-1-6

Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikk(ek) (1)

30. Óri N., **Kovács G.**: A talaj termékenységének változása szerves és műtrágyázás hatására.  
*Értékálló aranykorona* . 13 (8), 17-21, 2013. 1586-9652.







---

**A kutatási témához közvetlenül nem kapcsolódó publikációk**

Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (1)

31. Zsembeli J., **Kovács G.**, Gyuricza C., Kovács G.P.: A kukorica és a cirok vízfelhasználási hatékonyságának összehasonlítása liziméterekkel.  
In: Talajvédelem. Szerk.: Farsang Andrea, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudomány Egyetem, Szeged, 307-312, 2011. 978-963-306-089-6

Idegen nyelvű, hazai könyvrészlet(ek) (1)

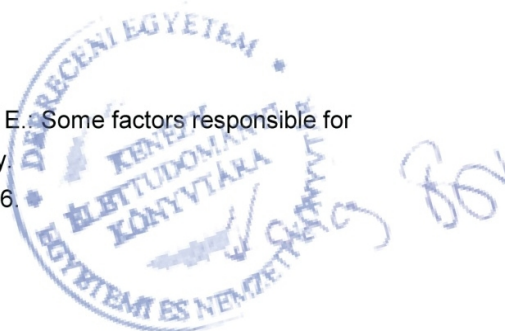
32. Tóth, E., Barcza, Z., Birkás, M., Gelybó, G., Zsembeli, J., Bottlik, L., Davis, K.J., Haszpra, L., Kern, A., Kljun, N., Koós, S., **Kovács, G.**, Stingli, A., Farkas, C.:  
Measurements and estimations of biosphere-atmosphere exchange of greenhouse gases.  
In: Atmospheric Greenhouse Gases : The Hungarian Perspective. Ed.: Haszpra L., Springer, London, 157-197, 2011.

Magyar nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (2)

33. Fehér A., Czibalmos R., **Kovács G.**, Szepesy E.: Birtokkoncentráció, foglalkoztatás, diverzifikáció és multifunkcionalitás.  
*Gazdálkodás*. 54 (3), 286-296, 2010. 0046-5518.
34. Zsembeli J., **Kovács G.**: A mulcsolás hatása a cirok vízforgalmára liziméterekben.  
*TSF Tudományos Közlemények*. 7 (2), 485-490, 2007.

Idegen nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (3)

35. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Some factors responsible for reductions in employment on farms in Hungary.  
*Stud. agric. econ.* 112, 69-82, 2010. 1418-2106





36. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Motivations and intentions of farmers as regards the development of multifunctional agriculture in micro-regions of Northern and Eastern Hungary.  
*Stud. agric. econ.* 111, 65-77, 2010. 1418-2106.
37. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Murányi, A.: Effect of Pentakeep-V on the evapotranspiration and yield of Sorghum hybrids, monitored in precision weighing lysimeters.  
*Cereal Res. Commun.* 36 (Suppl.II), 795-798, 2008. 0133-3720.

Idegen nyelvű közlemény(ek) külföldi folyóiratban (1)

38. Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Fehér, A.: Multifunctionality and farm concentration in Hungary.  
*Res. J. Agr. Sci.* 45 (2), 52-60, 2013. 2066-1843.

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (3)

39. Zsembeli J., **Kovács G.**, Pásztor F.: A Pentakeep-V hatásának vizsgálata a kukorica és a cirok nedvességforgalmára liziméterekben.  
In: VI. Alföldi Tudományos Tájégzdálkodási Napok. Közread.: Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, Szolnoki Főiskola, Mezőtúr, 42, 2008.
40. Czibalmos R., Fehér A., **Kovács G.**: Jász-Nagykún-Szolnok megye kis- és közepes földterületen gazdálkodók véleménye az EU csatlakozás hatásairól.  
In: Agrárgazdaság, Vidékfejlesztés, Agrárinformatika Nemzetközi Konferencia. Szerk.: Nábrádi András, Lazányi János, Herdon Miklós, DE ATC AVK, Debrecen, 1-10, 2007. 978-963-87118-7-8
41. Zsembeli J., **Kovács G.**: Liziméteres vízforgami vizsgálatok talaj-növény rendszerben.  
In: Alföldi Tudományos Tájégzdálkodási Napok. Szerk.: szerk. Kalmár Imre, Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, Mezőtúr, 1-5, 2006. 963-06-0816-2





Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (8)

42. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Deák, D.: Water use efficiency of energy willows determined in weighing lysimeters.  
*LFL Raumberg-Gumpenstein. 15*, 181-184, 2013. 2309-0839.
43. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Szűcs, L., Tóth, J.: Examination of secondary salinization in simple drainage lysimeters.  
*LFL Raumberg-Gumpenstein. 15*, 153-156, 2013. 2309-0839.
44. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Mándoki, A.: Water use efficiency of maize and different sorghum hybrids under lysimeter conditions.  
In: 14. Gumpensteiner Lysimetertagung. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Gumpenstein, 227-229, 2011. 978-3-902559-61-6
45. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Increasing farm concentration in Hungary.  
*Journal of Settlements and Spatial Planning. 1* (1), 29-35, 2010. 2069-3419. -2248-2199.
46. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Increasing farm concentration in Hungary driven by RDP payments and farmers's motivations.  
In: EAAE Seminar (114) (Berlin). Ed.: Reinhold Wilhelm, Humboldt-Universität, Berlin, 1-5, 2010.
47. Nolz, R., **Kovács, G.**, Zsembeli, J., Cepuder, P.: Water balance of two lysimeter sites:Karcag vs. Gross-Enzersdorf.  
In: 13. Lysimetertagung : am 21. und 22. April 2009 am LFZ Raumberg-Gumpenstein. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 155-157, 2009.
48. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Murányi, A., Tanaka, T.: Water use efficiency of sorghum and maize treated with PENTAKEEP-V.  
In: 13. Lysimetertagung : am 21. und 22. April 2009 am LFZ Raumberg-Gumpenstein. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 59-61, 2009.



49. Zsembeli, J., **Kovács, G.**: Effect of Mulching on the Water Balance of Sorghum in Weighing Lysimeters.  
In: 12. Lysimetertagung. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein., Gumpenstein, 185-186, 2007.

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 2.227**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 2.227**

A DEENK a Jelölt által a publikációs adatbázisba feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2014.06.18.

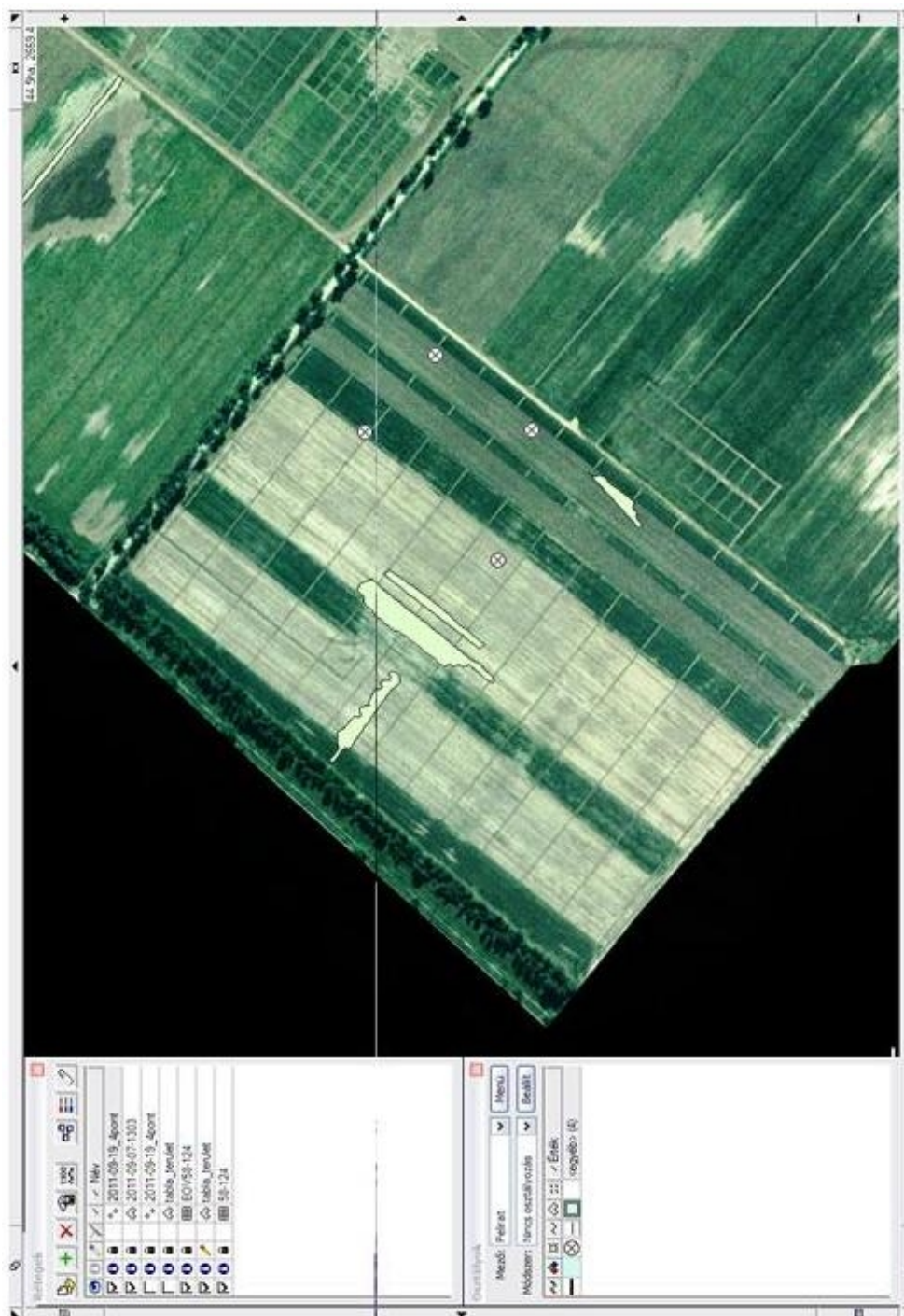


## MELLÉKLETEK

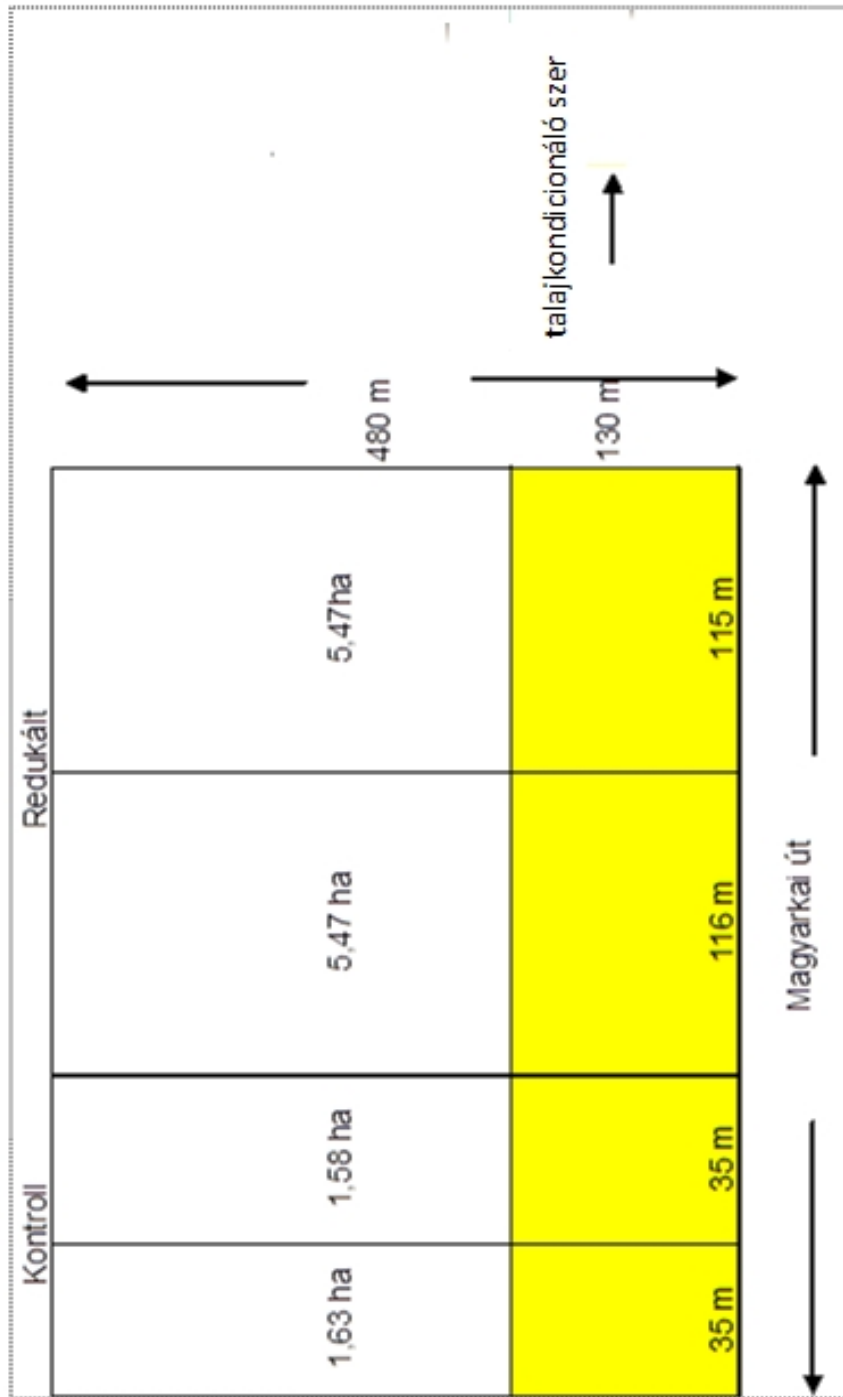
### I. Melléklet: A mérési pontok a komplex talajművelési kísérletben



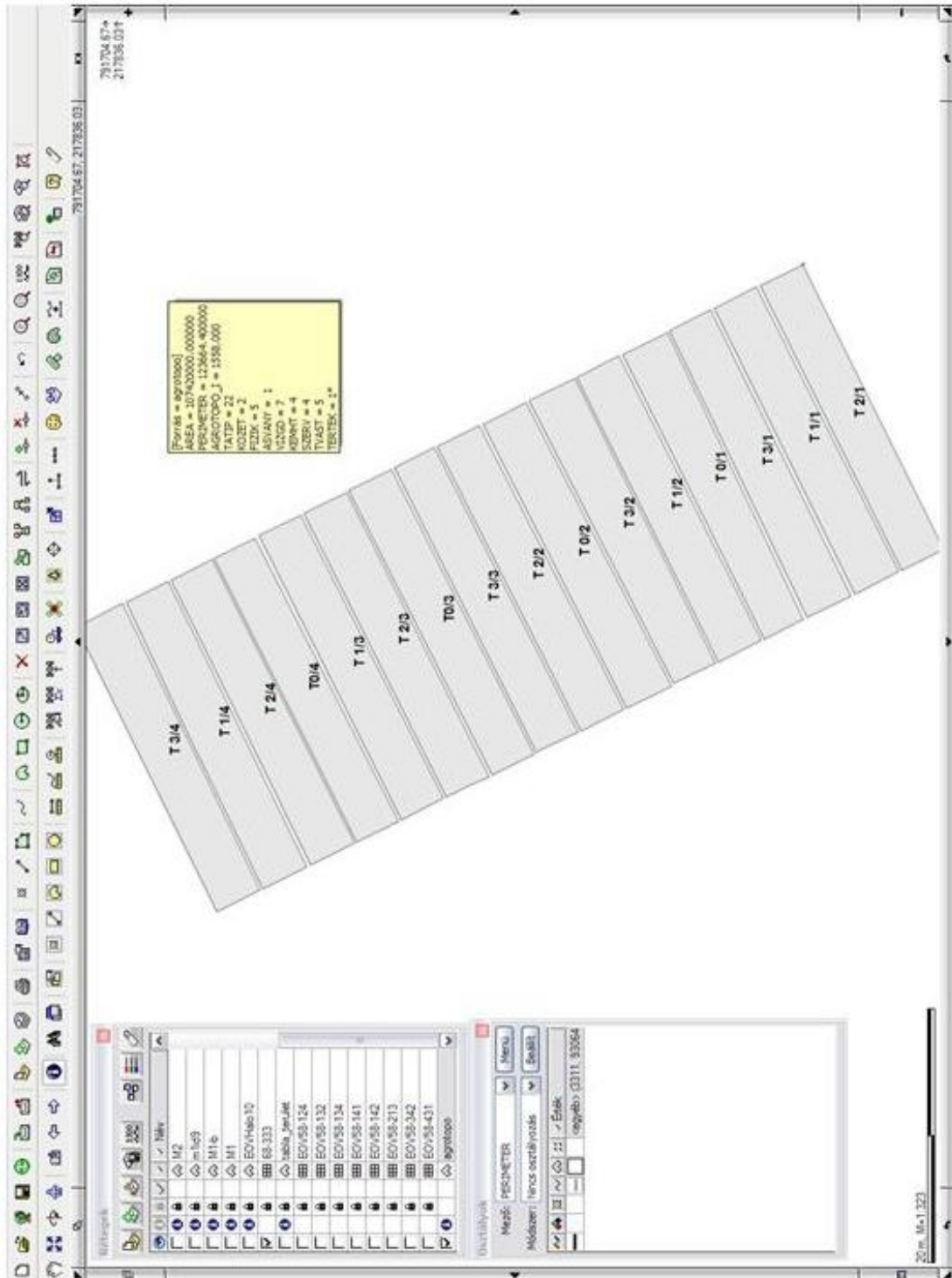
**II. Melléklet:** A komplex talajművelésű kísérleti tábla mérési pontjainak és talajvízzel borított területeinek térinformatikai szoftverrel történő ábrázolása



**III. Melléklet:** A komplex talajművelési kísérlet parcelláinak elhelyezkedése a kezelések szerint

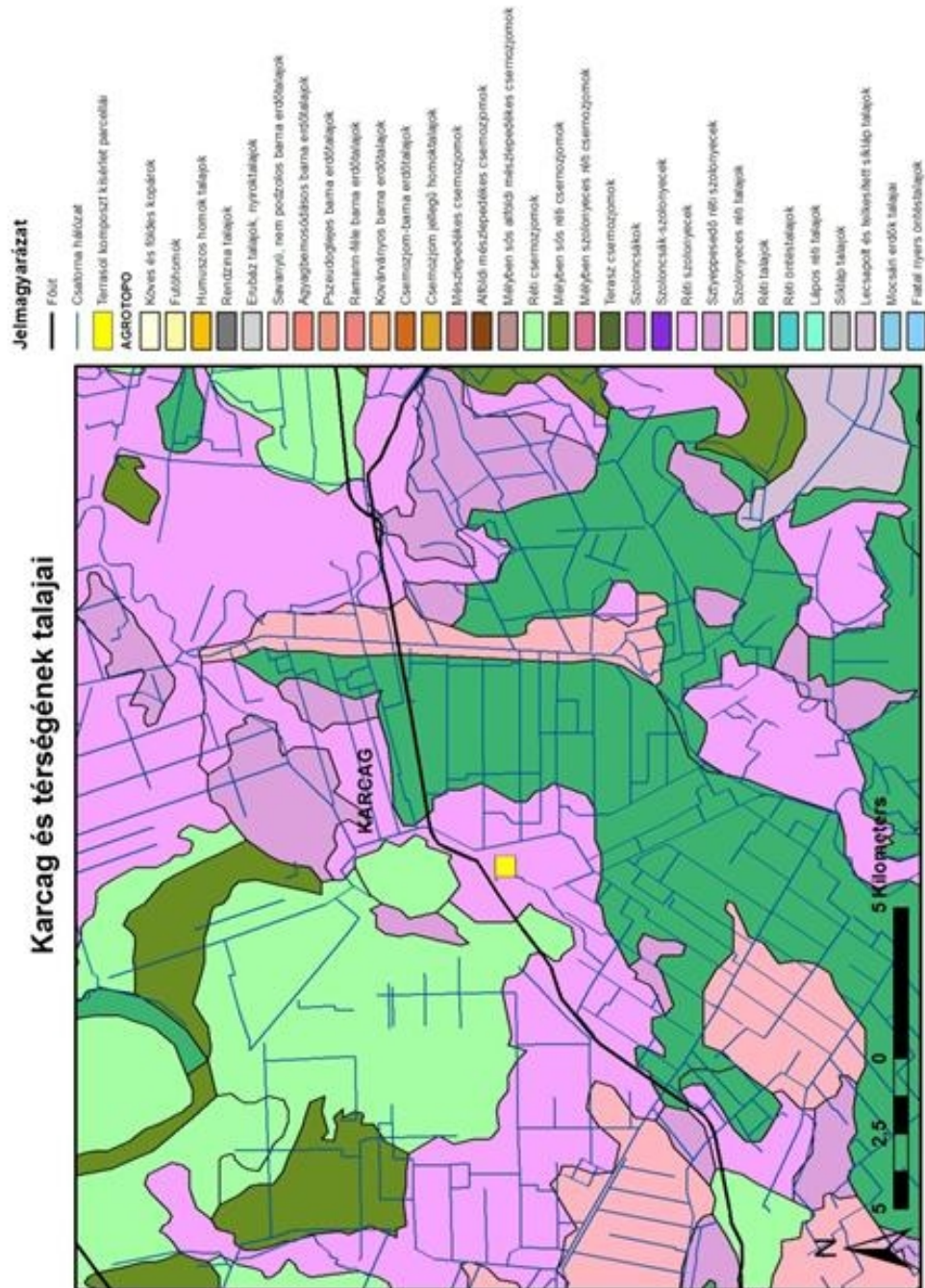


#### IV. Melléklet: A kísérleti tért parcellái a gyeprágyázási kísérletben





## V. Melléklet: Karcag és térségének talajai



## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet szeretném kifejezni Dr. habil. Zsembeli Józsefnek, aki mint témavezetőm és egyben munkahelyi vezetőm szakmai útmutatásával és kritikai észrevételeivel segítette és támogatta munkámat az elmúlt évek során, valamint meghatározó szerepet játszott kutatói szemléletem alakításában.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a DE ATK Karcagi Kutatóintézet minden jelenlegi és volt kutatójának, különösen Dr. Czibalmos Róbertnek, †Dr. Forgács Lajosnak, Őri Nórának, Tuba Gézának, akik mind szakmai, mind technikai vonatkozásban igen fontos segítséget nyújtottak munkámhoz. Köszönetet mondok Gyárfási István Edének és a Műhely dolgozóinak a mérőeszközök kivitelezésben nyújtott segítségükért.

Köszönöm továbbá a DE ATK Karcagi Kutatóintézet korábbi vezetőségének, hogy megfelelő technikai és anyagi háttér biztosításával támogatták kutatói tevékenységemet.

Köszönetet mondok az asszisztenseknek, illetve a szakdolgozóimnak lelkiismeretes munkájukért, amellyel hozzájárultak, hogy ez az értekezés elkészülhessen.

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak is, akik támogattak a dolgozat megszületésében, de nevük nem került említésre. Köszönöm a családomnak a kitartást és biztos háttérrel.

### **NYILATKOZAT**

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Növénytermesztési, Kertészeti és Regionális Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2014. szeptember 12.

.....

a jelölt aláírása

### **NYILATKOZAT**

Tanúsítom, hogy Kovács Györgyi doktorjelölt 2007-2014 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2014. szeptember 12.

.....

témavezető aláírása

DEBRECENI EGYETEM

**KERPELY KÁLMÁN NÖVÉNYTERMESZTÉSI, KERTÉSZETI ÉS  
REGIONÁLIS TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

**Doktori Iskola vezető:**

Prof. Dr. Nagy János  
egyetemi tanár, az MTA doktora

**Témavezető:**

Dr. habil. Zsembeli József  
tudományos főmunkatárs

**MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁSÚ TALAJOK  
SZÉN-DIOXID-EMISSZIÓJÁNAK VIZSGÁLATA KARCAG TÉRSÉGÉBEN**

**Készítette:**

**Kovács Györgyi**  
doktorjelölt

Debrecen

2014

**MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁSÚ TALAJOK  
SZÉN-DIOXID-EMISSZIÓJÁNAK VIZSGÁLATA KARCAG TÉRSÉGÉBEN**

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében a növénytermesztési és  
kertészeti tudományok tudományágban

Írta: Kovács Györgyi okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem **Kerpely Kálmán Doktori Iskolája**  
(Növénytermesztés és kertészeti tudományok doktori programja) keretében

Témavezető: Dr. habil. Zsembeli József

A doktori szigorlati bizottság:

	név	fokozat
elnök:	Dr. Kátai János	egyetemi tanár CSc
tagok:	Dr. Izsáki Zoltán	egyetemi tanár CSc
	Dr. Juhász Csaba	egyetemi docens PhD

A doktori szigorlat időpontja: 2012. június 18.

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
.....	.....	.....
.....	.....	.....

A bírálóbizottság:

	név	fokozat	aláírás
elnök:	.....	.....	.....
tagok:	.....	.....	.....
	.....	.....	.....
	.....	.....	.....
titkár:	.....	.....	.....

Az értekezés védésének időpontja: 2014.....

## TARTALOMJEGYZÉK:

<b>1. BEVEZETÉS.....</b>	<b>3</b>
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS .....</b>	<b>6</b>
2.1. A talaj szerepe a szén ciklusban. A magyarországi szántóföldek és a gyepek szénkészlete .....	6
2.2. A talaj szénkészlete a globális változások tükrében, a globális változások hatásainak nemzetközi szintű felmérése.....	11
2.3. A talajművelés jelentősége, a hagyományos és az alternatív talajművelési eljárások hatása a mikrobiológiai aktivitásra.....	20
2.4. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének hatása a CO <sub>2</sub> -emisszióra .....	28
2.5. A gyökérlégzés szerepe a talaj CO <sub>2</sub> -emissziójában.....	32
2.6. A gázemisszió meghatározásának módszerei .....	35
2.7. A témához kapcsolódó szakirodalom összegző értékelése .....	41
<b>3. ANYAG ÉS MÓDSZER .....</b>	<b>43</b>
3.1. A mérési helyszínek természeti adottságai .....	43
3.1.1. Földrajzi elhelyezkedés .....	43
3.1.2. A terület geomorfológiája .....	43
3.1.3. A térség klímája .....	43
3.1.4. Talajtani viszonyok .....	45
3.1.5. Hidrológiai viszonyok .....	47
3.2. A mérések helyszínei .....	48
3.2.1. A komplex talajművelési kísérlet.....	48
3.2.2. Az átfolyóvízes liziméterek, mint tenyészedények .....	50
3.2.3. Az eredeti szerkezetű talajoszlopok, mint tenyészedények .....	51
3.2.4. A gyeprágyázási kísérlet.....	52
3.3. A talaj CO <sub>2</sub> -emissziójának meghatározása és a kiegészítő mérések .....	53
3.3.1. A CO <sub>2</sub> -koncentráció mérésére alkalmazott módszer .....	53
3.3.2. A CO <sub>2</sub> -emisszió számítása .....	55
3.3.3. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének mérése .....	55
3.3.4. A Forróvíz-oldható (labilis) szervesanyag-frakció meghatározása .....	56
3.4. A talaj szénkészletének számítása az IPCC módszer szerint .....	56
3.4.1. A területadatok meghatározása .....	59
3.4.2. A talajtípusok meghatározása .....	60
3.4.3. A klímazónák meghatározása .....	60
3.4.4. A talajművelési rendszer szerinti besorolás .....	60
3.4.5. A szervesanyag-input szerinti besorolás .....	61
3.5. Az alkalmazott adatfeldolgozási, statisztikai és térinformatikai módszerek .....	62

<b>4. EREDMÉNYEK.....</b>	<b>64</b>
4.1. A talaj CO <sub>2</sub> -emisszió mérési módszerének szántóföldi körülmények közötti alkalmazása, illetve továbbfejlesztése .....	64
4.1.1. <i>A hengeres módszer</i> .....	64
4.1.2. <i>A nagykeretes módszer</i> .....	66
4.1.3. <i>A kiskeretes módszer</i> .....	67
4.1.4. <i>Az ablakos módszer</i> .....	68
4.2. A CO <sub>2</sub> -koncentráció telítődésének vizsgálata az optimális inkubációs idő megállapítására .....	68
4.3. Különböző talajművelési eljárásokkal művelt talajok CO <sub>2</sub> -emissziójának alakulása .....	71
4.3.1. <i>A szántóföldi CO<sub>2</sub>-emisszió mérések eredményei</i> .....	71
4.3.2. <i>A labilis szervesanyag frakció vizsgálatának eredménye</i> .....	80
4.3.3. <i>Az eredeti szerkezetű talajoszlopokon beállított kísérlet eredményei</i> .....	81
4.4. A trágyázás, növénytáplálás, talajkondicionálás hatása a talaj CO <sub>2</sub> -emissziójára .....	83
4.4.1. <i>Hígrágyázás hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára</i> .....	83
4.4.2. <i>A talajkondicionáló-szer hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára</i> .....	85
4.4.3. <i>Juhtrágya alapú komposzt hatása a talaj CO<sub>2</sub>-forgalomára</i> .....	88
4.5. A környezeti tényezők hatása a talajlégzésre .....	89
4.5.1. <i>A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában</i> .....	89
4.5.2. <i>A talaj nedvességállapota és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggések</i> .....	91
4.5.3. <i>A hőmérséklet hatása a talajlégzésre</i> .....	93
4.5.4. <i>A napszakok szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában</i> .....	95
4.6. A talaj szénkészletváltozásának becslése különböző művelési eljárások tükrében .....	99
4.7. A talaj szénkészletváltozásának becslése a klímaváltozás tükrében .....	102
4.8. A szénkészletváltozás becslése a karcagi talajművelési kísérletben .....	103
<b>5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....</b>	<b>107</b>
<b>6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....</b>	<b>109</b>
<b>7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA .....</b>	<b>110</b>
<b>8. ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>111</b>
<b>9. SUMMARY .....</b>	<b>113</b>
<b>10. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK .....</b>	<b>115</b>
<b>12. MEGJELENT SAJÁT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK .....</b>	<b>130</b>
<b>MELLÉKLETEK.....</b>	<b>139</b>
<b>NYILATKOZAT.....</b>	<b>145</b>

## 1. BEVEZETÉS

A mezőgazdasági termelés alapja, helye és közege a talaj. A talajok fizikai, kémiai és biológiai állapotát az emberi tevékenység és a természeti tényezők együttesen határozzák meg, illetve befolyásolják. A különböző talajművelési rendszerek, módszerek, agrotechnológiai és agrotechnikai eljárások talajtulajdonságokra gyakorolt hatásai igen sokrétűek. A XXI. században már nem megengedhető az 1970-es 1980-as évekre jellemző kvantitatív szemlélet, amely a növénytermesztésben a termések mindenáron való növelését tűzte ki célul. A környezetvédelmi megfontolások előtérbe kerülésével, általánossá vált a környezetet érő antropogén hatások vizsgálata, sőt a hatások előzetes felmérése is (preventív intézkedések). A talajok mezőgazdasági hasznosításának legfontosabb feladata a talaj termékenységének és minőségének megőrzése, biológiai, fizikai és kémiai romlásának megelőzése a versenyképes növénytermelés mellett.

A környezeti vizsgálatok komplexitása, már csak a környezet önmagában való összetettsége miatt is, szinte lehetetlenné teszi a teljes körű, egzakt és mért adatokon nyugvó elemzéseket. A legtöbb természetes környezetünkben lejátszódó folyamat csak a modellezés eszközével közelíthető meg. Mindazonáltal, ahol csak lehet, méréseket kell végeznünk a folyamatok jobb megértése és az adekvát, az adott helyre ténylegesen vonatkozó adatok nyerése céljából, illetve a modellparaméterek validitásának ellenőrzése érdekében. Az analitika és a mérés technika rohamos fejlődése ma már olyan helyszíni mérések kivitelezését teszi lehetővé, melyekkel gyorsan, viszonylag pontosan, reprodukálhatóan és egyszerűen juthatunk adatokhoz.

Mind több az a megtapasztalás és tudományos megfigyelés, ami tendenciájában az éghajlat globális megváltozását jelzi. Ennek oka, hogy az emberi tevékenység napjainkban már számottevő éghajlat alakító tényezővé vált. Az emberi tevékenység szerepe a jövő éghajlatának kialakításában elsősorban azáltal válhat jelentős mértékűvé, hogy a modern élet következményeként, olyan gázok kerülnek egyre nagyobb mennyiségben a légkörbe, amelyek a rövidhullámú napsugárzást zavartalanul átbocsátják, az infravörös színek tartományban azonban jelentős elnyelési sávjai vannak. Mindez a „légköri üvegházhatás” fokozódásához, illetve a globális klíma melegedéséhez vezet. A feltételezések szerint, az éghajlat globális



melegedésével a nedves trópusi területek csapadékosága növekszik, míg a közepes szélességek kontinensein gyakoribbá válhat a nyári szárazság. A mérsékelt szélességeken feltételezhetően kedvezőtlenebb nyári csapadékviszonyokkal társuló melegebb éghajlat következik be, és az előrejelzések szerint hazánk területein is gyakoribbak lesznek az a leeső nagy csapadékok és az utána következő hosszú aszályos periódusok (DOBOR et al., 2013).

Az üvegházhatást előidéző gázok légköri koncentrációja az elmúlt két évszázadban gyorsuló ütemben növekedett (HOUGHTON, 1997; DALAL et al., 2003; GALLOWAY et al., 2003), és a CO<sub>2</sub>-gáz növekvő kibocsátása tehető felelőssé az üvegházhatás becsült növekedésének több mint feléért (ZÁGONI, 2004). Az összes emittált szén-dioxidnak azonban csak 57%-a marad a légkörben. Az óceánok mintegy 30%-ot kötnek meg, a többi pedig az erdők és más vegetáció fokozott gyarapodására fordítódik, illetve a talaj szervesanyagába épül be. A mezőgazdaságban CO<sub>2</sub>-emisszió származhat a talaj szervesanyagának csökkenéséből, ugyanakkor a növénytermesztés hozzájárulhat a CO<sub>2</sub>-megkötéséhez a talajban (GOUDRIAAN - UNSWORTH, 1990; FOGARASSY et al., 2008).

Míg a légköri CO<sub>2</sub> forrásairól már számos információval rendelkezünk, addig a légköri CO<sub>2</sub> talajba kerülésének, illetve a talajból a légkörbe jutásának folyamata nem tisztázott teljes mértékben. Ezen folyamatok térben és időben igen változékonyak, ezért megismerésük összetett feladat. Mindazonáltal minden ilyen jellegű mért adat kvantitatív és kvalitatív információt szolgáltat az egyes termőhelyekről származó környezeti terhelés és az aktuális talajállapothoz tartozó mikrobiológiai aktivitás tekintetében. A termőhely alapos ismerete pedig minden mezőgazdasági beavatkozás elvégzése előtt elengedhetetlen, hiszen a globális problémákat is csak a lokálisak megértésével együtt tudjuk értékelni (TAMÁS, 2001).

A szervesanyag- és szénkímélő talajhasználatra és művelésre való áttérés globális, térségi és helyi fontosságú. Alacsony szervesanyag-tartalmú erdő- és homoktalajokon a szénkímélés a termesztés alapvető feltétele, de nincs arra ok, hogy a klímakár mérséklésében oly fontos anyag bármely talajban csökkenjen (BIRKÁS, 2010). A talaj szerkezetét kímélő művelés alkalmazásakor nem csak a CO<sub>2</sub>-kibocsátás tartható alacsony szinten, hanem egyúttal a szervesanyagok lebontása és felhalmozódása is kiegyenlítetté tehető (BIRKÁS - GYURICZA, 2004).

Magyarország természeti adottságai között a mezőgazdaság fejlesztésének és a környezetvédelemnek, illetve a környezetkímélő növénytermesztésnek egyaránt egyik kardinális tényezője a talajművelés. Véleményem szerint a különböző talajművelési és agrotechnikai eljárások a talaj szén-dioxid-körforgalmára kifejtett hatásának tanulmányozása feltétlenül aktuálisnak tekinthető és további erőfeszítéseket igényel.

Egyik ilyen erőfeszítést a Kyotoi Egyetem Talajtani Laboratóriuma kezdeményezte, amikor 2002-ben beindított egy több országot felölelő projektet, mely a világ különböző részein (Indonézia, Japán, Kazahsztán, Ukrajna, Thaiföld, Magyarország) a talaj CO<sub>2</sub>-emisszióját befolyásoló paraméterek meghatározására irányult. A magyar partnerintézmények a MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete és a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézete voltak. A japán kollégák a magyar partnerintézmények rendelkezésére bocsátottak egy infravörös gázanalizátort. 2005-ben kapcsolódhattam be ebbe a kutatásba, azóta volt lehetőségem a talajművelési kísérletben is kivitelezni méréseket, valamint a talaj szén-dioxid-emissziójára ható tényezőket vizsgálni, mely alkalmat adott adatgyűjtésre, saját megfigyelések végzésére, önálló elemző és értékelő munkára.

Az üvegházhatású gázok problematikája interdiszciplináris, aktualitásához továbbra sem fér kétség. Kutatómunkám céljait a következőképpen határoztam meg:

- A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára irányuló mérési módszerek továbbfejlesztése szántóföldi vizsgálatokhoz.
- A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára ható tényezők vizsgálata (nedvességállapot, hőmérséklet).
- Egyes agrotechnikai elemeknek (talajművelés, növénytáplálás, öntözés) a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára gyakorolt hatásának vizsgálata.
- Különböző becslések elkészítése, amelyek rámutatnak a talajhasználat és a talaj termékenységének összefüggéseire.
- A talaj szénkészletének változására számszerű adatok kalkulálása IPCC módszertan alapján országos illetve tábla szinten is.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A doktori értekezés témájához kapcsolódó hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintését a következő szempontok szerint végeztem el:

- A talaj szerepe a szén ciklusban. A magyarországi szántóföldek és gyepek szénkészlete.
- A talaj szénkészlete a globális változások tükrében. A globális változások hatásainak nemzetközi szintű felmérése.
- A talajművelés jelentősége, a hagyományos és alternatív talajművelési eljárások hatása a mikrobiológiai aktivitásra.
- A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában.
- A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének hatása a CO<sub>2</sub>-emisszióra.
- A gázemisszió meghatározásának módszerei.

### 2.1. A talaj szerepe a szén ciklusban. A magyarországi szántóföldek és a gyepek szénkészlete

MENGEL – KIRBY (1982) megfogalmazása szerint a talaj szilárd, folyékony és gázfázisból álló heterogén rendszer, mely lehetővé teszi a növényi, állati és mikrobiális életet a talajban és annak felszínén. A szervetlen és szerves részekből álló szilárd fázis főként tápanyagtároló, a folyadékfázist jelentő talajoldat a tápanyagok szállítója és a fiziko-kémiai, biológiai átalakulások közege; a gázcsere főként az O<sub>2</sub> és N<sub>2</sub> beáramlását, és a CO<sub>2</sub> távozását jelenti.

A talajok szerepe önmagában is igen jelentős (CARDON et al., 2001), összes széntartalmuk nagyjából kétszerese a légkörben található, és szervesanyagaikban globálisan kb. 1,5 10<sup>18</sup>g szerves kötésű szén található (CHAPIN et al., 2002), amely 2-3-szor nagyobb, mint a vegetációé.

A talajban a szervesanyagok állandó átalakulásban vannak. Az összes humusztartalmat, és a különféle humuszanyagok egymáshoz viszonyított arányát végső soron az szabja meg, hogy a humifikáció és a mineralizáció milyen mértékben érvényesülhet, illetve a két folyamatsorozat

között milyen egyensúlyi állapot jön létre. A körülmények változásával (pl. az őszállapotú talaj művelésbe vétele) megváltozik a szervesanyagok felhalmozódásának és lebomlásának erőssége, s így mindaddig változik a talaj humusztartalma és a humusz minősége is, míg az adott körülményeknek megfelelően újabb egyensúlyi állapot ki nem alakul. A talajhasznosítás módja és a növénytermesztési technológia is hatással van a talaj szervesanyag-gazdálkodására (FILEP, 1999).

A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátása a globális szén ciklus egyik legfontosabb eleme, így fontos szerepet játszik a klímaváltozásban (REICH – SCHLESINGER, 1992). A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának mértéke ökoszisztémák szerint változik és a teljes ökoszisztéma légzésének fő komponense. Az időszakos hatások, mint az őszi lombhullás, a lebontó folyamatok dinamikája, illetve a csapadék mennyisége és időbeni eloszlása is, hatást gyakorolnak a talajlélegzési folyamatokra (RETH et al., 2005).

A talajokra jellemző, hogy oxigént nyelnek el és szén-dioxidot bocsátanak ki. A szabad levegőben a CO<sub>2</sub>-mennyisége térfogatalapon 0,047%. A talajjáratok és pórusok levegőjében lényegesen több a szén-dioxid; meghaladhatja a 6%-ot is. A talajlakó állatok nagyobb CO<sub>2</sub>-koncentrációkat tolerálnak, mint a felszínen élők. Toleranciájuk azonban korlátozott csakúgy, mint a növényeké. A növekvő CO<sub>2</sub>-koncentrációk gátolják a növények víz-, K-, N-, P-, Ca- és Mg-felvételét. A szerves vegyületek kémiai degradálása mind aerob, mind anaerob körülmények között CO<sub>2</sub>-ot eredményez. Szén-dioxidot termel a mikroflóra, a fauna és a növények gyökérzete is. A talajnedvességben felfogott CO<sub>2</sub> mint szénsav fontos tényező a talajásványok kémiai mállásában (KÁTAI, 2008).

A talaj mikrobiális életközössége fontos szabályozó funkciót tölt be a talaj szén, nitrogén és foszfor transzformációs folyamataiban és ezzel nagymértékben hozzájárul a növények tápanyaggal való ellátásához (SZILI-KOVÁCS – SZEGI, 1992).

A talaj oxigén-felvételét és szén-dioxid-produkcióját mérve a talajlélegzés intenzitását állapítják meg, ami egyenes összefüggést mutathat a lebontó folyamatok aktivitásával. Ez megközelítően így is van, habár az elnyelt oxigén további sorsát, a termelt szén-dioxid eredetét, továbbá mindkettőnek a talajban végbemenő veszteségeit és újratermelését

képtelenek vagyunk pontosan nyomon követni. A talajból kiáramló CO<sub>2</sub> karbonátok bontásából is származhat, továbbá a szerves vegyületekből termelt CO<sub>2</sub> egy része szinte azonnal újra el is nyelődhet akár az autotróf, akár a heterotróf CO<sub>2</sub>-fixáláshoz, vagy abiotikus, pl. szervesetlen reakciók során. A talajokban tehát a CO<sub>2</sub> áramlásának, megkötődésének és felszabadulásának útjai rendkívül tekervényesek, alig nyomon követhetők, és mennyiségileg nehezen becsülhetők (SZABÓ, 1986).

A talaj szervesanyagai (humuszanyagai) sokoldalúan befolyásolják a biogeocönózisok működési és szabályozási folyamatait, a talajszerkezetét, hő- és vízháztartását, a felvehető tápanyagok mennyiségét és a talajlégzést, mely folyamat során visszajut a légkörbe a növények számára felvehető CO<sub>2</sub> (MIELNICK – DUGAS, 2000). A talajlégzés általi szén-dioxid-kibocsátás 10-szer nagyobb a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó CO<sub>2</sub>-mennyiségnél, éppen ezért minden olyan változás, amely a talaj szervesanyag-forgalmát érinti, jelenősen befolyásolhatja a légkörbe jutó szén-dioxid-mennyiségét, valamint az üvegházhatáson keresztül Földünk hőmérsékletének, klímájának alakulását is.

Számos kutatási eredmény igazolja, hogy az intenzív talajhasználat a légköri szén-dioxid növekedésében szerepet játszik, amely különösen az elmúlt évtizedekben vált nyilvánvalóvá (LI, 1995; REICOSKY, 1995; LAL et al., 1998; DREES et al., 2001). A talajok intenzív művelése a szénkészlet 30-50%-os csökkenését idézi elő, amely elsősorban a talaj feltörésével hozható összefüggésbe. A szervesanyag fokozott mineralizációja révén felszabaduló szén-dioxid ilyen módon könnyen a légkörbe távozik (COLE, 1996). Ezzel szemben a talajvédő technológiák (forgatás nélküli eljárások, direktvetés stb.) alkalmazása révén a talaj humusztartalma évente 1 tonnával is növekedhet hektáronként. Az Egyesült Államokban végzett számítások szerint az elmúlt évek talajvédő technológiáinak elterjedése nyomán mérhetően csökkent a talajból a légkörbe kerülő szén-dioxid-mennyisége (PAUTIAN et al., 1998). Ha Európában a szántóterület 100%-át talajvédő módszerekkel művelnék, az a mezőgazdaság összes emisszióját mérsékelné. Ez, az Európában keletkező éves szén-dioxid 4,1%-át, globális méretekben az éves kibocsátás 0,8%-át jelenti.

Ha a talaj és a föld feletti növényi részek légzésének összege meghaladja a fotoszintézis által fixált szén mennyiségét, a biogeocönózis szénmérlege negatív lesz. Ez a tény is a talajlégzés

fontos szerepét bizonyítja, valamint az is, hogy a talaj folyamatosan bocsát ki szén-dioxidot, még kedvezőtlen időszakban is, amikor a fotoszintézis nem működik. A folyamatnak tehát meghatározó szerepe van a biogeocönózisok eredő forrás vagy nyelő aktivitásának kialakításában (BALOGH et al., 2005).

A mezőgazdasági, illetve erdősült területek esetében három fontos üvegházgáz forgalmával kell számolni, úgymint a dinitrogén-oxid-, a metán- és a szén-dioxid-fluxusával. A mezőgazdaság, elsősorban a műtrágyázás és az állattenyésztés következtében jelentős forrása a dinitrogén-oxidnak és a metánnak, globális szinten 70, illetve 81%-ban járulnak hozzá a forrásokhoz, míg szén-dioxid esetében ez az arány 21% (ISERMANN, 1994).

A szántóföldi növénykultúrák területi kiterjedése hazánkban rendkívül nagy, az ország mezőgazdasági területének mintegy 77%-ára terjed ki (RAJKAI et al., 2004). Ez azért is fontos, mert a mezőgazdasági- és gyepterületek – a nagy szénfelvevőként számon tartott erdők mellett – fontos szerepet játszanak bioszféra - légkör közötti szénforgalomban. A füves ökológiai rendszerek szén-dioxid-cseréjéről, szén-megkötéséről viszonylag keveset tudunk, jóllehet szerepük a globális szénforgalomban jelentős (SOUSSANA et al., 2007).

A magyarországi talajok szénkészlete folyamatosan változik, különösen az elmúlt évtizedre becsülhető jelentős változás. A talajművelésben beálló szemléletváltozás egyre nagyobb mértékben jellemző. Mivel a talaj – a klíma és az időjárás mellett – a növénytermesztés egyik legfőbb olyan tényezője, amely alapvetően meghatározza a termelés minőségét, gazdaságosságát, a talaj és a növénytermesztés összefüggéseinek feltárása az egyik legfontosabb kutatási feladat. A talajhasználat gyakorlatán belül a talajművelésnek van a legradikálisabb hatása a talaj tulajdonságaira. Mivel az elmúlt évtizedekre jellemző volt a talajt nem kímélő talajhasználat, a talajtulajdonságok leromlása miatt megnőtt az igény a környezetkímélő és energiatakarékos talajművelési módok bevezetésére (BIRKÁS, 2002). A talajhasználat eltérő hatású lehet a humusztartalomra, amely a művelési módtól függően enyhén csökkenhet, vagy növekedhet (BANKÓ et al., 2007).

A talajtermékenység megújulási folyamatát korlátozó tényezők között nemcsak hazánkban, hanem világszerte felgyorsult a szántóföldi termőhelyek rendszeresen művelt rétegének ma

már számszerűsíthetően is kimutatható fizikai degradációja, amelynek következménye a szerkezeti elemek szétesése, a növényélettani szempontból káros mértékű talajtömörödés, valamint a defláció. Ennek okait az antropogén eredetű talajterhelések és ezen belül elsősorban a növénytermesztés-technológiai követelményeknek megfelelő talajművelések következményeiben kell keresnünk. Különösen érvényes ez a kolloidokban gazdagabb nedvességváltozással művelhetőségre érzékenyebben – rögzítéssel vagy képlékenységgel – reagáló talajokra, és azokra a talajművelési rendszerekre, amelyekben az alapvető talajművelési eljárás nagyrészt a mindezekhez legkevésbé alkalmazkodni tudó ekére alapozott. Ez a felismerés vonul végig a hazai talajművelési rendszerek útkeresésében és fejlődésében, a nagy talajművelő klasszikusaink (GYÁRFÁS J. – MANNINGER G. A. – KEMENESSY E.) munkásságában és talajművelésünk gyakorlatában.

Hazai szén-dioxid-kibocsátás mérések eredményeit közölte BIRKÁS et al. (2007). Ebben az átfogó tanulmányban a művelés hatását vizsgálták a talaj fizikai állapotára és többek között a szén-dioxid-fluxusra. A mérések szerint meleg nyári napon a nem bolygatott talajok szén-dioxid-emissziója a nedvesség és a hőmérséklet függvényében  $\sim 5\text{-}8 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ nap}^{-1}$  ( $2,4 \text{ t C ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ ,  $14\text{-}23 \text{ Mt C év}^{-1}$ ), ami különösen a száraz bolygatott talaj esetében egy-két nagyságrenddel megnő (legnagyobb mértékben az elmunkálatlan szántásoknál) a művelés utáni napokban.

TÓTH et al. (2005) a műtrágyázásnak a talaj szén-dioxid-emissziójára gyakorolt hatását vizsgálta meszes csernozjom talajoknál, külön-külön mérve a gyökérlégzésből és a szervesanyag bomlásból származó fluxust. Két különböző mérési szinten tavasztól ősziig a szén-dioxid-emisszió  $\sim 25\text{-}130$  (gyökérlégzés), illetve  $\sim 60\text{-}220 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (mikrobiológiai bomlás) között változott, melyet a műtrágyázás, különösen a nitrogénműtrágya jelentősen megnövelt (maximum:  $\sim 320$ , illetve  $\sim 410 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), különösen tavasszal, a vegetációs időszak kezdetén. Egy hosszú távú hazai műtrágyázási kísérletben (KOÓS - NÉMETH, 2007), a tenyésztésidőszakban a gyökérlégzésből származó átlagos  $\text{CO}_2$ -emisszió  $\sim 90 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  ( $2,1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ ,  $16,9 \text{ Mt C év}^{-1}$ ), melyet a műtrágyázás  $\sim 25\%$ -kal megnövel.

## **2.2. A talaj szénkészlete a globális változások tükrében, a globális változások hatásainak nemzetközi szintű felmérése**

A globális felmelegedés oka a Föld légkörében jelentkező üvegházhatás erősödése, amit az üvegházhatású gázok koncentrációjának növekedése okoz. Létezését a kutatók egy része vitatja, többségük azonban ma már elismeri, hogy nem csak átmeneti ingadozásról van szó (Internet 1.).

Az üvegházhatás a természetben jelenlévő, az élet alapvető feltételeit megteremtő folyamat. Az üvegház belső hőmérséklete azért magasabb, mint a külső hőmérséklet, mert az üveg csak az ún. rövidhullámú sugarakat engedi át, a hosszuhullámúakat pedig visszaveri. A Föld és környezete is egy nagy üvegházhoz hasonlóan viselkedik: a sugárzási energia a Napból fény formájában érkezik a Föld felszínére, ahonnan az infravörös sugárzás hatására, mint hő kisugárzódik. A levegőben lévő gázok és a vízpára azonban elnyelik az infravörös sugarakat, így a meleg az „üvegházon” belül reked. A földfelszín jelenlegi átlaghőmérséklete 15°C. Ha a légkör teljesen átjárható lenne az infravörös sugarak számára, ez az érték lényegesen alacsonyabb, kb. -15°C lenne (LAL et al., 1998; REICOSKY, 1998).

Az éves középhőmérséklet világszerte növekszik, Európában az elmúlt tíz év folyamán 0,3-0,6°C-os emelkedés figyelhető meg. Számos klímamodell alapján azonban a hőmérséklet további növekedése prognosztizálható (EEA, 1998). A globális felmelegedés fő oka a fosszilis eredetű anyagok elégetése során keletkező szén-dioxid légkörbe kerülése.

A szén természetes körforgását megzavarta az ipari civilizáció. A Földön ma már óriási tömegű fosszilis energiahordozót (kőolaj, szén, földgáz) égetünk el, aminek köszönhetően mostanában évi  $5 \cdot 10^8$  tonna szén kerül a levegőbe. A kémiai ipar során keletkező anyagok, vagyis a fluor, klórvegyületek szintén az üvegházhatást erősítik. Harmadrészen a mezőgazdaság is jelentős mértékben járul hozzá az üvegházgázok légköri koncentráció-növekedéséhez. Amerikai felmérések szerint az ipari tevékenység (beleértve a fosszilis energiahordozók égetését) 77%-kal, a mezőgazdaság pedig 23%-kal járul hozzá a globális felmelegedéshez. Összességében az antropogén eredetű metán és nitrogénvegyületek (NO<sub>x</sub>) 50-75%-a és a CO<sub>2</sub> 5%-a a mezőgazdasági tevékenységekből származik. Az erdőirtások, a



biomassza elégetése (pl. tarlóégetés) és a szántóföldhasználatban előidézett egyéb változások további 14%-ot tesznek ki (LÁNG, 2003).

Világviszonylatban az összes szén-dioxid-kibocsátás 5%-áért a mezőgazdasági tevékenység tehető felelőssé (COLE, 1996). A Kiotói Jegyzőkönyv (1997) állásfoglalása szerint a légköri szén-dioxid-tartalom növekedése a globális klímaváltozás egyik kiváltója lehet.

A talajok szén-dioxid-kibocsátása a szakirodalom szerint igen jelentős, mértéke jóval felülmúlja az antropogén kibocsátást. A kibocsátott szén-dioxidéhoz hasonló nagyságrendű mennyiséget viszont egyúttal fel is vesz a bioszféra, emiatt a nettó fluxus (talajkibocsátás és a bioszféra felvételének különbsége) globálisan negatív, azaz a bioszféra nettó nyelő. A nettó fluxus amplitúdója (egy nagyságrenddel) kisebb a talajkibocsátásnál vagy a bioszféra felvételénél. Globális szinten is megfigyelhető, hogy a természetes szénforgalom mellett az emberi hatás nem jelentős (IPCC, 2007). A bioszféra légkör közti szén-dioxid csere az ipari forradalom előtt kiegyensúlyozott volt (HASZPRA - BARCZA, 2001), napjaink problémája viszont az, hogy az emberi beavatkozás miatt a bioszféra-légkör közti egyensúly megbomlott, nem csak a szén-dioxiddal összefüggésben, hanem a többi üvegházgáz vonatkozásában is. A nemzetközi és a hazai szakirodalomban számos tanulmány jelent meg a talajok szén-dioxid-kibocsátására vonatkozóan.

A légkör CO<sub>2</sub>-készleteinek növekedése, amelynek hatására az elkövetkező 50 éven belül a mezőgazdasági termelésre is kiható klímaváltozásokkal kell számolnunk (SCHNEIDER, 1975; KEULEN et al., 1980) a fosszilis energiahordozók elégetésén kívül elsősorban is a szárazulatok talajainak szervesanyag-veszteségeire vezethető vissza. Az emberiség nekilendült talajforgató tevékenysége, vagy a magyar mezőgazdaság kiváló alakjának, a néhai Gyárfás professzornak a szavaival élve, a szántogatás olyan méreteket öltött, hogy STUIVER (1978) szerint a földfelszín szerves szénkészletei 1850 és 1950 között több mint 100 gigatonnával csökkentek. A mikrobiális aktivitásra is visszavezethető CO<sub>2</sub>-készletek a felső sztratoszférában növelik az infravörös sugarak űrbe való emittálását, és emiatt éppen abban a légtérben idéznek elő lehülést, ahol az ózon keletkezik (ISAKSEN et al., 1980). A lehülés sajátosan serkenti az ózonképző reakciókat, ami viszont ellensúlyozhatja az ózonszféra

antropogén hatásra megindult, ijesztő kimenetelűnek tűnő destrukcióját (ISAKSEN - STRODAL, 1981).

1997-ben a Kiotói Egyezmény keretében a 15 akkori tagország a szén-dioxid ekvivalens csökkentésének 2008-2012 között történő, 8%-os csökkentése mellett kötelezte el magát. Ennek elősegítésére az első Európai Éghajlatváltozási Program (EÉVP) új módszereket dolgozott ki, valamint vizsgálta a talaj szénmegkötésben játszott szerepét. Az első EÉVP jelentés évi 60-70 millió tonnára becsülte a mezőgazdasági művelésű talajban megköthető szén-dioxid (ekvivalens) mennyiségét.

A talajban a szenet a baktériumok, a gombák és a földigiliszták tudják megkötni. Ezek az élőlények a szervesanyagot humusszá alakítják, amely a talaj alkotója marad, így a szén nem távozik el szén-dioxid formájában. Nagyobb mennyiségű szén talajba juttatásának egyik módja a biológiailag lebontható szervesanyagok (mint például gabonamaradvány, gazdasági udvarról származó trágya, komposzt és szennyvíziszap) mezőgazdasági területen való szétterítése. A talaj-és hulladékgazdálkodás ilyen módon történő együttes alkalmazása segítségével a szén oda irányítható, ahol megkötése lehetséges (a talajba), ráadásul ezzel a megoldással csökkenthető a lerakókra kerülő hulladék mennyisége is. Különböző becslések - a talajminőség, a kezelési gyakorlat és az éghajlati jellemzők területenkénti eltéréseinek függvényében - évi 2-20 millió tonna közé teszik a módszer segítségével elérhető szénmegkötés mértékét (Internet 2.) A mezőgazdasági földterületeken és erdőkben történő szénmegkötés célja nemcsak az éghajlatváltozás elleni harc, hanem a talajminőség javítása is. Ennek hatásai megmutatkoznak a természetvédelemben, a biológiai sokszínűség megőrzésében, a vízminőség és az élelmiszerbiztonság javításában, s mindezek következtében az emberi egészség megőrzésében. A szénmegkötés ezért a 2005-ben második programját kezdő EÉVP kulcseleme maradt (MARMO, 2008).

### **A klímaváltozással kapcsolatos főbb nemzetközi állásfoglalások**

Amióta létezik a Föld, éghajlata folyamatosan változik, néha gyorsabban, máskor lassabban. A mostani helyzet abban új, hogy az emberi tevékenység nemcsak a mikro- és a makroklímát, hanem a globális klímát is befolyásolja. Nemzetközi rendezvények témakörei és állásfoglalásai jelzik, hogy a globális klímaváltozásra felfigyeltek, s a különféle

állásfoglalások, ajánlások érzékeltetik a témakörsúlyát, komolyságát, valamint széles körű összefüggéseit.

### **ENSZ Konferencia az Emberi Környezetről (Stockholm, 1972)**

A rendezvény dokumentumaiban a „climate change” kifejezés mindössze egyszer fordult elő. A javaslatokban azonban megjelent, hogy a természeti erőforrások fokozó mértékű felhasználásának a meteorológiai folyamatokra gyakorolt hatását szükséges vizsgálni. Az ajánlásokban pedig szerepelt a légköri szennyeződések klimatikus következményeinek és az ember által okozott hatások vizsgálata (BÁNDI et al., 1994).

### **Környezet és Fejlődés Világbizottsága (Brundtland Bizottság, 1984-1987)**

A Brundtland Bizottság jutott először arra a következtetésre, hogy az éghajlatváltozást „komoly valószínűségének” kell tekinteni, egyetértettek azon szakemberek körének véleményével, akik szerint ok és okozati összefüggés létezik a légkörben lévő üvegházhatású gázok mennyiségének növekedése és klímaváltozás között. A Bizottság a klímaváltozást a fenntartható fejlődés fogalmában integrálta, pontosabban szólva, a fenntartható fejlődést akadályozó, lassító tényező közzé sorolta. A CO<sub>2</sub>-emisszió csökkentése nemcsak a légkör védelmét, hanem a véges mennyiségű fosszilis energiahordozók megőrzését is szolgálta.

A Brundtland Bizottság már 1987-ben, a klímaváltozással kapcsolatban az alábbi négyirányú stratégia kialakítását sürgette (FARAGÓ – GYULAI, 1994):

- A kibontakozó jelenségek intenzitásának megfigyelése és értékelése.
- A jelenségek eredetének, működésének és hatásainak alaposabb vizsgálata.
- Az üvegházhatást előidéző gázok csökkentését szolgáló, nemzetközileg egyeztetett irányelvek kialakítása.
- Az éghajlatváltozások és az emelkedő tengerszint okozta veszélyek minimalizálását szolgáló stratégiák elfogadása.

### **ENSZ Konferencia a Környezetről és a Fejlődésről (Rio, de Janeiro, 1992)**

Ezen a konferencián került aláírásra az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye, amely 1994-ben lépett érvénybe, és amelyhez valamennyi ENSZ tagállam (az Amerikai Egyesült Államok is) csatlakozott. A Keretegyezmény kinyilvánította, hogy cselekedni kell az

éghajlatváltozás növekvő kockázata miatt, azonban nem adott jogilag kötelező érvényű irányadó számokat és határidőket az egyes országoknak. Ezen hiányosságok miatt sok bírálat érte a tagállamokat, közöttük is az iparilag legfejlettebbeket. Ezek hatására öt évvel később, Kiotóban (1997) találkozta a szakértők, ahol részleges megállapodás született (FARAGÓ, 2004).

### **A Kiotói Jegyzőkönyv (1997)**

A Kiotói Jegyzőkönyvet ratifikáló országok vállalták, hogy a 2008-2012-es időszakra összességükben 5,2%-kal csökkentik üvegházhatású gáz kibocsátásukat 1990-hez képest. E csökkentés szabályait számos konferencián lezajlott tárgyalások eredményeképpen dolgozták ki. Maga a Kiotói Jegyzőkönyv 2005-ben lépett hatályba. Fontos tudni, hogy mind a Keretegyezményre, mind a Kiotói Jegyzőkönyvre vonatkozó szabályok egyik fontos része az, hogy az országoknak évente üvegházhatású gáz leltárt kell benyújtania az ENSZ-hez. Ennek a követelménynek Magyarország is megfelel. A leltárok megtalálhatók a [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int) honlapon. A leltárok készítésének módszerét a világ egyik legrangosabb tudományos testülete, a Klímaváltozási Kormányközi Panel (Intergovernmental Panel on Climate Change) dolgozta ki (Internet 3.).

A jegyzőkönyv hatályba lépését követően a legsürgetőbb feladattá vált, hogy elfogadásra kerüljön az a szabályrendszer, amely alapján a jegyzőkönyv rendelkezései végrehajthatók. E szabályok kiterjednek azokra az eszközökre, amelyek segítségével a fejlett államok költséghatékonyabban teljesíthetik kötelezettségeiket. Ilyen eszköz a nemzetközi emisszió kereskedelem, amelynek keretében egy fejlett állam fejlődő vagy átmeneti gazdaságú országban finanszíroz emisszió csökkentést szolgáló beruházást kiotói kötelezettségvállalása részeként, akkor azt saját teljesítéseként számolhatja el (HAJDÚ, 2005; HUSZTINÉ, 2005). A további szabályok a kibocsátások nyomon követésére, a vegetációt érintő emberi beavatkozások, pl. erdőtelepítések által a légkörből kivont szén-dioxid-mennyiség elszámolására, a kötelezettségeiket nem teljesítő államokkal szembeni eljárásokra vonatkoznak. A találkozó egyik alapvető eredménye e szabályrendszer elfogadása.

A Kiotói Jegyzőkönyv azonban konkrét kibocsátás szabályozási előírásokat csak 2012-ig tartalmazta. Az üvegházhatású gázok kibocsátása és az éghajlatváltozás kockázata viszont

tovább növekszik, és ezek mérséklésére az eddigieknél határozottabb lépések szükségesek (EEA, 2005).

Feszült légkörben folyó egyezkedések után sikerült elérni olyan kompromisszumos megállapodásokat, amelyeket minden küldöttség elfogadott. Ezek értelmében egyeztetések kezdődtek:

- az egyezmény hatálya alatt tehát minden állam részvételével a kibocsájtás szabályozás további teendőiről,
- a Kiotói Jegyzőkönyv hatálya alatt az ahhoz csatlakozott fejlett államok további kibocsájtás csökkentési kötelezettségeiről a 2012 utáni időszakra,
- azon tárgyalások előkészítéséről, amelyek általában a Kiotói Jegyzőkönyv felülvizsgálatára vonatkoznak (ez a fejlődő országokat is érintheti),
- az önkéntes kibocsájtás mérséklési programokra kész országok ilyen irányú kedvezményeseinek elismeréséről.

A Montreali ülészak eredményeivel egy fontos időszakot zárt le az ember által kiváltott globális környezetváltozás növekvő veszélyével szembeni eddigi nemzetközi együttműködés folyamatában, s egyúttal megnyitotta az utat, ahhoz, hogy új tárgyalások kezdődhessenek a további remélhetően hathatósabb közös fellépésről (FARAGÓ, 1998; OECD, 1999; OECD-IEA, 2002).

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület harmadik beszámolójában az elmúlt század éghajlatának globális összefoglalója nagy érdeklődést váltott ki. A globális szinten  $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  melegedés több következménye nagymértékben érinti a Föld egyes területeinek lakosságát.

### **Emisszió szabályozás az Európai Unióban**

Az EU igen következetes a Kiotói Jegyzőkönyv kötelezettségeinek teljesítésében sőt „túlvállalást” is ígért, nevezetesen 8%-os csökkentésre tett ígéretet. Ezt a célt az energiahatékonyság növelésével, energiatakarékossgal és a megújuló természeti erőforrások növekvő felhasználási arányával kívánja megvalósítani. A vállalat teljesítése érdekében, 2005. január elsejével az EU mind a huszonöt tagállamra véve kötelező jelleggel beindította a kibocsájtási jogok kereskedelmét lehetővé tevő saját belső rendszerét. Ennek keretében mintegy tizenkétezer EU tagállamban működő ipari létesítmény kereskedhet szabadon a szén-

dioxid-kibocsájtására jogosító engedélyekkel, amelyek egyúttal a korlátozást is magukba foglalják (LÁNG, 2003; EEA, 2005).

### **Emisszió szabályozás Magyarországon**

Az Egyezmény és a Jegyzőkönyv által megadott konkrét kibocsátás-szabályozási előírások első két időszaka már eltelt, de továbbra is érvényben vannak az Egyezmény általánosabban megfogalmazott kibocsátás-szabályozással kapcsolatos előírásai, továbbá a Kiotói Jegyzőkönyv 2012 végén elfogadott Dohai Módosítása által a kibocsátás-csökkentés időbeli kiterjesztésével és újabb szigorításával új kötelezettségek születtek. A hazai teendők tételes számbavételének és teljesítésének lényegesen nagyobb lett a jelentősége az EU-tagsággal. Elsőrendű fontosságú volt az EU korábbi 15 tagállamának a 2012-ig tartó időszakban az általuk közösen vállalt kibocsátás-szabályozási és a fejlődőket segítő finanszírozási kötelezettségek betartása. 2013-tól pedig ugyanez a helyzet mindenekelőtt a Dohai Módosítás alapján 2020-ig közösen vállalt kibocsátás-csökkentési cél vonatkozásában a 2004-től számottevően kibővült EU minden tagállama számára (FARAGÓ, 2013).

Szükséges megjegyezni, hogy a kiotói kötelezettségek teljes mértékű teljesítésekor sem változik meg a légkör jelenlegi módosulása. A veszélyes mértékű éghajlatváltozás Európában akkor kerülhető el (2005. évi Tavaszi Európai Tanács állásfoglalása értelmében), ha a földfelszín globális átlaghőmérséklete legfeljebb 2°C-kal haladja meg az ipari forradalom előtti szintet, ami már ma is mintegy 0,6-0,7°C -kal magasabb. A 2°C -t nagy valószínűséggel csak akkor nem lépi túl, ha az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja nem haladja meg a 450 ppm szén-dioxid mennyiséget. (1750 tájkán 280 ppm értéket figyeltek meg, 2000-ben 368 ppm-et, 2013-ban 400 ppm-et). A romlási folyamat mérsékléséhez 2020-ig 15-30%-os globális kibocsájtás csökkentése szükséges a fejlett országokban, az 1990-es szinthez képest. Emellett a gazdaságilag gyorsan növekvő fejlődő országoknak is részt kellene vállalniuk a globális probléma megoldásában (IEA, 2001).

Elmondható, hogy a Kiotói Jegyzőkönyv vállalásainak teljesítése csupán az első lépés a hosszú úton. A nagy kérdés, hogy a döntéshozók és a társadalom széles körei felismerik-e kellő időben a további határozott lépések megtételének szükségességét, és sikerül-e elkerülni egy globális éghajlati katasztrófát. Az éghajlatváltozással kapcsolatos nemzetközi

együttműködés tehát 2013-tól egy új korszakba lépett. Az eddigi erőfeszítések megalapozták a klímapolitikai együttműködést, de alig mérsékeltek a globális éghajlat változás növekvő kockázatát. A gyorsan változó világpolitikai és gazdasági viszonyok, valamint az EU saját belső gazdasági, együttműködési helyzetének lényeges változása alapvetően új körülményeket teremtettek a nemzetközi és az EU szintű klímapolitika továbbfejlesztése számára a 2020-ig tartó és az azutáni időszakra.

### **IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change)**

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testületet több mint húsz évvel ezelőtt, 1988-ban alapította meg a Meteorológiai Világszervezet (WMO) és az ENSZ Környezeti Programja (UNEP). A testület „háttérben” kutatók ezrei dolgoznak, jelentéseiket azonban politikai döntéshozók – kormánydelegációk - fogadják el. Az IPCC azzal a feladattal alakult meg, hogy átfogóan értékelje az emberi tevékenységek hatását a Föld éghajlati rendszerére, tudományosan megalapozott becsléseket adjon az éghajlat további várható globális változására, felmérje a társadalmi-gazdasági és környezeti következményeket, valamint feltárja és elemesse azokat a lehetőségeket, amelyek megfelelő alkalmazásával egyrészt csökkenthetők a földi éghajlatra gyakorolt veszélyes emberi hatások, másrészt mérsékelhetők az éghajlatváltozás kedvezőtlen következményei.

Ezen belül cél az emberi tevékenységek „mellékhatásaként” az üvegházhatású gázok – mindenekelőtt a szén-dioxid – légköri kibocsátásainak korlátozása, csökkentése, és emellett e gázok légkörből való kikerülésének fokozottabb elősegítése. A testület azt is vizsgálja, hogyan lehet felkészülni a környezeti körülményekben várhatóan bekövetkező változásokra, csökkenteni azok káros hatásait, illetve felkészülni az alkalmazkodásra.

A Testület keretében három munkacsoportban folyik a tudományos megfigyelések és a kutatási eredmények összesítése, értékelése:

- az első munkacsoport az éghajlati rendszerrel összefüggő megfigyelési adatokkal, az eddigi változások nyomon követésével, elemzésével, a hosszabb távon várható változások becslésével foglalkozik;

- a második munkacsoport a globális éghajlatváltozás globális és térségi környezeti hatásaival szembeni érzékenységet, a változások társadalmi-gazdasági és környezeti hatásait, illetve a hatásokra való felkészülés lehetőségeit vizsgálja;
- a harmadik munkacsoport a globális változást kiváltó tényezőknek, mérséklésük illetve csökkentésük lehetséges módjainak, eszközeinek szenteli figyelmét.

A Testület 2007-ben fogadta el Negyedik Értékelő Jelentését. Ebből kiderül, hogy komolyan számolni kell a nagymértékű változásokkal, ezek súlyos következményeivel, és ezek csak úgy kerülhetők el, ha a társadalmak hathatós lépéseket tesznek az üvegházhatású gázok globális kibocsátásainak csökkentésére, valamint a már elkerülhetetlen látszó, de még kezelhető mértékű változásokra való felkészülésre.

A Norvég Nobel Bizottság 2007-ben a Nobel-békedíjat két egyenlő részben megosztva az Éghajlatváltozási Kormányközi Testületnek (IPCC) és ifj. Albert Arnold (Al) Gore-nak ítélte oda, azért az erőfeszítésért, amit az ember okozta éghajlatváltozásra vonatkozó nagyobb tudás létrehozása és elterjesztése, valamint az e változás megakadályozására szolgáló intézkedések megalapozása érdekében fejtettek ki.

A Föld éghajlatának változására utaló jeleket komolyabban kell vennünk, különös tekintettel az elővigyázatosság elvére. Az éghajlat jelentős változásai módosítják, egyben fenyegetik is, az emberiség nagy hányadának életfeltételeit. Széleskörű népvándorlást idézhetnek elő, és fokozódó vetélkedést okozhatnak az elemi létfeltételekért. E változások különösen súlyos terheket rónak a világ legsérülékenyebb országaira, megnövelve a fegyveres konfliktusok és háborúk veszélyét, államokon belül és azok között is.

Az elmúlt két évtizedben az IPCC tudományos jelentései nyomán, egyre szélesebb körű tudáson alapuló egyetértés bontakozott ki arról, hogy az emberi tevékenység és a globális felmelegedés között kapcsolat van. Több mint száz ország tudósainak és hivatali képviselőinek ezrei működtek közre azért, hogy tisztábban lássuk a felmelegedés valódi mértékét. Amíg az 1980-as években a globális felmelegedés még érdekes hipotézisnek tűnt, addig az 1990-es évek ezt szilárd bizonyítékokkal támasztották alá. Az utóbbi néhány évben az összefüggések még inkább egyértelművé, a következmények még nyilvánvalóbbakká váltak (Internet 4.).



Korunk egyik legfontosabb környezetvédelmi problémája az üvegház hatású gázok légköri koncentrációjának növekedése és az ezzel összefüggésben fenyegető esetleges éghajlatváltozás. Mára már csaknem bizonyossá vált, hogy globális éghajlatváltozás előtt állunk, illetve többek véleménye és mérési adatok alapján, bizonyos mértékben klímánk már meg is változott, elsősorban az üvegház hatású gázok légköri koncentrációinak növekedése miatt (IPCC, 2007).

Az IPCC 2011. évi Tematikus Jelentése a szélsőséges éghajlati események kockázatáról és kezeléséről szól. Ebben értékeli a klímaváltozás szerepét az éghajlati szélsőségek intenzitásának és gyakoriságának változásában és hangsúlyozza a kockázatkezelési és alkalmazkodási stratégiák szerepét, amellyel a sérülékeny közösségek csökkenthetik a klímaváltozással szembeni kitettségüket. A jelentés utal az egyes állításokkal kapcsolatos tudományos bizonyosság illetve bizonytalanság mértékére is. A jövőbeli változások előreláthatóan világszerte növelik a klímaváltozással szembeni sérülékenységet, kitettséget és az éghajlati katasztrófákból származó veszteségeket. A javaslatok kiemelik a felkészülés kulcsszerepét és a veszélyforrások megfelelő kezelését. Mindazonáltal regionális felkészülési stratégiák kidolgozásához részletesebb információkra van szükség, amire a célzott finomfelbontású, regionális vizsgálatok nyújtanak lehetőséget.

### **2.3. A talajművelés jelentősége, a hagyományos és az alternatív talajművelési eljárások hatása a mikrobiológiai aktivitásra**

A természet és az emberi tevékenység egymással örök kölcsönhatásban van. A földművelés és a növénytermesztés története 6-8 ezer évet ölel fel. A szántóföldi talajok vetett vagy telepített növények termesztésével hasznosulnak. A termesztés színvonala, gazdasági és környezeti hatása alapján korai extenzív, hagyományos, korai intenzív, integrált, modern intenzív, modern extenzív és ökológiai talajhasználati rendszerek különíthetők el (BIRKÁS, 2001).

Hazánkban MANNINGER (1957) hívta fel a figyelmet arra, hogy a talajművelés során törekedni kell a talajszerkezet megóvására. SIPOS (1972) felhívja a figyelmet, hogy minden művelési eljárás súlyos beavatkozást jelent a talajéletbe. NYÍRI (1993) a művelést a talajban lejátszódó folyamatok szabályozójaként említi. A 20. század talajművelési kutatási

eredményei új vonásokkal gazdagították az elődök által elérteket, figyelmet kapott az agro-ökoszisztémák fenntartható működése, a klíma-érzékenység csökkentése és a környezetvédelem. Előtérbe kerültek azok az irányzatok, amelyek a természeti kívánt növények igényei helyett, de a termésbiztonság fenntartása mellett, a talaj védelmét és a nedvességvesztés csökkentését említik első helyen (ÁNGYÁN – MENYHÉRT, 1997). Hazánkban a művelés egyik legfontosabb feladata többek közt a talajnedvesség-forgalom szabályozása (NYÍRI, 1997; HUZSVAI et al., 2006), a talajfelszínre jutó csapadék talajba szivárgásának és a talajban történő hasznos tározásának elősegítése (VÁRALLYAY, 2005).

A hazai és a nemzetközi kutatási eredmények (TRACY et al., 1990; REICOSKY et al., 1997; REICOSKY et al., 1999; ETANA et al., 2001; GIUFFRÉ et al., 2003) egyaránt azt mutatják, hogy a legjelentősebb szén-dioxid veszteséget a talaj rendszeres szántása idézi elő. Az alternatív gazdálkodás lényege, hogy a ma általánosan vett termelésorientált mezőgazdasági módszereknek a környezetet, illetve a természetvédelmet fokozottabban figyelembevevő alternatíváit (pl. környezetkímélő eljárások, anyagok alkalmazása stb.) keresik (BIRKÁS, 2001).

A talajhasználat a szántóföldön a különböző biológiai igényű és hatású növények és termesztési technológiák összessége. Általa teremthető harmónia a termőhely és a termesztési technológia között (BIRKÁS et al., 1999). A talajművelés befolyásolhatja a talaj biológiai aktivitását, és általa növelhető a talaj aktív felülete, vagyis a talaj produktív potenciálja.

Növénytermesztési szempontból a talajok minőségének egyik legjelentősebb jellemzője a talajtermékenység (BOCZ, 1992). A talaj természetes termékenysége azt jelenti, hogy a környezeti feltételek (éghajlat, éves csapadékmennyiség, stb.), a talaj fizikai és kémiai tulajdonságai, adottságai milyen potenciális termékenységet biztosítanak a termesztett növények számára. A talaj termékenysége semmiképpen sem vonatkoztatható el a benne zajló biológiai és biokémiai folyamatoktól sem, így a termékenység másik természetes faktora a talaj biológiai élete. A talajbiológiai folyamatokat a külső tényezők ugyanúgy befolyásolják, mint a fizikai és kémiai folyamatokat. A biológiai élet döntően a gyökérszónában, a talaj humuszos rétegében zajlik, így a humuszos réteg mélysége, a humusz minősége a talajbiológiai folyamatokat alapvetően befolyásolja, meghatározza. A talaj állandóan változó, dinamikus folyamatok színtere, s elválaszthatatlan egységet képez nemcsak a benne, de a rajta

élő magasabb rendű szervezetekkel is. A talaj termőképessége tehát nagymértékben függ a talajban élő szervezetekkel, azok számával, életműködésével, azaz a talaj biológiai aktivitásával. Úgy is fogalmazhatnánk, hogy a talajbiológiai aktivitás legfontosabb megnyilvánulása a talaj termőképessége, melyben igen jelentős szerep jut a talajban élő mikroorganizmusok élettevékenységének.

Az utóbbi évtizedekben a talajok szervesanyag-tartalma az intenzív gazdálkodás következtében mintegy 50%-kal visszaesett, ami a természetes talajtermékenység kényszerű leromlásával jár együtt (HARROD, 1994). Ugyanakkor más külföldi tartamkísérletek eredményei is arról tanúskodnak, hogy a kímélő művelés (elsősorban direktvetés) a legfelső talajréteg szervesanyagban való gazdagodását segíti elő.

Az úgynevezett hagyományos (konvencionális) talajművelés hozzájárulhat az éghajlati változásokhoz. A talaj ekével történő rendszeres forgatása a szántóföldek szén-dioxid-emisszióját nagymértékben megnöveli (REICOSKY, 1998). Talajművelés hatására nő a lazultság, megváltozik a levegőellátottság, gyors gázcsere indul meg. A talaj megnövekedő oxigéntartalma intenzív mikrobiális tevékenységet indukál. A szervesanyag lebomlásakor keletkező szén-dioxid pedig a légkörbe távozik, aminek következtében a globális klímaváltozás egyik közvetlen előidézője lehet (GYURICZA et al., 2002). Mivel a fokozott mikrobiológiai tevékenység intenzív szervesanyag fogyasztással jár, a talaj levegőzöttsége, a szén-dioxid-emisszió és a humusztartalom között közvetlen kapcsolat figyelhető meg (SZABÓ, 1986; ECAF, 1999). A talaj humuszanyagai hosszú évek, esetenként évszázadok során épülnek fel, ezért néhány század százaléknyi csökkenés is nehezen fordítható vissza.

Az intenzív forgatásra alapozott talajművelés a talajok degradációját és erózióját eredményezheti. A hagyományos művelést felváltó, a talajt védő művelési módszerekkel jelentős mértékben javítható a talaj kémiai, fizikai és biológiai állapota. Ezt a tényt a világon sok helyen tapasztalták (DORAN, 1980; BRUCE et al., 1995; BEARE et al., 1994).

A bolygatott talajba kerülő szervesanyagok széntartalmának 2/3 része szén-dioxiddá oxidálódva a levegőbe kerülve fokozza a globális felmelegedést. Az ilyen talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátása jelentősen meghaladja azokét, amelyeket kevésbé bolygatnak (GYURICZA, 2000). A környezet minőségét lerontó károk – a talaj tömörödése, visszatömörödése,

elporosodása, cserepesedése, szervesanyagban elszegényedése, nagy szén-dioxid-kibocsátása, hordképességének romlása – a hagyományos művelés olyan nemkívánatos kísérő jelenségei, amellyel szembe mindössze néhány agronómiai előny állítható (BIRKÁS, 2002).

A helyes mezőgazdasági gyakorlat alkalmazásával a talaj szén-dioxid megkötő képessége növelhető, redukálódik a szerves szén veszteség és erősödik a humifikáció, ami a talaj szervesanyag-tartalmának növekedéséhez vezet (NÉMETH, 2004; KOÓS – NÉMETH, 2007).

Gazdálkodási és környezetvédelmi szempontból egyaránt fontos, hogy a talaj mikrobiológiai tevékenységének tudatos szabályozásával előnyösen befolyásolhatók a humuszgyarapító- és bontó folyamatok, egyúttal a talajmaradványok feltáródása, fenntartható a talaj kultúrállapota és művelhetősége (BIRKÁS, 2002). A forgatás nélküli talajművelési rendszerekben igen fontos tényező a talaj felszínén megmaradó növényi maradványok lebomlása (QUEMADA - CABRERA, 1995).

Számos kutatási eredmény igazolja, hogy az intenzív talajhasználat a légköri szén-dioxid növekedésében szerepet játszik, amely különösen az elmúlt évtizedekben vált nyilvánvalóvá (DREES et al., 2001; GYURICZA et al., 2005).

A műveléssel létrehozott talajállapot-változások befolyásolják a biokémiai és biológiai folyamatokat. A talajban meglévő tápanyagok, a bejuttatott szerves és műtrágyák, a tartómaradványok elbomlásának és érvényesülésének előfeltétele a kedvezően laza állapot kialakítása. Az aerob mikroszervezetek tápanyagfeltáró tevékenységéhez ugyanis kellő nyirkosság, levegőzettség és hő szükséges. A talaj forgatásakor az eredeti talajfelszín aerob módon légző mikrobái anaerob, vagy gyengén átlevégőztött körülmények közé kerülnek. Következésképpen a tömeges mikrobapusztulás, a szabadenzim-aktivitás növekedése, a humifikációs folyamatok erősödése, valamint az ásványosodás lelassulása. A mélyből felszínre került talajban a mikrobák aktívabbá válnak és előtérbe kerülnek a humusz-bontó folyamatok. A sekély, forgatás nélküli művelés a talajokat kevésbé szellőzteti és szárítja, így módon gyengébb, de tartósabb a mikrobiális tevékenység is (BIRKÁS, 1993), a mikrobák számára elérhető szerves széntartalom mennyisége magasabb a bolygatatlan talajban (TÓTH et al., 2009).

A fenntartható mezőgazdaság szempontjából a talaj szervesanyag-készlete kulcsfontosságú indikátorának számít. A földhasználat módjában és az agrotechnikai beavatkozásokban eszközölt változtatások befolyásolják a talaj szerves szénkészletét és a szervesanyagok mennyiségét és minőségét is. Ezek a változások gyakran kismértékűek és fokozatosan mennek végbe, így rövid- és középtávon nehezen észlelhetők. Ugyanakkor a talaj labilis szénkészletéhez tartozó anyagfeleségek - mint pl. a biomassza - érzékeny indikátorai a talaj ökológiai stabilitásának, a különböző stressz hatásoknak és az eredeti állapot helyreállítását célzó tevékenységeknek. A forróvíz-oldható C-tartalom (HWC) a talaj szerves szénkészletének egyik frakciója, mely szorosan összefügg a biomasszával, így labilis sajátságokat mutat (GHANI et al, 2002).

Az ülepedett, és az eredeti szerkezetet csak kismértékben lazító művelés hosszabb időszak alatt mérsékelte, a mélyebb bolygatás, a nagyobb lazultság, a nyitott felszín növeli a CO<sub>2</sub>-vesztést. SZABÓ (1992) szerint az intenzív művelés sok év alatt, az aerob légzési folyamatok serkentésével pusztítja a talaj humifikált és ásványosodott szervesanyagait, és idézi elő a szervesanyag fogyást. A talajból ily módon eltávozott szervesanyag a természet szempontjából veszteségnek minősül. A mérések tanulsága, hogy talaj szerkezetét kímélő művelés alkalmazásakor nem csak a CO<sub>2</sub>-kibocsátás tartható alacsony szinten, hanem egyúttal a szervesanyagok lebontása és felhalmozódása is kiegyenlítetté tehető.

A talajművelés intenzitása és a szén-dioxid-kibocsátás között közvetlen összefüggés figyelhető meg: minél nagyobb a pórusrétegben belül a levegőfázis aránya és mélyebben lazított a talaj, annál élénkebb a mikrobiológiai tevékenység, amely a szén-dioxid-emisszió fokozódásában nyilvánul meg (GYURICZA, 2004). Talajvédelmi szempontból is igen fontos tehát, hogy korszerű, a talajt kímélő, az adott klimatikus és edafikus tényezőkhez igazodó művelési rendszerek váltsák fel a forgatáson alapuló hagyományos rendszereket (NYIRI, 1997).

A talajművelés gyakorlatának megváltoztatása a talaj tulajdonságainak megváltozását eredményezi, a megváltozott mikrobiológiai aktivitás és tápanyag dinamika, illetve szervesanyag-profil hatással van a növénytermesztésre (FOLLETT - PETERSON, 1988). A hagyományos művelés elemei - mint pl. a szántás - elősegítik a talaj szervesanyag tartalmának

csökkenését a szármaradványok talajba keverése, az aggregátumok felaprózása és a levegőztetés növelése útján, míg a csökkentett műveletszám és a nagyobb mennyiségű, a talaj felszínén maradó növényi maradvány esetén a talaj szervesanyag vesztesége kisebb (BALESDENT et al., 1990). Ezeknek a hatásoknak az ismerete elengedhetetlen a tápanyagforgalom (HENDRIX et al., 1986; ANDRÉN et al., 1990) és a szervesanyag dinamika megismeréséhez a különböző talajművelési rendszerekben (DORAN, 1980; HOLLAND - COLEMAN, 1987).

A lazító-porhanyító és egyidejűleg tömörítő művelés biológiai szempontból is előnyös, gyengébb az átlegegőztetés, ezáltal az aerob mikrobatevékenység; kisebb a mikrobák szervesanyag igénye, ebből adódóan kevesebb szén-dioxidot termelnek, s a morzsákat összetartó, cementáló humuszanyagok sem degradálódnak. A tenyészdő alatt a mikrobiális légzés – a talaj ülepedettségének is betudhatóan – alacsony szinten van, a keletkezett melléktermékek, a szén-dioxid az újabb művelésig a pórusokban tárolódik. Friss műveléskor a megelőző mikrobiális tevékenység CO<sub>2</sub>-tartalma kerül a légkörbe, a veszteség, ezt követően a talajba juttatott szervesanyag feltáródási folyamata szerint alakul. Pl. átlagos évben 5 t/ha búzaszalma és 2,5 t/ha gyökérmaradvány esetén a szénhozam 3 t/ha. A mélyen szántott és elmunkálatlan talajból ez mind a légkörbe távozhat szén-dioxid formában, ellenben szénkímélő műveléskor ennek legfeljebb a harmada. Friss művelés után 2-3 héttel, a tarlómaradványok feltáródásának felgyorsulása esetén – a mikrobiális bontásnak betudhatóan – a szén-dioxid-kibocsátás mértéke növekszik, amely kedvező esetben a légkörnek legfeljebb 2-2,5-szerese (BIRKÁS, 2010).

A biomassa elégetése (pl. tarlóégetés) szintén a szén-dioxid-koncentráció növekedésének kedvez (BIELEK, 2001). Ezzel szemben a teljesen vagy részben talajfelszínen hagyott növényi maradványok lassítják a szén körforgását, mert kevesebb mikroorganizmus számára elérhető, lassan bomlik le, stabilabb humuszvegyületeket hoz létre, és kevesebb szén-dioxidot bocsát ki az atmoszférába (VAN DER LINDEN, 1989; ECAF, 1999; GYURICZA et al., 2002).

A mikrobiális közösségen belül is eltérő a CO<sub>2</sub>-kibocsátás intenzitása és térbeli-időbeli mintázata (SCHIMEL - GULLEDGE 1998). Általánosságban az eukarióták, például a

gombák lebontó folyamatai hatékonyabbak, kevesebb szén lélegeznek el az összes biomassájukhoz képest, mint a baktériumok, azonos körülmények között, adott idő alatt. Természetesen a baktériumok különböző anyagcseréjű csoportjai között is lényeges különbségek vannak a lebontás hatékonyságában.

Az elmúlt ötven év folyamán a termékek nagysága jelentősen növekedett, köszönhetően a műtrágyák és peszticidek használatának, illetve korszerű fajták alkalmazásának. Manapság a kemikáliák magas költsége és a környezetvédelmi szempontoknak való megfelelés igénye arra ösztönzi a gazdálkodókat, hogy alternatív módszerek használatát is megfontolják a költségek csökkentése, az emberi egészség védelme és az erőforrás készletek megóvása érdekében. Ilyen módszerek a köztes növények zöldtrágyaként való alkalmazása, csökkentett talajművelés különböző típusai, szervesstrágyázás, és az integrált növényvédelem. A növénytermesztési rendszer megváltoztatása a talaj mikroklímájára is kihat és befolyásolja a talaj élővilágát is (PAUL - CLARK, 1989). A mikroflórában beálló változások jelentősen befolyásolhatják az alternatív termesztési módszerek eredményességét és fenntarthatóságát. Az ilyen rendszerekben általában a tápanyagok talajbani (belső) forgalmának optimalizálását, illetve a kívülről bevitt tápanyagok hatékonyságának maximalizálását célozzák meg (BUCHANAN, 1990).

A forgatás nélküli művelés biológiai szempontból azért előnyös, mert a levegőzöttség, az aerob mikrobiális tevékenység és a szervesanyag fogyás csak némileg erősödik fel, így a talajmorzsákat összetartó, cementáló humuszanyagok degradációja nem következik be (BIRKÁS, 2002). Talajvédelmi szempontból is igen fontos tehát, hogy korszerű, a talajt kímélő, az adott klimatikus és edafikus tényezőkhöz igazodó művelési rendszerek váltsák fel a forgatáson alapuló hagyományos rendszereket (NYIRI, 1997).

HOUGHTON et al. (1983) szerint a mezőgazdasági tevékenység csökkenti a talaj szervesanyag-tartalmát és hozzájárul a légköri szén-dioxid-koncentráció növekedéséhez. Azonban az újabb művelési módok (csökkentett művelés, minimum-művelés, talajvédő művelés), a növényi maradványok területen hagyása miatt, nemcsak csökkentik a talaj szén veszteségét, de néhány esetben a talaj szén tartalmát is növelik.

GYURICZA (2000) a talajművelés és a szén-dioxid-kibocsátás között keresett összefüggéseket. Ennek vizsgálatára kísérletben tanulmányozta a különböző talajművelési eljárások szén-dioxid-emisszióra gyakorolt hatását. A különböző kezelések hatására a CO<sub>2</sub>-kibocsátás minden esetben nőtt. A légköri CO<sub>2</sub>-tartalom a vizsgálat ideje alatt 736 mg/m<sup>3</sup> volt, ehhez viszonyítva a direktvetés fölött 844,2 mg/m<sup>3</sup> azaz 14,7%-kal magasabb értéket mért. A 16-20 cm-es mélységben végzett tárcsázás hatására 45,8%-kal magasabb értéket kapott, míg a 22-25 cm-es mélységben elvégzett szántás több mint duplájára emelte a vizsgált légréteg CO<sub>2</sub>-mennyiségét. A lazítás (35-40 cm) + tárcsázás (16-20 cm) 90,5%-kal eredményezett magasabb CO<sub>2</sub>-koncentrációt. Kiugróan magas értéket kapott a lazítás (35-40 cm) + szántás (22-25 cm) együttes elvégzésének eredményeként, ez a művelet ugyanis 119,8%-kal növelte az eredeti légköri CO<sub>2</sub>-koncentrációt.

FARKAS (2004) az eltérő talajművelési rendszerek hatását vizsgálta a talaj nedvességforgalmára és megállapította, hogy a talajadottságokhoz megfelelően alkalmazkodó lazító és mulcshagyó művelési rendszerek hozzájárultak a talajnedvesség veszteség csökkentéséhez.

KÁTAI (1992) különböző talajtípusokon vizsgálta a kölcsönhatásokat a talajtulajdonságok, néhány agrotechnikai eljárás és a mikrobiológiai aktivitás között. Megfigyelései szerint a gyengébb minőségű talajok kisebb CO<sub>2</sub>-termelő képességgel rendelkeznek. A vizsgált helyszíneken öntözetlen műtrágyakezelésekben a műtrágya dózissal közel lineárisan emelkedett a CO<sub>2</sub>-termelés, míg öntözött viszonyok között kisebb adag is elegendő volt hasonló koncentráció eléréséhez. Kukorica növényállományban megállapította, hogy monokultúrában nagyobb a CO<sub>2</sub>-termelés, mint trikultúrában.

Feltétlenül meg kell említenem ZSUPOSNÉ (2003) munkáját, aki az általam is vizsgált helyszínek egyikén, a karcagi komplex talajművelési kísérletben végzett mikrobiológiai vizsgálatokat. A hagyományos és a talajvédő művelési rendszerek összehasonlítása során megállapította, hogy bizonyos enzimek (ureáz, kataláz) aktivitásában nem volt szignifikáns különbség, a foszfátáz enzimaktivitás a hagyományos rendszerben volt nagyobb. A talajvédő művelési rendszerben éves átlagban 7,8%-kal magasabb CO<sub>2</sub>-termelést mért a hagyományos (forgatásos) rendszerhez képest.



TUBA (2013) aszályos és csapadékos évben végzett vizsgálatokat a karcagi talajművelési kísérletben és megállapította, hogy a redukált művelési rendszer a rendszeresen művelt réteg lazultságára és nedvességtartalmára mindkét vizsgált évjáratban kedvezően hatott.

ZSEMBELI - NAGY (2004) a hagyományos, forgatásra alapozott művelési rendszer és a talajvédő művelési rendszer vizsgálatából származó adatok alapján állapították meg, hogy a direktvetéses rendszerben termesztett növények parcelláiból több szén-dioxid távozott a légkörbe, bár a különbségek nem minden esetben voltak számottevőek. Kimutatták a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött rendkívül nagy jelentőségű szerepét. A mérési eredmények azt bizonyították, hogy az aktív, fejlődő növényállományokban az összes kibocsátott CO<sub>2</sub>-mennyiség akár 70-80%-ának is a gyökérlégzés a forrása. A kukorica és a napraforgó állományok összehasonlító elemzésekor megfigyelték, hogy a növényállományban előforduló gyomok mennyiségével arányosan növekszik a CO<sub>2</sub>-emisszió mértéke. A gyomok hatására erőteljesebb gyökérlégzés volt az oka a napraforgó állományban tapasztalt magasabb CO<sub>2</sub>-emisszió értéknek.

#### **2.4. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének hatása a CO<sub>2</sub>-emisszióra**

A kutatókat régóta foglalkoztatja a talajművelésnek és a klímának a talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátására gyakorolt hatása. Ezen oxidáció folyamata igen érzékeny a talaj hőmérsékletére és így közvetve a talaj nedvességtartalmára. (WILDUNG et al., 1975).

A talajművelés és a klíma változása hatással van a talaj nedvességtartalmára és hőmérsékletére. Azok a folyamatok, amelyek a szén oxidációját befolyásolják, igen komplexek. Ezért általában a művelés és a klíma a szén oxidációjára gyakorolt hatásának vizsgálatára szimulációs modelleket alkalmaznak. (GRANT - ROCHETTE, 1994).

ORCHARD - COOK (1983) megállapították, hogy a talaj respirációs rátája szoros, közvetlen összefüggést mutat a talaj nedvességtartalmával. Ez az összefüggés a textúrájukban különböző talajokra is igaz. A talaj szén-dioxid-kibocsátása a nedvességtartalom növekedésével szignifikánsan nő, majd egy maximum értéket elérve stagnál. A

nedvességtartalom és a mikrobiológiai aktivitás összefüggését mutatja az is, hogy számos tanulmány foglalkozik a száraz talajban a gyors benedvesedés után a szén-dioxid-termelés hirtelen bekövetkező növekedésével (FRANZLUEBBERS et al., 2000). A benedvesítés után a CO<sub>2</sub>-termelődés gyakran 500%-kal is megnövekedhet a folyamatosan nedvesen tartott talajállapothoz képest. Ez a megnövekedett CO<sub>2</sub>-termelés általában 2-6 napig tart. Mivel a felszín közeli talajrétegek nedvességtartalma szezonális dinamikát mutat, ezek a rövid tartamú impulzusok nagyon sokféle talajra jellemzőek (FIERER - SCHIMEL, 2003). Az Alföldön a nyári időszakban a talajok gyakran kiszáradnak és a jellemzően nem meghatározott rendszerességgel hulló nyári záporok hatására bekövetkező benedvesedés jelentős mértékben hozzájárul a talaj felszínéről a légkörbe távozó CO<sub>2</sub> összes mennyiségéhez.

A talaj nedvességtartalom és a mikrobiológiai aktivitás összefüggését elemezve SKOPP et al. (1990) megállapítják, hogy az aerob mikrobiológiai aktivitásnak számos fizikai korlátozója van. E két paraméter összefüggését optimum (haranggörbével) lehet jellemezni. A nedvességtartalom növekedésével a mikrobiológiai aktivitás maximumának elérése után éppen az oxigén diffúziójának csökkenése jelenti a legfőbb korlátot.

A nedvességtartalom és a talajállapot a nedvesség veszteség mértékét illetően is kölcsönhatásban van. A kedvezőtlen talajállapot – pl. tömör réteg a felszínhez közel, vagy a gyökérszónában – a csapadék talajba jutását, és a talajban lévő nedvesség hasznosulását is akadályozza. A talaj mélyebb rétegeinek állapota a felszín takartságával összefüggésben módosítja a talaj nedvességtartalmát, a veszteség nagyságát. A mélyebb bolygatások nagyobb vízvesztesége a felszín gyors – lehetőleg egymenetes – elmunkálása esetén kerülhető el (BIRKÁS - GYURICZA, 2004).

A talajra ható tevékenységek közül az erdőirtás, a legelőfeltörés, a hagyományos művelés, a meszezés, az öntözés (jó nedvességellátottság), az aerob mikroba-tevékenység szénfeltárás-fokozó beavatkozások, szénveszteséget okoznak (BIRKÁS, 2010).

A talajvédő művelés során a növényi maradványok jelentős hányada a felszínen marad és hatékony védelmet jelent a talajerózióval szemben (HARROLD - EDWARDS, 1974;

LANGDALE et al., 1979), továbbá jelentősen csökkenti a talajnedvesség-veszteséget (BUCHELE et al., 1955; MIELKE et al., 1986; UNGER, 1984).

A hőmérséklet a talaj mikrobiológiai tevékenységére gyakorolt hatásával közvetve is befolyásolja a növény növekedését. A mikroorganizmusok növekvő, illetve csökkenő tevékenysége következtében megváltozik a talajlevegő hőmérséklete és összetétele. A talaj hőmérsékletétől függ a magasabb rendű növények csírázása, növekedése, fejlődése, a talajban élő mikroszervezetek élettevékenysége, ezen keresztül a talaj tápanyagforgalma. A hőmérséklet befolyásolja a talaj ásványi részeinek mállását, a víz mozgását a talajban (folyékony és pára alakjában) (RÁTONYI, 2006).

A művelés utáni lebontó folyamatokat a talaj legfelső 10 cm-es rétegének hőmérséklete befolyásolja leginkább. Tapasztalatok szerint a hőmérséklet emelkedésével a talajban fejlődő CO<sub>2</sub>-mennyisége növekszik, 65°C-nál maximumot ér el, majd 90°C-ig csökken, és 110°C-nál hirtelen megnövekszik a CO<sub>2</sub>-koncentrációja. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy 65°C-nál a talaj mikrobiológiai aktivitása maximumot ér el, és ezért nő meg a CO<sub>2</sub>-tartalom. 110°C-nál pedig kémiai oxidáció okozza a CO<sub>2</sub>-tartalom növekedését (GYŐRI, 1984).

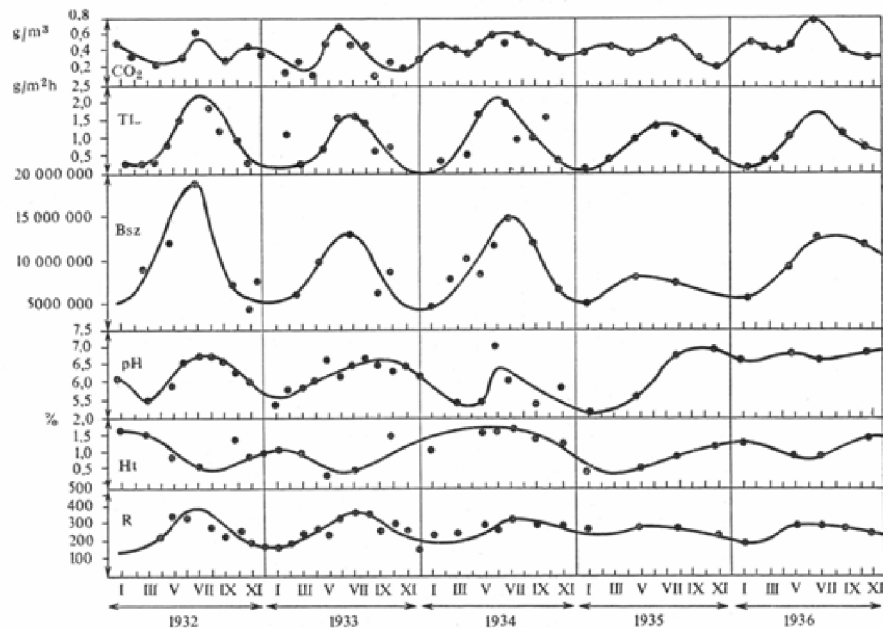
TÓTH et al. (2008) laboratóriumi körülmények között végzett emisszió méréseket a hőmérséklet és a nedvesség szén-dioxid-emissziót befolyásoló hatásának kimutatására, és azt tapasztalta, hogy növekvő talajnedvesség tartalom egyre nagyobb szén-dioxid-emissziót eredményezett.

A talajok CO<sub>2</sub>-emisszióját befolyásoló tényezők közül a talajok fizikai tulajdonságainak, azon belül is elsősorban a talajok hőmérsékletének és nedvességtartalmának van meghatározó szerepe (SMITH et al., 2003). A talajhőmérséklet vizsgálat adatai alapján megállapítható, hogy az intenzív szén-dioxid-kibocsátás egyik oka feltehetőleg a nagy talajhőmérséklet. A művelés utáni lebontó folyamatokat a legfelső 10 cm hőmérséklete befolyásolja leginkább. (BIRKÁS - GYURICZA, 2004).

Az időjárási körülmények, elsősorban a hőmérséklet lényegesen befolyásolják a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátását. Az intenzitásfüggvény változásai viszonylag jól követik a napszakváltásból

adódó talajhőmérséklet változást. Ha viszont a hőmérséklet  $10^{\circ}\text{C}$  alá süllyed az eltérő műveletek emissziós értékei között nincs lényeges különbség (CAF, 2007).

A talajok  $\text{CO}_2$ -kibocsátása és a talajhőmérséklet között pozitív korreláció van, továbbá a talaj nedvességtartalma szintén befolyásolja a  $\text{CO}_2$ -fluxust. Egyéb tényezők is befolyásolják a  $\text{CO}_2$ -emissziót (1. ábra), melyek a talaj pH értéke, a tápanyagok mennyisége illetve a vegetáció aktivitása, azaz a gyökérlégzés és a heterotrofikus élőlények légzése.



**1. ábra:** A levegő  $\text{CO}_2$ -tartalmának, a talajlégzésnek (TL), a baktériumszámnak (BSz), a pH-értéknek, a humusztartalomnak (Ht) és az R-értéknek időszakos változásai egy parlagon hagyott szántóföldi területen (FEHÉR, 1954). Az R-érték a talajnedvesség és a hőmérséklet szorzata

Bár a talajok  $\text{CO}_2$ -kibocsátása a talajban lejátszódó mikrobiális folyamatok eredménye, mégis az emisszió mértéke erősen függ a talaj fizikai tulajdonságaitól. Számos kísérlet bizonyította, hogy a talaj  $\text{CO}_2$ -kibocsátását a hőmérséklet, a talaj szervesanyag-tartalma, valamint a talaj nedvességtartalma alapvetően meghatározza (SZILI-KOVÁCS et al., 1993). A talaj hőmérséklete és nedvességtartalma közvetlenül befolyásolja a  $\text{CO}_2$ -termelődését a mikroorganizmusokra és a gyökéraktivitásra gyakorolt hatásuk révén (SMITH et al., 2003).

## 2.5. A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában

A szén-dioxidnak, mint a legfontosabb antropogén üvegházgáznak egyik fő forrása a talaj (RASTOGI et al., 2002). A talajból talajlégzés során szén-dioxid szabadul fel. A talajlégzésnek különböző komponensei vannak, mint a gyökérlégzés, a talaj szervesanyagainak bomlása mikrobák által és a talajfauna légzése a talaj vékony rétegében, ahol a növénymaradványok koncentrálnak (DE JONG et al., 1974; EDWARD, 1975). Ezen kívül még meg kell említeni a kémiai oxidációt, mely elsősorban magas talajhőmérsékletnél jelentős (BUNT - ROVIRA, 1954). Ezek közül a szervesanyagok bomlása és a gyökérlégzés a legfontosabb, melyek kb. fele-fele arányban járulnak hozzá a talaj CO<sub>2</sub>-légzéséhez (MACFAYDEN, 1970).

A talajlégzés, vagyis a talajfelszínen át kibocsátott CO<sub>2</sub>-mérése viszonylag egyszerű, jóval problematikusabb annak felbontása gyökér-, rizoszféra- és mikrobiális légzésre. A CO<sub>2</sub> talajból légkörbe áramlása a földi anyagforgalom egyik legfontosabb komponense, és elsősorban a talajban zajló mikrobiális lebontó folyamatok, valamint a növényi gyökerek respirációjának a következménye (HANSON et al., 2000). Kisebb mértékű, mindössze néhány százaléknyi tehető a talaj makro- és mezofaunájának CO<sub>2</sub>-kibocsátása (KE et al. 2005).

Nagyságrendjét tekintve a talajlégzés évi összegének területi eloszlása Magyarországon 380–470 g C·m<sup>-2</sup>·év<sup>-1</sup> értékek között változik (ÁCS et al., 2005). A talajnak, mint a légköri szén-dioxid pufferének elnyelő vagy kibocsátó szerepe nagyban függ a talaj széntartalmának eredetétől, formájától és stabilitásától. Lényeges a kibocsátott szén eredetének (növényi eredetű CO<sub>2</sub>, vagy a talaj szervesanyagából származó CO<sub>2</sub>, megállapítása a talaj, illetve az ökoszisztéma szénkészletének jövőbeni sorsát illető előrejelzések szempontjából is (TRUMBORE 1997).

Az ökoszisztémák szénmérlegét két nagy áramlás, a bruttó primer produkció és a különböző eredetű légzések összege alakítja. Az utóbbi komponens nagyobbik hányada a talajhoz köthető. A talajlégzésen belül az adott légzési komponens eredete szerint megkülönböztetünk az aktuális asszimilációs rátához erősen kapcsolt gyökér- és rizomikrobiális légzést, továbbá a

talaj egyéb szervesanyag tartalmának bomlásához köthető egyéb mikrobiális légzést (KRÖEL-DULAI et al., 2008). Emellett a komponensek abszolút mennyisége és egymáshoz való aránya is változhat térben és időben. A mikrobiális közösségen belül is eltérő a CO<sub>2</sub>-kibocsátás intenzitása és térbeli-időbeli mintázata. A fenti állítást támasztja alá az is, hogy az eukarióták közül a gombák lebontó folyamatai hatékonyabbak, kevesebb szén lélegeznek el az összes biomaszájukhoz képest, mint a baktériumok, azonos körülmények között, egységnyi idő alatt. Természetesen a baktériumok különböző anyagcseréjű csoportjai között is lényeges különbségek vannak a lebontás hatékonyságában.

A talajlégzés meghatározása több szempontból is fontos. A talajlégzés intenzitásának értékei nagyléptékű szénforgalmi vizsgálatok bemeneti adatait képezhetik, hozzájárulhatnak a bioszféra-atmoszféra interakciók feltárásához, szénmérlegek készítéséhez, szükségesek a globális klímaváltozás-modellek kialakításához, és ezzel kapcsolatos predikciók megtételéhez (DAVIDSON – JANSSENS, 2006). A talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátási intenzitása alapját képezi talajok minősítésének, és hozzájárul talajszennyezések következményeinek becsléséhez (HUND-RINKE – SIMON, 2008). Sok esetben a talajlégzés természetének és ezen keresztül a talajban zajló folyamatoknak, valamint az azokat meghatározó tényezőknek a vizsgálata a cél: pl. a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásáért felelős egyes összetevők elkülönítése, arányuk meghatározása, illetve a talajlégzést befolyásoló hatások elemzése, mint a talajhőmérséklet, a talajnedvesség, a talaj tápanyagtartalma, valamint a külső CO<sub>2</sub>-koncentráció hatása (BRUCE et al. 2000). Végül célkitűzés lehet közvetlenül magának a talajlégzés vizsgálati, mérési módszertanának a kidolgozása, módszerek összehasonlítása, megbízhatóságuk elemzése is (DORE et al., 2003).

A talajok CO<sub>2</sub>-termelését a talajban zajló bonyolult folyamatok együttese adja, melyben a különböző eredetű szubsztrátok mikrobiális lebontása mellett szerepet játszik a gyökérlégzés és a talaj mezofaunájának légzése is. A CO<sub>2</sub>-kibocsátás komponenseinek szezonális változásokra adott válasza mind mértékében, mind időléptékét tekintve jelentősen eltérhet egymástól. Hosszabb távon a klímaváltozásra adott válaszok is igen különbözőek lehetnek. Ráadásul a légköri, a klimatikus, valamint a tájhasználatbeli globális és regionális változások kihatnak nemcsak a növényi, hanem a talaj mikrobiális társulásainak összetételére is, ami

alapvetően megváltoztathatja az ökoszisztéma-légkör interakciókat (SCHIMEL - GULLEDGE, 1998).

A CO<sub>2</sub>-gázcseré és annak valamennyi komponense (fotoszintetikus CO<sub>2</sub>-fixáció, fotoszintetizáló és nem fotoszintetizáló szervek sötét- és fénylégzése, valamint a talaj autotróf és heterotróf légzése) térben és időben nagy variabilitást mutat minden vegetációtípusban (STOYAN et al., 2000). E variabilitás (akár természetes, akár mesterséges okok hozták létre) a folyton változó környezeti feltételekhez való alkalmazkodás egyik lényeges megnyilvánulása (CHENG et al., 2007). Emellett a zöld növényzet sűrűsége is befolyásolja a talajnedvesség, a felszíni hőmérséklet, az energia- és vízháztartás, a tápanyagforgalom mintázatát, és ez a viszony kölcsönös (COSH - BRUTSAERT, 2003).

Amikor CO<sub>2</sub>-kibocsátást vizsgálunk, számos különböző tér- és időléptékű folyamat együttes eredményét mérjük. Ezek a folyamatok a környezet változásaira eltérően válaszolhatnak (pl. az olyan abiotikus tényezőkre, mint a hőmérséklet vagy a talajnedvesség, a gyökérszövet élettani folyamatai eltérően reagálhatnak, mint a mikrobáké (BOONE et al., 1998), így nehéz ezekre a folyamatokra, de még közös eredőjükre is adekvát megállapításokat tenni. Ezért tehát lényeges a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátás jövőbeni változásainak becsléséhez az adott ökoszisztémában a komponensek arányának ismerete. Az elkülönítés fontos a szénmérleg vizsgálatoknál, a szénallokációs és szénelnyelési kutatásoknál is, mert sok tanulmány szerint a talaj megfigyelt CO<sub>2</sub> kibocsátásának nagy részét a gyökérlégzés teszi ki.

Az aerob talajlégzést általában a termelt CO<sub>2</sub> és a fogyasztott O<sub>2</sub> mérésével határozzák meg, ill. becslik. Nagyon sokszor azonban csak a CO<sub>2</sub>-termelést mérik: ezt ugyanis mind az aerobok, mind az anaerobok egyaránt kibocsátanak (SZABÓ, 1986).

A tárcsás boronák és szántóföldi kultivátorok hozzájárulnak a rizoszféra-közösség maximális, de lokalizált aktivitását lehetővé tevő pF 2 körüli tenzió értékek fenntartásához, miközben a növény alatt, a morzsastruktúra és a szervesanyag-készlet károsítása nélkül, a talaj még több CO<sub>2</sub>-ot fejleszthet és biomasszája is nagyobb lehet, mintha szántották volna. Ez a tény feltehetően az intenzív gyökéraktivitásra vezethető vissza (BARBER - STANDELL, 1977; ANDERSON - DOMSCH, 1975; LYNCH - PANTING, 1980). Az ilyen művelés hatására a

felszíni réteg végső soron gazdagabbá válik szervesanyagokban és szerves tápanyagokban is, mint a szántott (DOUGLAS, 1977; DREW - SAKER, 1978). A forgatás nélkül művelő lazítók, közöttük az altalaj- vagy mélylazítók működésének biokémiai háttere egészen sajátos. Ezek – a lazítókések távolságától és a lazítás mélységétől függően eltérő mértékben – elsősorban a talaj óvatos ventillációján keresztül mérsékelten aktiválják az aerob dinamikát. A légjáratok levegőjében csökken számos illó anyagcseretermék toxikusan magas szintje. A CO<sub>2</sub> a talaj gázfázisában pl. elérheti a 6%-ot, ami már gátolja a gyökerek K-, N-, P-, Ca- és Mg-felvételét, de a mikrobiológiai aktivitást is (ALEXANDER, 1974).

A mérsékelt övi füves ökoszisztémák föld feletti biomasszájában – eltérően a mérsékelt övi erdőktől – jellemzően az összes szerves szén kevesebb, mint 1 %-a található (BURKE et al., 1997). Ennél lényegesen nagyobb a gyökérzetben tárolt organikus szén mennyisége (az élő biomasszában tárolt mennyiség akár kilenctizede is), de legnagyobb széntároló kapacitással a talaj rendelkezik, mely a füves ökoszisztéma összes szerves széntartalmának döntő tömegét (átlag 90%) tárolja.

## **2.6. A gázemisszió meghatározásának módszerei**

Noha az első talajrespiráció mérés több mint 100 évvel ezelőtt történt, mostanáig sincs egy egyezményes módszer a talajlégzés mérésére (ANDERSON, 1982, NAKAYAMA, 1990). A talajlégzés egy rendkívül heterogén folyamat mind térben mind időben, valamint vertikálisan és horizontálisan is befolyásolják a talajtulajdonságok és számos más változó tényező. A meglévő mérési módszerek bizonytalansága alapvetően összefüggésben van ezzel a változékonysággal (SMITH et al., 2008).

A gázemisszió meghatározására szolgáló módszereket a Környezettechnika kézikönyv (BARÓTFI, 1991) vonatkozó fejezetének megfelelően tekintem át. Alapvetően két megoldás (számítás és mérés) kínálkozik a kibocsátott gázok kvantitatív meghatározására.

### *a. Az emisszió meghatározása műszaki számításokkal*

A méréseknél egyszerűbb, de természetesen pontatlanabb műszaki számításokat három fő csoportba sorolhatjuk:



- anyagmérlegek,
- fajlagos, empirikus adatok,
- gyors elemzések.

*b. A gázemisszió mérése*

A mérés gázelemző rendszerekkel történik. Ezek lehetnek fix telepítésűek és mobil rendszerek. Működési elvüknek megfelelően a következő csoportokba sorolhatjuk őket:

- hővezetési elven működő gázelemzők,
- paramágneses elven működő gázelemzők,
- infravörös elven működő gázelemzők,
- ultraibolya sugárzás elve alapján működő gázelemzők,
- elektrokémiai elven működő gázelemzők,
- villamos vezetőképesség elvén működő gázelemzők.

A talajlélegzés jelentős tér és időbeli változatosságának következtében számos mérési technikát fejlesztettek ki azzal a céllal, hogy a különböző léptékekben uralkodó, eltérő folyamatokat vizsgálják. Az *in situ* terepi mérések általában respirációs kamrák (nyitott vagy zárt, statikus vagy dinamikus) használatán alapszanak. Mivel a talajnedvesség-tartalom és a talajhőmérséklet a két fő tényező, amely befolyásolja a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátást (REICH - SCHLESINGER, 1992, SZILI-KOVÁCS, 2004), így ezen környezeti változók értékét is rögzíteni kell, a CO<sub>2</sub>-emisszió és a környezeti tényezők közötti kapcsolat megismeréséhez. A talaj szén-dioxid-kibocsátásának mérését laboratóriumban általában szerkezet nélküli, bolygatott mintákon végzik (LINN - DORAN, 1984, BOWDEN et al., 1988, BAJGAI et al., 2011).

A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásának mértékét különféle módszerekkel lehet meghatározni, azonban a számos módszer mindegyikének megvannak az előnyök mellett a maguk korlátai is – nem létezik tökéletes módszer. Ráadásul ezen módszerek összehasonlíthatósága a mai napig is kérdéses (HEINEMEYER – MCNAMARA, 2011). A mérés gázelemző rendszerekkel

történik. Ezek lehetnek fix telepítésűek és mobil rendszerek. Működési elvüknek megfelelően a következő csoportokba sorolhatjuk őket:

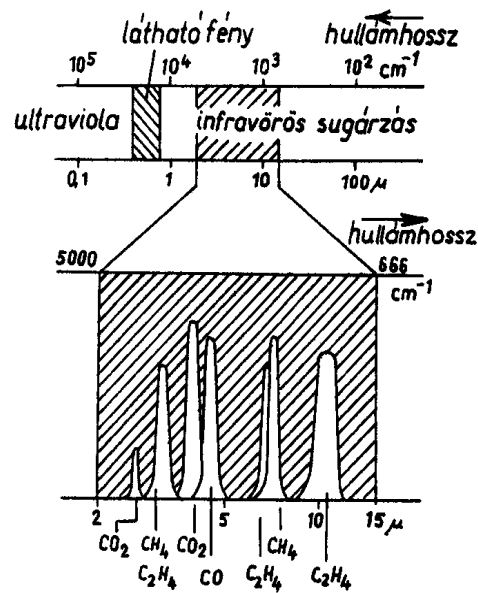
- Gázelektrodos mérési technika (oxigénelektróddal) WILSON - GRIFFIN (1975) a mikroorganizmusok oxigénfogyasztásának mérésével becsülték a CO<sub>2</sub>-keletkezését elektrolitikus respirométer és a hozzá csatlakoztatott nyomás kompenzátor segítségével.
- Alkáli abszorpciós technika statikus kamra csatlakoztatásával egy lúgos oldatban vagy mészben (általában NaOH, KOH vagy szódamész) elnyeletik a szén-dioxidot, mely adott idő alatt fejlődik egy statikus kamrában, és így az oldat súlygyarapodásából (ROCHETTE - FLANAGAN, 1997), vagy a maradék lúg sósavas titrálásával (WILDUNG et al, 1975) számítják ki a keletkezett CO<sub>2</sub>-mennyiségét.
- A gázkromatográfias módszernél a talajra helyezett zárt kamrában gyúlik fel a szén-dioxid, a kamralevegőből injekcióstűvel mintát vesznek, majd gázkromatográfban megméri a CO<sub>2</sub>-tartalmat (EMMETT et al., 2004).
- Infravörös gázanalizátor (IRGA) statikus vagy dinamikus zárt rendszerű kamrával módszer esetén a zárt kamrában fejlődő CO<sub>2</sub>-mennyiségét infravörös gázanalizátor segítségével is meghatározhatjuk, vagy statikus módon (a kamrából adott időközönként vett levegőminta IRGA-ban való megméréseivel), vagy az IRGA-hoz kapcsolt szintén zárt dinamikus kamrában.
- Infravörös gázanalizátor nyílt rendszerű kamrával. A nyílt rendszer alkalmazása esetén az IRGA-hoz csatlakoztatott nyílt dinamikus kamra levegője folyamatosan a külső levegővel keveredik, elkerülendő a külső körülményeknél jóval magasabb szén-dioxid-koncentráció kialakulását a kamra belsejében (FANG - MONCRIEFF, 1998). Míg előbbi esetben (zárt rendszer) lényeges a kamra CO<sub>2</sub>-koncentrációjának változását a kezdeti állapottól fogva és minél kisebb időközönként mérni, ez utóbbi esetben (nyílt rendszer) meg kell várni, amíg kialakul a dinamikus egyensúly a kamralevegő és a talaj között, és ekkor már közvetlenül a CO<sub>2</sub>-fluxus határozható meg.
- Szén-dioxid-profil technika a talajban: a széndioxid-profil technikával a talaj vertikális CO<sub>2</sub>-eloszlását és áramlási mintázatait becsülik, valamint azok időbeli (napi, szezonális) változásai követhetők nyomon. Itt különböző talajmélységekbe leszúrt szondákkal vesznek mintát a talajlevegőből, és azt elemzik infravörös gázanalizátorral vagy gázkromatográfias módszerrel (NAGY et al., 2011).

A rendelkezésemre álló Anagas CD 98; illetve GasAlert Mico5 típusú, angol gyártmányú készülékek az infravörös elven működő gázanalizátorok csoportjába tartoznak, ezért ezek működési elvének ismertetését tartottam csak szükségesnek. Az infravörös elven működő eljárás azt a jelenséget használja ki, hogy a különböző atomokból álló (heteroatomos) gázok az infravörös sugárzást is, minden egyes gáz esetében jellegzetes sávokban elnyelik. A gázok a fénysugarakat legnagyobbbrészt átértesztik. Az infravörös sugarak elnyelése függ az infravörös sugarak hullámhosszától, a gázok fajtájától, valamint a gázréteg vastagságától. A maximális értékek minden gáz esetén más helyen vannak, és azonos vastagságú gázrétegre más és más értékűek. Nincs két, egymástól különböző összetételű gáz, amelynek átértesztési görbéi azonosak lennének.

Az elemi gázoknak nincsenek abszorpciós tulajdonságaik. Az infravörös sugarakat mindenütt átengedik. Az infravörös gázelemzők tehát kizárólag vegyületek elemzésére alkalmasak. Sugárforrásul két egyforma, meghatározott fűtésű infravörös sugárzó szolgál, amelyek sugárzását egy motorikus hajtású blendekegész azonos fázisban modulálja. Az egyik sugárzó modulált sugara az analízáló kamrán keresztül az egyik érzékelő kamrába jut, a másiké pedig az N<sub>2</sub>-töltésű összehasonlító kamrán keresztül az előzővel azonos kiképzésű másik érzékelőkamrába. Az összes részek infravörös sugarakat átbocsátó ablakocskákkal vannak lezárva.

Az érzékelőkamrák, amelyeket egy membránkondenzátor választ le egymástól, mindenkor azzal a gázzal vannak töltve, amelynek a koncentrációját mérni akarjuk, tehát infravörös sugárzást csak a mérendő komponens sávjaiban képesek elnyelni. Ha az analízáló kamrán áramlik a mérendő gáz, úgy az infravörös sugárzás egy része már ott elnyelődik. Ezáltal az érzékelőkamra kisebb mértékben melegszik fel, mint az összehasonlító ágban lévő kamra, amelybe a gyengítettlen sugárzás lép be. A moduláció ütemében ingadozó kamrák közti hőmérsékletkülönbség a mérendő komponens koncentrációjától függ. Ez a kompenzátormembrán meghajlítása révén modulált kapacitásváltozást okoz, és ezzel egy ellenálláson a váltakozó feszültség megváltozását. Ezt egy szelektív mérőerősítő egyenárammá alakítja.

Amennyiben a mérendő gáz olyan komponenseket tartalmaz, amelyek elnyelési sávjai a mérendő komponensével átlapolják egymást, úgy az analizáló és az összehasonlító kamra előtt azonos, a zavaró komponenssel töltött szűrőkamrák helyezhetők el, s ezáltal megnövelhető a mérendő komponensre vonatkoztatott szelektivitás (pozitív szűrés). A negatív szűrésnél, amelyet az egymást erősebben átlapoló elnyelési sávok esetében alkalmaznak, a mérendő gáz a mérőküvetta mindkét oldalán átáramlik, míg a csak az összehasonlító oldalon lévő szűrőküvetta a mérendő komponenssel van megtöltve, amely koncentrációja úgy van meghatározva, hogy csak a zavaró komponens által fedett részt nyeli el. Ezáltal a zavaró befolyás a mérő- és az összehasonlító oldalon azonos mértékben lép fel, s így a mérést nem befolyásolja. A 2. ábrán az elektromágneses sugárzási tartomány a  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  és  $\text{CO}_2$  elnyelési sávjaival az infravörös tartományban szemantikusan vázlatát mutatom be.



2. ábra: A gázemisszió infravörös elven történő mérésének vázlata

Szántóföldi körülmények között a leginkább elterjedt gázemisszió meghatározási módszer a hagyományos kamrás mérés (AMBUS et al., 1993). Előnye, hogy biztosítja a folyamatos mérés lehetőségét, így akár a napi dinamika meghatározását is. Mindazonáltal a mintavételi és analitikai korlátok miatt sokkal jellemzőbbek a heti, vagy havi intervallumokra meghatározott emisszió értékek (MOISER, 1989). Ezeket egy egyszerű mérőhenger (3. ábra) lehelyezése, és

a mérés kezdete előtti lefedése (inkubáció) után, a meghatározott mérési intervallum szerinti in situ mérésekkel nyerhetjük.



**3. ábra:** Egyszerű mérőhenger a mérési terület lehatárolására

Jelenleg a szabadföldi gázemissziós mérések technikai csúcsát az automatizált, kvázi folyamatos mérést biztosító, korszerű analitikai egységgel felszerelt, nagyméretű kamrákkal ellátott berendezések jelentik. Egy ilyen berendezésről számol be AMBUS - ROBERTSON (1998). A műszer fotoakusztikus infravörös spektrométeres analitikai egysége CO<sub>2</sub>- és N<sub>2</sub>O-koncentráció, 2,5 percenkénti gyakorisággal történő mérésére alkalmas (4. ábra).



**4. ábra:** Automatikus szabadföldi kamrás gázanalizátor

LOFTFIELD et al. (1992) szintén keretes módszert alkalmaztak (5. ábra), ők a HUTCHINSON - MOISER (1981) által kifejlesztett eszközt fejlesztették tovább, úgy, hogy erdei körülmények között is alkalmas legyen a mérésekre.



**5. ábra:** Duplafalú kerettel ellátott kamra

## **2.7. A témához kapcsolódó szakirodalom összegző értékelése**

A témához kapcsolódó szakirodalomban fellelhető megállapítások közül a következőket tartom az értekezésben foglaltak szempontjából mérvadónak:

- A talajok szerepe igen jelentős a szén ciklusban, összes széntartalmuk nagyjából kétszerese a légkörben található, és szervesanyagaikban kétszer-háromszor annyi szerves kötésű szén található, mint a vegetációban. A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátása a globális szén ciklus második legfontosabb eleme, így fontos szerepet játszik a klímaváltozásban.
- A magyarországi talajok szénkészlete folyamatosan változik, különösen az elmúlt évtizedre becsülhető jelentős változás. A talajművelésben beálló szemléletváltozás egyre nagyobb mértékben jellemző. Mivel a talaj – a klíma és az időjárás mellett – a növénytermesztés egyik legfőbb olyan tényezője, amely alapvetően meghatározza a termelés minőségét, gazdaságosságát, a talaj és a növénytermesztés összefüggéseinek feltárása az egyik legfontosabb kutatási feladat. A mezőgazdasági földterületeken és erdőkben történő szénmegkötés célja nemcsak az éghajlatváltozás elleni harc, hanem a talajminőség javítása is.

- Az intenzív forgatásra alapozott talajművelés a talajok degradációját és erózióját eredményezheti. A hagyományos művelést felváltó, a talajt védő művelési módszerekkel jelentős mértékben javítható a talaj kémiai, fizikai és biológiai állapota. A műveléssel létrehozott talajállapot-változások befolyásolják a biokémiai és biológiai folyamatokat. Az eddigi kutatási eredmények bizonyították, hogy az újabb művelési módok (csökkentett művelés, minimum-művelés, talajvédő művelés), a növényi maradványok területen hagyása miatt, nemcsak csökkentik a talaj szén veszteségét, de néhány esetben a talaj szén tartalmát is növelik.
- A talajok CO<sub>2</sub>-emisszióját befolyásoló tényezők közül a talajok fizikai tulajdonságainak, azon belül is elsősorban a talajok hőmérsékletének és nedvességtartalmának van meghatározó szerepe.
- A talajlégzésnek különböző komponensei vannak, mint a gyökérlégzés, a talaj szervesanyagainak bomlása mikrobák által és a talajfauna légzése a talaj vékony rétegében, ahol a növénymaradványok koncentrálnak. Ezen kívül még meg kell említeni a kémiai oxidációt, mely elsősorban magas talajhőmérsékletnél jelentős. Ezek közül a szervesanyagok bomlása és a gyökérlégzés a legfontosabb.
- A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásának mértékét különféle módszerekkel lehet meghatározni, azonban a számos módszer mindegyikének megvannak az előnyök mellett a maguk korlátai is.

A fentiekben összefoglalt megállapítások természetesen nem ölelik fel a teljes szakirodalmat, amely igen széleskörű, de véleményem szerint kellő áttekintést ad a disszertáció témaköréhez kapcsolódó kutatási eredményekről. Mindazonáltal megállapítható, hogy a mezőgazdasági talajok szén-dioxid-kibocsátásával, a kibocsátást befolyásoló talajművelési és talajfizikai tényezők tisztázásával, és a talajok szénkészletének becslésével kapcsolatos ismereteink nem teljesek és nem általános érvényűek, hiszen nem minden körülményre interpretálhatóak. Ezért véleményem szerint ismereteink ilyen irányú bővítése nem hiábavaló és további erőfeszítéseket igényel.

### **3. ANYAG ÉS MÓDSZER**

#### **3.1. A mérési helyszínek természeti adottságai**

##### ***3.1.1. Földrajzi elhelyezkedés***

Karcag a Nagyalföldön, a Közép-Tiszamente térségben, a Nagykunság kistérségben helyezkedik el a Tisza folyótól keletre, földrajzi koordinátái: É 47° 23', K 20° 56', átlagos tengerszint feletti magassága 87 m Bf.

##### ***3.1.2. A terület geomorfológiája***

Karcag a Kárpát-medence egyik legalacsonyabban fekvő területén található, a Közép-Tiszavidéken belül a Nagykunság kistérségben a Közép-Tiszavidék jelenlegi felszíne kialakulásának, felépítésének és arculatának minden vonását makro- és mezoformáit a folyók építőmunkájának köszönheti. A talajok kialakulása során részben a szél, részben a víz által szállított és lerakott üledékekből jöttek létre az alapkőzetek. A medence jellegű terület feltöltődése során magas agyagtartalmú üledékek depozíciója volt jellemző. A folyók üledéke keveredett a felszínre hulló porral, azaz a szél által szállított ún. eolikus lösszel. A löszanyagok a többé-kevésbé vízzel borított felszínre kerülve az ún. infúziós löszet hozták létre. Ezen folyamatok következményeként a terület alapkőzeteinek agyagtartalma magas. A felszín legnagyobb részét löszös anyag, lösziszap borítja, melyhez téglagyag-készletek kapcsolódnak (Karcag, Mezőtúr, Kisújszállás, Törökszentmiklós, Martfű, Tiszaföldvár).

##### ***3.1.3. A térség klímája***

A Nagykunság kistérség Magyarország egyik legszárazabb, a hőmérsékleti ingadozásokat tekintve legszélsőségesebb, illetve leginkább kontinentális jellegű területe. A maximum középhőmérséklet 20,8°C, június és augusztus között jellemző, a minimum középhőmérséklet -2,9°C, általában januárban mérhető. Meleg, száraz, mérsékelt forró nyarú éghajlati körzetbe esik. A napsütéses órák évi összege 2000-2100 között változik. (DÖVÉNYI, 2010).



A vizsgált időszak meteorológiai adatait az 1. táblázatban mutatom be. A méréseimhez szükséges aktuális meteorológiai adatokat a Kutatóintézet területén felállított OMSZ mérőhálózatába tartozó meteorológiai állomás méréseiből használtam.

**1. táblázat: Meteorológiai adatok Karcagon a vizsgálati időszakban**  
(Forrás: DE ATK Karcagi Kutatóintézet)

	<b>50 éves átlag (1951- 2000)</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Éves átlaghőmérséklet (°C)</b>	10,02	9,8	10,6	12,0	11,4	11,7	10,4	11,1	11,5
<b>Vegetációs időszak (április-október) átlaghőmérséklete (°C)</b>	16,3	16,5	17,1	17,7	16,9	18,1	16,2	17,8	18,6
<b>Éves csapadékmennyiség (mm)</b>	503,4	743,1	585	548	567,9	547,4	889,1	385,7	344,5
<b>Vegetációs időszak (április-október) csapadékmennyisége (mm)</b>	340,3	569,4	420,1	386,9	418,7	272,5	614,0	278,2	246,9
<b>A talajhőmérséklet (-10 cm) közéértéke (április- október) (°C)</b>	-	18,2	18,4	19,2	18,4	18,8	17,6	18,6	19,3
<b>A talajhőmérséklet (-10 cm) maximális értéke (április- október) (°C)</b>	-	27,6	28,3	31,4	26,5	27,0	26,9	28,7	30,2
<b>A talajhőmérséklet (-10 cm) minimális értéke (április- október) (°C)</b>	-	5,6	4,6	7,1	8,8	7,4	5,3	5,8	5,0
<b>A talajlégzés minimális értékei (g*m<sup>-2</sup>*h<sup>-1</sup>)</b>	-	0,03	0,02	0,05	0,01	0,01	-	0,13	0,04
<b>A talajlégzés maximális értékei (g*m<sup>-2</sup>*h<sup>-1</sup>)</b>	-	0,35	0,46	0,56	0,73	0,73	-	0,61	0,84

A vizsgálati időszak időjárása meglehetősen változatos volt, ezzel kiváló alkalmat teremtett az évek közötti összehasonlításhoz. 2011 nyár és 2012 nyár vége kivételesen meleg és száraz volt, valamint a 2009-es év is szokatlanul meleg és száraz nyarat hozott. Ezzel szemben 2005 és 2010 igen csapadékos évjáratok voltak, míg 2006 és 2008 többé-kevésbé átlagos évek mondható az 50 éves meteorológiai átlagokat tekintve. A legnagyobb évek közötti változatosság az áprilistól júniusig (a vegetációs aktivitás csúcsának időszakában) lehullott csapadék mennyiségében mutatkozott. 2005-ben a vegetációs időszak során 569,4 mm csapadék esett, míg például 2012-ben 246,9 mm, ami az említett mennyiség felét sem érte el.

A Nagykunság Alföldünk és egyben országunk legszárazabb tája, az átlagos éves csapadékmennyiség 500mm körüli. Az alacsony csapadékmennyiségen kívül annak éves eloszlása is kedvezőtlen, de szélsőségesen magas csapadékmennyiségű évjáratok is előfordulnak. A csapadék mennyiségének évi változása nagyon erős (a legcsapadékosabb hónapban két és félszer annyi esik, mint a legszárazabbban). A potenciális evapotranszpiráció éves értéke meghaladja a 700-800 mm-t. Az évi vízhiány a kevés csapadék és a meleg nyár miatt itt a legnagyobb hazánkban. A tájra jellemző uralkodó szélirány az északi, északkeleti.

#### ***3.1.4. Talajtani viszonyok***

A különböző talajtípusok kialakulása szoros összefüggésben áll a térség geológiai, hidrológiai és klimatikus viszonyaival. A tájban 9 talajtípus fordul elő. A talajvízhatás alatt álló mélyebb fekvésű területek kiterjedt (15%) talajtípusát az agyag vagy agyagos vályog mechanikai összetételű réti talajok és a fiatalabb, kisebb humusztartalmú réti öntéstalajok (3%) képviselik. Számottevő (30%) a szikes talajok mennyisége, amely a réti szolonyec (9%), a sztyeppesedő réti szolonyec (8%) és a szolonyeces réti talajokból (13%) tevődik össze. A szikes (szolonyec) talajok a mélyebben fekvő területek löszhátain, a csernozjom talajok a magasabb, míg a réti talajok az alacsonyabb fekvésű területeken találhatóak. A táj talajképző közeiteiben az agyag, a löszszerű képződmények, a homok különböző változatai vékonyabb vagy vastagabb rétegekben fordulnak elő. Eloszlásuk és váltakozásuk különösen a felszínhez közeli rétegekben nagy befolyást gyakorol a talajképződési folyamatokra és a kialakuló talajtípus tulajdonságaira is.

## A mérési helyszínek talajának jellemzése

A komplex talajművelési kísérlet talajának, illetve a tenyészedényes vizsgálatokban alkalmazott talajnak a típusa mély humusz rétegű, mélyben szolonyeces réti csernozjom (6. ábra). A talajképző kőzet vályogos agyag textúrájú infúziós lösz.



**6. ábra:** A karcagi réti csernozjom talaj szelvénye (*Saját fotó*)

A mérőhely talajának szelvényleírását az alábbiakban közlöm:

**A<sub>sz</sub>** 0-30 cm: sötétbarna, vályog, poliéderes szerkezet, sok gyökér, fokozatos átmenet

**A<sub>1</sub>** 30-50 cm: feketésbarna, agyagos vályog, kifejezettebb poliéderes szerkezet, kevesebb gyökér, éles átmenet

**B** 50-84 cm: világosbarna, vályog, morzsás szerkezet, csökkenő humusztartalom, karbonátos, folyamatos átmenet

**BC** 84-120 cm: még világosabb szín, agyagos vályog, mészkiválások, kevés gyökér 110 cm-ig, fokozatos átmenet

**C** 120 cm-: sárgás szín, agyag, vasborsók, nincs gyökér.

A mérési helyszínek feltalajának kémhatása gyengén savanyú (2. táblázat), az A-szintben azonban jelentős hidrolitos aciditást mutat, amely a szén-savas mész megjelenésével a 40-50 cm-es rétegtől megszűnik. Mérhető mennyiségű szóda az 50 cm alatti rétegekben mutatható ki.

**2. táblázat:** A terület kémiai alapvizsgálatának eredményei

Kezelés	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	só- tart.	CaCO <sub>3</sub>	Humusz tart.
			%	%	%
Hagyományos művelés	6,81	5,48	<0,02	<0,05	3,27
Redukált művelés	7,17	6,08	0,03	<0,05	3,65

A vizsgált talajréteg mechanikai összetételének elemzése (3. táblázat) kimutatta, hogy a talaj minkét művelési módnál agyag fizikai feleségű, Arany féle kötöttsége alapján szintén ebbe a kategóriába sorolható, e paraméter értékei a szelvényben lefelé haladva fokozatos növekedést mutatnak.

**3. táblázat:** A minták mechanikai elemzésének eredményei és az Arany féle kötöttsége

Kezelés	>0,25 mm	0,25- 0,05 mm	0,05- 0,02 mm	0,02- 0,01 mm	0,01- 0,005 mm-	0,005- 0,002 mm	0,002> mm	K <sub>A</sub>
Hagyományos művelés	0	6,7	8,8	16	11,7	11,7	45,1	49
Redukált művelés	0	4,8	11,5	12	14,7	12,5	44,5	54

A vizsgált talaj agyagtartalmának megfelelően víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságai rosszabbak, a talajlevegő részére rendelkezésre álló makropórusok aránya a talajban kisebb, így a légjárhatósága, szellőzése rosszabb, mint a könnyebb, vályogtalajoké. Ezeken a talajokon különösen fontos a szervesanyag tartalom megőrzése, hiszen ezáltal javítható a levegőgazdálkodás, szellőzőtség.

### 3.1.5. Hidrológiai viszonyok

A talajokat kialakító folyamatok szoros kapcsolatban állnak a felszíni és felszínalatti hidrológiai körülményekkel. A Nagyalföld jelentős része állandó vagy időszakos vízborítás alatt állt a Tisza múlt századbeli szabályozása előtti időszakban. Számos kisebb folyó is finom üledéket szállított a területre. A folyószabályozás után a Tisza és mellékfolyói hatása alatt álló terület jelentősen csökkent, a talajvízszint süllyedt. Ezek ellenére a talajvízszint ingadozása még ma is meghatározó folyamatnak tekinthető. Ez az ingadozás (fluktuáció) mintegy 0,8-1,8

m mértékű Karcag térségében. A Közép-Tiszavidék talajvízszintje geomorfológiai és talajtani körülményektől függően a felszíntől 1-20 m mélységig váltakozhat. A talajvizek ásványi sótartalma egyes esetekben igen jelentős, más esetekben azonban csekély. A vízben oldott ásványi sók minősége helyenként és talajtípusonként igen változó.

A táj legfontosabb jellemzője a nagyfokú vízszegénység, ami a felszíni és felszín alatti vizekre egyaránt vonatkozik. Az egész területnek egyetlen olyan állandó jellegű természetes vízfolyása sincs, mely a táj határán belül eredne. Az átfolyó vízfolyások eloszlását a szomszédos területek vízháztartási viszonyai és a térszín lejtése szabja meg. A tájat fő folyója, a Tisza a szerkezeti vonalnyalábokhoz igazodva keresztezi.

### **3.2. A mérések helyszínei**

A méréseket a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézetének (DE ATK KKI) területein végeztem.

#### ***3.2.1. A komplex talajművelési kísérlet***

Az 1997-ben indított komplex talajhasznosítási és talajművelési kísérlet célkitűzése a talaj fizikai degradációját megállító konzerváló talajművelési rendszer lehetőségeinek és hatékonyságának megállapítása a Tiszántúl agroökológiai és szántóföldi ökoszisztémái között, környezetkímélő energiatakarékos talajművelési rendszer kidolgozása. A program tartalmazza:

- a rendszeresen művelt réteg mélységének csökkentését,
- a forgatásos talajművelési eljárás elhagyását, csökkentett menetszámú talajművelés és direktvetés alkalmazását,
- a termőhelyen képződő szervesanyagok mulcsozási technológiával történő talajba juttatását,
- valamint a mélylazítás alkalmazását a talaj fizikai hibáinak, illetve a termékenységet korlátozó tényezők megszüntetésére.

A talajművelési kísérlet a Kutatóintézet H-1 jelű tábláján (7. ábra) folyik. A tábla mérete 16 hektár, ebből 3,5 hektáron hagyományos művelést folytatunk (továbbiakban HM), 12,5 hektáron talajkímélő, forgatás nélküli, redukált művelést (továbbiakban RM). A 4 parcellán egyszerre 2 növényfaj vetésváltásban került termesztésre. Az itt termesztett növényfajok (őszi búza, kukorica, borsó, napraforgó, őszi árpa) reprezentálják a Nagykunságban kialakult szántóföldi növénytermesztés szerkezetét.



**7. ábra:** A komplex talajművelési kísérlet

2006 őszén a tábla egyharmada, mindkét talajművelési parcella esetében, hígtrágyával volt kezelve. A viszonylag jó tápanyag-ellátottságú talajon, az akkori cirok kísérletben, 60 t/ha termésszint biztosításához szükséges 200 kg/ha nitrogén, 30 kg/ha  $P_2O_5$  illetve 222 kg/ha  $K_2O$  hatóanyagoknak megfelelő hígtrágyakezelés történt. Így a műveléshatáson kívül a hozzáadott anyag hatását is tudtam vizsgálni a  $CO_2$ -emisszió vizsgálatokkal.

2011-2012-ben a terület egyharmada, mind a hagyományosan, mind a redukáltan művelt parcellákon PRP-Sol nevű talajkondicionáló szerrel volt kezelve. A talajkondicionáló szer javítja a talaj szerkezeti állapotát, vízgazdálkodását, növeli annak tápanyagtartalmát. A talajkondicionáló szer gyártója az anyag a talaj biológiai aktivitását serkentő hatást hangsúlyozza. A javítóanyag növeli a talajban élő mikro- és makroorganizmusok tevékenységének aktivitását, lényege, hogy aktiválja a talajfunkciókat. A termék egy olyan pellet, amely természetes kötésű kalcium és magnézium karbonátokat tartalmaz (4. táblázat). Kijuttatás után az anyag szemcséi a talajoldatban oldódnak és szétoszlanak. A gyártó a terméket mindenféle talajtípusra és növényre ajánlja.

4. táblázat: A talajkondicionáló szer jellemzői

CaO	MgO	Semlegesítési érték	pH	Térfogattömeg
35%	8%	46%	7,7	1,19 g/cm <sup>3</sup>

### 3.2.2. Az átfolyóvizes liziméterek, mint tenyészedények

A méréseket a DE ATK KKI liziméter állomásán végeztem, 8 átfolyóvizes liziméter egységben állítottam be a kísérletet, ahol a liziméter hengerek tenyészedényként funkcionáltak.

Általában a talaj CO<sub>2</sub>-tartalma két különböző forrásból származhat, ezek a gyökérlégzés és a talaj szervesanyagainak mikrobiológiai bomlása. Azért, hogy ezt a kétféle folyamatot külön-külön kiértékelhessem, az edények felét befűvesítettem, a többi növényborítás nélkül maradt (8. ábra), így a gyökérlégzés kizárásával, pusztán a mikrobiológiai bontásból származó CO<sub>2</sub>-mennyiségét is meg lehetett határozni. A gyept mindig visszanyírásra került, hogy a növényi fotoszintézis ne zavarja meg a vizsgálatokat.



8. ábra: A növényborítás nélküli és a befűvesített edények (Saját fotó)

A vizsgált 3 évben öntözési kísérletet is rávittem a növényborításos kísérletre. 2008-ban mindegyik sorozatban volt egy egység, amit öntöztem, egy, amit csökkentett dózissal öntöztem és egy-egy edény öntözetlen maradt. 2009-ben egységesen öntöztem a 8 átfolyóvizes liziméter egységet. 2011-ben átalakítottam a kísérletet, 4 edényt öntöztem teljes

dózissal, 2 edényt csökkentett dózissal, 2 pedig öntözetlen maradt (5. táblázat), így az öntözővíz dózissokkal kialakított különböző talajnedvesség-tartalom és a talaj szén-dioxid-kibocsátása közötti összefüggéseket is tudtam vizsgálni.

**5. táblázat:** Az átfolyóvízes lizimétereken beállított kísérlet kezelése

Az egység sorszáma	Felület	Gyökér-légzés	Öntözés 2008	Öntözés 2009	Öntözés 2011
16	Gyep	+		Teljes dózis	Teljes dózis
17	Növényborítás nélkül	-	Teljes dózis	Teljes dózis	Teljes dózis
18	Gyep	+	Teljes dózis	Teljes dózis	-
19	Növényborítás nélkül	-	Csökkentett dózis	Teljes dózis	-
20	Gyep	+	Csökkentett dózis	Teljes dózis	Csökkentett dózis
21	Növényborítás nélkül	-	-	Teljes dózis	Csökkentett dózis
22	Gyep	+	-	Teljes dózis	Teljes dózis
23	Növényborítás nélkül	-		Teljes dózis	Teljes dózis

### 3.2.3. Az eredeti szerkezetű talajoszlopok, mint tenyészedények

A méréseket a DE ATK Karcagi Kutatóintézetének talaj-előkészítőjében végeztem. 8 mintavevő hengerrel eredeti szerkezetű (bolygatatlan) talajminta lett véve az Intézet H-1 jelű táblájáról, a komplex talajművelési kísérletből. A gyakorlatban sokszor előforduló probléma, hogy szerkezet nélküli, bolygatott talajmintákat használnak szerkezetfüggő talajtulajdonságok – mint amilyen a CO<sub>2</sub>-emisszió is – laboratóriumi vizsgálatához. Ezzel megsemmisítik a talajszerkezetének és pórusméret-eloszlásának hatását a talajok szilárd-, folyékony- és légnemű fázisainak arányára és ezek erős befolyását a talaj biológiai folyamataira és a CO<sub>2</sub>-emisszióra. Ritkán találkozunk a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátását bolygatatlan talajoszlopokon, ellenőrzött körülmények között végzett kísérletekkel (TÓTH et al., 2009).



A kísérlethez használt talaj típusa csernozjom. Az első négy mintát hagyományos művelésű (H), a második négy mintát a redukált (R) művelésű parcellából vettem (6. táblázat). A mintavevő henger mindkét vége nyitott, így az alsó részét szitaszövetet helyettesítő selyemmel zártam le, ami a nedvességet át tudja engedni. A hengerek a továbbiakban tenyészedényként funkcionáltak. A mintavétel után a talajoszlopok nedvességtartalmát szántóföldi vízkapacitásig feltöltöttem, így az első emisszió mérés időpontjában a talajok telítettek voltak. Az edényeket cserépdarabok segítségével megemeltem, és tálcára helyeztem, így az öntözés során a kifolyó víz alul távozni tudott, és ezt a tálcán összegyűjtöttem. Mindegyik egység hetenként kapott 0,15 liter öntözővizet, mivel zárt térben szobahőmérsékleten volt beállítva a kísérlet, és így a párolgási veszteségek pótlására ennyi nedvességre volt szükség. A vízpótlásnak abban is volt szerepe, hogy meggátolja a talajoszlop és az edény elválását, illetve repedések képződését, ami duzzadó-zsugorodó (réti csernozjom) talajok esetében bekövetkezhet, és az emisszió vizsgálatokban mérési hibát okozhat. Az edényeket növénymentesen tartottam. A kísérlet 30 napig tartott, 5 alkalommal történt öntözés, és 16 alkalommal végeztem emisszió méréseket.

**6. táblázat:** A tenyészedényes kísérlet néhány jellemzője

Jelölés:	henger magassága (cm)	talajoszlop magassága (cm)	talajoszlop sugara (cm)	talajoszlop térfogata (cm <sup>3</sup> )	edény+talaj tömege (g)	száraz talaj tömege (g)	térfogattömeg (g/cm <sup>3</sup> )
H 0	20,0	17,2	8,7	4102,0	7800	6835	1,666
H 1	20,0	17,2	9,0	4313,6	7800	6835	1,585
H 2	20,0	17,3	8,9	4290,4	8200	7235	1,686
H 3	20,0	17,9	9,0	4537,5	8600	7635	1,683
R 0	20,0	17,9	8,8	4352,6	8500	7535	1,731
R 1	20,0	18,0	8,7	4280,8	8200	7235	1,690
R 2	20,0	17,3	8,4	3851,1	7500	6535	1,697
R 3	20,0	17,7	8,4	3943,2	8300	7335	1,860

### 3.2.4. A gyeprágyázási kísérlet

A DE ATK Karcagi Kutatóintézet juhtelepe mellett található extenzív kezelésű gyeptársuláson, továbbiakban Rainer, is végeztem méréseket. A kísérleti terület WGS 84 koordinátái É 47°23', K 20°56', tengerszint feletti magasság 83 m. A kísérletet egytényezős, négy kezeléssel, négy ismétléssel, véletlen blokkrendezésben állítottuk be 2003 őszén. Az

ismétlések nettó területe 10 m<sup>2</sup> volt. Használt jelölések a kezeléseknél: T0: kontroll; T20: 20 t/ha komposzt; T40: 40 t/ha komposzt; T60: 60 t/ha komposzt. A kísérleti terület talajtípusa közepes réti szolonyec. A talaj nagy agyagtartalmú, nedvességtartalomtól függően hajlamos nagymértékű duzzadásra, zsugorodásra. A feltalaj laboratóriumi vizsgálati adatait az 7. táblázat tartalmazza.

**7. táblázat:** A kísérleti terület talajvizsgálati adatai (0 – 10 cm)

pH(KCl)	y1	K <sub>A</sub>	Össz. Só (%)	Hu (%)	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100 g)	AL-K <sub>2</sub> O mg/100 g)
4,78	18,1	57	0,03	3,82	3,12	4,65	31,7

A kísérletnél felhasznált komposzt természetes úton előállított, tápanyagokkal dúsított szerves juhtárgya. A komposzt aprómorzás (15mm kisebb frakció), szagtalan, patogén baktériumoktól, gyommagvaktól mentes szagmentes, egyöntetű termék, beltartalmi adatait a 8. táblázat tartalmazza, nagy mennyiségű mikro- és mezoelemet tartalmaz. 2010. novemberében került a komposzt kiszórásra a kísérleti területre, tehát 2012-ben másodéves trágyaként fejtette ki hatását. Kiszórás után csak szét volt gereblyézve a gyepen, hiszen ösgyepeknél nincs bedolgozási lehetőség.

**8. táblázat:** A juhtárgya alapú komposzt beltartalmi adatai

szárazanyag tartalom (m/m%)	szerves anyag tartalom (m/m%)sz.a.	pH (H <sub>2</sub> O)	N (m/m%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (m/m%)	K <sub>2</sub> O (m/m%)	Ca (m/m%)	Mg (m/m%)
legalább	legalább		legalább	legalább	legalább	legalább	legalább
60	50	~8	2,5	1,9	5	1,8	0,7

### 3.3. A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának meghatározása és a kiegészítő mérések

#### 3.3.1. A CO<sub>2</sub>-koncentráció mérésére alkalmazott módszer

Többféle módszer és eszköz létezik a mérési felület lehatárolására, ezek nagyon hasonlítanak, de néhány gyakorlati különbség található közöttük. Magyarországon TÓTH és KOÓS (2006)

is kifejlesztett egy saját mérési technikát, mely többé-kevésbé megegyezik a miénkkel, a fő különbség a gáz mintavétel módszerében és vizsgálatában van. Karcagon egy egyedi, speciális eszközt (fémkeret és műanyag mérőedény) fejlesztettem ki, melyet a disszertáció Eredmények című fejezetében mutatok be részletesen.

A CO<sub>2</sub>-koncentráció mérésére az Anagas CD 98 illetve a GasAlertMicro5wPump típusú infravörös gázanalizátorokat használtam (9. ábra). Az analizátorok mérési tartománya 0-5%, felbontása 0,01%, elemes kivitelezésű, motoros pumpás.



**9. ábra:** Az Anagas CD 98 típusú infravörös gázanalizátor (balra) és a GasAlertMicro5wPump típusú (jobbra) gázanalizátor (*Saját fotó*)

A CO<sub>2</sub>-mérés folyamata a következő:

- a mérési terület lehatárolása,
- a kezdeti CO<sub>2</sub>-koncentráció megmérése, a terület felfedése,
- 30 percet várakozási idő (inkubációs idő), majd
- a megemelkedett CO<sub>2</sub>-koncentrációt megmérése az edényekben.

A mérések során a következő adatokat jegyeztem fel:

- dátum, időpont,
- a levegő hőmérséklete (kezdeti és végső),
- a talaj hőmérséklete a 5 és 10 cm mélyen (kezdeti és végső),
- CO<sub>2</sub>-koncentráció.

A méréseket minden esetben három ismétlésben végeztem, az Eredmények fejezetben közölt adatok mindig a három ismétlés átlagát mutatják be.

### 3.3.2. A CO<sub>2</sub>-emisszió számítása

A CO<sub>2</sub>-emissziós értékek kiszámításához a következő képletet alkalmaztam:

$$F = d * (V/A) * (C_2 - C_1) / t * 273 / (273 + T)$$

ahol

$F$  = CO<sub>2</sub>-emisszió (g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)

$d$  = a CO<sub>2</sub> térfogattömege (1,96 kg m<sup>-3</sup>)

$V$  = a henger talajszint feletti térfogata (m<sup>3</sup>)

$A$  = a mérési felület (m<sup>2</sup>)

$C_1$  = a kezdeti CO<sub>2</sub>-koncentráció (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)

$C_2$  = az inkubáció utáni CO<sub>2</sub>-koncentráció (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)

$t$  = inkubációs idő (s)

$T$  = a levegő hőmérséklete (°C).

### 3.3.3. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének mérése

Minden CO<sub>2</sub>-koncentráció mérés során mértem a levegő és a talaj hőmérsékletét is (5 és 10 cm mélységekben), amelyhez digitális hőmérőt használtam.

A talajok nedvességtartalmát többféle módszerrel határoztam meg a mérések során. A szántóföldi mérések során a gravimetriás módszert alkalmaztam. A mért nedvességtartalmat tömeg %-ban, az abszolút száraz talaj tömegére vonatkoztatva kaptam meg. Helyszíni nedvességmérésre alkalmas TTN-M típusú Sinóros-Szőllősi féle szondákat is alkalmaztam a talajművelési kísérlet utolsó vizsgált évében. A talaj aktuális nedvességtartalmának mérésére a HydroSense TM típusú talajnedvesség-mérőt használtam (5-10 cm-en) az átfolyóvizes lizimétereken beállított tenyészedényes kísérletekben.

### 3.3.4. A Forróvíz-oldható (labilis) szervesanyag-frakció meghatározása

A vizsgálatokhoz a talajmintákat a feltalajból vettem, a hagyományos talajművelésű területeken a művelt rétegből (0-30 cm), míg a redukált művelésű területeken a 0-15 cm-es rétegből. A forróvíz-oldható széntartalom meghatározásához az extrahálást a SZIE Agrokémiai Tanszékén található Hot Water Percolator készülékén végeztük (FÜLEKY - CZINKOTA, 1993). A kivonatok fényelnyelését a 190-900 nm hullámhossztartományban mértük. Az extraktok (alacsony) C-tartalmának meghatározására a DE ATK Karcagi Kutatóintézetében kifejlesztett módosított Tyurin-módszert alkalmaztuk. A módszer alapja az, hogy kénsav jelenlétében, oxidálószer (kálium-bikromát) segítségével a talaj szervesanyag-tartalmát elroncsoljuk, és a feleslegben maradt roncsolószer visszamérésével a fogyott oxidálószerrel egyenértékű szerves kötésű C mennyiségét kiszámítjuk.

### 3.4. A talaj szénkészletének számítása az IPCC módszer szerint

A talaj szénkészletének változásra vonatkozó számításaimat az IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry – továbbiakban IPCC Útmutató - (kb. Helyes Gyakorlati Útmutató a Földhasználatra, a Földhasználat változására és az Erdészetre vonatkozóan) 2003-as kiadásában leírt módszertan szerint végeztem. Ez a kézikönyv segítséget nyújt a talaj földhasználatától függő CO<sub>2</sub>-emissziója és elnyelése mértékének becsléséhez. Ez a metodika a talaj szénkészletét egységesen és egyezményesen a felső 30 cm-es rétegben veszi figyelembe, és nem kalkulál a felszínen esetlegesen felhalmozódó növényi maradványok széntartalmával vagy a szervesetlen szén (pl. karbonát ásványok) változásával.

A számítási módszer azon alapszik, hogy egy a földhasználatban bekövetkezett változás utáni meghatározott időszak alatt a talaj szénkészlete annak hatására megváltozik. A változást a következő egyenlettel lehet leírni:

$$\Delta C_{CC} = [(SOC_0 - SOC_{(0-T)}) * A] / T$$
$$SOC = SOC_{REF} * F_{LU} * F_{MG} * F_I$$

ahol

$\Delta C_{CC}$  = a talaj szénkészletének éves változása, t C év<sup>-1</sup>

$SOC_0$  = a talaj szénkészlete a vizsgálati évben, t C év<sup>-1</sup>

$SOC_{(0-T)}$  = a talaj szénkészlete a kiindulási évben T évvel a vizsgálati év előtt, t C év<sup>-1</sup>

T = vizsgálati időszak, év (alapbeállítás 20 év)

A = a vizsgált terület nagysága, ha

$SOC_{REF}$  = referencia szénkészlet, t C ha<sup>-1</sup>

$F_{LU}$  = a talajhasználat típusától függő készletváltozási faktor, dimenzió nélkül

$F_{MG}$  = a talajművelési rendszertől függő készletváltozási faktor, dimenzió nélkül

$F_1$  = a szerves C-inputtól függő készletváltozási faktor, dimenzió nélkül.

Az adott területre vonatkozó kiindulási szénkészlet ( $SOC_{(0-T)}$ ) és a vizsgálati évben meglévő szénkészlet ( $SOC_0$ ) a referencia szénkészletekből és a készletváltozási faktorokból számítható ki a vizsgálati időszakra. A növénytermesztéssel hasznosított területet a számára specifikusan megfelelő klíma-, talaj- és művelési rendszer kombinációjával jellemezzük. Az emisszió, illetve az elnyelés éves értékét úgy kapjuk meg, hogy a vizsgálati időszakra eső szénkészletváltozást osztjuk a vizsgálati időszak éveinek számával. Az IPCC metodikában az alapbeállítás 20 év.

Természetesen a fenti egyenlet csak egy olyan terület szénkészletének változást írja le, ahol csak egy bizonyos talajtípus fordul elő, adott a talajhasználat típusa, a talajművelési rendszer és a szervesanyag-gazdálkodás intenzitása. Amennyiben tehát ezek az adatok a rendelkezésünkre állnak, az adott területnagyságra ki lehet számolni a talaj szénkészletének változását. Ennek megkönnyítésére az IPCC felkérésére a Colorado State University Natural Resource Ecology Laboratory (kb. Colorado Állami Egyetem Természeti Erőforrások Ökológiai Laboratóriuma) egy számítógépes programot (IPCC Soil Carbon Tool – a továbbiakban SCT) fejlesztett ki. A program leírása szerint ez egy olyan eszköz, amely a szántó és gyepterületek talajának szénkészletében a talajhasználat változásának hatására bekövetkező változások becslésére szolgál az IPCC által meghatározott alapértelmezett értékek alapján. Az SCT-ben a következő alapparamétereket kell beállítani:

- ország (country),
- éghajlat típus (climate region),
- talajtípus (native soil type).

Az utóbbiak az IPCC saját kategóriái, de a WRB, vagy a USDA kategóriarendszerének felhasználásával az adott talajtípusok besorolhatóak ebbe a rendszerbe. Ezen alapparaméterek ismeretében a program becslést ad az adott talaj meglévő szénkészletének (existing carbon stock) nagyságáról MgC/ha dimenzióban ( $t\ ha^{-1}$ ).

Az egyes faktorok és paraméterek meghatározását és alapértelmezett értékeit is tartalmazza a program, ezeket a megfelelő fülre kattintva egy-egy megnyíló kis dialóg négyzetben olvashatjuk (10. ábra).

10. ábra: Az IPCC Soil Carbon Tool program kezelőfelülete (minta)

Ezután a módosító tényezőket kell figyelembe venni mind az eredeti (FROM system), mind a 20 évvel későbbi (TO system) talajhasználati jellemzőknek megfelelően. Meg kell adni az eredeti talajhasználatra (FROM system) jellemző adatokat, elsőként a talajhasználati módot. Az én esetemben ez mindig szántó (long-term cultivated) volt, mivel csak a magyarországi szántók szénkészlet változásának becslésével foglalkoztam ebben a dolgozatban. A talajhasználati módon belül az adott területünket a talajművelési rendszer (management system) szerint kell meghatározni, ez határozza meg az ún. management faktort. Ennek

értékét a program azonnal meg is jeleníti az addig betáplált paraméterek ismeretében. Ezt követően a szervesanyag-input (inputs) kategóriákba való besorolást kell elvégeznünk. A következő lépésként ugyanezeket az adatokat meg kell adnunk a 20 évvel későbbi állapot (TO system) esetében is. Eredményként a program azonnal megjeleníti mindkét évre vonatkozóan a talaj becsült szénkészletét (predicted carbon stock) szintén MgC/ha dimenzióban ( $t\ ha^{-1}$ ), továbbá az egy évre eső szénkészlet változás értékét (annual carbon stock change - MgC/ha/yr).

Ahhoz, hogy egy nagyobb területre is meg tudjuk határozni a talajok szénkészletének változását, a területet fel kell osztanunk klímazónák és talajtípusok szerint. Minden egyes klímazónára és talajtípusra eső területet be kell sorolnunk a releváns talajművelési rendszer és a szervesanyag-input szerint. Ez egy igen összetett, nagyléptékű munka, amely egyrészt központi, pl. statisztikai, illetve azokból származtatott adatokból táplálkozik, másrészt szakértői becsléseken alapszik. A DE ATK Karcagi Kutatóintézetének munkatársai évek óta részt vesznek egy olyan munkában, amely erre a metodikára épül. Konkrétan az ENSZ-nek, illetve az Európai Uniónak évente készített ÜHG-leltár elkészítéséről van szó, amelybe nekem is volt szerencsém bekapcsolódni, s a metodikát megismerni, használni. Az egyes tagországok által elkészített éves nemzeti jelentések (NIR: National Inventory Report) megtalálhatók az ENSZ honlapján: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories).

#### **3.4.1. A területadatok meghatározása**

A területi adatok meghatározásakor szükség van azok felosztására, azaz alkategóriákba való besorolásra. Az egyes területeket az IPCC metodikának megfelelően a talaj típusa, a klíma, a talajművelési rendszer és a bevitt szervesanyag mennyisége (input) alapján osztályoztam. Az egyes alkategóriák területi kiterjedésének meghatározásához a KSH adatokat kombináltam a CORINE adatbázissal, mely utóbbi az 1990-es és a 2000-es évre vonatkozó felmérések eredményeit tartalmazza. Habár a földhasználat változására vonatkozóan nem állnak rendelkezésre adatok 1990 előtti és a 2000 utáni időszakról, a hiányzó időszakokra a meglévő adatok interpolációjával becsültem értékeket.



### ***3.4.2. A talajtípusok meghatározása***

A talajoknak az IPCC metodikának megfelelő besorolását három lépésben végeztük el. Először a magyar talajosztályozási rendszernek megfelelő talajtípusokba soroltuk be Magyarország szántóit az AGROTOPO (Magyarország talajainak digitális térképe) adatbázisára támaszkodva. A második lépésben az egyes talajtípusokat a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete GIS Laborjának munkatársai sorolták be a WRB klasszifikációnak megfelelően, majd csoportosították azokat az IPCC talajtípusoknak megfelelően. Az egyes talajtípusok területi kiterjedését kiszámolták és térképen ábrázolták. Ezen adatok voltak az alapadatai a további területi leosztásoknak.

### ***3.4.3. A klímazónák meghatározása***

Magyarország szántóinak klímazónák szerinti besorolását, az egyes éghajlati zónák területi kiterjedésének meghatározását az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársai végezték a Karcagi Kutatóintézet megbízásából. Az OMSZ-nál két IPCC metodika szerinti klímakategóriát neveztek meg, amelyek Magyarország teljes területét lefedik:

1. mérsékelt hideg, száraz (Cold Temperate Dry), ahol az éves középhőmérséklet 10°C alatti és az éves csapadékmennyiség kevesebb, mint a potenciális evapotranszspiráció mértéke,
2. mérsékelt meleg száraz (Warm Temperate Dry), ahol az éves középhőmérséklet 10°C feletti és az éves csapadékmennyiség kevesebb, mint a potenciális evapotranszspiráció mértéke.

A klímazónák meghatározása után azokat harmonizáltuk a talajtípusok szerinti besorolással, azaz a négy talajtípust elhelyeztük a két klímakategóriába.

### ***3.4.4. A talajművelési rendszer szerinti besorolás***

Az IPCC metodika alapján a szántóföldi művelés alatt álló területeket a következő művelési rendszerekkel jellemezhetjük:

*Direktvetés:* az elsődleges művelés nélküli talajművelési mód, a lehető legkisebb talajbolygatás a vetési mélységben. A gyomirtás tipikusan kémiai módszerrel történik.

*Redukált talajművelés:* elsődleges és/vagy másodlagos talajművelést is magába foglal, de mérsékelt talajbolygatással (általában sekély művelést jelent a talaj forgatása nélkül). Általában 30%-nál nagyobb növényi maradványokkal való fedettséget biztosít a talajfelszínen.

*Hagyományos talajművelés:* a valódi talajforgatást foglalja magába és/vagy gyakori (az adott éven belül) talajművelési beavatkozásokat. Vetéskor a növényi maradványokkal borított talajfelszín aránya kisebb, mint 30%.

Ahhoz hogy fel lehessen mérni a talajok szénkészletének változását, meg kellett állapítani a hagyományos és a redukált művelés alatt álló területek nagyságát a vizsgálati periódus elején és végén. Mivel erre vonatkozóan nem állnak rendelkezésre kielégítő adatok, a területlehatárolást szakértői becsléssel kellett megállapítani. A becslés alapját a főbb gabonanövények (őszi búza, őszi és tavaszi árpa, illetve kukorica) vetésterülete adta, amely nagyjából azonosnak tekinthető évről évre (2,6 millió ha), jelentős mértékben nem változik. Mivel az újnak számító talajvédő művelési rendszereket elsősorban ezen gabonanövények termesztése esetében használják, ezért indultunk ki a vetésterületük nagyságából. A KITE Zrt-től (amely Magyarország legnagyobb mezőgazdasági szolgáltató és kereskedelmi vállalata) kapott gépeladási statisztika alapján számba vettük azokat a gépeket és eszközöket, amelyek a talajvédő művelési rendszerekben használatosak. Az eladott gépek és eszközök számából megbecsültük, hogy mekkora területen használják ezeket (a gabona vetésterület egy negyedén).

#### **3.4.5. A szervesanyag-input szerinti besorolás**

Az IPCC metodika szerint az input faktorok a talajba bekerülő szervesanyag széntartalmának a talaj szénkészletének változására gyakorolt hatását jellemzik annak függvényében, hogy pl. mennyi a területen maradó növényi maradvány, a fekete ugaroltatás gyakorisága, vagy az alkalmazott javítóanyagok és trágyaszerek mennyisége. Az IPCC metodika szerint az input faktor kategóriák a következők: alacsony, közepes, magas-szervestrágyázás nélkül és magas-szervestrágyázással.

- *Alacsony*: kevés növényi maradvány visszajuttatása köszönhetően a növényi maradványok eltávolításának (azok összegyűjtése vagy elégetése útján), a gyakori ugaroltatásnak vagy olyan növények termesztésének, amelyek kevés növényi maradványt produkálnak (pl. zöldség félék, dohány, gyapot).
- *Közepes*: közepes mennyiségű növény maradvány jellemzi azokat a rendszereket, amelyekben általában gabonaféléket termesztenek és az összes növényi maradvány a területen marad. Ha a növényi maradványok mégis eltávolításra kerülnek, akkor egyéb anyagok (pl. szerves trágya) talajba jutásával egészül ki a szerves anyag bevitel.
- *Magas-szervestrágyázás nélkül*: olyan vetésváltási rendszerek tartoznak ide, amelyekben a növényi maradvány input szervestrágyázás nélkül is lényegesen nagyobb a sok növényi maradványt produkáló növények termesztésének, a zöldtrágyázás-, köztesnövények alkalmazásának, a zöldugaroltatásnak, az évelő fűféléknek a vetésváltásban való gyakori használatának köszönhetően.
- *Magas-szervestrágyázással*: a fenti kategóriához hasonlóan magas növényi maradvány input, de rendszeres állati eredetű szerves trágyázással kiegészítve.

A fenti kategóriák közül hármát alkalmaztunk, mivel a nagy mennyiségű szerves trágya rendszeres kiszórása, különösen olyan területeken, ahol egyébként is magas a szervesanyag-input, egyáltalán nem jellemző a mai magyar mezőgazdasági gyakorlatra.

### **3.5. Az alkalmazott adatfeldolgozási, statisztikai és térinformatikai módszerek**

A mérési adatok számítógépes feldolgozását, az ábrák és táblázatok szerkesztését Microsoft Office operációs rendszerben futó szoftverek alkalmazásával végeztem el. A mért adatokból EXCEL alapú adatbázist hoztam létre.

A talaj nedvességtartalma, hőmérséklete és a talaj CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggések feltárásához a trendvonalak illesztését választottam. Ez az eljárás a legkisebb négyzetek módszere alapján a legjobban illeszkedő görbét adja meg az ismert adatok megadott tartományra történő kiegészítése céljából.

A kísérletekben a talajművelés, növénytráplálás kezeléshatását SPSS statisztikai program segítségével értékeltem ki. A Statistical Package for Social Science (SPSS) egy olyan Windows operációs rendszerben működő program, mely statisztikai adatok osztályozására,

feldolgozására és elemzésére szakosodott. Az alkalmazott vizsgálatok a varianciaanalízis és a t-próba voltak. A varianciaanalízis számos, egyező szórású, normál eloszlású csoport átlagának összevetésére alkalmas statisztikai módszer. A kétmintás t-próba azt vizsgálja, hogy két külön mintában egy-egy valószínűségi változó átlagai egymástól szignifikánsan különböznek-e. A statisztikai vizsgálatokat SzD 5% mellett végeztem. A kiugró értékek kiszűrésére valamint a kezeléshatások ábrázolására a szintén SPSS programmal készített box-plot analízist használtam.

A H1 jelű tábla mérési pontjainak felvételéhez nagy pontosságú kézi GPS-t (THALES) használtam, mely szubméteres pontosságot tud és DGPS jeleket használ. Erre azért volt szükség, hogy minden mérésnél vissza tudjak menni a legelső mérés helyére.

Ábrázoláskor megjelenítéshez használtam egy kataszteri fedvényt (1:10000-es méretarány), a Karcagi Kutatóintézet üzemi táblák fedvényét (poligonok), illetve a saját mért pontok rétegét. Ortophoto térképet, meg még egy fedvényt is alkalmaztam. Látható a volt vízfoltok rétege is. Ezen fedvények szerkesztése, megjelenítése mind a kézi GPS-re, mind az irodai számítógépen magyar Digiterra Explorer V4 térinformatikai szoftverrel történt (1-2. *Melléklet*).

A Rainer terület térképi munkáit EOVRendszerben készítettem Digiterra Explorer 6.0 illetve ArcGIS 9.2 térinformatikai szoftverek segítségével. A felhasznált térképi fedvények az 1:100ezres AGROTOPO és saját kutatóintézeti GIS adatbázisunkból származnak. A vizsgált kísérleti tér összes attributív adatait felhasználtam (4-5. *Melléklet*), tehát információnk van a talajféleségről/típusról, a közetről, fizikai talajféleségről, talajásványról, a talaj vízgazdálkodásáról, illetve kémhatásáról. Természetesen ezen térképi attributív adatokat a saját adatbázisaink tovább pontosították (helyszíni mintavételek, akkreditált laboratóriumi vizsgálataink).

A gyepterület talajának alakulásában fontos szerepet játszott a mikrodomborzat, a természetes és mesterséges vízfolyások, tereptárgyak (fő- és mellékutak, csatorna műtárgyak, erdősávok stb.). Ezek feltérképezésében felhasználtuk a saját, valamint az OTAB (Országos Térinformatikai Alapadat Bázis) digitális alapadatbázisát, rárakva a kiinduló térképi rétegünkre (kataszteri- és saját fedvényeink) a talajtípusok foltjai, a fő- és mellékutak, a csatornahálózatok fedvényeit.

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1. A talaj CO<sub>2</sub>-emisszió mérési módszerének szántóföldi körülmények közötti alkalmazása, illetve továbbfejlesztése

Számos módszer létezik a mérési felület lehatárolására, ezek sok mindenben hasonlítanak, de van köztük néhány gyakorlati különbség. A következőkben az általam használt eszközöket mutatom be, illetve azt a munkafolyamatot, mely során az eszközöket mindig az egyes mérőhelyek sajátosságaihoz igazítottam, hogy a legjobb konstrukció alakuljon ki. A méréseim helyszíneit a következő sajátosságok jellemzik (9. táblázat).

9. táblázat: A mérőhelyek sajátosságai

	Növényállomány	Gyep	Tarló
Felület	csupasz talaj	növényborítás	részleges fedettség
Rendelkezésre álló tér	korlátozott	korlátlan	korlátlan
Talajállapot	művelt, egyenetlen	kemény, egyenletes	kemény, egyenetlen
Gyökérlégzés	+	+	-

Különböző eszközök használata indokolt a mérési terület lehatárolásához a mérőhelyek tulajdonságai miatt. A megfelelő eszközök kifejlesztésében mindig a korábbi mérések tapasztalatai segítettek. Az egyes mérőhelyeken általam használt eszközök leírását közlöm használatuk és fejlesztésük szerinti kronológiában.

#### 4.1.1. A hengeres módszer

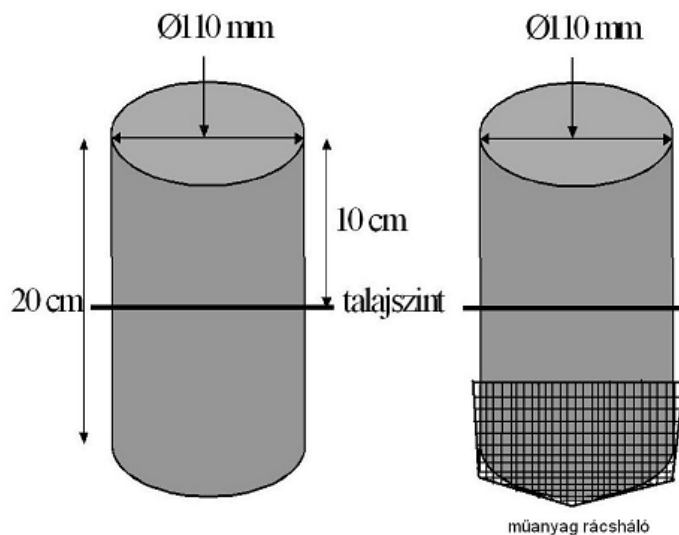
Ezt a módszert először a komplex talajművelési kísérletben használtam, ebben az esetben művelt talaj adta a mérési felületet. A vizsgálati terület lehatárolására legelőször a karcagi intézetben talajfizikai vizsgálatokhoz már korábban is használatos és bevált, a kereskedelmi forgalomban is kapható Ø110 mm-es PVC csövek 20 cm-es hosszúságú

darabjait használtam. A hengereket 10 cm mélységig helyeztem a talajba, így a mintavételi tér 10 cm magas és 95 cm<sup>2</sup> felületű volt. Az inkubációhoz egyedi megoldásként a szintén vízszereelésben használatos záródugóból és karmantyúból kialakított könnyen feltehető és levehető, szigetelt kupakokat használtam. Tíz ilyen eszköz volt kialakítva, így egy-egy alkalommal 2 mérőhelyen 5 ismétlésben lehetett mérni a CO<sub>2</sub>-koncentráció értékeket (11. ábra).



**11. ábra:** A hengeres módszer (Saját fotó)

Általában a talaj CO<sub>2</sub>-tartalma két különböző forrásból származhat, ezek a növénygyökér légzés és a talaj szervesanyagainak mikrobiológiai bomlása. Ahhoz, hogy ezt a kétféle folyamatot külön-külön ki lehessen értékelni, két sorban ötösével helyeztem el a hengereket. Az első sorozatot a talajfelszín alá 10 cm-es mélységbe tettem le (A-hengerek), itt a CO<sub>2</sub>-kibocsátás mértékéhez a gyökérlégzés is hozzájárul. A másik sorozatot is 10 cm-es mélységre helyeztem, a hengerek alját hálóval fedtem le (12. ábra), hogy az a talajt visszatartsa. Méréskor a kiemelt henger aljára húzott műanyag tasakkal azt légmentesen lezártam (B-hengerek), így a gyökérlégzés kizárásával, pusztán a mikrobiológiai bontásból származó CO<sub>2</sub>-mennyiségét is meg tudtuk határozni.



**12. ábra:** A mérőhengerek paramétereit

#### **4.1.2. A nagykeretes módszer**

A komplex talajművelési kísérletben és a műtrágyázási kísérletben használt 950 cm<sup>3</sup>-es PVC csövek a gyepel borított talajfelszínre nem voltak alkalmasak, azon egyszerű oknál fogva, miszerint a műanyag csöveknek a szikes legelő kemény talajába való inzertálása gyakorlatilag lehetetlen. Ennek megfelelően egy új eszközt kellett kifejleszteni a gyepen történő mérések igényéhez igazítva azt. Az eszköz egy fémkeretből és egy műanyag edényből áll (13. ábra).



**13. ábra:** A nagykeretes mérőszett (Saját fotó)

Az élezett szegélyű fémkeret talajba inzertálása és a fémkereten kiképzett vályús perem vízzel való feltöltése biztosítja a légmentes izolációt. Az edény térfogata  $18\,000\text{ cm}^3$ . A fémkeret átmérője 44 cm, 8 cm magas, melyből 5,5 cm van a talajban, és 2 cm a felszín feletti pereme. Mindegyik esetben 3 ismétlést alkalmaztunk a méréseknél.

A mérések kivitelezése, illetve a kapott adatok feldolgozása után úgy vélem, az így kifejlesztett nagykeretes (*fémkeret + mérőedény*) mérőszett alkalmas a legelő (gyeppel borított talajfelszín)  $\text{CO}_2$ -emissziójának mérésére.

#### **4.1.3. A kiskeretes módszer**

A speciálisan gyepfelszínre kialakított nagykeretes módszert kipróbáltam szántóföldi körülmények között is. Növényállományban való mérésekre nyilvánvalóan nem praktikus az eszköz, elsősorban méretei miatt (sortáv), mindazonáltal úgy véltem, hogy egy ugyanilyen, de kisebb méretű szett megfelelő lenne a növényállományokban, illetve a tarlókon való emissziós mérések kivitelezéséhez. Ezért a nagykeretes eszközt továbbfejlesztettem, kisebb edényt és keretet készítettem, így egy könnyen szállítható és kezelhető szettet kaptunk, amely véleményem szerint kiválthatja az általam korábban alkalmazott hengeres módszert. Az így kialakított műanyag edény térfogata  $4000\text{ cm}^3$ , a fémkeret átmérője 20 cm, és ugyanúgy 8 cm magas (*14. ábra*). Hat ilyen eszközt alakítottam ki, így egy-egy alkalommal több ismétlésben tudtam mérni  $\text{CO}_2$ -koncentráció értékeket.



**14. ábra:** Az eredeti méretű (balra) és a kisebb térfogatú (jobbra) mérőeszközök  
(Saját fotó)



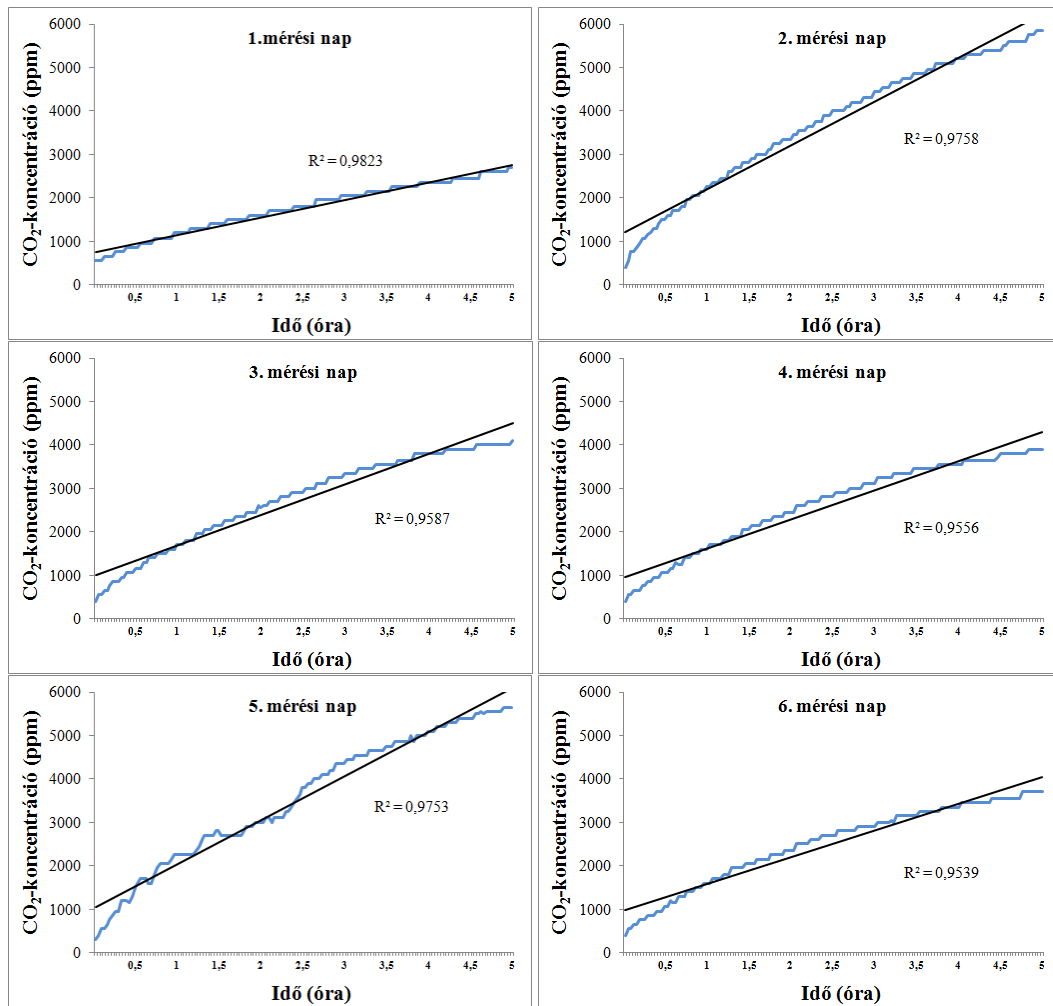
#### **4.1.4. Az ablakos módszer**

A GasAlertMicro5 típusú mérőműszer beszerzése lehetővé tette a CO<sub>2</sub>-koncentráció telítődésének mérését is. A mérés kivitelezése során a mérőműszert az inkubációs térbe helyeztem, viszont a teljesen fedett tér nem tette lehetővé a mérési nyomon követését folyamat (a műszer feltöltöttségének ellenőrzését, illetve a gázkoncentráció riasztási szintjének elérését). A probléma megoldására, az egyik műanyag edényünkön egy átlátszó plexi lap segítségével ablakot alakítottam ki, melynek segítségével betekintést nyertem az inkubációs tér belsejébe. Így már a telítődés mérés is eredményesebb volt.

#### **4.2. A CO<sub>2</sub>-koncentráció telítődésének vizsgálata az optimális inkubációs idő megállapítására**

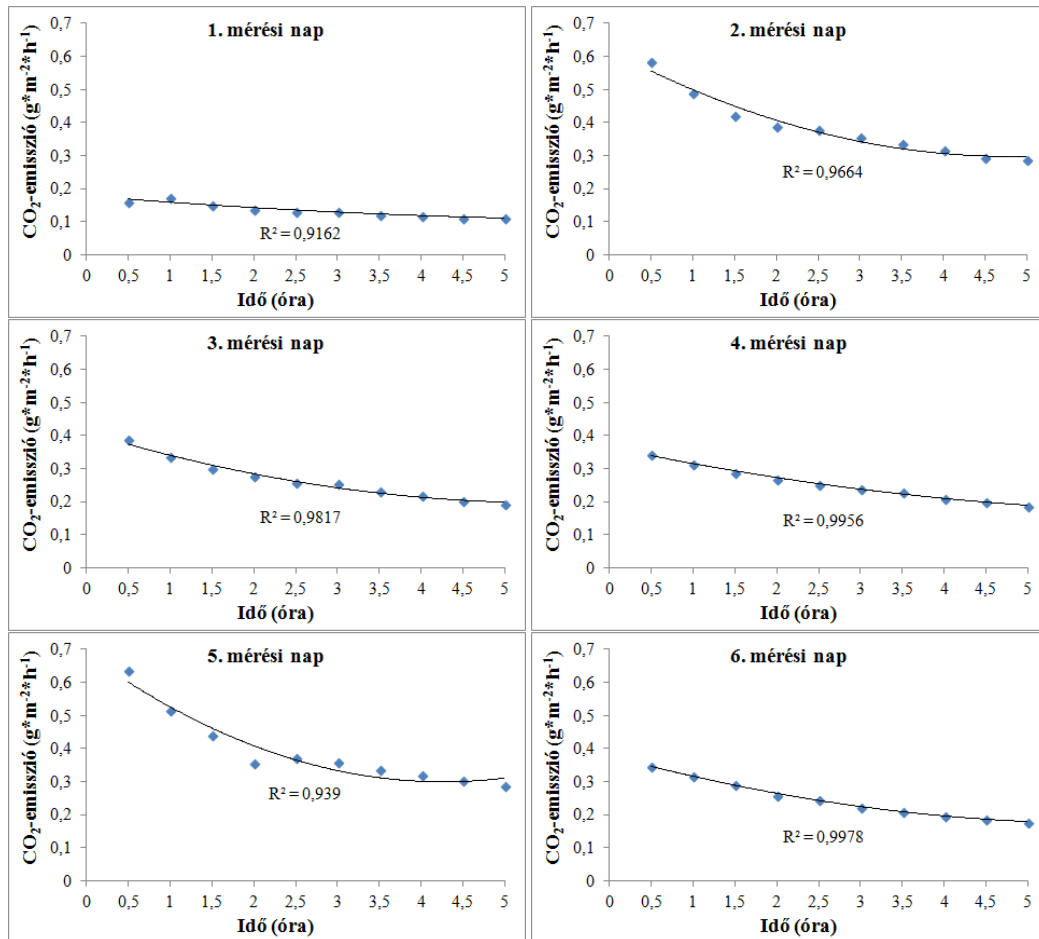
A GasAlertMicro5 típusú gázanalizátor tartozékai lehetővé tették a készülék átszerelését, vagyis a mintavevő csőnek és pumpának az eltávolítását és egy pumpa nélküli fej felszerelését, így a készülék, szivattyúzás nélkül, folyamatosan tudja mérni a tér szén-dioxid-tartalmát és a műszerben elhelyezett memóriakártyára 2 percnként tudja menteni az aktuális koncentráció értékeit. Az így átalakított készülékkel a lizimétereken beállított tenyészedényes kísérletben tudtam mérni az inkubációs térben a gázkoncentráció alakulását, illetve vizsgálni az időbeli telítődés folyamatát. A kísérlet beállítás során az is a célom volt, hogy egy optimális inkubációs időtartamot meghatározzak. Erre mérés technikai szempontból volt szükség.

A 15. ábrán 6 mérési nap eredményét mutatom be. Jól látható, hogy 5 óra hossza alatt egyik esetben sem állt be a teljes telítettség a lezárt légtérben, ezért próba jelleggel végeztem mérést 8 órahosszán keresztül is, ott is ezt tapasztaltam, de így az összehasonlíthatóság miatt, csak az 5 órás mérések eredményeit mutatom be. A nagyságrendi különbségek (a koncentrációs értékek szórása) a hőmérsékleti és öntözési különbségekből adódtak, de ebben a mérésorozatban nem az emissziót befolyásoló hatótényezők feltárása volt a célom. Az inkubációs téren belüli CO<sub>2</sub>-koncentráció változás linearitását, mely a telítetlen állapotot igazolja, minden esetben sikerült kimutatni. Látható, hogy bár koncentráció értékek szinte lineárisan nőnek az inkubáció időtartama alatt, a telítődési görbe a második mérési napon jobban illeszkedik a mért CO<sub>2</sub>-koncentráció értékekre ( $R^2=0,9758$ ).



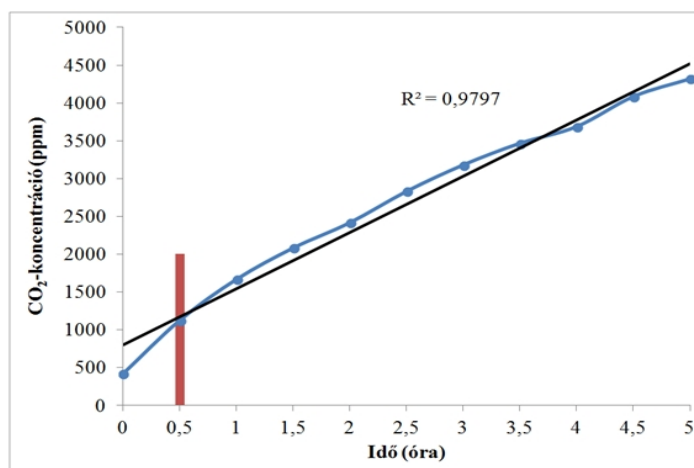
**15. ábra:** A CO<sub>2</sub>-koncentráció alakulása 5 óra inkubációs idő alatt

Ha egy zárt térben növekszik a gázkoncentráció, akkor az emisszió folyamatának időben csökkennie kell, hiszen transzmisszió (terjedés) is lassul a zárt térben. A talajfelszín pórusai és az inkubált tér közötti nyomáskülönbség elkezd kiegyenlítődni. Ennek igazolására kiszámítottam félórás időközönként (30 perc) az emissziós értékeket (a 2. mérési nap adataira) és a 16. ábrán jól megfigyelhető, hogy az értékek folyamatosan (polinomiális trendet követve) csökkennek az inkubációs idő növekedésével. A legmagasabb emissziós értéket az első félóra elteltével detektáltam.



**16. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása az idő függvényében

Ezek után a 6 nap mérési eredményeit 30 perces időközökre osztottam és a 6 mérési sorozat félóránkénti értékeit átlagoltam, és ezen átlag értékeket szintén ábrázoltam (17. ábra) és a linearitását szintén igazoltam. A grafikonon jól látszik, hogy a telítettségi görbe és a trendvonal inflexiós pontja 0,5 óránál található, vagyis addig a legnagyobb a görbe meredeksége. Ez azt mutatja, hogy félóránál hosszabb inkubációs időre a koncentráció-különbségen alapuló vizsgálatoknál sincs szükségünk, mert ennyi idő megfelelő a gázkibocsátás jellemzésére, valamint hosszabb időtartam alatt már nem a természetközeli állapotot modelleznénk. Megnéztem a 10 és 20 perces inkubációs időtartam adatait is, viszont ekkora időintervallumban még túl nagy szórást mutattak a koncentrációs értékek.



17. ábra: Az átlagos CO<sub>2</sub>-koncentráció alakulása 5 óra alatt az inkubációs térben

Az így kapott eredményekre támaszkodva alkalmaztam a koncentrációkülönbségen alapuló emissziós méréseknél a 30 perces inkubációs időtartamot.

### 4.3. Különböző talajművelési eljárásokkal művelt talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása

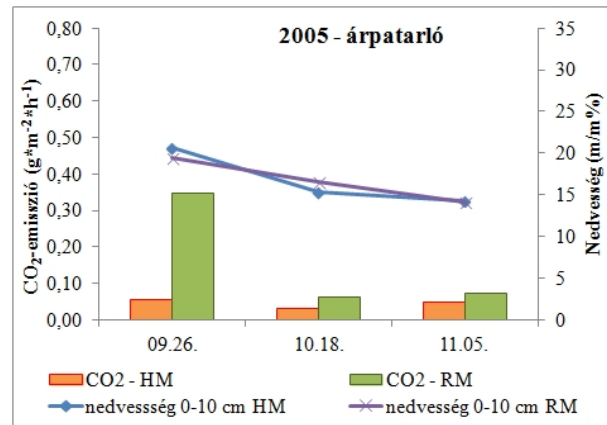
#### 4.3.1. A szántóföldi CO<sub>2</sub>-emisszió mérések eredményei

A komplex talajművelési kísérletben került sor a szabadföldi mérésekre. Itt 1997 óta folyik talajművelési kísérlet, nekem 2005-óta volt itt lehetőségem a CO<sub>2</sub>-koncentráció mérésére, hogy a különböző talajművelési módok szén-dioxid-emisszióban betöltött szerepét vizsgálhassam összehasonlító elemzésekkel. A legtöbb esetben az emisszió méréseket tarlón végeztem, betakarítás után. A talajművelési kísérletben mért eredményeket évenként külön szükséges értékelni, mert minden év, minden tenyészidőszak más körülményeket teremt, mind meteorológiai, mind növénytermesztési, mind a talajállapot szempontjából. Minden mérési időpontban legalább 3 ismétlésben mértem, az ábrákon az egyes mérési időpontokban mért mérések átlagát tüntettem fel.

A vizsgált hét év időjárása igen változatos volt (5. táblázat), kiváló alkalmat teremtve az évek közötti összehasonlításhoz.

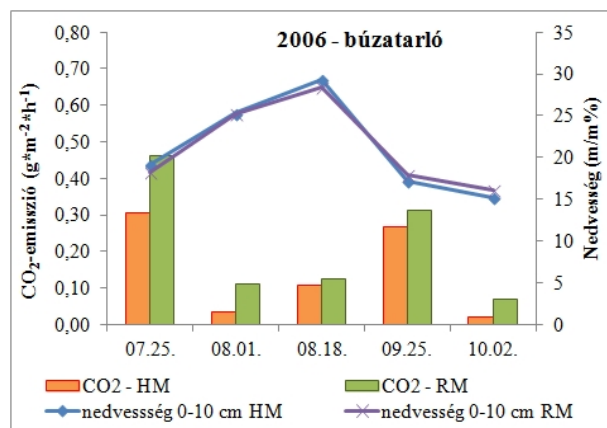
2005-ben három időpontban volt lehetőség a mérések kivitelezésére, mindhárom időpont öszre tehető (18. ábra). Magasabb emisszió értékeket mértem a redukált

parcellában minden alkalommal, és (SzD5% = 0,14; 0,02; 0,01) mindegyik időpontban szignifikánsnak tekinthető a különbség a művelési módok között. A 09.26-i időpontban a redukált művelésű parcella talajában a mikrobiológiai aktivitás őszi csúcsa is kimutatható volt, a későbbi időpontokban még lehetőség volt a talajélet számszerűsített kimutatására, de már a hőmérsékleti és nedvességviszonyok gyengülésének következményeként alacsonyabb értékeket tapasztaltam.



**18. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2005-ben

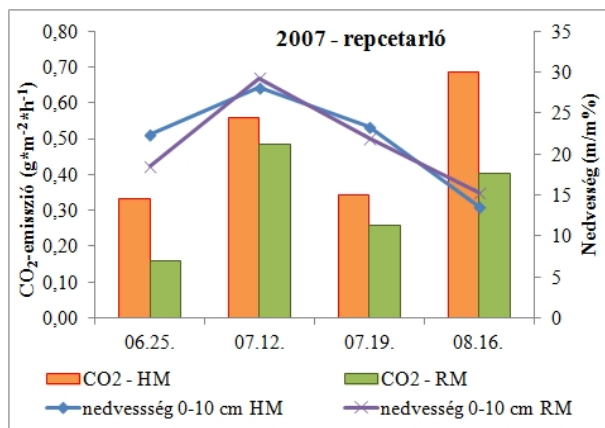
2006-ban öt mérést sikerült elvégezni (19. ábra). A 2006. júliusi 25-i adat aratás utáni érték, számottevő különbség látható búzatarló estén a hagyományos és a redukált művelésű parcellán kapott eredmények között. Majd a hagyományos parcella nyári szántása, illetve redukált tarló esetén diskripperezés után 3 nappal megismételtem a méréseket (08.01.). Augusztusban csapadék hullás után ismét végeztem méréseket (08.18.), hiszen a mérés előtt 6-7 nappal hullott csapadék, meghatározta a talaj aktuális nedvességtartalmát, ezen keresztül annak mikrobiológiai aktivitását, így közvetve a CO<sub>2</sub>-emissziót is. Szeptemberben a búzatarlóba megtörtént a repce elvetése. A kezelések után mért értékek még a kora őszi időszakban kicsúcsosodó biológiai aktivitást mutatják (09.25.), az októberi értékek (10.02.) pedig a mikrobiológiai aktivitás szezonális dinamikájának megfelelő csökkenést. 2006 őszén az átlagnál jóval kevesebb csapadék hullott térségünkben, ennek hatása a szeptember végén és október elején mért alacsony emissziós értékeket is befolyásolta. Minden időpontban szignifikáns a különbséget tapasztaltam a két művelési mód esetén a CO<sub>2</sub>-emisszió értékekben (SzD 5% = 0,08; 0,04; 0,01; 0,02; 0,02).



**19. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2006-ban

A kísérlet vizsgált parcelláiról 2007. június 21-én repce volt learatva, így a mérések idejére a terület tarlón maradt. A 20. ábrán négy mérési időpont adatai vannak feltüntetve, ezeket a méréseket 2007. június közepe és augusztus közepe között végeztem. A 2007-es év több szempontból is kirívó évnak számított. Az éves átlaghőmérséklet ekkor volt a legmagasabb (12,0 °C), illetve a talajhőmérséklet (-10 cm) maximális értéke is 2007-ben volt a legmagasabb (31,4 °C), a nyári forróság szempontjából, pedig emlékezetes lehet július második fele, amikor a léghőmérséklet közel egy hétig 40 °C közelében maradt. Ezt azért tartom fontosnak megemlíteni, mert a mérési időpontok a nyár ezen időszakára estek. Így az időjárás által kialakított feltételek sem kedveztek a talajélet számára. Az első mérést a betakarítás után 4 nappal végeztem el (06.25.) a releváns művelési beavatkozások előtt. A második mérést közvetlenül szárazzás után (07.12.), a harmadikat (07.19.) pedig redukált művelési rendszer esetén mulch finisher kezelés, hagyományos művelés esetén pedig gyűrűshengerezés után. A harmadik időpontban (07.19.) mért értékek jól mutatják, hogy a felszín lezárása csökkentette a párolgást, a szervesanyagok lebomlását, és a szén-dioxid légkörbe távozását. Aszályos nyári napokon a száraz bolygatott talajok esetén nő meg a szén-dioxid-fluxus a művelés utáni napokon. Sajnálatos hiba volt (az eszköz meghibásodása), hogy augusztus 16-a után nem tudtam a kísérletben méréseket végezni, így „beérett” tarlóról nincs adat ebben az évben, amikor a kezeléshatás, a redukált művelés kedvező hatása kimutatható lenne. Az agrotechnikai beavatkozások után mért értékekből még nem derülhet ki a takarás/mulcsolás nedvességmegőrző hatása. A mulch finisher-rel való művelés hatására a felszínen hagyott növényi maradványok jelentős hányada a talaj felső rétegébe (0-10 cm) lett bekeverve, így annak felszintakaró hatása a mérés

időpontjában még kevésbé érvényesülhetett. Mindazonáltal a levegőzött, szervesanyagban dúsított és kedvező szerkezetűvé tett talajtól, a tapasztalataim alapján, várt magasabb CO<sub>2</sub>-emissziós értékeket tarlón ebben az évben nem tudtam kimutatni.

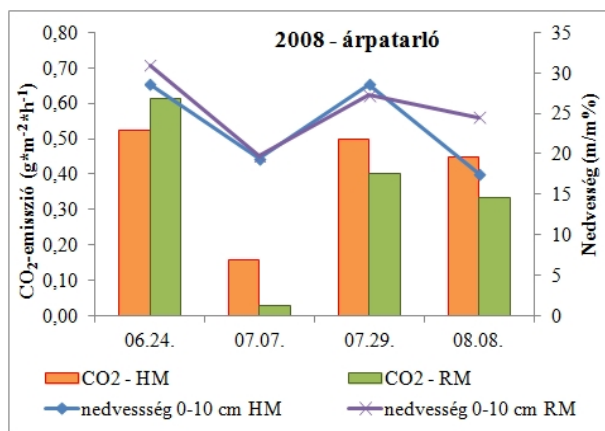


**20. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2007-ben

Mivel a talaj mikrobiális aktivitása, így CO<sub>2</sub>-emissziója is szoros összefüggésben van a talaj nedvességtartalmával, ezért a mérések kivitelezésekor figyelembe vettem a mérések közötti időszakokban lehullott csapadék mennyiségét is, hiszen a nedvességtartalom növekedése a talajélet aktivitását idézheti elő. Az aratás és a mérések megkezdése előtt 14 mm eső esett, az első és a második mérés között 42,5 mm, a második és a harmadik között nem esett csapadék, míg az utolsó kettő között 23,8 mm. Ezek a nyári időszakban viszonylag nagy számító mennyiségek biztosították, hogy a vizsgált időszakban végig meglehetősen magas CO<sub>2</sub>-emissziós értékeket mértem. A kísérlet egyéb eredményeit tekintve azonban annyi megállapítható erre az évre, hogy a terméseredményekben számottevő különbség nem mutatkozott a kezelések között. A gyökérvizsgálatok mélyebbre hatoló és nagyobb tömegű gyökereket fedtek fel a hagyományos művelésű területen, mely a gyökérlégzés nagyobb arányú jelenlétét mutatja a hagyományos művelés esetén.

2008-ban négy alkalommal végeztem méréseket a komplex talajművelési kísérletben (21. ábra). A legnagyobb szén-dioxid-kibocsátást a betakarítást követően a redukált művelés után tapasztaltam (06.24.), míg a felszíni lezárás miatt ez az érték jelentősen lecsökkent (07.07.). A forgatásos művelésű területeken tárcsa+gyűrűhengerezés, míg a redukált művelésű területeken mulch tillerezést hajtottak végre. Nyári napokon végzett

tárcsázás/forgatás esetén kitüntetett szerepe van az azonnali, lehetőleg a műveléssel azonos menetben végrehajtott elmunkálásnak. A felszín hengerrel történő lezárása csökkenti a párolgást, valamint a szervesanyagok lebomlását, és a szén-dioxid légkörbe távozását. A második (07.07.) és harmadik mérés (07.29.) közötti időszakban jelentős mennyiségű csapadék (több, mint 30 mm) esett, ami a vizsgált területre nem jellemző a nyári időszakban, ez a talajnedvesség-tartalom értékek megemelkedésében is látható. Ez biztosította, hogy meglehetősen magas CO<sub>2</sub>-emissziós értékeket mértem, az eső okozta megnövekedett biológiai aktivitásnak köszönhetően a redukált és hagyományosan művelt területeken. A negyedik mérést megelőzően (08.08.) nem volt jelentős csapadék mennyiség (15 mm), tartósan meleg és száraz idő volt.



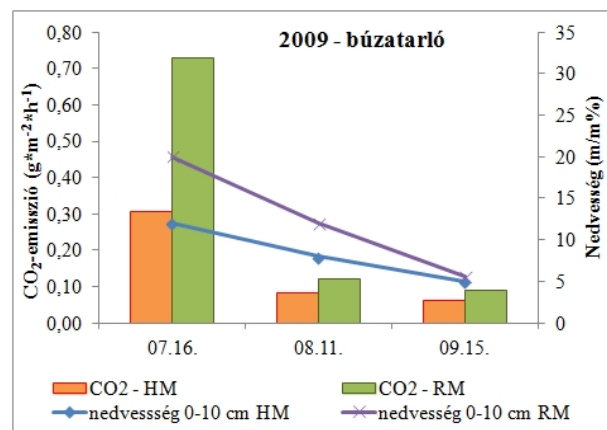
**21. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2008-ban

Míg az abszolút értékek nem csökkentek jelentősen, a talajművelési kezelésekből származó különbségek mindvégig megmaradtak, azaz a hagyományos művelésben mértem magasabb emisszió értékeket. Sajnos ebben az évben sem tudtam őszi méréseket végezni, így redukált művelés által előidézett talajélet számára kedvezőbb körülményeket teremtő hatást ebben az évben sem tudtam mérésekkel igazolni.

2009-ben folytattam aratás (07.14) után 2 nappal a méréseket búzatarlón (22. ábra). A legnagyobb szén-dioxid-kibocsátást ismételt betakarítást követően tapasztaltam, míg a felszíni lezárás (07.24.) miatt ez az érték jelentősen lecsökkent. A forgatásos művelésű területeken tárcsa + gyűrűshengerezést, míg a redukált művelésű területeket mulch finisherrel művelték. A vizsgált időszakban nagyon kevés csapadék hullott, az első és a második (08.11.) mérés közötti időszakban 38,5 mm, míg a második és a harmadik

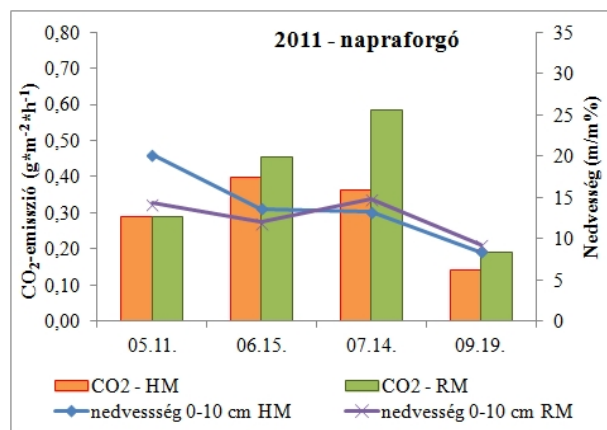


mérés (09.15.) között 15,9 mm, ami az ilyenkor megszokottnál jóval alacsonyabb, valamint tartósan meleg és száraz idő volt ez a nedvességtartalmi értékek csökkenésében is megmutatkozott. Ez az egyik oka annak, hogy meglehetősen alacsony CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket mértem. Míg az abszolút értékek nem csökkentek jelentősen, a talajművelési kezelésekből származó különbségek mindvégig megmaradtak, azaz a kezeléshatás kimutatható, a redukált művelésű parcellán a száraz időjárás ellenére a nedvességmegőrző hatás és a magasabb szervesanyag tartalom révén kiegyensúlyozottabb volt mindegyik mérési időpontban a talajélet aktivitása. A kezelések közötti különbség minden esetben szignifikáns (SzD5% = 0,21, 0,02; 0,02).



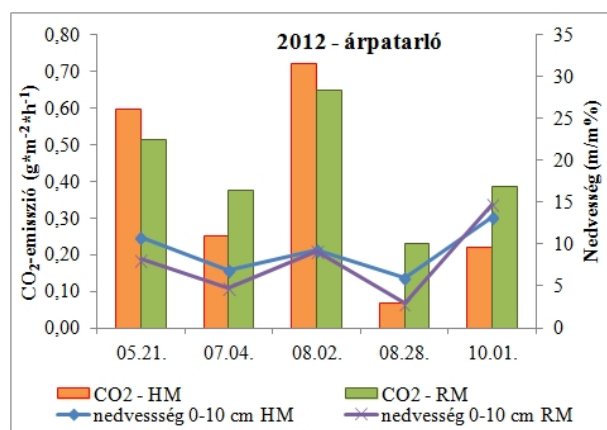
**22. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2009-ben

2011-ben 4 alkalommal volt lehetőségem mérni (23. ábra). Az egész táblán napraforgó került termesztésre ebben az időszakban, a mérések elején még pár leveles állapotú volt a növényállomány (05.11), valamint mértem a tenyészidőszak közepén (06.15. és 07.14.), az utolsó mérés pedig közvetlenül a betakarítás utáni (09.19) tarlón történt. Májustól júliusig a növények fejlődéséhez elegendő mennyiségű csapadék hullott, viszont augusztus eleje után nem volt nagyobb mennyiségű csapadék, aszályos időjárás következett, a tarlón végzett mérés eredménye ezt a száraz időszakot jellemzi. Összességében (az első mérési időpont kivételével) a redukált művelésű parcellán szignifikánsan is magasabb emisszió értékeket tapasztaltam, mint a forgatásra alapozott művelés esetén.



**23. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2011-ben

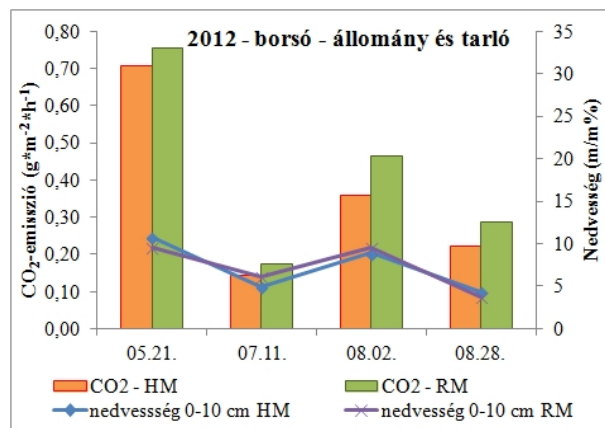
2012-ben két parcellán árpát, kettőn pedig takarmányborsót termesztettek a vizsgált időszakban. Az árpa parcellában (24. ábra) vizsgálatok elején még árpaállományban mértem (05.21.), majd a következő mérést közvetlenül a betakarítás után végeztem (07.04.). Az augusztusi mérések (08.02. és 08.28.) tarlón történtek, majd az utolsó (őszi) mérést (10.01.) már az őszi borsó elvetése után végeztem el. Hosszú száraz időszak után májusban és júniusban a növények fejlődéséhez elegendő mennyiségű csapadék hullott, viszont augusztus eleje után nem volt nagyobb mennyiségű csapadék, aszályos időjárás következett, a tarlón végzett mérések eredménye ezt a száraz időszakot jellemzi. Az őszi mérési időpont előtt hullott egy kevés csapadék, valamint a vetés és gyűrűshengerezés elvégzése után történt a mérés.



**24. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2012-ben árpatarlón

Az adatok jól mutatják, hogy az augusztus végi szárazságban tarlón és az őszi mérési időpontban tapasztaltam magasabb CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket a redukált művelésű parcellában, ekkorra tudott kialakulni a talajélet aktivitása számára a kedvező állapot a csökkentett művelési mód esetén.

Borsó indikátor növény esetében (25. ábra) is az első mérést (05.21.) növényállományban végeztem, majd legközelebb közvetlenül a borsó betakarítása (07.11.) után mértem. Az augusztusi méréseket (08.02. és 08.28.) már tarlókon végeztem. Májusban az állományban megfelelő nedvességtartalom mellett magasabb emisszió értékeket tapasztaltunk, mint a későbbi időszakban, viszont ekkor a kezeléshatások még nem voltak egyértelműen kimutathatóak. A betakarítás utáni értékek nagyon alacsonyak voltak, viszont az augusztus eleji mérés (08.02.) előtt hullott csapadék hatása a már kimutatható volt az emelkedett emisszió értékekben. Augusztusban összesen 4,1 mm csapadék hullott és a szárazsághoz nagy meleg társult, ami nem kedvezett a mikrobiológiai aktivitásnak. A redukált művelésű parcellán végig magasabb emisszió értékeket tapasztaltam, mint a hagyományos művelés esetén. Ez redukált művelés talajnedvesség megőrző szerepét és szervesanyag többletét is bizonyítja. A nedvességmegőrzés a talaj felső 10 cm-es rétegének nedvességtartalmi értékeiben nehezen mutatható ki.



**25. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2012-ben borsó esetén

A talaj szén-dioxid-kibocsátása a nedvességtartalom növekedésével szoros összefüggésben van, hiszen a talajok szervesanyag tartalmának változását (felhalmozódását illetve csökkenését), így a talajban élő mikroszervezetek

életkörülményeit a környezeti feltételek (nedvesség-tartalom, hőmérséklet, kémhatás stb.) döntően befolyásolják. A talaj benedvesítése után a CO<sub>2</sub>-termelés megnövekedhet és ez a megnövekedett CO<sub>2</sub>-termelés általában 2-6 napig tart. A mérések kivitelezésére legtöbbször a csapadék hullást követő 2-6 napon került sor, hogy jól mérhető eredményeket kapjak, mert kiszáradt talajnál a rendelkezésemre álló eszközök segítségével nehezen mutatható ki emisszió. A szakirodalmi leírásokkal összecsengően a beavatkozások magasabb emisszió értékeket eredményeztek közvetlenül a betakarítás és szárzúzás után (például 2007-ben), legmagasabb CO<sub>2</sub>-kibocsátása a hagyományosan, forgatásra alapozott műveléssel kialakított parcella talajának volt ezekben a mérési időpontokban. A mérsékelt talajbolygatás és a mikrobiológiai aktivitás szempontjából kedvezőbb talajállapot miatt, a redukált művelési mód a hagyományos, forgatásra alapozott művelési módhoz képest időben kiegyensúlyozottabb, de mértékében magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót idézett elő.

Az egyes időpontokban a kezelések különbségében szignifikáns különbség figyelhető meg, viszont az összes mérési adat felhasználásával, a szén-dioxid-emisszió és a talajművelés közötti statisztikai elemzések eredményeiből a művelési különbségek eredményei egyértelműen nem mutathatók ki. A CO<sub>2</sub>-emisszió és a talajművelés közötti összefüggés vizsgálatára t-próbát végeztem el. Mivel a t-próba csak akkor végezhető el, ha a független minták szórása megegyezik, a t-próba elvégzése előtt ezt is vizsgáltam a Levene teszt F próbájával. Az F próba alapján a minták szórása megegyezett, az F értéke kicsi (0,013) a szignifikanciaszint magas (0,909), így az összefüggés vizsgálatára a t-próba megfelelőnek bizonyult (10. táblázat).

**10. táblázat:** A t-próba eredményei a CO<sub>2</sub>-emisszió és a talajművelés között

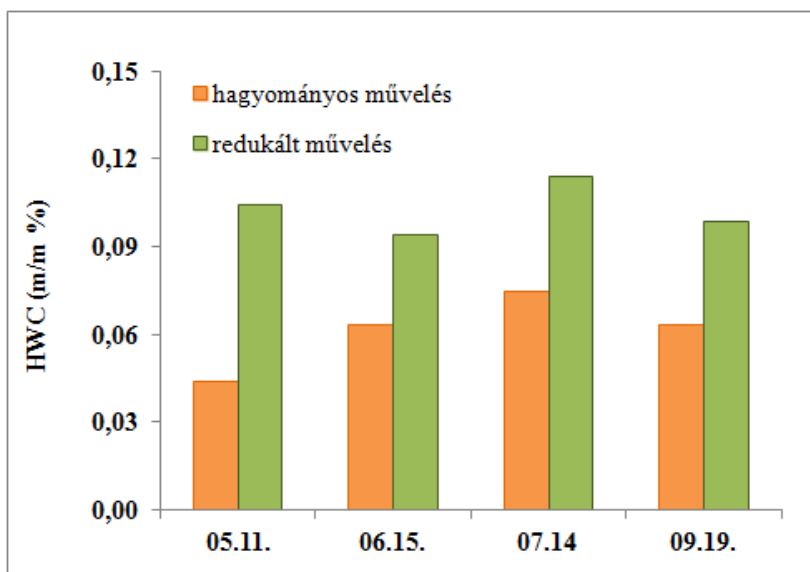
Independent Samples Test									
	Levene's Test for quality of Variance		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
CO2_emiss: Equal variance assumed	.013	.909	-.766	72	.446	-.03630	.04739	-.13076	.05816
CO2_emiss: Equal variance not assumed			-.766	71.978	.446	-.03630	.04739	-.13076	.05817

A t-próba szignifikanciaszintje az elfogadott 5%-os határ fölé esik (0,446), így nem vethetem el a nullhipotézist, tehát a két kezelésben nincs statisztikailag bizonyítható különbség, amit magyaráz az, hogy különböző időpontokban (eltérő időjárási viszonyok és talajállapot), különböző körülmények között végeztem a méréseket és a műveléshatás statisztikailag nehezen mutatható ki.

#### ***4.3.2. A labilis szervesanyag frakció vizsgálatának eredménye***

A talaj forróvíz-oldható szén frakcióját is vizsgáltam, hogy a talajművelési módoknak a talaj szénkészletére gyakorolt hatását kimutathassam. A forróvíz-oldható C-tartalom a talaj szerves C-készletének egyik frakciója, mely szorosan összefügg a biomasza mennyiségével. A talajok széntartalma függ az adott hely éghajlati, hidrológiai és biológiai adottságaitól, a talaj szerkezetétől, és a talajhasználat, valamint a művelési mód is jelentősen befolyásolja annak mennyiségét és anyagi összetételét. A könnyen mineralizálódó frakció mennyisége közvetlenül utal a talaj termékenységére. A földhasználat módjában és az agrotechnikai beavatkozásokban eszközölt változtatások befolyásolják a talaj szerves C-készletét és a szervesanyagok mennyiségét és minőségét is. BANKÓ (2008) szerint a talajművelés felhagyásával elsődlegesen a labilis szerves frakció aránya növekszik a talajban.

A hagyományos művelés elemei - mint pl. a szántás - elősegítik a talaj szervesanyag tartalmának csökkenését a szármaradványok talajba keverése, felaprózása és a levegőztetés növelése útján. A csökkentett műveletszám, sekélyebb művelés - nagyobb mennyiségű, a talaj felszínén maradó és sekélyen bekevert - növényi maradványt hagy, így a talaj szervesanyag vesztesége kisebb, tehát magasabb lehet a labilis szervesanyag aránya is. A 26. ábra mutatja, hogy redukált művelés esetén a labilis szervesanyagok mennyisége a kísérlet teljes időtartamában, minden mérési időpontban, jelentősen meghaladta a hagyományos művelés alatt álló területeken mért mennyiségeket. Ugyanez a műveléshatásból eredő különbség a CO<sub>2</sub>-emisszió vizsgálatokkor nem volt ennyire egyértelműen kimutatható.



**26. ábra:** A talaj forróvíz-oldható C-tartalmának (HWC) változása a vizsgálati időszakban hagyományos és redukált művelési rendszerben (2011)

A varianciaanalízis (11. táblázat) a talajművelés szignifikáns hatását igazolja, sig. <0,05 a forróvíz-oldható széntartalom esetében. Statisztikailag is igazolható volt, hogy a redukált művelés a hagyományos műveléshez képest gazdagította a talajt könnyen mineralizálható szervesanyagokban. A redukált művelés talajéletre gyakorolt kedvező hatását a tenyészidőszak közepétől lehetett igazán kimutatni, ekkortól érvényesül igazán ezeken a talajokon a szervesanyag tartalom megőrzése, ami által javul a levegőgazdálkodás, a szellőzőtség, így a víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságok jobb feltételeket teremtenek a mikrobiológiai tevékenységhez.

**11. táblázat:** A varianciaanalízis (Anova) eredményei a forróvíz-oldható C-tartalomra (HWE)

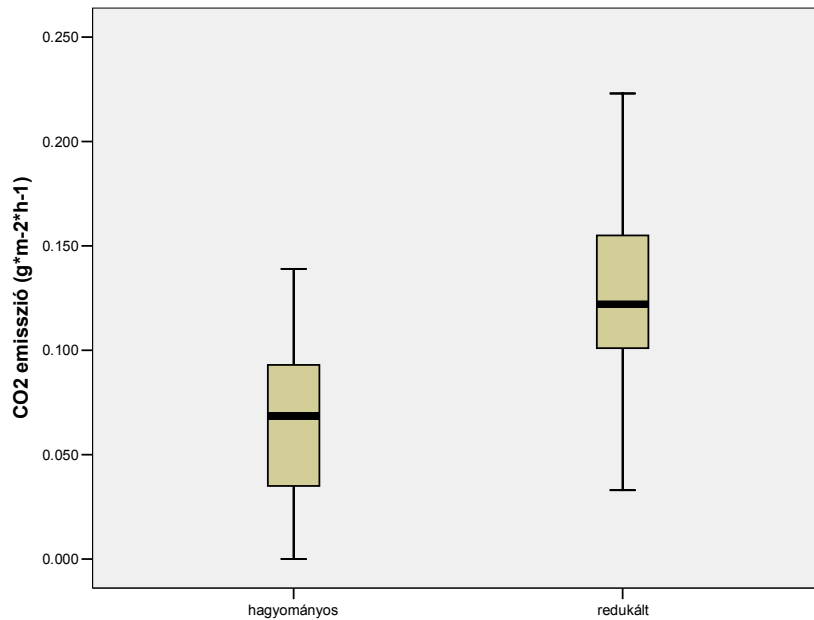
	Négyzetösszeg	df	Négyzetes átlag	F	Sig.
<b>Kezelések között</b>	0,007	1	0,007	18,516	0,001
<b>Kezelésen belül</b>	0,005	14	0,000		
<b>Összes</b>	0,012	15			

#### 4.3.3. Az eredeti szerkezetű talajoszlopokon beállított kísérlet eredményei

A komplex talajművelési kísérlet tábláiról bolygatatlan talajmintákat vettünk a különböző művelésű (hagyományos és redukált) parcellákból, hogy a talajművelés emisszióban betöltött szerepét is vizsgálhassam. Az eredeti szerkezetű mintákon végzett

emisszió mérések adatainak értékelése során különbséget tapasztaltam a hagyományos művelésű és a redukált művelésű parcellákról vett minták CO<sub>2</sub>-kibocsátásában.

A 27. ábrán jól látható, hogy a redukált művelésű talajok CO<sub>2</sub>-emissziós értékei magasabbak voltak (átlag 0,123 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), mint hagyományos művelés esetén (átlag 0,067 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), a szórásuk 0,34 és 0,45 hasonló, vagyis a redukált talajművelés során kedvezőbb feltételek alakulhatnak ki (szerkezet, légjárhatóság, szervesanyag tartalom) a mikrobiológiai aktivitáshoz.



**27. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a talajművelés függvényében

Az eredetű szerkezetű redukált művelésű területről származó minták több szármaradványt, szervesanyagot tartalmaztak, azonos körülmények között, azonos hőmérsékleten, azonos nedvességtartalom mellett ezekben a talajszlopokban jobb feltételek teremtődtek a mikrobiális tevékenységhez. A szerkezet sem volt összetömörödve, a magasabb szervesanyag, a megfelelő hőmérséklet és nedvességtartalom élénkítette a talajéletet.

A két kezelés adatainak elemzésére t-próbát végeztem (12. táblázat). Az átlagok különbözőek, a szórások közt nincs jelentős különbség. A statisztikai próba elvégzése

után megállapítom, hogy a próba szignifikanciája az elfogadott 5%-os határ alá esik (0,000), tehát a két kezelésben eltérés van a CO<sub>2</sub>-emisszió tekintetében.

**12. táblázat:** A t-próba eredményei a CO<sub>2</sub>-emisszió és a talajművelési kezelések között

művelés		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CO2 emisszió	hagyományos	62	.06680	.034015	.004320
	redukált	57	.12323	.045297	.006000

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
CO2 emisszió	2.935	.089	-7.723	117	.000	-.056430	.007306	-.070900	-.041960
			-7.633	103.562	.000	-.056430	.007393	-.071091	-.041768

A behozott talajoszlopok között csak abban volt különbség, hogy eltérő művelésű területről származtak, a továbbiakban azonos körülmények között voltak (szobahőmérséklet, azonos nedvességtartalom), így a CO<sub>2</sub>-kibocsátásban tapasztalt különbséget, a művelésnek tulajdonítom. A hagyományos talajoszlopokat valószínűleg tömörödés, elporosodás jellemezte, és szervesanyagban szegényebbek voltak, míg redukált művelés kevésbé szellőzteti, szárítja a talajokat, ily módon tartósabb mikrobiális tevékenység tud benne kialakulni, és a mikrobák számára elérhető szerves széntartalom mennyisége magasabb bennük. Az aerob mikroszervezetek tápanyagfeltáró tevékenységéhez kellő nedvességtartalom és hőmérséklet mellett levegőzöttség is szükséges. A talaj szerkezetét kímélő művelés alkalmazásakor, a szervesanyagok lebontása és felhalmozódása is kiegyenlítetté tehető, és mindez hozzájárulhatott az emisszióban tapasztalt különbséghez.

#### 4.4. A trágyázás, növénytáplálás, talajkondicionálás hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára

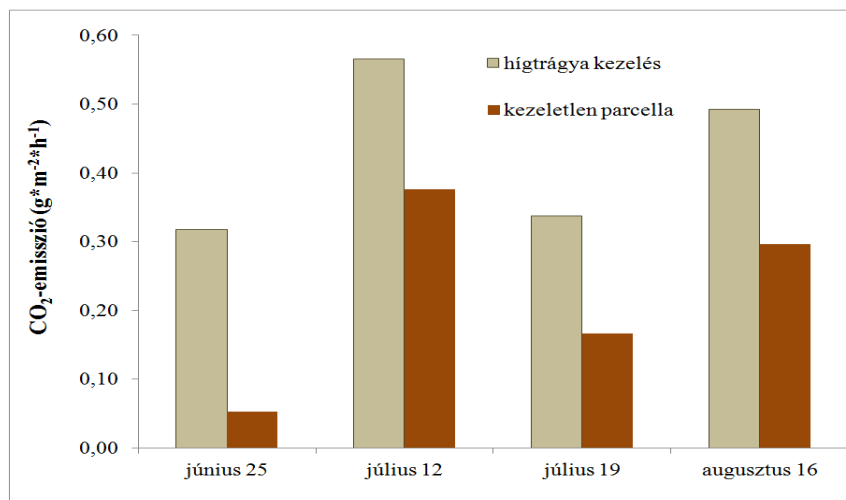
##### 4.4.1. Hígtrágyázás hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára

A műveléssel létrehozott talajállapot-változások befolyásolják a biokémiai és biológiai folyamatokat. A talaj termékenységének növelése céljából a trágyázási módokat (az



istállótrágyázástól a zöldtrágyázásig) lehet kombinálni a talajművelési módszerekkel (GYURICZA et al., 2006).

Azzal a céllal, hogy vizsgáljuk a különböző talajok válaszát a szerves trágyázásra is, 2006 őszén elindítottunk egy másik kísérletet is a talajművelési kísérletben. Hígrágya került kijuttatásra mind a hagyományos mind a redukált művelési rendszer parcelláira. Az emisszió vizsgálattal célom volt a kezelések hatásának kimutatása. Nyilvánvaló, hogy szerves- illetve szervesetlen anyag hozzáadása jelentősen befolyásolja a talaj mikrobiológiai aktivitását, így jelentősen hozzájárul az alternatív termesztési módszerek eredményességéhez, a 28. ábrán is látható, hogy a trágyával kezelt területek emissziója minden esetben magasabb a kezeletlenhez képest minden mérési időpontban.



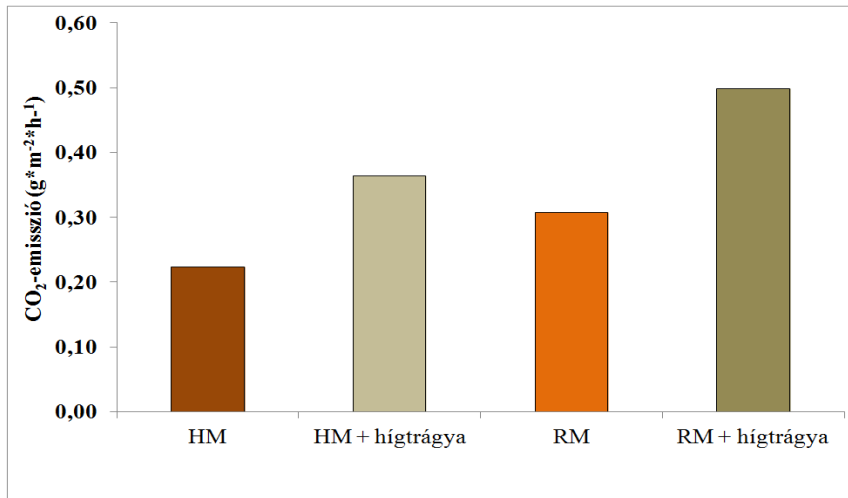
**28. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a trágyakezelésekben (2007)

A 13. táblázatban közölt statisztikai adatok is azt mutatják, hogy a hígrágyával kezelt parcellában átlagosan (0,43) és maximálisan (0,57) is magasabb emisszió értékeket tapasztaltam. A kezeletlen parcellában mért értékek minimuma (0,05) és maximuma (0,38) is alacsonyabb volt, míg a szórásuk (0,14) nagyobb volt a kezelt parcellában mért értékek szórásához (0,12) képest.

**13. táblázat:** A CO<sub>2</sub>-emisszió és a kezelések közötti összefüggések statisztikai adatai

CO <sub>2</sub> -emisszió (g m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	Várható érték	Standard hiba	Medián	Szórás	Minimum	Maximum
<i>Hígrágya kezelés</i>	0,43	0,06	0,41	0,12	0,32	0,57
<i>Kezeletlen</i>	0,22	0,07	0,23	0,14	0,05	0,38

A 29. ábrán bemutatom, hogy mindkét vizsgált talajművelési rendszerben megemelkedett CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket mértem a trágyakezelésben. A szervesztrágyakezelés minden esetben stimulálta a talajban lejátszódó mikrobiológiai folyamatokat.



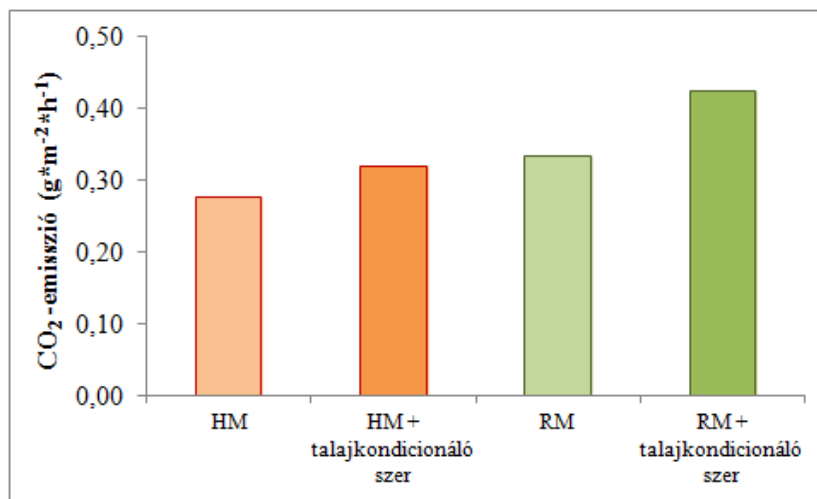
**29. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a trágyakezelésekben különböző talajművelés esetén (2007)

A szén talajba juttatásának egyik módja ez is, amikor biológiailag lebontható szervesanyagokat terítünk szét a mezőgazdaságilag művelt parcellán. A talajban meglévő tápanyagok, a bejuttatott hígtrágya, a tarlómaradványok elbomlásának és érvényesülésének előfeltétele a kedvezően laza állapot kialakítása. Viszont az aerob mikroszervezetek tápanyagfeltáró tevékenységéhez kellő nyirkosság, levegőzöttség és hő szükséges.

#### **4.4.2. A talajkondicionáló-szer hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára**

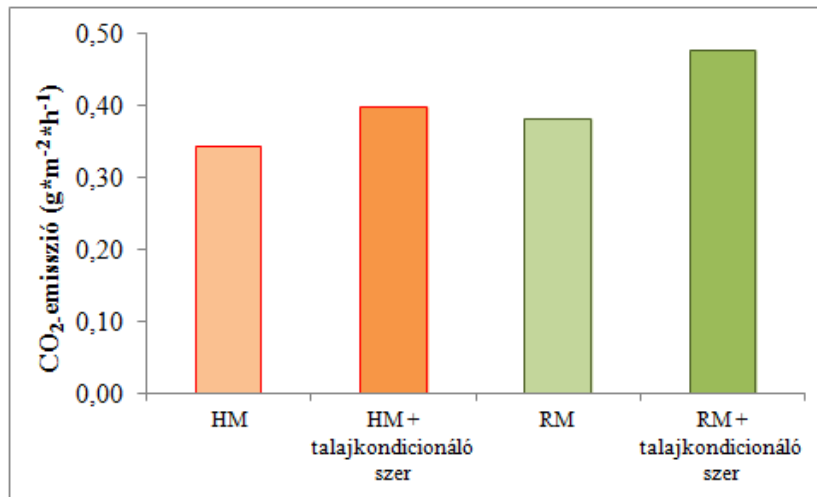
A talajművelési kísérletben először 2011-ben alkalmazták a talajkondicionáló szert. A gyártó szerint a termék serkenti a talaj biológiai aktivitását. A termék leírása szerint a ellátja a talajt a szükséges anyagokkal, hogy annak humuszszférája a megfelelően működjön, növeli a talajban élő mikro- és makroorganizmusok tevékenységének aktivitását, ennek kimutatására végeztem CO<sub>2</sub>-emisszió méréseket a kísérletben.

A 30-32. ábrákon a talajművelési kísérlet parcelláinak talajában mért CO<sub>2</sub>-kibocsátás átlagértékeit mutatom be a 2 év alatt mért eredményeim alapján. Amint az a 30. ábrán jól látszik, a CO<sub>2</sub>-emisszió a redukált művelésű parcella talaján magasabb volt, a hagyományos művelésű talajon mérttel szemben. Ez alátámasztja a Kutatóintézet munkatársainak korábbi méréseredményeit, miszerint a redukált művelés a talajban élő mikroorganizmusok számára kedvezőbb életfeltételeket biztosít (elsősorban a magasabb szervesanyag szint és a nedvességmegőrzés miatt), így aktívabb talajéletet, ennek következtében magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót eredményezve.



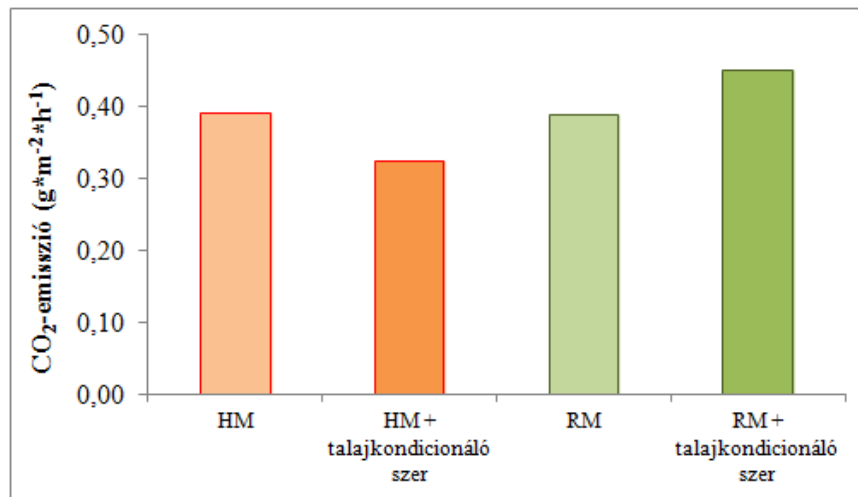
**30. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a kezelésekben 2011-ben búzatarlón

A talajkondicionáló szer a talaj fizikai-kémiai paramétereit javítja (porozitás növelése, jobb vízbefogadó képesség, jobb levegőzöttségi viszonyok) és ezáltal a biológiai életét (mikroflóra és fauna egyensúly, jobb szervesanyag újrahasznosítás) kedvezően befolyásolja, így aktívabb talajéletet, magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót vártam ezen kezelések esetében. 2011-ben búzatarlón kapott eredmények ezt igazolták is mind a hagyományos, mint a redukált művelésű parcellán. Nem volt okom azt feltételezni, hogy a különbségeket valamilyen más tényező okozza, mert a mérési körülmények azonosak voltak. 2012-ben árpatarlón (31. ábra) hasonló eredményeket kaptam.



**31. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a kezelésekben 2012-ben árpatarlón

Viszont 2012-ben borsótarlón végzett vizsgálatokban látható (32. ábra), hogy a talajkondicionáló szer a hagyományos művelésű parcellán nem tudta ugyanúgy kifejteni hatását, mint a redukált művelésű parcellán.



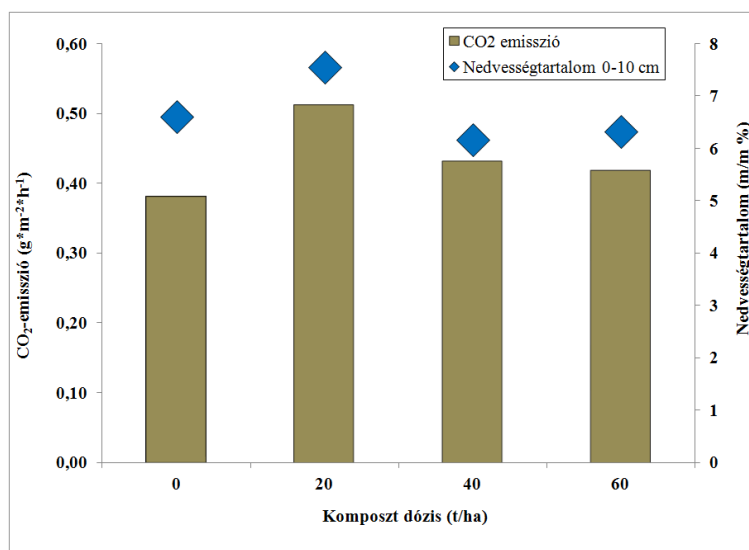
**32. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a kezelésekben 2012-ben borsótarlón

Mindezek alapján megállapítom, hogy a talajkondicionáló szer talajéletet befolyásoló hatása redukált művelésű talajban hamarabb érvényesült, mint a hagyományos művelésű területen. A gyártó szerint a termék hatása lassan érvényesül (3 év után) ezért lehetséges az, hogy 2012-ben a borsó elővetemény után hagyományos művelésű területen még nem tudtam igazolni a talajkondicionáló szer pozitív hatását. Ahhoz, hogy a hagyományos parcellán kifejtett pozitív hatást ki lehessen egyértelműen mutatni, a

termék további használata és további vizsgálatok szükségesek. A talajkondicionáló szer alkalmazása viszont ez esetben is jelentősen befolyásolta a talaj mikrobiológiai aktivitását, és a redukált talajművelési mód eredményességéhez bizonyítottan hozzájárult.

#### 4.4.3. Juhtrágya alapú komposzt hatása a talaj CO<sub>2</sub>-forgalomára

Mivel térségünk szikes talajainak jórésztét gyepterületként hasznosítják, így a fűhozam javítása érdekében ajánlott a gyep trágyázása. Méréseket végeztem három ismétlésben a három különböző komposzt dózissal kezelt és a kezeletlen (kontroll) parcellákon gyepterületen. Az eredményeket az 33. ábrán foglaltam össze.



33. ábra: A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a komposztkezelésekben

Amint az ábra mutatja, a kezeletlenhez képest megemelkedett CO<sub>2</sub>-emisszió jellemezte a kezelt gyepcellák talaját, ami fokozott gyökérlégzésre, illetve mikrobiológiai aktivitásra utal. A legmagasabb értéket a 20 t/ha komposzt alkalmazásánál tapasztaltam, ebben a kezelésben volt a legmagasabb a feltalajtalaj nedvességtartalma is, ami bizonyítja, hogy a mikrobiális tevékenység fokozásához – a szervesanyag tartalom mellett – megfelelő hőmérséklet és nedvességtartalom egyaránt szükséges.

Az eredmények azt mutatják, hogy a juhtrágya alapú tápkomposzt extenzív gyepen javítja a talaj vizsgált fizikai és biológiai tulajdonságait. Adott időjárási körülmények között a kísérletben alkalmazott dózisek közül a 20 t/ha adag bizonyult

leghatékonyabbnak. A 40 és 60 t/ha komposztadagok is növelték a talaj CO<sub>2</sub>-emisszióját és a feltalaj nedvességtartalmát, de nem akkora mértékben, mint a 20 t/ha-os adag.

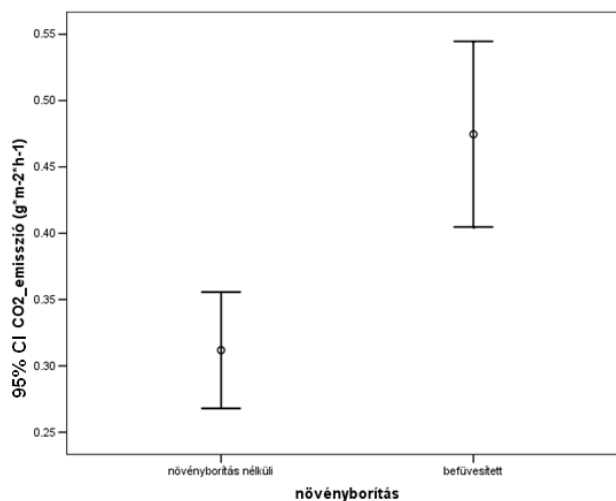
#### **4.5. A környezeti tényezők hatása a talajlégzésre**

Számos környezeti tényező befolyásolja a talajlégzést (ami a heterotróf – főként mikrobiális- és az autotróf – gyökér-respiráció összege). Ezek közül a tényezők közül is legfontosabb a talaj hőmérséklete, nedvességtartalma, a szubsztrátok hozzáférhetősége (RUSTAD et al., 2001, KIRSCHBAUM, 2004, REICHSTEIN – BEER, 2008). Ezért ebben a fejezetben az adott környezeti változók talajlégzésre gyakorolt hatásainak elkülönítését és számszerűsítését vizsgálom.

A levegő és a talaj hőmérséklete a talaj borítottsága, valamint a talaj nedvességállapota és a talajok CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggéseket az átfolyóvizes liziméterekben beállított kísérletekben vizsgáltam. A vizsgálatban 3 év során 6 liziméter egységen mért adatokat vettem figyelembe.

##### ***4.5.1. A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában***

A gyökérlégzés szerepét az átfolyóvizes liziméterekben beállított kísérletben volt lehetőségem tanulmányozni. Az edények felét befűvesítettük, a növényeket rendszeresen visszavágtam, a többi edény növényborítás nélkül maradt. A vizsgált 6 egységben ekkor nem volt az öntözési dózisokban különbség, így a befűvesített egységekben a növények állapota megegyezett, rendszeresen le volt nyírva, így az emissziós értékekben jól lehetett vizsgálni a gyökérlégzés szerepét. A következő *34. ábrán* a növényborításos illetve a növényborítás nélküli edényekben tapasztalt CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket mutatom be. Az ábrán az általam mért emisszió értékek láthatóak 95%-os konfidencia intervallum mellett.



**34. ábra:** CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a növényborított és a növényborítás nélküli edényekben

A diagram egyértelműen mutatja, hogy a növényborítás nélküli edényekben jelentősen kisebb emisszió értékek voltak tapasztalhatóak (átlag 0,294 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), mint a befűvesített edényekben (átlag 0,442 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), az értékek szórásánál is hasonló volt a helyzet. Mivel a 2 intervallum nem fedi egymást, így 95%-os valószínűséggel az átlagok közötti különbség valódi, ami a növényborításnak köszönhető. A növényborított talajfelszín emisszió értékei magasabbak, hiszen ezekben az értékekben a gyökérlégzés és a talajban lejátszódó mikrobiológiai bomlásból származó CO<sub>2</sub>-kibocsátás együttesen szerepel. A két adatsor közötti különbség igazolására a t-próbát is alkalmaztam (14. táblázat).

**14. táblázat:** A t-próba eredménye a CO<sub>2</sub>-emisszió és a növényborítás kezelések között

**Independent Samples Test**

	Levene's Test for quality of Variance		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
CO2_emissz: Equal variance assumed	34.902	.000	-3.519	190	.001	-.15076	.04284	-.23527	-.06625
Equal variance not assumed			-3.360	121.803	.001	-.15076	.04487	-.23959	-.06193

A t-próba szignifikanciája az elfogadott 5%-os határ alá esik, tehát a két mintában eltérés van, vagyis a növényborításos edényekben a gyökérlégzés szerepet játszik a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójában.

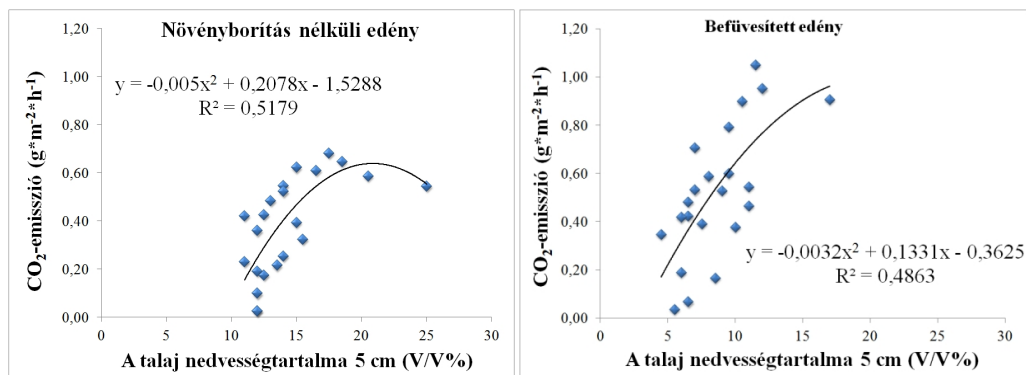
#### ***4.5.2. A talaj nedvességállapota és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggések***

Azok a folyamatok, amelyek a szén oxidációját befolyásolják, igen komplexek. A felszínhez közeli talajrétegek nedvességtartalma általában szezonális dinamikát mutat, ezek a rövid tartamú impulzusok nagyon sokféle talajra jellemzőek. Az Alföldön a nyári időszakban a talajok gyakran kiszáradnak és a jellemzően nem meghatározott rendszerességgel hulló nyári záporok hatására bekövetkező benedvesedés jelentős mértékben hozzájárul a talaj felszínéről a légkörbe távozó CO<sub>2</sub> összes mennyiségéhez. A nedvességtartalom növekedésével a mikrobiológiai aktivitás maximumának elérése után éppen az oxigén diffúziójának csökkenése jelenti a legfőbb korlátot. A talaj nedvességtartalmának szerepét az átfolyóvizes liziméterekben beállított kísérletben volt lehetőségem vizsgálni. A meglévő adatok felhasználásával, statisztikai módszerekkel (varianciaanalízis, regresszió elemzés) kerestem összefüggést a talaj nedvességtartalma és a CO<sub>2</sub>-emissziója között.

Mind lineáris, mind exponenciális valamint a polinomiális összefüggés illesztését elvégeztem a mért CO<sub>2</sub>-emisszió és a talaj nedvességtartalmi értékeire, és megállapítottam, hogy a két vizsgált tulajdonság között a polinomiális kapcsolat tűnt szorosabbnak. Egy ponton túl az egyenes elhajolna, ezért a lineáris összefüggés illesztése itt nem célszerű.

A 35. ábra a függő változó (CO<sub>2</sub>-emisszió) értékeit tartalmazza a független változó függvényében. Világosan látszik, hogy az illeszkedés nem tökéletes, ugyanakkor a trend fellelhető.





**35. ábra:** A nedvességtartalom és a CO<sub>2</sub>-emisszió közötti összefüggés különböző talajtakarások esetén

A bemutatott két a talaj nedvességtartalomra és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti determinisztikus együttható (R<sub>2</sub>) értékei értelemszerűen 0,51 és 0,48 voltak, ami a közepes erősségű kapcsolatot jelzi, a 15. táblázatban látható egy F próba, amelynek szignifikanciája (0,002) a kapcsolat létét engedi sejtetni.

**15. táblázat:** A varianciaanalízis eredménytáblázatai a CO<sub>2</sub>-emisszió és a növényborítás kezelések között

VARIANCIANALÍZIS (növényborítás nélküli edény)					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F szignifikanciája</i>
Regresszió	1	0,338	0,338	12,388	0,002
Maradék	20	0,545	0,027		
Összesen	21	0,882			

VARIANCIANALÍZIS (befűvesített edény)					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F szignifikanciája</i>
Regresszió	1	0,768	0,768	17,552	0,000
Maradék	20	0,876	0,044		
Összesen	21	1,644			

A víz a növényi növekedés fokozásán keresztül, közvetlen is hat a talajlégzésre, egyrészt nagyobb mennyiségű szervesanyag visszajutását eredményezi a talajba, másrészt fokozza a gyökérlégzést. A befűvesített edényben nagyobb CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket tapasztaltam.

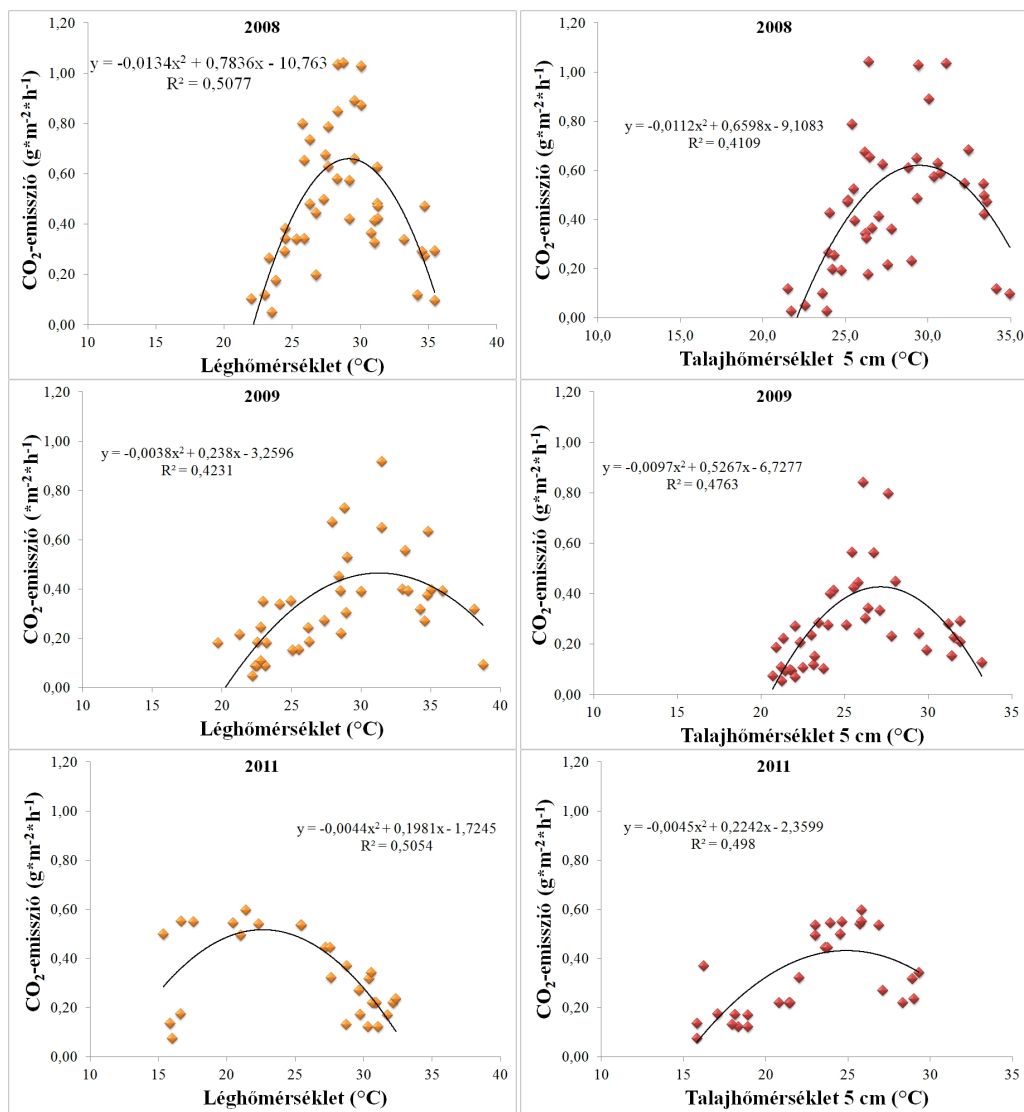
#### 4.5.3. A hőmérséklet hatása a talajlégzésre

A talajhőmérséklet változása a levegőével szoros összefüggésben van, ugyanis ez utóbbi növekedése magával vonja a talaj hőmérsékletének emelkedését. A talaj hőmérséklete változékonyabb a felszín közelében, mint a mélyebb talajrétegekben, valamint várakozásaim szerint a talaj szén-dioxid-kibocsátása, mint fizikai folyamat, szorosabb kapcsolatban áll a talajfelszín hőmérsékletével, mint a mélyebb talajrétegekével (PAVELKA et al., 2007), így a talajlégzés-hőmérséklet függésének vizsgálatához a talajfelszínhez közeli (5 cm) rétegben mért hőmérsékleti értékeket használtam fel.

Az átfolyóvízes lizimétereken beállított kísérlet CO<sub>2</sub>-emisszió értékeinek a léghőmérséklet és talajhőmérséklet értékeivel végzett összefüggés vizsgálatát a következő 36. ábrán mutatom be a 3 vizsgált évben. A levegő hőmérsékletének változása valamennyi kezelésben korrelációt mutatott a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójával.

A vizsgált három évben jól megfigyelhető, hogy az évjáratnak megfelelően a hőmérsékleti értékek is különböző intervallumban mozogtak, így a hozzájuk tartozó emisszió értékek is ennek megfelelően alakultak. 2008 időjárása, hőmérséklete átlagosnak tekinthető, ekkor tapasztaltam a legmagasabb kibocsátási értékeket, míg 2009 szokatlanul meleg száraz évnek tekinthető, 2011 nyáreleje pedig az átlagnál hűvösebb volt, tehát mindegyik évjáratban máshogy alakul az optimumgörbe csúcossága, de egy közepesen erős kapcsolat a vizsgált 2 paraméter között végig kimutatható.

A heterotróf talajlégzés során komplex enzimmösszetétellel találkozunk, ahol az enzimeknek változatos az aktiválási energiája, tehát működésükhöz eltérő hőmérsékleti igényekkel rendelkeznek. A hőmérséklet növekedésével a különböző enzimek különböző időpontban érhetik el a denaturáció állapotát, tehát megfelelően magas hőmérsékleten elkezdhet csökkenni a talajlégzés mértéke. Adott enzimmösszetétel aktivitásának a talajban van optimális hőmérséklete, amely hőmérsékleten a legtöbb enzim aktív és ami felett a respiráció aktivitása csökken. A jelenség haranggörbével jellemezhető, mely illeszkedést részben sikerült igazolnom. Az ábrákon megtalálhatjuk az R<sup>2</sup> értékét (~0,5; ~0,4), ami a közepes erősségű kapcsolatot jelez minden esetben.



**36. ábra:** A lég- és a talajhőmérséklet valamint a talajok CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggés vizsgálat

A talajlégzés optimális hőmérséklete változhat akár rövidtávon is a talajnedvesség- és szervesanyag ellátottságával (DAVIDSON et al., 2006). A talaj nedvességtartalmának növekedésével illetve a labilis szervesanyag-tartalommal a CO<sub>2</sub>-emisszió hőmérsékleti toleranciája (a haranggörbe szélessége) változhat. Az általam vizsgált liziméteregységekben a talaj szélsőséges hőgazdálkodású, alacsony víztartó képességű, a szervesanyag felhalmozódása csekély volt, ráadásul minden évben öntöztem, de így is hozzájárulhatott a talajlégzés hőmérsékleti optimumának számszerűsítéséhez. A környezeti tényezőknek a klímaváltozás során végbemenő tartós megváltozása

(hőmérséklet, csapadékmintázat) azonban már akár maradandó változást is okozhat a talajélet működésében és a mikroorganizmusok összetételében.

#### **4.5.4. A napszakok szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában**

A CO<sub>2</sub>-kibocsátás napi dinamikájának vizsgálatára végeztem 24 órás mérést, úgy hogy egyik nap reggel 8 órától másnap reggel 8 óráig (vagyis 24 órán keresztül nappal és éjjel) 2 órás időközönként mértem a koncentráció alakulását. A mérések helyszínül ismételten az átfolyóvizes liziméterek szolgáltak. Mértem mind a befűvesített, mind a növényborítás nélküli egységekben öntözött és öntözetlen körülmények között.

A mérésre 2011. augusztus 31. reggel 8 óra és szeptember 01. reggel 8 óra között került sor, az akkori összefoglaló meteorológiai jellemzőket a *16. táblázatban* ismertetem.

**16. táblázat:** Összefoglaló meteorológiai adatok a mérés ideje alatt

		<b>2011.08.31. 8:00 - 2011.09.01. 8:00</b>
<b>Átlaghőmérséklet</b>	<b>°C</b>	20,6
<b>Hőmérsékleti maximum</b>	<b>°C</b>	28,8
<b>Hőmérsékleti minimum</b>	<b>°C</b>	13,3
<b>Relatív nedvességtartalom</b>	<b>%</b>	24,0
<b>Légnyomás</b>	<b>hPa</b>	1003,3
<b>Csapadék</b>	<b>mm</b>	0,0
<b>Talajhőmérséklet (10 cm)</b>	<b>°C</b>	22,9

2011. augusztus végén térségünkben kánikula volt, csapadék hetekig nem esett, ennek következtében aszályos napunk volt, ami a relatív nedvességtartalmi adatból is látható. A légkörben található alacsony páratartalom hatására légköri aszály alakul ki. Az aszályos időjárás visszatükröződik a talajnedvesség tartalmi adatokban is. A mérések elején vettem talajmintát a gravimetriás nedvességtartalom meghatározásához. A felső 20 cm-es réteget vizsgáltam, mivel a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára ez a szint van hatással. A

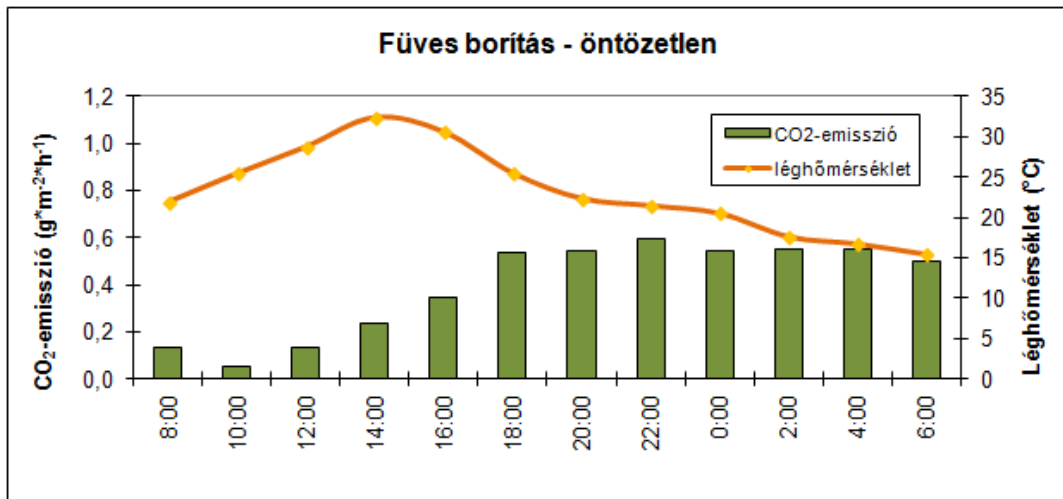
nedvességtartalmi értékek a meleg és csapadékmentes időszak miatt nagyon alacsonyak (17. táblázat).

**17. táblázat:** A talajoszlopok nedvességtartalma (m/m %) 2011. 08. 31-én

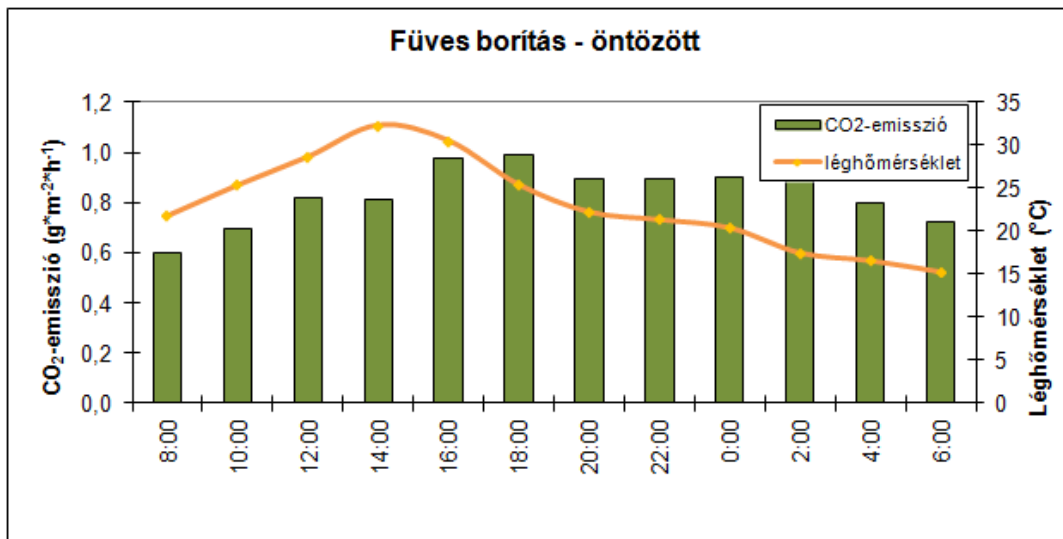
	<b>Réteg</b>	<b>Nedvesség (s%)</b>
<b>Füves - öntözetlen</b>	0 - 10 cm	2,4
	10 - 20 cm	6,8
<b>Növényborítás nélküli- öntözetlen</b>	0 - 10 cm	6,0
	10 - 20 cm	14,3
<b>Füves - öntözött</b>	0 - 10 cm	5,6
	10 - 20 cm	8,3
<b>Növényborítás nélküli- öntözött</b>	0 - 10 cm	10,6
	10 - 20 cm	14,6

Az adatokban is látható, hogy az öntözött edények feltalaja nedvesebb, valamint a füves borítás nedvességmegőrző szerepe is kimutatható. A mikroorganizmusok tevékenységéhez szükség van megfelelő nedvességtartalomra. A nedvességtartalom növekedése egy ideig a mikrobiális aktivitás növekedését vonja maga után.

A legalacsonyabb értékeket a délelőtti órákban tapasztaltam. A határréteg ekkor jól átkevert, vagyis az éjszaka felhalmozódott (és kizárólag a mérőhelyre és közvetlen környezetére jellemző) többlet szén-dioxid ekkorra elkeveredik a határrétegben. A növényvel borított egységekben a délutáni és az éjszakai órákban nagyobb emisszió értékeket kaptam, ami a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött nagymértékű arányát mutatja (37-38. ábra). Valamint a növények nappal fotoszintetizálnak, éjjel sötétben pedig gázcsereenyílásaikon keresztül ők is lélegeznek, vagyis szén-dioxidot bocsátanak ki, tehát ez is közrejátszhatott az emelkedett emisszió értékekben. A növényborítás nélküli egység CO<sub>2</sub>-kibocsátása a 24 óra alatt végig kiegyenlített volt, a füves borítás nedvességmegőrző és hűtő szerepe valószínűleg jobb körülményeket teremtett a mikroorganizmusok számára.

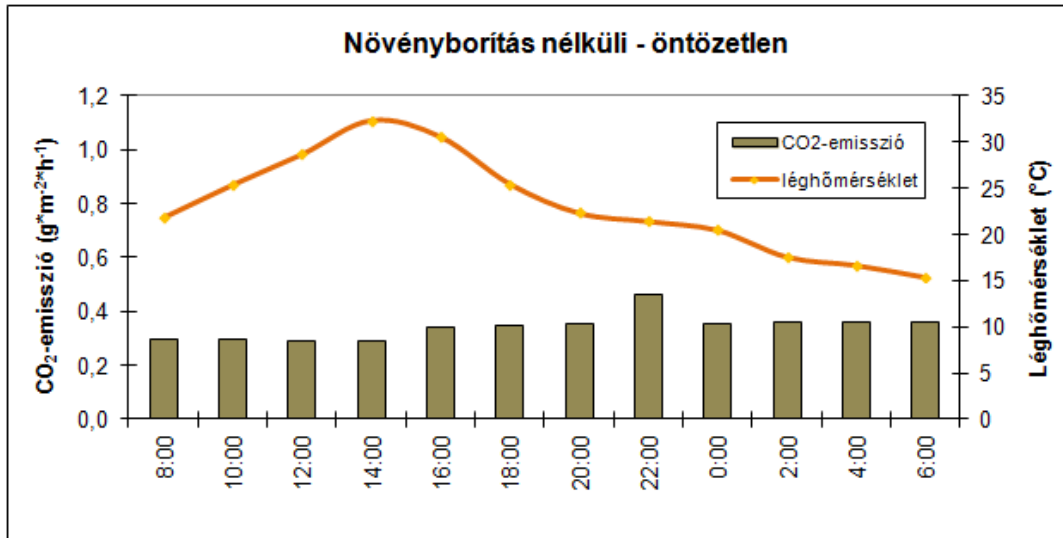


37. ábra: A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás esetén öntözetlen körülmények között

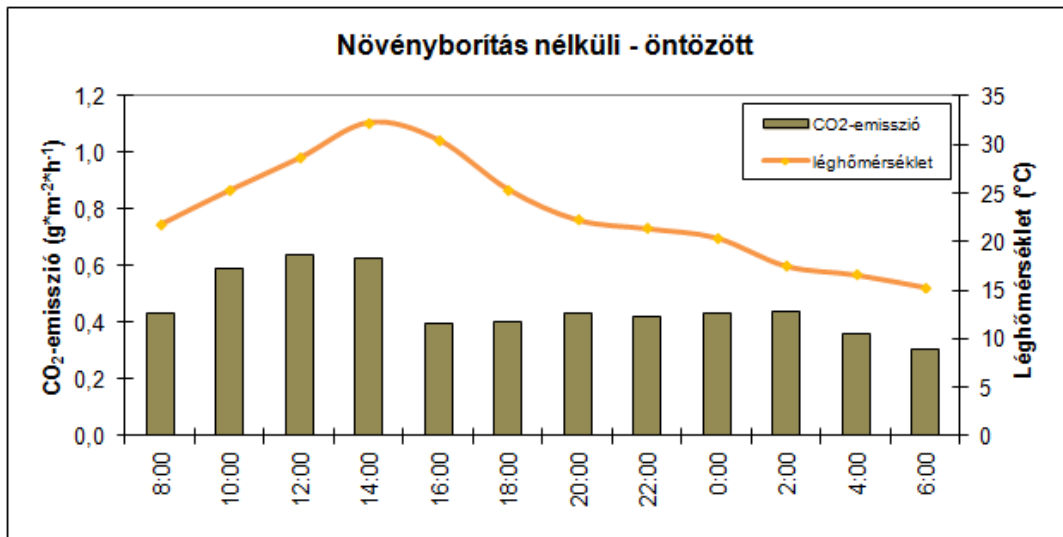


38. ábra: A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás esetén öntözött körülmények között

A befűvesített edényekben öntözött körülmények között is hasonló tendenciát vonhatok le (39-40. ábra), mint öntözetlen esetben. Nagyobb emisszió értékeket tapasztaltam, és szintén az esti és éjszakai órákra emelkedett meg a szén-dioxid-kibocsátás.



**39. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás nélküli esetben öntözetlen körülmények között



**40. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás nélküli esetben öntözött körülmények között

A növényborítás nélküli edényekben öntözött körülmények között is alacsonyabb emisszió értékeket kaptam. A talaj CO<sub>2</sub>-emissziója 4 és 6 óra között volt a legalacsonyabb. A maximális talaj CO<sub>2</sub>-koncentrációkat 12-kor (0,64 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) és 14 órakor (0,63 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) tapasztaltam (utóbbinál maximális léghőmérséklet értékek).

#### 4.6. A talaj szénkészletváltozásának becslése különböző művelési eljárások tükrében

A magyarországi szántóterületek szénkészlet változására irányuló számításaimhoz figyelembe vett művelési scenáriókat a 18. táblázatban foglaltam össze. Bázisévnek 2006-ot vettem alapul, így az azt követő 20. évre tudtam elvégezni becsléseket. Véleményem szerint Magyarországon most és a jövőben a potenciálisan alkalmazott talajművelési rendszerek a direkt vetés, a redukált és a hagyományos talajművelés, így ezeket alkalmaztam úgy, mintha az ország teljes területén az adott művelési rendszerekre térnének át. Természetesen ezeknek a művelési rendszereknek a különböző arányú megjelenése valószínűsíthető, mindazonáltal a szélsőséges alternatívákra vonatkozó számítások eredményeivel a talajok szénkészletében beálló különbségek nagyságrendjére kívánom csak felhívni a figyelmet. Az egyes talajművelési rendszereket különböző inputok alkalmazása mellett vizsgáltam.

**18. táblázat:** A vizsgált talajművelési scenáriók

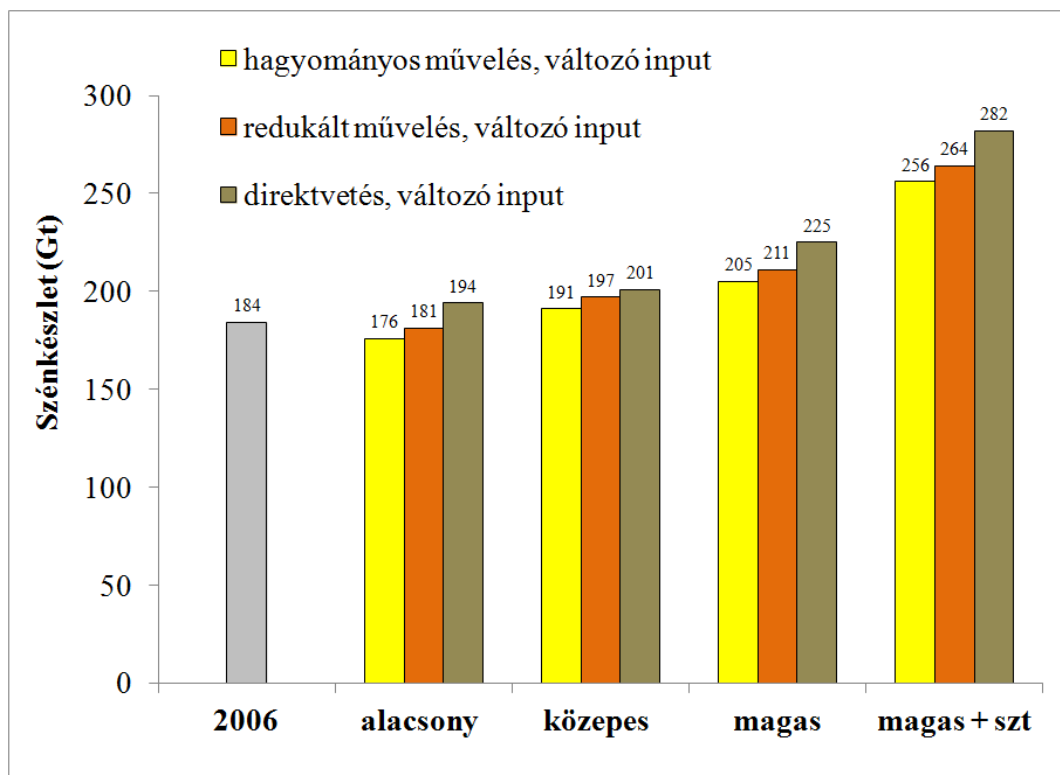
Szenárió	Talajművelési rendszer	Input
1.1.	direkt vetés	magas + szerves trágya
1.2.	direkt vetés	magas
1.3.	direkt vetés	közepes
1.4.	direkt vetés	alacsony
2.1.	redukált	magas + szerves trágya
2.2.	redukált	magas
2.3.	redukált	közepes
2.4.	redukált	alacsony
3.1.	hagyományos	magas + szerves trágya
3.2.	hagyományos	magas
3.3.	hagyományos	közepes
3.4.	hagyományos	alacsony

Az alkalmazott talajművelési rendszer megváltoztatása által kiváltott szénkészletváltozást a 41. ábra foglalja össze. Az ábrán megfigyelhető, hogy az inputtényező változásával (a talajba bevitt szervesanyag mennyiségének növekedésével)



a talajban található szerves szén összessége is növekszik, azonban ennek mértéke az egyes talajművelési rendszerek esetében eltérő.

A direkt vetés a legkevésbé talajbolygató talajművelési rendszer, a szakirodalmi adatok alapján ezzel őrizhető meg leginkább a talajban lévő szerves szén mennyisége, s csökkenthetők az emissziós veszteségek. A direktvetéses művelési rendszerre való átállás esetén, magas szervesanyag bevitel mellett (ami ennek a rendszernek alapvetően jellemzője) mintegy 22%-kal lenne növelhető talajaink szénkészlete. Amennyiben még szervestrágyázás (továbbiakban: szt) is párosulna ehhez, akkor akár 53%-os növekedéssel is számolhatnánk, azonban ennek a realitása kicsi.



**41. ábra:** Magyarország szántóinak szénkészlet változása különböző művelési rendszerek esetén változó inputtal

A redukált talajműveléssel elért szénkészletváltozás adatait is ez az ábra tartalmazza. A redukált talajművelési rendszerrel a talaj eredeti szerkezetének megőrzése érdekében mérsékelt talajforgatást, gépkombinációkat és egy menetben történő több munkafázis elvégzését alkalmazzák. Magyarországon e talajművelési rendszer nagyobb mértékű elterjedésével reálisan lehet számolni az elkövetkező évtizedben. Egyre több

gazdálkodó gondolja úgy, hogy a forgatásra alapozott talajművelési rendszerek felváltása nemcsak költségtakarékos, hanem jótékony hatással van a talaj szervesanyag gazdálkodására is. Természetesen a redukált művelési módok elterjedéshez szükség lenne az ilyen rendszerekben használatos gépek árának csökkenésére is, mivel az jelenleg még igen magas. Mindazonáltal az eladások növekedésével az árcsökkenés valószínűsíthető.

A redukált talajművelésre való áttérés és az arra szintén jellemző magas szervesanyag bevitel eredményeként szénkészleteink növekedésére számíthatunk, bár ennek mértéke elmarad a direktvetéses rendszerre való átálláshoz képest. A talaj legfelső 30 cm-es rétegének szénkészlete a 2006-os referencia évhez képest mintegy 7-15%-kal növekedne az erre a művelési rendszerre leginkább jellemző közepes-magas szervesanyag input esetén. Véleményem szerint ez a növekedés is jelentős mértékű és bekövetkezésének esélye sem kicsi a talajművelés szemléletében jelenleg tapasztalható változások tükrében.

Bár Magyarországon a hagyományos talajművelést perspektivikusan felválthatják a talajvédő művelési rendszerek, a forgatásra alapozott technológia a domináns. A direktvetéses és a redukált talajművelési rendszerekre kiszámított szénkészlet változási adatok értékelése érdekében azt az esetet (szcenáriót) is megvizsgáltam, amikor az ország szántóinak teljes területén hagyományos művelést alkalmaznak. A legújabb kutatási eredmények azt mutatják, hogy az optimális időben, megfelelő talajállapot mellett elvégzett szántással és a szántott talajfelszín mihamarabbi lezárásával elkerülhető a magas szervesanyag veszteség, így a talaj szénkészletének védelme szempontjából a szántás sem minősül károsnak (BIRKÁS-GYURICZA, 2004). Ennek a scenáriónak a megvalósulása esetén csak akkor lehet számítani a szénkészlet növekedésére, ha fokozott szervesanyag bevitel valósul meg, ennek esélye azonban igen kicsi. A hagyományos művelési rendszerre manapság is jellemző alacsony szervesanyag input esetén a 2006-os évhez viszonyítva a szénkészlet mennyiségének mintegy 4%-os csökkenése várható.

Talajvédelmi szempontból is igen fontos tehát, hogy korszerű, a talajt kímélő, az adott klimatikus és edafikus tényezőkhöz igazodó talajművelési rendszerek legyenek jellemzőek Magyarországon a jövőben. A művelési rendszer megváltozásának hatására

a talaj szénkészletében bekövetkező változásokra vonatkozó számításaim eredményei arra engednek következtetni, hogy a talajművelés szerepe döntő, hatásainak vizsgálata a fenntartható mezőgazdaság szempontjából aktuális kérdés.

Véleményem szerint a talajvédő művelési rendszereknek a következő évtizedben várható elterjedésével, illetve az általam feltételezett scenáriók gyakorlati realitását figyelembe véve, talajaink 20 éves ciklusra számított szénkészlete mintegy 5-10%-kal lesz növelhető az elkövetkező mintegy 30 évben.

#### **4.7. A talaj szénkészletváltozásának becslése a klímaváltozás tükrében**

Magyarország szántóit klímazónák szerint alapvetően két típusba soroltuk: a mérsékelt meleg (évi átlaghőmérséklet  $10^{\circ}\text{C}$  felett) és a mérsékelt hűvös (évi átlaghőmérséklet  $10^{\circ}\text{C}$  alatt) kategóriákba. Mivel a számításoknál a klímakategóriák közti határérték  $10^{\circ}\text{C}$ , és Magyarország egy területére sem jellemző, hogy az éves átlaghőmérséklet ettől az értéktől több mint 0,1 fokkal eltérne, könnyen elképzelhető, hogy hosszú távon már az egész ország területére ugyanaz a klímakategória lesz jellemző. Nyilván ez a megközelítés, illetve a számításokhoz használt alapadatok magukban hordozzák a hiba lehetőségét, különös tekintettel a számok abszolút értékére, de a tendenciákról és a változások nagyságrendjéről véleményem szerint jó becslést adnak.

Számos tanulmány és előrejelzés szerint a Magyarországra becsült klímaváltozások rövidebb és hosszabb távon is elsősorban a szélsőséges időjárási helyzetek gyakoriságának növekedését hangsúlyozzák. A szélsőséges helyzetek gyakoriságától elvonatkoztatva és figyelembe véve az elmúlt évek tendenciáit (az átlag hőmérséklet növekedése, kevesebb csapadék, szárazság gyakorisága) valószínűnek tartom, hogy a meleg száraz klíma Magyarország nagyobb területén fog érvényesülni.

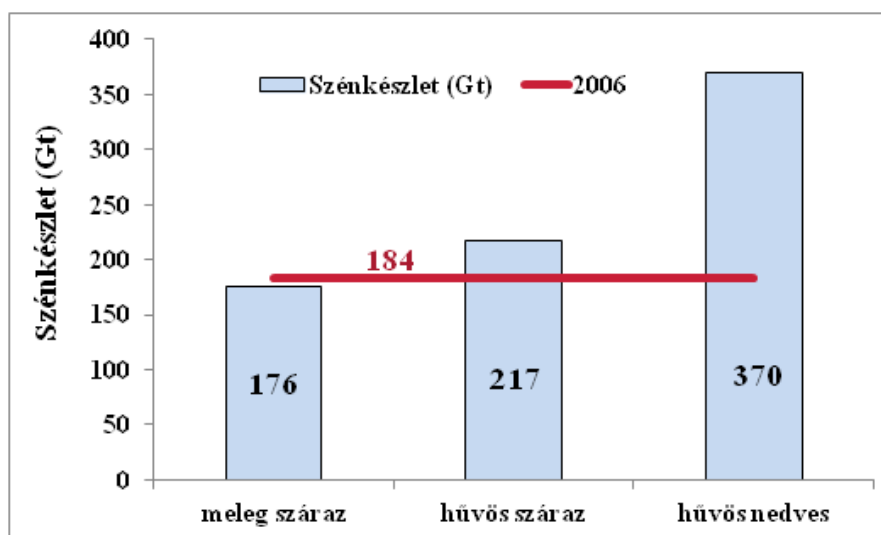
A hűvös nedves klímazóna típusra is becslést készítettem a szénkészlet változás tükrében. A vizsgált klíma scenáriókat a *19. táblázatban* közlöm. Ezek a scenáriók azokat az eseteket foglalják magukban, amikor az ország egész területe az adott klímakategóriába esik. Az összehasonlításban referenciaként szereplő 2006-os év az az

állapot, amikor az ország területének durván 60%-a a mérsékelt meleg száraz, míg 40%-a mérsékelt hűvös száraz kategóriákba esik.

**19. táblázat:** A vizsgált klíma scenáriók

Szenárió	Klíma
1.1.	meleg száraz
1.2.	hűvös száraz
1.3.	hűvös nedves

A különböző klíma scenáriókra kiszámolt szénkészleteket bemutató 42. ábrán láthatjuk, hogy amennyiben Magyarország teljes területén meleg száraz klíma lenne a jellemző a talajaink szénkészlete némileg csökkenne, de hasonló mértéket mutatna a referencia évhez képest. A szénkészlet viszont mintegy kétszeresére nőne, ha a klíma az ellenkező irányba változna és évről évre hidegebb és csapadékosabb időjárás váltaná fel a mostanit.



**42. ábra:** Magyarország szántóinak szénkészlet változása különböző klíma scenáriók esetében (bázisév 2006 – 184Gt)

#### 4.8. A szénkészletváltozás becslése a karcagi talajművelési kísérletben

Az IPCC metodikáját felhasználtam arra is, hogy kisebb léptékben, akár táblaszinten is meghatározzam a talaj szénkészletének változását. A számításokhoz a 3.2.1. fejezetben leírt komplex talajművelési kísérlet parcelláinak adatait használtam fel, a faktorok

meghatározását a 3. fejezetben ismertetett SCT programmal végeztem. Mivel a kísérlet 1997-ben indult, az akkori állapotot tekintetem kiindulási állapotnak. Azt kívántam kiszámítani, hogy vajon a kísérlet indítása után 20 évvel milyen mértékben fog változni a kísérleti parcella szénkészlete. Mivel erről a területről konkrét adatok állnak rendelkezésre a talaj humusztartalmát illetően, az abból számított szénkészlet figyelembevételével is kiszámítottam a szénkészleteket mindkét időpontra. Mivel a talaj szervesanyagainak széntartalmát átlagosan 58%-nak vesszük, a humusztartalom és a szerves szén mennyisége között az alábbi összefüggés állapítható meg (FILEP, 1999):  $Hu\% = \text{szerves C} \times 1,72$ . Ezen összefüggésre alapozva számítottam ki a mért humusztartalom alapján a talaj szénkészletét.

A számítás menete a következő volt:

- 1. kiszámítottam 1 ha, azaz 10000 m<sup>2</sup> területen a talaj 30 cm-es (0,3 m) rétegének a térfogatát:  $10000 \times 0,3 = 3000 \text{ m}^3$ ,*
- 2. kiszámoltam 3000 m<sup>3</sup> talaj tömegét, úgy hogy a térfogatot (m<sup>3</sup>) megszoroztam a talaj térfogattömegével ( $\text{g cm}^{-3} = \text{t m}^{-3}$ ):  $3000 \text{ m}^3 \times 1,59 \text{ t m}^{-3} = 4770 \text{ t}$ ,*
- 3. kiszámoltam a talaj humusztartalmának a tömegét, úgy a talaj tömegét megszoroztam a százalékos humusztartalommal:  $(4770 \times 2,68) / 100 = 127,836 \text{ t}$ ,*
- 4. végül a humusz tömegének széntartalmát számoltam ki:  $127,836 \text{ t} \times 0,58 = 74,14488 \text{ t}$ .*

A fenti számítások alapján tehát a talaj felső 30 cm-es rétegének a szénkészlete 74,1 t ha<sup>-1</sup>.

A 20. táblázat adatai az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával a 20 éves időszakra számított szénkészlet változás mértékét mutatja a talajművelési kísérlet talajában. Az eredeti állapot (1997) hagyományos művelésű, alacsony szervesanyag inputtal jellemezhető, a talaj felső 30 cm-nek szénkészlete hektáronként 28,7 t ha<sup>-1</sup>. A redukált művelésre való áttérés és a megnövelt szervesanyag bevitel eredményeként évi 0,17 t ha<sup>-1</sup> szénkészlet növekedésre számíthatunk, ami az eredetinel kb. 12%-kal magasabb szénkészletet jelent 2017-re.

**20. táblázat:** A talajművelési kísérlet hagyományos művelésű parcellájának talajában bekövetkező becsült szénkészlet-változás a művelési rendszer redukáltra történő változtatásával az IPCC alapértelmezett adatok felhasználásával

Év	Klíma	Talaj típus	Művelés	Input	SOC <sub>ref</sub>	F <sub>LU(0)</sub>	F <sub>MG(0)</sub>	F <sub>I(0)</sub>	SOC (t ha <sup>-1</sup> )
1997	meleg száraz	HAC	hagyományos	alacsony	38	0,82	1,00	0,92	28,7
2017	meleg száraz	HAC	redukált	közepes	38	0,82	1,03	1,00	32,1
<b>Éves változás: 0,17 t ha<sup>-1</sup></b>									

A 21. táblázat adatai a humusztartalomból számított szénkészletből kiindulva mutatják a 20 éves időszakra számított szénkészlet változás mértékét a talajművelési kísérlet talajában. Az így számított szénkészlet hektáronként 55,9 t ha<sup>-1</sup>, ami jóval magasabb az IPCC alapértelmezett adataiból számolténál. A redukált művelésre való áttérés után 20 évvel 62,6 t ha<sup>-1</sup> szénkészlet adódik, ami évi 0,33 t ha<sup>-1</sup> növekményt jelent, természetesen a növekedés mértéke ebben az esetben is 12%.

**21. táblázat:** A talajművelési kísérlet hagyományos művelésű parcellájának talajában bekövetkező becsült szénkészlet-változás a művelési rendszer redukáltra történő változtatásával a humusztartalomból számított szénkészlet (SOC<sub>calc</sub>) felhasználásával

Év	Klíma	Talaj típus	Művelés	Input	SOC <sub>calc</sub>	F <sub>LU(0)</sub>	F <sub>MG(0)</sub>	F <sub>I(0)</sub>	SOC (t ha <sup>-1</sup> )
1997	meleg száraz	HAC	hagyományos	alacsony	74,1	0,82	1,00	0,92	55,9
2017	meleg száraz	HAC	redukált	közepes	74,1	0,82	1,03	1,00	62,6
<b>Éves változás: 0,33 t ha<sup>-1</sup></b>									

Egy másik megközelítésben, azt is meg akartam tudni, hogy vajon mennyiben változna a terület szénkészlete, ha az elmúlt 14 évben (1997-2010) redukált rendszerben művelt talajon hirtelen váltással direktvetéses művelési rendszerre tértek volna át. Feltételezve a szénkészlet-változás egyenletes voltát (évi rendszerességgel mért adatok híján csak ez jöhet szóba) kiszámoltam, hogy 2010-re mennyire gyarapodott az 1997-ben redukált művelésbe vett parcella szénkészlete, s ebből az adatból kiindulva becslést adtam a 2030-ra várható szénkészlet-változásra, amennyiben ezen a területen direktvetést (minimális műveléssel) alkalmaznának az elkövetkező 20 évben. Ezt a számítást az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával végeztem el, a humusztartalomból számított SOC értékkel nem, mivel tendenciájában ugyanazt az eredményt kaptam volna más abszolút értékekkel.

A 22. táblázat adatai az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával azt az esetet jellemzik, ha az elmúlt időszakban (1997-2010) redukált rendszerben művelt talajon hirtelen váltással direktvetéses művelési rendszerre térnének át. Az eredeti állapot (1997) után 14 évvel (jelenlegi állapot) a talaj felső 30 cm-nek szénkészlete hektáronként 31,08 t ha<sup>-1</sup>. A talajművelési rendszer direktvetésessé (no-till) történő megváltoztatása után 20 évvel már 34,3 t ha<sup>-1</sup> szénkészletre számíthatunk, ami az eredetinel kb. 12%-kal magasabb szénkészletet jelent 2017-re.

**22. táblázat:** A talajművelési kísérlet redukált művelésű parcellájának talajában bekövetkező becsült szénkészlet-változás a művelési rendszer direktvetésre történő változtatásával az IPCC alapértelmezett adatok felhasználásával

Év	Klíma	Talaj típus	Művelés	Input	SOC <sub>ref</sub>	F <sub>LU(0)</sub>	F <sub>MG(0)</sub>	F <sub>I(0)</sub>	SOC (t ha <sup>-1</sup> )
1997	meleg száraz	HAC	hagyományos	alacsony	38	0,82	1,00	0,92	28,7
2010	meleg száraz	HAC	redukált	közepes	38	0,82	1,03	1,00	31,08
2030	meleg száraz	HAC	direktvetés	közepes	38	0,82	1,10	1,00	34,3

Amint az a táblázatokból is jól látszik, jelentős különbség van a két megközelítés között, ami felhívja a figyelmet az alapadatok megválasztásának fontosságára. Mivel az ilyen jellegű számításokhoz általában nem állnak rendelkezésre mért adatok, a tapasztalati értéken nyugvó alapértelmezett adatok is jó közelítést adnak és a számítások eredményei tendenciájukban helyesnek tekinthetők. Azonban az alapértelmezett adatok részben vagy egészében mért adatokkal történő helyettesítése az adott területre jobban jellemző eredményeket ad, így mindenképpen javasolható. Ez az IPCC metodikában is létező módszer (Tier 2.), ebben az esetben csak az alapegyenletek használatosak, mind a referencia szénkészlet értékek, mind a faktorok lehetnek specifikusak.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Azok a folyamatok, amelyek a szén oxidációját befolyásolják, igen komplexek. Vizsgálati eredményeim kiegészítő információkat szolgáltatnak a különböző talajművelési és agrotechnikai eljárások valamint klimatikus elemeknek a talaj szén-dioxid-emissziójára kifejtett hatásának pontosításához, tanulmányozásuk feltétlenül aktuálisnak tekinthető és további erőfeszítéseket igényel.

Az általam használt ANAGAS CD 98 és GasAlertMicro5 típusú infravörös gázanalizátorokat alkalmasnak találtam a talajból származó CO<sub>2</sub>-emisszió vizsgálatára. A műszer cellájának szén-dioxiddal való feltöltődése után reális adatok nyerhetők az értékeléshez.

A CO<sub>2</sub>-emisszió mérések egyik problematikus pontja a mérési terület lehatárolása, mivel a vizsgálandó talajfelszín egyenetlen lehet, és a megfelelő izoláció feltétlenül szükséges. Csak a mérési terület minél precízebb és annak jellegzetességeihez minél jobban alkalmazkodó térbeli lehatárolása biztosítja a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának meghatározásához szükséges mérések szabatos kivitelezését. A kifejlesztett keretes (fémkeret + mérőedény) módszerek alkalmasak a legelő (gyeppel borított talajfelszín), illetve más, mezőgazdasági művelés alatt álló talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának mérésére.

Kimutattam, hogy félóránál hosszabb inkubációs időre a koncentráció-különbségen alapuló vizsgálatoknál sincs szükség, mert ennyi idő megfelelő a gázkibocsátás jellemzésére, valamint hosszabb időtartam alatt már nem a természetközeli állapotot modelleznénk.

A CO<sub>2</sub>-emisszió mérésekkel és a labilis szervesanyagok meghatározásával igazoltam, hogy a redukált művelési mód, a mérsékelt talajbolygatás révén a kiegyensúlyozottabb talajélet kialakulásában jelentős szerepet játszik. A növekvő légköri szén-dioxid-koncentráció klímaváltozásban betöltött szerepének miatt, javasolom a talajok szén-dioxid-kibocsátását alacsony szinten tartó talajvédő művelési mód alkalmazását, valamint a hagyományos műveléseknél a felszín lezárását, illetve a talajmunkák jó minőségű kivitelezését.



A hozzáadott anyagok, mint például a szerves trágyák, komposztok, talajkondicionáló szerek élénkítik a talajéletet, ezt a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának növekedésével, mint a talajtermékenység számszerűsítésének eszközével bizonyítottam.

Kimutattam a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött nagy jelentőségű szerepét. A mérési eredmények azt bizonyították, hogy az általam beállított kísérleti feltételek között és az adott talajon az aktív, fejlődő növényállományokban az összes kibocsátott CO<sub>2</sub>-mennyiség akár 60-70%-ának is a gyökérlégzés a forrása.

A talajhőmérséklet és a talajnedvesség tartalom a talajélet szabályozó szerepét is vizsgáltam. Az eredmények azt mutatják, hogy a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásának fő limitáló tényezője a talajnedvesség és a talajhőmérséklet. A CO<sub>2</sub>-emisszió napi menetét tekintve is a hőmérséklet a meghatározó tényező.

Vizsgálataimmal adatokat szolgáltatottam a talajhasználat és a szénkészlet változás összefüggéseinek feltárásához. Az IPCC metodikája és módszertana alapján különböző talajművelési és klíma scenáriókat állítottam fel, meghatároztam a hazai szántó területek talajainak legfelső 30 cm-ében szénkészlet változását a 2006-os évre.

A hagyományos, forgatásra alapozott talajművelési rendszer és a talajvédő művelési rendszer vizsgálatából származó adatok alapján megállapítottam, hogy a direktvetés a szénkészlet megőrzése érdekében hatékonyabb talajművelési rendszer a hagyományossal szemben. A művelési rendszer megváltozásának hatására a talaj szénkészletében bekövetkező változásokra vonatkozó számításaim eredményei arra engednek következtetni, hogy a talajművelés szerepe döntő, hatásainak vizsgálata a fenntartható mezőgazdaság szempontjából aktuális kérdés.

A kutató munkám során használt IPCC módszerrel viszonylag jól becsülhető a talaj szénkészlete, illetve annak változása. Igazoltam, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.

## 6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A szabadföldi CO<sub>2</sub>-emisszió mérések egyik problematikus pontjának, a mérési terület lehatárolásának megoldására új eszközt fejlesztettem ki. Igazoltam, hogy a keretes (fémkeret + mérőedény) módszer eszközei alkalmasak a különböző felszínű talajok mérési területének lehatárolására. Kimutattam, hogy 30 percnél hosszabb inkubációs időre a koncentráció-különbségen alapuló vizsgálatoknál nincs szükség, mert ennyi idő megfelelő a gázkibocsátás jellemzésére, valamint hosszabb időtartam alatt már nem a természet közeli állapotot modelleznénk.

2. Szántóföldi mérésekkel igazoltam, hogy a mérsékelt talajbolygatás és a mikrobiológiai aktivitás szempontjából kedvezőbb talajállapot miatt, a redukált művelési mód a konvencionálishoz képest időben kiegyensúlyozottabb, de mértékében magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót eredményezett.

3. Az általam vizsgált, a talaj termékenységét növelő anyagok, a hígtrágya, komposzt és talajkondicionáló szer élénkítik a talajéletet, a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának növekedését eredményezik, amelynek számszerűsítésével ezen hatásukat bizonyítottam.

4. Statisztikailag igazoltam a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött szerepét. A mérési eredményeim alapján számszerűsítettem a növényvel borított talajfelszín nagyobb CO<sub>2</sub>-kibocsátását a növényborítás nélküli felszínhez képest.

5. A talajhőmérséklet és a talajnedvesség tartalom a talajéletet szabályozó szerepét is bebizonyítottam. Közepes erősségű kapcsolatot sikerült statisztikailag igazolnom a feltalaj nedvességtartalma illetve CO<sub>2</sub>-kibocsátása között. A levegő és a talaj hőmérsékletének változása valamennyi kezelésben korrelációt mutatott a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójával. 24 órás méréssel képet kaptam CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájáról és megállapítottam, hogy annak nagyságrendjét tekintve a hőmérséklet a meghatározó tényező.

6. Megállapítottam, hogy az IPCC módszerrel jól becsülhető a talaj szénkészlete, illetve annak változása. Igazoltam, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.

## **7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA**

A 6. pontban ismertetett új tudományos eredmények közül az alábbiakat tartom a gyakorlatban is hasznosíthatónak:

1. A szántóföldi illetve gyepterületen végzett CO<sub>2</sub>-emissziós mérések egyik problematikus pontja a mérési terület lehatárolása, mivel a vizsgálandó talajfelszín egyenetlen lehet, és a megfelelő izoláció feltétlenül szükséges. Az értekezésben bemutatott keretes (fémkeret + mérőedény) módszerek alkalmasak a legelő (gyeppel borított talajfelszín), illetve más, mezőgazdasági művelés alatt álló talajok felszínének lehatárolásához a CO<sub>2</sub>-emissziójának meghatározásához. A koncentrációkülönbségen alapuló CO<sub>2</sub>-emissziós vizsgálatoknál 30 perces inkubációs idő elegendő a gázkibocsátás jellemzésére.

2. A vizsgált, a talaj termékenységét növelő anyagok, a hígtrágya, a juhtrágya alapú komposzt és talajkondicionáló szer élénkítik a talajéletet, a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának növekedését eredményezik, amelynek számszerűsítésével, ezen hatásukat bizonyítottam, mivel ezek az anyagok az ökológiai gazdálkodásban is használhatóak.

3. Az IPCC módszerrel jól becsülhető a talaj szénkészlete, illetve annak változása. Számításaim igazolják, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az értekezés alapjául szolgáló vizsgálatokat a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézetében végeztem 2005 és 2012 között. Kutatómunkám során olyan kérdéseket határoztam meg, amelyek megválaszolásával további, illetve új információk szerezhetők a talajban lejátszódó mikrobiológiai folyamatokról, a talajhasználattól függő CO<sub>2</sub>-emisszió és széntartalom dinamikájáról és sajátosságairól.

A CO<sub>2</sub>-emisszió méréseknél a terület lehatárolásának megoldására bemutattam azokat az eszközöket, illetve azt a munkafolyamatot, mely során az eszközöket az egyes mérőhelyek sajátosságaihoz igazítottam. A keretes (fémkeret + mérőedény) módszer eszközei alkalmasak a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának mérésére. Az inkubációs térben a gázkoncentráció alakulásának nyomon követésével, illetve az időbeli telítődés folyamatának vizsgálatával az optimális inkubációs időtartamot határoztam meg. Bebizonyítottam, hogy 30 percnél hosszabb inkubációs időre a koncentrációkülönbségen alapuló vizsgálatoknál nincs szükség.

A különböző talajművelési módok szén-dioxid-emisszióban játszó szerepének vizsgálatához az intézet H-1 jelű tábláján szabadföldi, illetve eredeti szerkezetű, bolygatatlan mintákon tenyészedenyes körülmények között végeztem méréseket. A legtöbb esetben az emissziós méréseket tarlón végeztem, betakarítás után. A vizsgált hét év időjárása igen változatos volt, kiváló alkalmat teremtve az évek közötti összehasonlításhoz. A betakarítás, szárazzás magasabb emisszió értékeket eredményeztek közvetlenül a beavatkozások után, viszont tarlón, amikor már nem végeztünk beavatkozásokat, a redukált parcella talajára kiegyenlítettebb emisszió értékek voltak jellemzőek. A tenyészedenyes kísérletben a redukált művelésű talajoszlopok CO<sub>2</sub>-emisszió értékei magasabbak voltak, mint hagyományos művelés esetén, vagyis a redukált talajművelés során kedvezőbb feltételek alakulnak ki a mikrobiológiai aktivitáshoz.

A talajok szervesanyagban való dúsítása élénkíti a talajokban lejátszódó mikrobiológiai folyamatokat. Ennek kimutatására hígtrágyával kezelt talajon is vizsgáltam a CO<sub>2</sub>-emisszió alakulását. A trágyával kezelt területek emissziója minden esetben magasabb a

kezeletlenhez képest. Ugyanígy a talajkondicionáló szer a talaj mikro- és makroorganizmusainak aktivitását növelő hatását is a CO<sub>2</sub>-emissziós mérésekkel igazoltam. Megállapítottam, hogy a talajkondicionáló szer hatása redukált művelésű talajban hamarabb érvényesül, mint a hagyományos művelésű területen. Méréseket végeztem különböző komposzt dózissal kezelt és a kezeletlen parcellákon gyepterületen. A kezeletlenhez képest megemelkedett CO<sub>2</sub>-emisszió jellemezte a komposzttal kezelt parcellák talaját, ami fokozott gyökérlégzésre, illetve mikrobiológiai aktivitásra utal.

A levegő és a talaj hőmérséklete, a talaj borítottsága, valamint a talaj nedvességállapota és a talajok CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggéseket az átfolyóvízes liziméterekben beállított kísérletekben vizsgáltam. Statisztikailag igazolható különbséget tapasztaltam a növényborításos edények talajának CO<sub>2</sub>-emissziójában a növényborítás nélküli felszínéhez képest. A talaj nedvességtartalma és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggéseket elemezve közepes erősségű kapcsolatot sikerült statisztikailag igazolnom a két paraméter között. A levegő hőmérsékletének változása valamennyi kezelésben korrelációt mutatott a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójával.

A CO<sub>2</sub>-kibocsátás napi dinamikájának vizsgálatához 24 órán keresztül végeztem méréseket. A legalacsonyabb emisszió értékeket a délelőtti órákban tapasztaltam. A határreteg ekkor jól átkevert, vagyis az éjszaka felhalmozódott (és kizárólag a mérőhelyre és közvetlen környezetére jellemző) többlet szén-dioxid ekkorra elkeveredik a határretegben. A növényvel borított egységekben a délutáni és az éjszakai órákban nagyobb emisszió értékeket kaptam, ami a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött nagymértékű arányát mutatja.

Az IPCC metodikája és módszertana alapján különböző talajművelési és klíma scenáriókat állítottam fel, meghatároztam a hazai szántó területek talajainak legfelső 30 cm-ében szénkészlet változását. Megállapítottam, hogy a direktvetés a szénkészlet megőrzése érdekében hatékonyabb talajművelési rendszer a hagyományossal szemben. Az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával a 20 éves időszakra számítottam a szénkészlet változás mértékét a karcagi talajművelési kísérlet talajában. Igazoltam, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.

## 9. SUMMARY

Investigations providing the basis of this dissertation were carried out in Karcag Research Institute of CAS, University of Debrecen between 2005 and 2012. During my research work I determined questions for that the answers provide additional or new information on the microbial processes taking place in the soil, the CO<sub>2</sub> emission dependent on soil use and the dynamics of carbon content and characteristics.

I introduced the tools and the work process suitable for the spatial delimitation of the measurement area. The tools were adjusted to the specific characteristics of each measuring place. The tools of the frame + bowl method are suitable to determine the CO<sub>2</sub> emission of the soil. The optimal incubation term was determined by the evolution of the gas concentration in the incubation space and analysis of the temporal saturation process. It has been proved that no more than 30 minutes incubation time is needed for the examinations based on the measurement of concentration difference.

My measurements were carried out under field circumstances and in plots containing undisturbed samples in order to examine the effect of different soil tillage methods on carbon dioxide emission from the soil. In most cases, the emission measurements were carried out on stubbles after harvest. In the investigated seven years the weather has been very diverse so it created an excellent opportunity for comparison between years. Increased emission level was induced immediately after the cultivation intervention but on the stubble on the plot without disturbance higher emission values were characteristic. CO<sub>2</sub> emission levels were higher on the reduced cultivated soil columns than on conventional tillage, because reduced tillage created favourable conditions (structure, air permeability, organic matter content) for microbiological activity.

Enriching the soil with organic matter stimulates soil microbial processes. In order to quantify this, I studied the evolution of CO<sub>2</sub> emission on soil treated with thin manure. Higher emissions were detected from the manure-treated fields in each case as compared to the untreated plots. Similarly, the soil conditioner increases the activity of soil micro- and macro organisms, this effect was proven by CO<sub>2</sub> emission measurements. I found that the effect of soil conditioner prevails faster in the reduced

cultivation system than in the conventional tillage system. Measurements were performed in grassland plots treated with different compost doses. In the treated plots I detected higher values compared to the untreated plot. Nevertheless it is obvious that organic and inorganic matters added to the soil have significant influence on the microbiological activity in the soil.

The correlation between air and soil temperature, soil coverage and soil moisture content and the soil CO<sub>2</sub> emissions was examined in a simple drainage lysimeter experiment. Statistically significant difference was found in the CO<sub>2</sub> emissions of the soil of the plant cover units compared to the lysimeter units with bare soil surface. The correlation between soil moisture content and CO<sub>2</sub> emissions are analyzed statistically with moderate correlation between the two parameters. The change of the air temperature was correlated with soil CO<sub>2</sub> emissions of each treatment.

To examine the time dynamics of the CO<sub>2</sub> emissions measurements for 24 hours were carried out. The lowest emission values were observed in the morning. In the plant covered units higher emission values were observed in the afternoon and at night, which shows that the root respiration has big role in the CO<sub>2</sub> emission of the soil.

According to the IPCC methodology and methods different cultivation and climate scenarios were set up to determine the change of soil carbon stocks of the top 30 cm layer in the arable lands of Hungary. I established that the direct seeding system is more efficient compared to the conventional tillage system regarding the preservation of soil the carbon stocks.

Using the default data of the IPCC method I quantified the change in carbon stocks of the soil of the soil tillage experiment at Karcag for a 20-year-long period. I could prove that using this method it is possible to determine the carbon stocks not only at national, but even at plot level.

## 10. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

1. ÁCS, F. – BREUER, H. – TARCZAY, K. - DRUCZA M.: 2005. A talaj és az éghajlat közötti kapcsolat modellezése. *Agrokémia és talajtan*. 54. (2005) 3–4 257–274.
2. ALEXANDER, M.: 1974. *Advances in Applied Microbiology*. 18, 1.
3. AMBUS, P. – CLAYTON, H. – ARAH, J.R.M. – SMITH, K.A. – CHRISTENSEN, S.: 1993. Similar N<sub>2</sub>O flux from soil measured with different chamber techniques. *Atmos. Environ.* 27A:121-123.
4. AMBUS, P. – ROBERTSON, G.P.: 1998. Automated near-continuous measurement of carbon dioxide and nitrous oxide fluxes from soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:394:400.
5. ANDERSON J. P. E. 1982. Soil respiration. 831–871. p. In: Page A. L., Miller R. H., Keeney D. R. (Szerk.): *Methods of Soil Analysis. Part 2*. Madison: Soil Science Society of America, 1692.
6. ANDERSON, J.P.F. – DOMSCH, K.H.: 1975. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Canadian Journal of Microbiology*. 21, 314.
7. ANDRÉN, O. – LINDENBERG, T. – PAUSTIAN, K. – ROSSWALL, T.: 1990. *Ecology of arable lands – Organisms, Carbon and Nitrogen Cycling*. Munksgaard Int., Copenhagen.
8. ÁNGYÁN, J. – MENYHÉRT, Z.: 1997. *Alkalmazkodó növénytermesztés, ésszerű környezetgazdálkodás*. Budapest, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Ház, 414.p.
9. BAJGAI, Y. – KRISIANSEN, P. – HULUGALLE, N. – MCHENRY, M. 2011. A laboratory study of soil carbon dioxide emissions in a vertisol and an alfisol due to incorporating corn residues and simulating tillage. *Journal of Organic Systems* 6 (3) 20-26.
10. BALESSENT, J. – MARIOTTI, A. – BOISGONTIER, D.: 1990. Effects of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from <sup>13</sup>C abundance in maize fields. *J. Soil Sci.* 41:584-596.



11. BALOGH, J. – FÓTI, SZ. – JUHÁSZ, A. – CZÓBEL, SZ. – NAGY, Z. – TUBA, Z.: 2005.: Seasonal CO<sub>2</sub>-exchange variations of a temperate semi-desert grassland in Hungary. *Photosynthetica*, 43 (1) 107-110. p.
12. BÁNDI, GY. – FARAGÓ, T. – LAKOSNÉ HORVÁTH, A.: 1994. Nemzetközi környezetvédelmi és természetvédelmi egyezmények. Budapest, KVTVM. 1994..80. p
13. BANKÓ, L. –HOFFMANN, S. –DEBRECZENI, K.: 2007. A talaj forróvíz-oldható C-frakciójának vizsgálata trágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 56 (2007) 2. 271-284. p.
14. BANKÓ, L.: 2008. A talajtermékenység egyes tényezőinek vizsgálata szerves és műtrágyázási tartamkísérletben. [http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2009/Banko\\_Laszlo\\_theses\\_hu.pdf](http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2009/Banko_Laszlo_theses_hu.pdf)
15. BARBER, D.A. – STANDELL, C.J.: 1977. *Agr. Res. Counc. Letcombe Lab. Ann. Rep. for 1976* 58.
16. BARÓTFI I.: 1991. Környezettechnika kézikönyv. Környezettechnikai Szolgáltató Kft., Budapest.
17. BEARE, M.H. – HENDRIX, P.F. – COLEMAN, D.C.: 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:777-786.
18. BIELEK, P.: 2001. CO<sub>2</sub> released from different soil conditions. In: Garcia-Torres, L., Benites, J., Martinez-Vilela, A., (eds.) 2001. *Conservation Agriculture, a worldwide challenge. Proc. of Conf.* 151-154.
19. BIRKÁS, M. – GYURICZA, CS.: 2004. A talajhasználat és a klimatikus hatások kapcsolata. In: *Talajhasználat, Műveléshatás, Talajnedvesség.* (Szerk.: Birkás M. – Gyuricza Cs.). Quality-Press Nyomda & Kiadó Kft. p. 10-47.
20. BIRKÁS, M. – GYURICZA, CS.: 2004. *Talajhasználat, műveléshatás, talajnedvesség.* Szent István Egyetem, Gödöllő.
21. BIRKÁS, M. – KRISZTIÁN, J. – NAGY, J.: 1999. *Talajhasználat és talajvédelem, Növényterm. Tud. Nap, 1999.01.26. Kiadvány, „Magyarország az ezredfordulón” Startégiai Kutatások az MTA-n. Növénytermesztés és környezetvédelem* (szerk. Ruzsányi L., Pepó P.) MTA Agr. Tud. Oszt., Budapest, 19-29.p.

22. BIRKÁS, M. – JOLÁNKAI, M. – STINGLI, A. – BOTTLIK, L., 2007: Az alkalmazkodó művelés jelentősége a talaj- és klímavédelemben. "Klíma-21" füzetek 51, 34-47.
23. BIRKÁS, M.: 2001. A talajhasználat. A talajhasználati módok értékelése. In: Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban (szerk.: Birkás M.) Akaprint Kiadó, Budapest, 99-120.p.
24. BIRKÁS, M.: 2002. Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Akaprint Kiadó és Nyomda, Budapest.
25. BIRKÁS, M.:1993. Talajművelés. In: Földműveléstan. 1993. Szerk. Nyiri L. Bp. Mezőgazda Kiadó, 96-194.
26. BOCZ, E.: 1992. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
27. BOONE, R.D. – NADELHOFFER, K.J. – CANARY, J.D. – KAYE, J.P.: 1998. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature* 396: 570-572.
28. BOWDEN R., – NEWKIRK K.M., – RULLO G.M. 1988. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions. *Soil Biol. Biochem.* 30 (12) 1591-1597
29. BRUCE, K.D. – JONES, T.H. – BEZEMER, T.M. – THOMPSON, L.J. – RITCHIE, D.A.: 2000. The effect of elevated atmospheric carbon dioxide levels on soil bacterial communities. *Global Change Biol.* 6: 427-434.
30. BRUCE, R.R. – LANGDALE, G.W. – WEST, L.T. – MILLER, W.P.: 1995. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 654-660.
31. BUCHANAN, M.A.: 1990. Carbon and phosphorus cycling in no-till and reduced chemical input maize agroecosystems: Experimental and simulation analysis. North Carolina State Univ., Raleigh.
32. BUCHELE, W.F. – COLLINS, E.V. – LOVELY, W.G.: 1955. Ridge farming for soil and water control. *Agric. Eng.* 36, 324-329.
33. BUNT, J.S. – ROVIRA, A.D., 1954: Oxygen uptake and carbon dioxide evolution of heatsterilized soil. *Nature* 173, 1242.
34. BURKE, I.C. – LAURENROTH, W.K. – MILCHUNAS, D.G.: 1997. Biogeochemistry of managed grasslands in central North America. [In: Paul E.

- A. et al. (eds.) Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America.] Boca Raton: CRC Press, 414. 85-102.
35. CAF: 2007. A talajművelő gépek feladatai, lehetőségei és műszaki megoldásai a számítógéppel támogatott mezőgazdaságban. OTKA Nyilvántartási szám: T 043355. Budapest.
  36. CARDON, Z.G. – HUNGATE, B.A. – AMBARDELLA, C.A. – CHAPIN, III F.S. – FIELD C.B. – HOLLAND, E.A. – MOONEY, H.A.: 2001. Contrasting effects of elevated CO<sub>2</sub> on old and new soil carbon pools. *Soil Biology and Biochemistry*. 33 365-373. p.
  37. CHAPIN, III F.S. – MATSON, P.A. – MOONEY H.A.: 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology. New York: Springer-Verlag, 484 p.
  38. CHENG, X. – AN, S. – CHEN, J., LI, B. – LIU, Y. – LIU, S.: 2007. Spatial relationships among species, above-ground biomass, N, and P in degraded grasslands in Ordos Plateau, northwestern China. *Journal of Arid Environments*, 68. 652-667.
  39. COLE C.V.: 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change. 1995. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emission IPCC Working Group 11, Chapter 23, Washington, D.C.
  40. COSH, M.H. – BRUTSAERT, W.: 2003. Microscale structural aspects of vegetation density variability. *Journal of Hydrology*, 276. 128-136.
  41. DALAL, R.C. – WANG, W. – ROBERTSON, G.P. – PARTON, W.J.: 2003. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review, *Australian Journal of soil Research*, 41, 165-195.
  42. DAVIDSON, E.A. – JANSSENS, I.A.: 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440: 165-173.
  43. DE JONG, E. – SCHAPPEART, H.J.V. – MACDONALD, K.B., 1974: Carbon dioxide evolution from virgin and cultivated soil as affected by management practices and climate. *Can. J. Soil. Sci.* 54, 299-307.
  44. DOBOR, L., BARCZA, Z., HLÁSNY, T., HAVASI, Á., 2013. Creation of the FORESEE database to support climate change related impact studies In: Proceedings, International Scientific Conference for PhD Students, March 19-20, 2013, Győr, Hungary
  45. DORAN, J.W.: 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 765-771.

46. DORE, S. – HYMUS, G.J. – JOHNSON, D.P. – HINKLE, C.R. – VALENTINI, R. – DRAKE, B.G.: 2003. Cross validation of open-top chamber and eddy covariance measurements of ecosystem CO<sub>2</sub> exchange in a Florida scrub-oak ecosystem. *Global Change Biol.* 9: 84-95.
47. DOUGLAS, J.: 1977. *Agr. Res. Counc. Letcombe Lab. Ann. Rep. for 1976.* 46.
48. DÖVÉNYI, Z.: 2010. Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
49. DREES, R.L. – WILDING, L.P. – NORDT, L.C.: 2001. Reconstruction of soil inorganic and organic carbon sequestration across broad geoclimatic regions. *Soil carbon sequestration and the greenhouse effect. SSSA Spec. Publ. No. 57.*, 155-171.
50. DREW, M.C. – SAKER, L.R.: 1978. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 29, 201.
51. ECAF: 1999. *Conservation Agriculture in Europe: Environmental Economic and EU Policy Perspectives.* Brussels. 23 p.
52. EDWARD, N.T., 1975: Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. *Proc. Soil Sci. Soc. Am. J.* 39 361-365.
53. EMMETT, B. – BEIER, C. – ESTIARTE, M. – TIETEMA, A. – KRISTENSEN, H.L. – WILLIAMS, D. – PEÑUELAS, J. – SCHMIDT, I. – SOWERBY, A.: 2004. The response of soil processes to climate change: Results from manipulation studies of shrublands across an environmental gradient. *Ecosystems* 7, 625-637.
54. ETANA, A. – HAKANSSON, I. – ZAGAL, E. – BUCAS, S.: 2001. Effects of tillage depths on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils. Kézirat.
55. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY.: 1998. *Soil Degradation*, chapter 11, p.23 1-246.; chapter 2 climate change, p. 37-59. In: *Europe's Environment: The Second Assesment Elsevier Science Ltd.*, pp.293.
56. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY.: 2005. *European environment outlook.* Luxemburg: OOPEC, 2005. 87. (EEA report; 4/2005)
57. FANG, C. – MONCRIEFF, J.B.: 1998. An open-top chamber for measuring soil respiration and the influence of pressure difference on CO<sub>2</sub> efflux measurement. *Functional Ecology* 12, 319-325.

58. FARAGÓ T., 2013: Nemzetközi klímapolitikai együttműködés, Magyarország részvétele és feladatai, Grotius, 84.p.
59. FARAGÓ, T.. 1998. Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése: kiotói jegyzőkönyv az ENSZ éghajlatváltozási keretegyezményéhez és a hazai feladatok. In.: Fenntartható fejlődés és környezet. Fenntartható Fejlődés Bizottság. Budapest. KTM Fenntartható Fejl. Biz. 1998. p. 96
60. FARAGÓ, T.: 2004. Globális környezeti problémák és a riói megállapodások végrehajtásának helyzete. (Szerk.: Faragó T.-Kerényi A; Összeáll. Ángyán J. et al.) Környezet és Vízügyi Minisztérium; Debrecen. Debreceni Egyetem, 2004. p.166.
61. FARAGÓ, T. – GYULAI, I.: 1994. Környezet és társadalom közös jövője: Az ENSZ Környezet és Fejlődés Konferenciáján elfogadott „Feladatok a XXI. Századra” című program áttekintése és megvalósításának első eredményei. Budapest, FFB.1994.p.121.
62. FARKAS, Cs.: 2004. A művelés és a talajállapot hatása a talaj nedvességforgalmára. In: Talajhasználat. Műveléshatás. Talajnedvesség. (Szerk.: Birkás M. – Gyuricza Cs.) Szent István Egyetem. 61-81. p.
63. FEHÉR, D.: 1954. Talajbiológia. Akadémiai Kiadó, Budapest.
64. FIERER, N. – SCHIMEL, J.: 2003. A proposed mechanism for the pulse in carbon dioxide production commonly observed following the rapid rewetting of a dry soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 798-805
65. FILEP, GY. 1999 Talajtani alapismeretek I. 79.p.
66. FOGARASSY, Cs. – LUKÁCS, Á. – BÖRÖCZ, M.: 2008. Basic structure of CO<sub>2</sub> emission management practice in agricultural land use. Cereal Research Communications Vol.36. 327-330.p.
67. FOLLETT, R.F. – PETERSON, G.A.: 1988. Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:141-147.
68. FRANZLUEBBERS, A. – HANEY, R. – HONEYCUTT, C. – SCHOMBERG, H. - HONS, F.: 2000. Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 613-623
69. FÜLEKY Gy. – CZINKOTA I.: 1993 Hot Water Percolation (HWP): - A New Rapid Soil Extraction Method. Plant and Soil, 157, 131-135.

70. GALLOWAY, J.N. – ABER, J.D. – ERISMAN, J.W. – SEITZINGER, S.P. – HOWARTH, R.W. – COWLING, E.B. – COSBY, B.J.: 2003. The nitrogen cascade, *BioScience*, 53, 341-356
71. GHANI, A. – DEXTER, M. – PERROTT K. W.: 2002. Hot-water carbon is an integrated indicator of soil quality. Symposium 32.WCSS, Thailand 1650.p
72. GIUFFRÉ, L. – HEREDIA, O. – PASCALE, C. – COSENTINO, D. – CONTI, M. – SCHNUG, E.: 2003. Land use and carbon sequestration in arid soils of northern Patagonia (Argentina). *Landbauforschung Völkenrode*, 53, 13-18.
73. GOUDRIAAN, J. – UNSWORTH, M.H.: 1990. In: Lægheid, M. - Bøckman, O.C. - Kaarstad, O.: *Agriculture, Fertilizers and the Environment*. (1999) CABI Publishing. University Press, Cambridge, UK, 67.
74. GRANT, R.F. – ROCHETTE, P.: 1994. Soil microbial respiration at different water potentials and temperatures: theory and mathematical modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58 :1681-1690.
75. GYŐRI, D., 1984. *A talaj termékenysége*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 254.
76. GYURICZA, CS. – BIRKÁS, M. – JÓRI, J.I.: 2002. Művelési rendszerek hatása a talaj szén-dioxid kibocsátására. *Tud. Konf. Debrecen*.
77. GYURICZA, Cs. – FÖLDESI, P. – MIKÓ, P. – UJJ A.: 2005. Carbon dioxide emission from arable lands. *Cereal Research Communications* Vol. 33. No. 1. 89-92. p.
78. GYURICZA, CS. – MIKÓ, P. – FÖLDESI, P. – UJJ, A. – KALMÁR, T.: 2006. Investigation of green manuring plants as secondary crop improving unfavorable field conditions to efficient food production. - *Cereal Research Communications*, Vol. 34 No. 1. 191-195.p.
79. GYURICZA, CS.: 2000. Az értékmegőrző és hagyományos talajművelés egyes fizikai és biológiai hatásának értékelése. *Doktori értekezés*. Gödöllő.
80. GYURICZA, CS.: 2004. A szántóföldi talajhasználat és az üvegházhatás összefüggései mért adatok alapján. In: *Talajhasználat, Műveléshatás, Talajnedvesség*. (Szerk.: Birkás M. – Gyuricza Cs.). Quality-Press Nyomda & Kiadó Kft. pp. 47-61.
81. HAJDÚ, V.: 2005. Kibocsátási jogok és emisszió kereskedelem. *Gazdasági statisztika*. 2005. 17.2. p.18-31.

82. HANSON, P.J. – EDWARDS, N. – GARTEN, C.T. – ANDREWS, J.A.: 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry* 48: 115-146.
83. HARROD, T.R.: 1994. Runoff, soil erosion and pesticide pollution in Cornwall. In: Rickson, R.J. (edit.) 1994. Conserving soil resources, CABI, Oxford, U.K.
84. HARROLD, L.L. – EDWARDS, W.M.: 1974. No-tillage system reduces erosion from continuous corn watersheds. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 17, 414-416.
85. HASZPRA L. – BARCZA Z., 2001: A magyarországi légkör/bioszféra széndioxid fluxus mérések eredményei. *Fizikai Szemle* 2001/2. 50.o.
86. HEINEMEYER, A. – MCNAMARA, N.P.: 2011. Comparing the closed static versus closed dynamic chamber flux methodology: Implications for soil respiration studies. *Plant and Soil* , 296. 1-5 p.
87. HENDRIX, P.F. – PARMELEE, R.W. – CROSSLEY, Jr., D.A. – COLEMAN, D.C. – ODUM, E.P. – GROFFMAN, P.M.: 1986. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. *Bio-Science* 36:374-380.
88. HOLLAND, E.A. – COLEMAN, D.C.: 1987. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. *Ecology* 68:425-433.
89. HOUGHTON, J.: 1997. In: Lægreid, M. - Bøckman, O.C. - Kaarstad, O.: *Agriculture, Fertilizers and the Environment.* (1999) CABI Publishing. University Press, Cambridge, UK., 65.
90. HOUGHTON, R.A. – HOBBIE, J.E. – MELILLO, J.M. – MOORE, B. – PETERSON, B.J. – SHAVER, G.R. – WOODWELL, G.M.: 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *Ecol. Monogr.* 53: 235-262.
91. HUND-RINKE, K. – SIMON, M.: 2008. Bioavailability assessment of contaminants in soils via respiration and nitrification tests. *Environ. Pollut.* 153(2):468-75
92. HUSZTINÉ, B. K.: 2005. Some commercial questions of the CO<sub>2</sub> emission. *Cereal Research Communications.* 2005. 33. 1. 221-224.
93. HUTCHINSON, G.L. – MOISER, A.R.: 1981. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Sci., Soc. Am.* 45: 311-316.

94. HUZSVAI, L. – RÁTONYI, T. – MEGYES, A. – SULYOK D.: 2006. The effect of reduced tillage methods in physical characteristics of the soil and organic matter cycles. *Cereal researches Communications* 33 (1) 399-402.p.
95. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.: 2001. The road from Kyoto: Current CO<sub>2</sub> and transport policies in the IEA.OECD. 2001. p.169
96. IPCC, 2007: IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report.
97. IPCC, 2011: Tematikus Jelentés a szélsőséges éghajlati események kockázatáról és kezeléséről. Döntéshozói összefoglaló. IPCC, 2011.
98. ISAKSEN, I.S.A. – HESSTVEDT, E. – STORDAL, F.: 1980. *Nature*. 283, 189.
99. ISAKSEN, I.S.A. – STRODAL, F.: 1981. *Ambio*, 10, 9.
100. ISERMANN, K., 1994: Agriculture's share in the emission of trace gases affecting the climate and some cause-oriented proposals for sufficiently reducing this share. *Environmental Pollution* 83, 95-111.
101. KÁTAI J.: 1992. Kölcsönhatások a talajtulajdonságok, néhány agrotechnikai eljárás és a mikrobiológiai aktivitás között. Kandidátusi értekezés. Debrecen.
102. KÁTAI J.: 2008. Talajtan, talajökológia. 148-163.p.
103. KE, X. – WINTER, K. – FILSER, J.: 2005. Effects of soil mesofauna and farming management on decomposition of clover litter: a microcosm experiment. *Soil Biol. Biochem.* 37: 731-738.
104. KEULEN, van H. - LAAR, – van H.H. - LOUWERSE, W. – GOUDRIAAN, J.: 1980. *Experientia*, 36, 786.
105. KIRSCHBAUM, M.U.F.: 2004. Soil respiration under prolonged soil warming: are rate reductions caused by acclimation or substrate loss? *Global Change Biology* 10, 1870-1877.
106. KOÓS, S. – NÉMETH, T.: 2007. Relation between carbon –dioxide fluxes and nitrogen content of soil in a long-term fertilization experiment. *Cereal Research Communications* Vol. 35. No. 2. 641-644.p.
107. KRÖEL-DULAY, GY. – KALAPOSS, T. – MOJZES, A. (szerk.): 2008. Talaj – vegetáció - klíma kölcsönhatások. Köszöntjük a 70 éves Láng Editet. MTA ÖBKI, Vácrátót. 135-146.
108. LAL, R. – KIMBLE, J.M. – FOLLETT, R.F. – COLE, C.V.: 1998. The potential of U.S. cropland sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Sleeping Bear Press*, 128.



109. LÁNG, I.: 2003. Agrártermelés és globális környezetterhelés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 215.
110. LANGDALE, G.W. – BARNETT, A.P. – LEONARD, R.A. – FLEMING, W.G.: 1979. Reduction of soil erosion by the no-till system in the Southern Piedmont. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 22, 82-86, 92.
111. LI, C.: 1995. Modeling impact of agricultural practices on soil C and N<sub>2</sub>O emissions. In: Lal, R., Kimble, J., Levine, E., Stewart, B.A., (eds.) 1995. *Soil management and greenhouse effect*. Lewis Publishers, 101-112.
112. LINN D.M., –DORAN J.W., 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci Soc Am J.* 48 (1984) 1967-1972
113. LOFTFIELD, N.S. – BRUMME, R. – BEESE, F.: 1992. Automated monitoring of Nitrous oxide and carbon dioxide flux from forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1147-1150.
114. LYNCH, J.M. – PANTING, L.M.: 1980. *Soil Biology and Biochemistry.* 12, 29.
115. MACFAYDEN, A., 1970: Soil metabolism in relation to ecosystem energy flow. In: *Methods of Study in Soil Ecology* (ed. Phillipson, J.), IBP/UNESCO Symp, Paris, 1970, pp 167-172.
116. MANNINGER, G. A. (1957): *A talaj sekély művelése.* (Sajtó alá rend. Manninger I.) Budapest, Mezőgazdasági Kiadó.
117. MARMO, L.: 2008. EU strategies and policies on soil and waste management to offset greenhouse gas emissions. */Waste Management/.* 28: 685-689.
118. MENGEL, K. – E. A. KIRBY.: 1983. *Principles of Plant Nutrition*, 3rd. Ed. Bern.
119. MIELKE, L.N. – DORAN, J.W. – RICHARDS, K.A.: 1986. Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil Till. Res.* 7, 355-366.
120. MIELNICK, P.C. – DUGAS, W.A.: 2000. Soil CO<sub>2</sub> flux in a tallgrass prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, 32 221-228. p.
121. MOSIER, A.R.: 1989. Chamber and isotope techniques. In: Andreae, M.O., Schimel, D.S. (ed.) *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere*. John Wiley & Sons, New York. 175-187.
122. NAGY, Z. – PINTÉR, K. – PAVELKA, M. – DARENOVÁ, E. – BALOGH, J.: 2011. Carbon fluxes of surfaces vs. ecosystems: advantages of measuring eddy

- covariance and soil respiration simultaneously in dry grassland ecosystems. *Bio geosciences* 8, 2523-2534.
123. NAKAYAMA, F.S. 1990. Soil respiration. *Remote Sensing Review*, 5 311-321.
  124. NÉMETH, T.: 2004. Organic matter cycles in agriculture. In: Láng I., Jolánkai M., Kőmíves T. (eds.): *Pollution process in agri-environment*.
  125. NYÍRI, L.: 1993. *Földműveléstan*. (Szerk.: Nyíri L.) Budapest, Mezőgazda Kiadó.
  126. NYIRI, L.: 1997. *Az aszálykárok mérséklése*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
  127. ORCHARD, V.A. – COOK, F.J.: 1983. Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biol. Biochem.* 15: 447-453.
  128. ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2002. *Beyond Kyoto: Energy dynamics and climate stabilisation*. Paris. P.162
  129. ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. (1999). *National Climate Policies and the Kyoto Protocol* Paris. p.87
  130. PAUL, E.A. – CLARK, F.E.: 1989. *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, San Diego.
  131. PAUTIAN, K. – COLE C.V. – SAUERBECK, D. – SAMPSON, N.: 1998. CO<sub>2</sub> mitigation by agriculture: An overview, *Climate Change* 40 (1):135-162.
  132. PAVELKA, M. – ACOSTA, M. – MAREK, M.V. – KUTSCH, W. – JANOUS, D.: 2007. Dependence of the Q<sub>10</sub> values on the depth of the soil temperature measuring point. *Plant & Soil* 292, 171-179.
  133. QUEMADA, M. – CABRERA, M.L.: 1995. Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of four cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 471-477.
  134. RAJKAI, K. –SZÁSZ, G. – HUZSVAI, L. (2004). *Agroökológiai modellek*. Debrecen, Debreceni Egyetem.
  135. RASTOGI, M., –SINGH, S. – PATHAK, H., 2002: Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science* 82, 510-517.
  136. RÁTONYI, T.: 2006. Termőhelyi tényezők szerepe a szántóföldi növénytermesztésben. In: *Földművelés és földhasználat*. (Szerk.: Birkás M.). Mezőgazda Kiadó, Budapest. ISBN 963 286 238 4.
  137. REICH, J.W. – SCHLESINGER, W.H.: 1992. The global carbon-dioxide flux in soil respiration and its relationship to climate. *Tellus* 44 B. 81-89.

138. REICHSTEIN, M. – BEER, C.: 2008. Soil respiration across scales: The importance of a model-data integration framework for data interpretation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171, 344-354.
139. REICOSKY, D.C. – REEVES, D.W. – PRIOR, S.A. – RUNION, G.B. – ROGERS, H.H. - RAPER, R.L.: 1999. Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss. *Soil Till. Res.* 52, 153-165.
140. REICOSKY, D.C.: 1995. Impact of tillage on soil as a carbon sink. In: *Farming for a better environment. A White Paper*, Soil, Water Conservation Soc., Ankeny, Iowa, 67.
141. REICOSKY, D.C.: 1998. Tillage and short-term CO<sub>2</sub> emissions from soils in the laboratory. *Kézirat*.
142. RETH, S. – REICHSTEIN, M. – FALGE, E.: 2005. The effect of the soil water content soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO<sub>2</sub> efflux – A modified model. *Plant and Soil* 268. 21-33.
143. ROCHETTE, P. – FLANAGAN, L.B.: 1997. Quantifying rhizosphere respiration in a corn crop under field conditions. *Soil Science Society of America Journal* 61, 466-474.
144. RUSTAD, L.E. – CAMPBELL, J.L. – MARION, G.M. – NORBY, R.J. MITCHELL, M.J. – HARTLEY, A.E., – CORNELISSEN, J.H.C., – GUREVITCH J., *GCTE NEWS*: 2001. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia* 126, 543-562.
145. SCHIMEL, J.P. – GULLEDGE, J.: 1998. Microbial community structure and global trace gases. *Global Change Biol.* 4: 745-758.
146. SCHNEIDER, S.H.: 1975. *J. Atmos. Sci.* 32, 2060.
147. SIPOS, G.: 1972. *Földműveléstan. Mezőgazdasági Kiadó Budapest*.
148. SKOPP, J. – JAWSON, M.D. – DORAN, J.W.: 1990. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1619-1625.
149. SMITH, K.A. – BALL, T. – CONEN, F. – BOBBIE, K.E. – MASSHEDER, J. – REY, A.: 2003. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science* 54. 779.

150. SMITH, P., –FANG, C., – DAWSON, J. J. C., –MONCRIEFF, J. B. 2008. Impact of global warming on soil organic carbon. *AdvAgron*, 97 1–43.
151. SOUSSANA, J. F. – ALLARD, V. – PILEGAARD, K. – AMBUS, P. AMMAN, C. – CAMPBELL, C., – CESCHIA, E. – CLIFTON BROWN, J., – C.ZÓBEL, S. – DOMINGUES, R. – FLECHARD, C. – FUHRER, J. – HENSEN, A. – HORVATH, L. – JONES, M. – KASPER, G. – MARTIN, C. – NAGY, Z. – NEFTEL, A. – RASCHI, A. – BARONTI, S. – REES, R. M., – SKIBA, U. – STEFANI, P. – MANCA, G. – SUTTON, M. – TUBA, Z. – VALENTINI, R. (2007). Full accounting of the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121 121–134.p.
152. STOYAN, H. – DE - POLLI, H. - BÖHM, S. - ROBERTSON, G. P. - PAUL, E. A.: 2000. Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale. *Plant and Soil*, 222. 1-2. 203-214.p.
153. STUIVER, M.: 1978. *Science*. 199, 253.p.
154. SZABÓ, I. M.: 1992. A mikroorganizmusok aktivitásának szabályozása. A talajművelési eljárások, trágyázási és növénytermesztési rendszerek célszerű kombinációjával. In: Szabó I. M.: *Az általános talajtan biológiai alapjai*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 325-335.p.
155. SZABÓ, I.M.: 1986. *Az általános talajtan biológiai alapjai*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. ISBN 963 232 249 5.
156. SZILI-KOVÁCS, T. – RADIMSZKY, L. – ANDÓ, J. – BICZÓK, GY.: 1993. CO<sub>2</sub> evolution from soils formed on various parent materials in the East-Cserhát mountains (Hungary) during laboratory incubation. *Agrokémia és Talajtan* 42. 140-146.
157. SZILI-KOVÁCS, T.: 2004. Szubsztrát indukált respiráció a talajban. *Agrokémia és Talajtan*, 22 1–22. p.
158. SZILI-KOVÁCS, T. - SZEGI, J.: 1992. Néhány magyarországi talaj mikrobiális biomassza C-tartalmának meghatározása kloroform fumigációs és szubsztrát indukált respirációs módszerrel. *Agrokémia és Talajtan* 41. 227-240.
159. TAMÁS, J.: 2001. *Precíziós Mezőgazdaság*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.

160. TÓTH, E. – FARKAS, Cs. – KOÓS, S: – NÉMETH T.: 2009. A művelés hatása a talaj szén-dioxid kibocsátására I. Laboratóriumi módszertan tesztelése bolygatatlan talajoszlopokon. *Agrokémia és Talajtan* 58 (2009) 2. 215-226.p.
161. TÓTH E. – KOÓS S.: 2006. Carbon dioxide emission measurements in a tillage experiment on chernozem soil. *Cereal Research Communications*. Vol. 34. No. 1. 331-334.
162. TÓTH E. – KOÓS S: - FARKAS Cs.: 2008. A talaj szén-dioxid emissziója és nedvességtartalma közötti kapcsolat vizsgálata talajművelési tartamkísérletben. *Talajvédelem különszám* (szerk.: Simon L.). 175-184.
163. TÓTH, E. – KOÓS, S: - FARKAS, Cs.: 2009. Soil carbon dioxide efflux determined from large undisturbed soil cores collected in different soil management systems. *Biologia* 64/3. 643-647. p.
164. TÓTH, E. – KOÓS, S., – FARKAS, CS., – NÉMETH, T.: 2005. Carbon dioxide emission from calcareous chernozem soil. *Cereal Research Communications* 33, 129-132.
165. TRACY, P. – WESTFALL, D.G. – ELLIOTT, E.T. – PETERSON, G.A. – COLE C.V.: 1990. Carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur mineralization in plow and no-till cultivation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 457-461.
166. TRUMBORE, S.E.: 1997. Potential responses of soil organic carbon to global environmental change. *Colloquium Paper in Proc. Nat. Acad. Sci.* 94: 8284-8291.
167. TUBA, G.: 2013. A talaj fizikai állapotának vizsgálata hagyományos és redukált talajművelési rendszerben. *Agrártudományi Közlemények* 51. Debrecen, 183-186.p.
168. UNGER, P.W.: 1984. Tillage and residue effects on wheat, sorghum, and sunflower grown rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 885-891.
169. VAN der LINDEN, A.M.A.: 1989. Turnover of soil microbial biomass as influenced by soil compaction. cit. Brussaard, L. – Faasen, H.G., 1994.
170. VÁRALLYAI, Gy.: 2005. Talajvédelmi stratégia az Európai Unióban és Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan*, 54. (1-2) 203-216. p.
171. WILDUNG, R.E. – GARLAND, T.R. – BUSCHBOM, R.L.: 1975. The interdependent effects of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root and decomposition in arid grassland soils. *Soil Biol. Biochem.* 7: 199-204.

172. WILSON, J.M. – GRIFFIN, D.M.: 1975. Water potential and the respiration of microorganisms in the soil. *Soil Biology & Biochemistry* 7, 199-204.
173. ZÁGONI, M.: 2004. Az üvegházhatás, a globális felmelegedés és a légköri széndioxid-tartalmi összefüggéséről, "AGRO-21" Füzetek. (Szerk.: Csete L.) AKAPRINT, Budapest, 33, 95-105.
174. ZSEMBELI, J. – NAGY, I.: 2004. Talajművelési technológiák hatása a széndioxid emisszióra. 4. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok. Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Főiskolai Kar, 2004. (ISBN:963 217 059 8, Paper 41.
175. ZSUPOSNÉ, OLÁH Á.: 2003. Talajt javító és kímélő technológiák talajbiológiai tesztelése. Talajjavítás–talajvédelem. Debrecen. 63-70.p.

#### **AZ ONLINE SZAKIRODALOM JEGYZÉKE**

- Internet1.: <http://www.zoldtech.hu/lexikon/szocikkek/uveghazhatas> 2009. 12. 15. 14.26.h
- Internet2.:<http://www.humusz.hu/hirek/talaj-szenmegkotes-csokkentheti-co2-kibocsatast/2783> 2010. 05. 23. 20.12.h
- Internet3.:[http://forestpress.hu/jie\\_hu/index.php?option=com\\_content&task=view&id=13330&Itemid=225](http://forestpress.hu/jie_hu/index.php?option=com_content&task=view&id=13330&Itemid=225) 2010. 05. 23. 21.03.h
- Internet4.: <http://www.kvvm.gov.hu/index.php?pid=1&sid=1&hid=1809> 2012. 09. 23. 15.06.h



Iktatószám: DEENKÉTK/142/2014.  
Tételszám:  
Tárgy: Ph.D. Publikációs Lista

Jelölt: Kovács Györgyi  
Neptun kód: P3CXRO  
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Növénytermesztési- és Kertészeti  
Tudományok Doktori Iskola  
Mtm-t azonosító: 10028403

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (1)

1. Óri N., Füleky G., Zsigrai G., **Kovács G.**: Mútrágyázás és melioratív meszezés hatása egy csernozjom talaj szervesanyag-frakcióinak mennyiségére.  
In: Talajvédelem. Szerk.: Farsang Andrea, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudomány Egyetem, Szeged, 229-236, 2011. 978-963-306-089-6

#### Idegen nyelvű, külföldi könyvrészlet(ek) (1)

2. Tóth, E., Barcza, Z., Birkás, M., Gelybó, G., Zsembeli, J., Bottlik, L., Davis, K.J., Haszpra, L., Kern, A., Kljun, N., Koós, S., **Kovács, G.**, Stingli, A., Farkas, C.: Arable lands.  
In: Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective. Ed.: Haszpra L., Springer, London, 157-197, 2011. 978-90-481-9949-5  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-9950-1>

#### Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (6)

3. **Kovács G.**, Tuba G., Czibalmos R., Csízi I.: Különböző komposztadagok hatása az extenzív gyepek talajának néhány tulajdonságára.  
*Gyepgazdálk. közl.* 2010/11 (2), 9-14, 2013. 1785-2498.
4. Szöllösi N., Juhász C., **Kovács G.**, Zsembeli J.: A növényborítás hatása a talaj CO<sub>2</sub> emissiójának napi dinamikájára.  
*Agrártud. Közl. [Debrecen]*. 42, 97-102, 2010. 1587-1282.



5. Szöllősi N., **Kovács G.**, Zsembeli J.: A talaj szén-dioxid emissziója árpa tarlón.  
*Agrártud. Közl. [Debrecen].* 35, 95-102, 2009. 1587-1282.
6. **Kovács G.**, Szöllősi N.: A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának mérésére szolgáló eszközök mérőhelyspecifikus fejlesztése.  
*Agrártud. Közl. [Debrecen].* 30, 53-58, 2008. 1587-1282.
7. Szöllősi N., Zsembeli J., **Kovács G.**, Juhász C.: A talajművelés szerepe környezetünk CO<sub>2</sub> terhelésében.  
*Talajvédelem. Különszám,* 517-526, 2008. 1216-9560.
8. **Kovács G.**, Zsembeli J.: A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának dinamikája hagyományos és redukált talajművelési rendszerekben.  
*TSF Tud. Közl.* 7 (1), 103-108, 2007.

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (8)

9. Óri, N., Zsigrai, G., **Kovács, G.**: Effect of fertilizers and meliorativ liming on soil organic matter fractions.  
*Növénytermelés.* 60 (Suppl.), 183-186, 2011. 0546-8191.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556>
10. **Kovács, G.**, Óri, N., Tuba, G.: Effects of soil cultivation systems on the factors of the soil carbon cycle.  
*Növénytermelés.* 59 (Suppl.), 37-40, 2010. 0546-8191.
11. **Kovács, G.**: Examination of CO<sub>2</sub> emission of different stubbles on a chernozem soil.  
*J. Agr. Sci., Debr.* 38, 53-59, 2010. 1916-9752. -1916-9760.
12. Zsigrai, G., Zsembeli, J., **Kovács, G.**: Effects of regular under- and over-fertilisation on the chemical features of a chernozem soil and on the yield of winter wheat.  
*Cereal Res. Commun.* 37 (Suppl.), 117-120, 2009. 0133-3720.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/117> CRC.37.2009.Suppl.2
13. **Kovács, G.**, Zsembeli, J., Szöllősi, N., Juhász, C.: Effect of reduced cultivation systems on the CO<sub>2</sub>-emission of the soil.  
*Cereal Res. Commun.* 36 (Suppl.II), 1247-1250, 2008. 0133-3720.

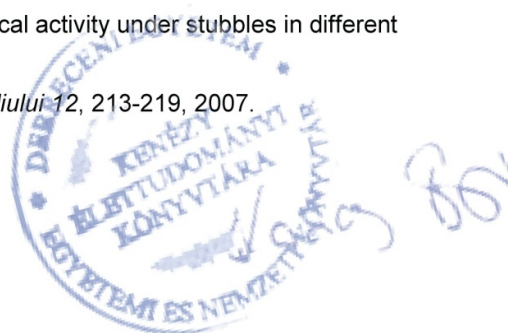




14. Szöllősi, N., Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Juhász, C.: Role of Cultivation systems in environmental pollution by CO<sub>2</sub> emission from the soil.  
*J. Agric. Sci. Suppl.*, 277-282, 2008. 1588-8363.
15. Zsembeli, J., **Kovács, G.**: Dynamics of CO<sub>2</sub>-emission of the Soil in Conventional and Reduced Tillage Systems.  
*Cereal Res. Commun.* 35 (2), 1337-1340, 2007. 0133-3720. -1788-9170.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/CRC.35.2007.2.293>  
IF:1.19
16. Zsembeli, J., Tuba, G., **Kovács, G.**: Development and extension of CO<sub>2</sub> -emission measurements for different soil surfaces.  
*Cereal Res. Commun.* 34 (1), 359-362, 2006. 0133-3720.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/CRC.34.2006.1.90>  
IF:1.037

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (4)

17. Czibalmos, Á., **Kovács, G.**, Zsembeli, J., Czibalmos, R., Tuba, G.: Yields of winter wheat varieties bred at Karcag in different soil cultivation systems.  
*Res. J. Agr. Sci.* 45 (3), 71-80, 2013. 2066-1843.
18. **Kovács, G.**, Tuba, G., Czibalmos, R., Csízi, I.: Effect of different compost doses on some properties of an extensive grassland soil.  
*Res. J. Agr. Sci.* 45 (2), 157-165, 2013. 2066-1843.
19. Szöllősi, N., Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Juhász, C.: CO<sub>2</sub> emission and Long-term prediction of Carbon stock change of the soil in different soil tillage systems.  
*Anal. Univ. Oradea Fac. Protect. Med.* 14, 1139-1150, 2009. 1224-6255.
20. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Tamás, J.: Microbiological activity under stubbles in different soil cultivation systems.  
*Analele Univ. Oradea Fascicula. Protect. Mediului* 12, 213-219, 2007.





Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (7)

21. Zsembeli J., **Kovács G.**: A talaj szén-dioxid emissziója hagyományos és redukált művelésben.  
In: Vyuxzivanje pod v prihranicnej oblasti Slovensko-Maxdarsko. Ed.: Jana Jakubová, Agroökológiai Kutató Intézet, Mihalovce, Slovakia Mihalovce, 95-101, 2012. 978-80-89417-38-4
22. **Kovács G.**: Gazdálkodás és környezetvédelem: Gazdálkodói felmérés az alföldi leader kistérségekben.  
In: Gazdaságosság és/vagy biodiverzitás? : LII. Georgikon Napok. Szerk.: Tóth Gábor, PE Georgikon Kar, Keszthely, [10], 2010. 978-963-9639-39-3
23. Szöllösi N., Zsembeli J., **Kovács G.**, Juhász C.: A talajélet aktivitása különböző talajművelési rendszerekben.  
In: AGTEDU 2009. Szerk.: Belina Károly, Klebniczki József, Lipócziné Csabai Sarolta, Borsné Pető Judit, Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, 113-118, 2009.
24. Szöllösi N., Juhász C., Zsembeli J., **Kovács G.**: A fenntartható növénytermesztés megvalósulásának vizsgálata különböző talajművelési rendszerekben.  
In: LI. Georgikon Napok [elektronikus dokumentum] : Nemzetközi tudományos konferencia : Keszthely, 2009. október 1-2. Szerk.: Tóth Gergely, Pannon Egyetem, Keszthely, 923-929, 2009.
25. **Kovács G.**, Kun A., Zsembeli J.: A talaj széndioxid emissziója és nedvességtartalma közötti összefüggés vizsgálata.  
In: VI. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok. Közread.: Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, Szolnoki Főiskola, Mezőtúr, 32, 2008.
26. Szöllösi N., **Kovács G.**, Zsembeli J.: A redukált talajművelési rendszer hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára.  
In: I. Országos Környezetgazdaságtani PhD. Konferencia : Budapest, Magyarország, 2007.11.27. Szerk.: Kerekes S. ; közread. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, 116-128, 2007.
27. **Kovács G.**, Zsembeli J., Tuba G.: CO<sub>2</sub>-emissziós mérések kiterjesztése különböző talajfelszínre.  
In: V. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok : Mezőtúr, 2006. október 26-27. : összefoglalók. Szerk.: Kalmár Imre, SZF MMF, Mezőtúr, 1-5, [2006]. 963-06-0816-2



Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (2)

28. Szöllősi, N., **Kovács, G.**, Bakti, B., Zsembeli, J., Gyuricza, C.: CO<sub>2</sub>-emission of the soil on the basis of the comparison of measured and calculated data.  
In: Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia : Globális kihívások, lokális megoldások : 2009. szeptember 3-4., Kecskemét : konferenciakiadvány. Szerk.: Ferencz Árpád, Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar, [Kecskemét], 1352-1356, 2010.
29. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Szöllősi, N., Gyuricza, C.: Correlations of soil management and carbon stock change in soils.  
In: ECOMIT Proceedings of the 5th International Scientific Conference on Sustainable Farming Systems November 5-7 (Szlovákia, Piestany). Ed.: Zuzana Lehocká, Marta Klimeková, Wijnand Sukkel, Slovak Association for Sustainable Agriculture, Považany, 75-80, 2008. 978-80-969603-1-6

Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikk(ek) (1)

30. Óri N., **Kovács G.**: A talaj termékenységének változása szerves és műtrágyázás hatására.  
*Értékálló aranykorona* . 13 (8), 17-21, 2013. 1586-9652.





---

**A kutatási témához közvetlenül nem kapcsolódó publikációk**

Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (1)

31. Zsembeli J., **Kovács G.**, Gyuricza C., Kovács G.P.: A kukorica és a cirok vízfelhasználási hatékonyságának összehasonlítása liziméterekkel.  
In: Talajvédelem. Szerk.: Farsang Andrea, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudomány Egyetem, Szeged, 307-312, 2011. 978-963-306-089-6

Idegen nyelvű, hazai könyvrészlet(ek) (1)

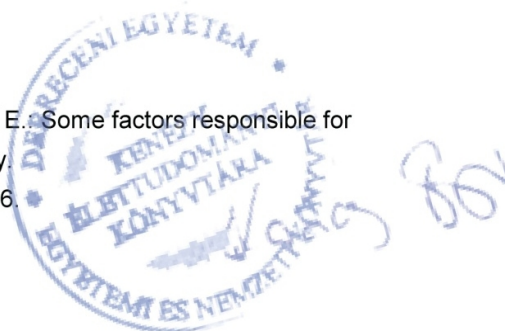
32. Tóth, E., Barcza, Z., Birkás, M., Gelybó, G., Zsembeli, J., Bottlik, L., Davis, K.J., Haszpra, L., Kern, A., Kljun, N., Koós, S., **Kovács, G.**, Stingli, A., Farkas, C.:  
Measurements and estimations of biosphere-atmosphere exchange of greenhouse gases.  
In: Atmospheric Greenhouse Gases : The Hungarian Perspective. Ed.: Haszpra L., Springer, London, 157-197, 2011.

Magyar nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (2)

33. Fehér A., Czibalmos R., **Kovács G.**, Szepesy E.: Birtokkoncentráció, foglalkoztatás, diverzifikáció és multifunkcionalitás.  
*Gazdálkodás*. 54 (3), 286-296, 2010. 0046-5518.
34. Zsembeli J., **Kovács G.**: A mulcsolás hatása a cirok vízforgalmára liziméterekben.  
*TSF Tudományos Közlemények*. 7 (2), 485-490, 2007.

Idegen nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (3)

35. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Some factors responsible for reductions in employment on farms in Hungary.  
*Stud. agric. econ.* 112, 69-82, 2010. 1418-2106





36. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Motivations and intentions of farmers as regards the development of multifunctional agriculture in micro-regions of Northern and Eastern Hungary.  
*Stud. agric. econ.* 111, 65-77, 2010. 1418-2106.
37. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Murányi, A.: Effect of Pentakeep-V on the evapotranspiration and yield of Sorghum hybrids, monitored in precision weighing lysimeters.  
*Cereal Res. Commun.* 36 (Suppl.II), 795-798, 2008. 0133-3720.

Idegen nyelvű közlemény(ek) külföldi folyóiratban (1)

38. Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Fehér, A.: Multifunctionality and farm concentration in Hungary.  
*Res. J. Agr. Sci.* 45 (2), 52-60, 2013. 2066-1843.

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (3)

39. Zsembeli J., **Kovács G.**, Pásztor F.: A Pentakeep-V hatásának vizsgálata a kukorica és a cirok nedvességforgalmára liziméterekben.  
In: VI. Alföldi Tudományos Tájégzdálkodási Napok. Közread.: Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, Szolnoki Főiskola, Mezőtúr, 42, 2008.
40. Czibalmos R., Fehér A., **Kovács G.**: Jász-Nagykún-Szolnok megye kis- és közepes földterületen gazdálkodók véleménye az EU csatlakozás hatásairól.  
In: Agrárgazdaság, Vidékfejlesztés, Agrárinformatika Nemzetközi Konferencia. Szerk.: Nábrádi András, Lazányi János, Herdon Miklós, DE ATC AVK, Debrecen, 1-10, 2007. 978-963-87118-7-8
41. Zsembeli J., **Kovács G.**: Liziméteres vízforgami vizsgálatok talaj-növény rendszerben.  
In: Alföldi Tudományos Tájégzdálkodási Napok. Szerk.: szerk. Kalmár Imre, Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, Mezőtúr, 1-5, 2006. 963-06-0816-2





Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (8)

42. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Deák, D.: Water use efficiency of energy willows determined in weighing lysimeters.  
*LFL Raumberg-Gumpenstein. 15*, 181-184, 2013. 2309-0839.
43. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Szűcs, L., Tóth, J.: Examination of secondary salinization in simple drainage lysimeters.  
*LFL Raumberg-Gumpenstein. 15*, 153-156, 2013. 2309-0839.
44. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Mándoki, A.: Water use efficiency of maize and different sorghum hybrids under lysimeter conditions.  
In: 14. Gumpensteiner Lysimetertagung. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Gumpenstein, 227-229, 2011. 978-3-902559-61-6
45. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Increasing farm concentration in Hungary.  
*Journal of Settlements and Spatial Planning. 1* (1), 29-35, 2010. 2069-3419. -2248-2199.
46. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Increasing farm concentration in Hungary driven by RDP payments and farmers's motivations.  
In: EAAE Seminar (114) (Berlin). Ed.: Reinhold Wilhelm, Humboldt-Universität, Berlin, 1-5, 2010.
47. Nolz, R., **Kovács, G.**, Zsembeli, J., Cepuder, P.: Water balance of two lysimeter sites:Karcag vs. Gross-Enzersdorf.  
In: 13. Lysimetertagung : am 21. und 22. April 2009 am LFZ Raumberg-Gumpenstein. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 155-157, 2009.
48. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Murányi, A., Tanaka, T.: Water use efficiency of sorghum and maize treated with PENTAKEEP-V.  
In: 13. Lysimetertagung : am 21. und 22. April 2009 am LFZ Raumberg-Gumpenstein. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 59-61, 2009.



49. Zsembeli, J., **Kovács, G.**: Effect of Mulching on the Water Balance of Sorghum in Weighing Lysimeters.  
In: 12. Lysimetertagung. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein., Gumpenstein, 185-186, 2007.

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 2.227**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 2.227**

A DEENK a Jelölt által a publikációs adatbázisba feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2014.06.18.



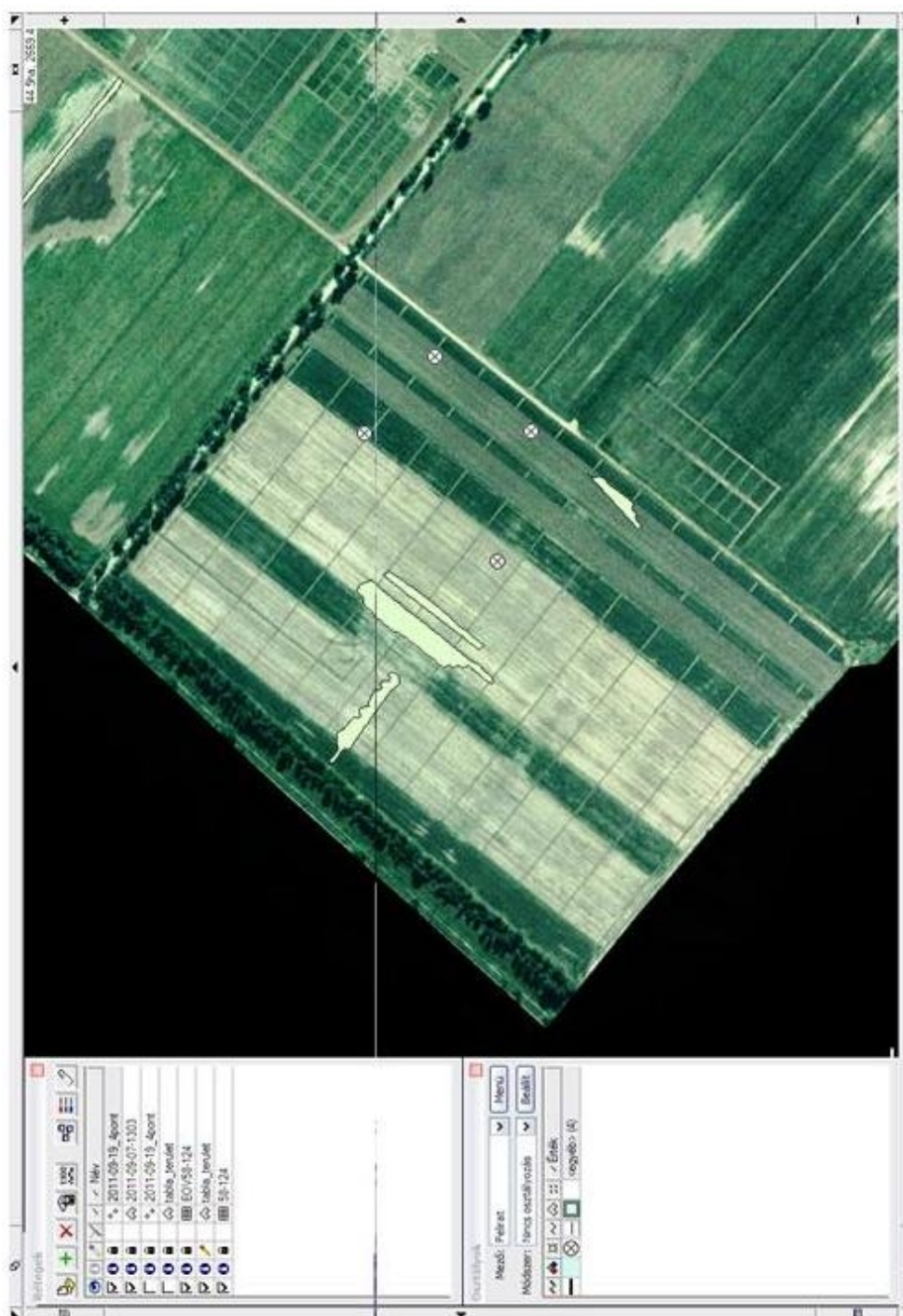
## MELLÉKLETEK

### I. Melléklet: A mérési pontok a komplex talajművelési kísérletben

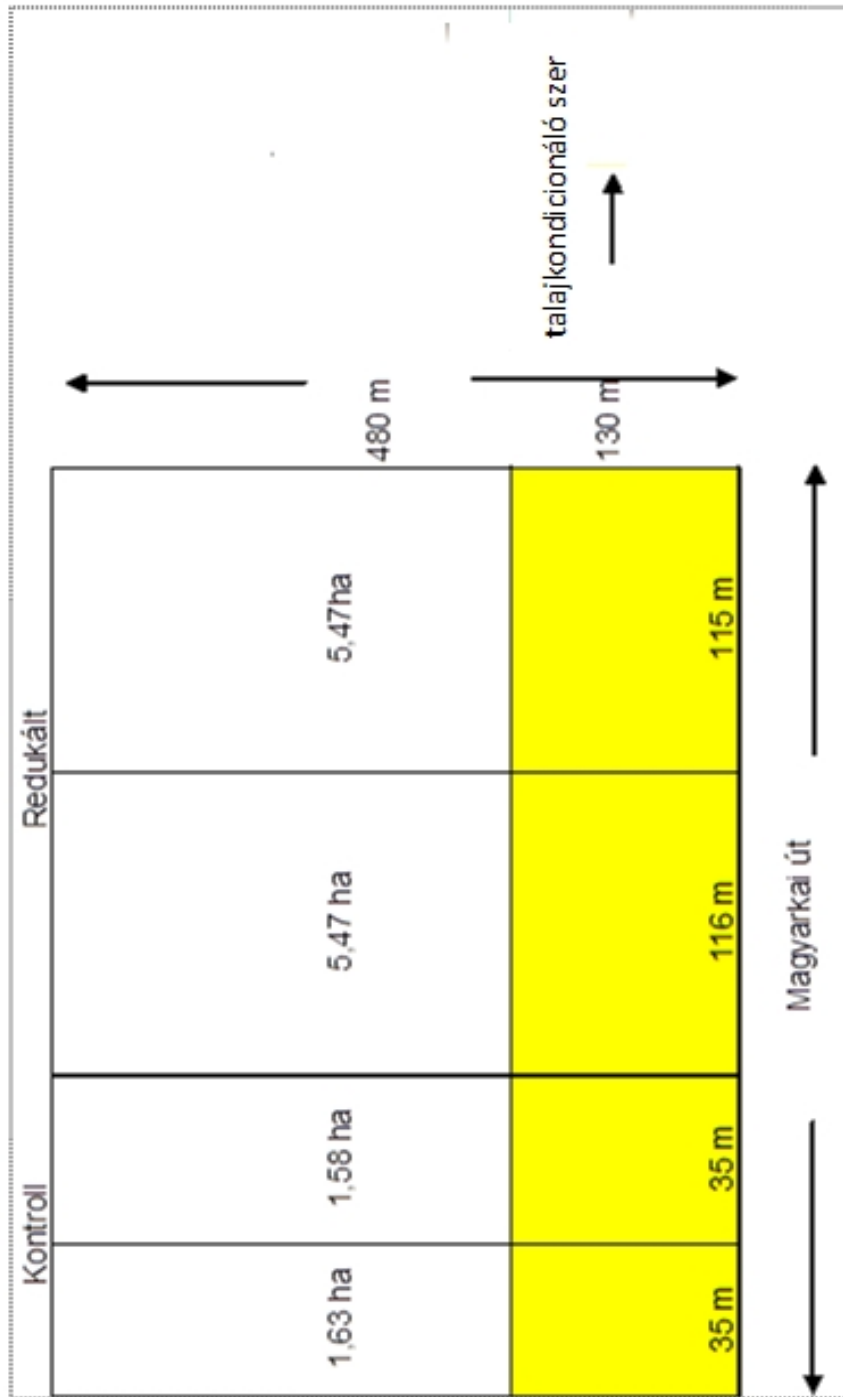




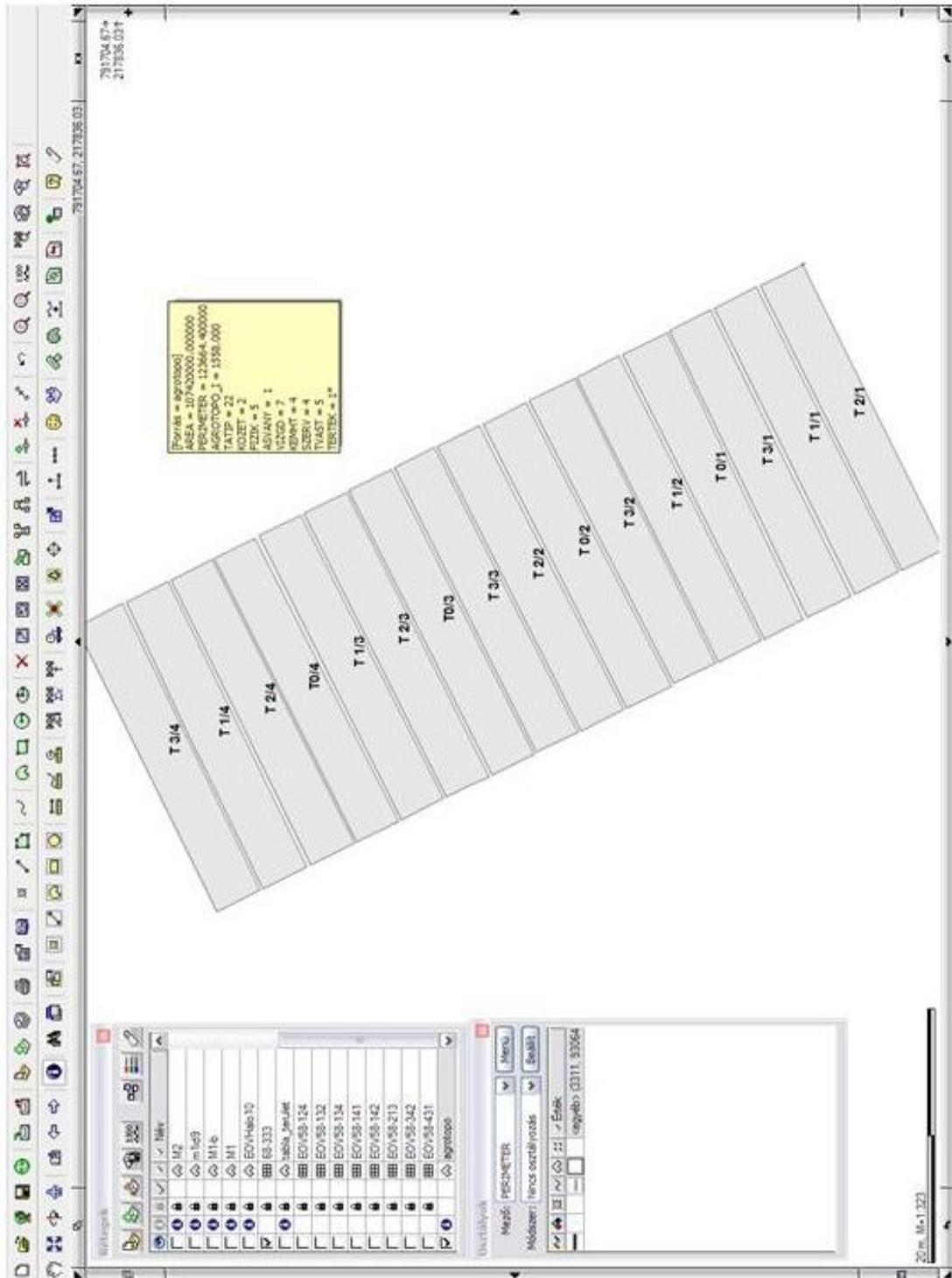
**II. Melléklet:** A komplex talajművelésű kísérleti tábla mérési pontjainak és talajvízzel borított területeinek térinformatikai szoftverrel történő ábrázolása



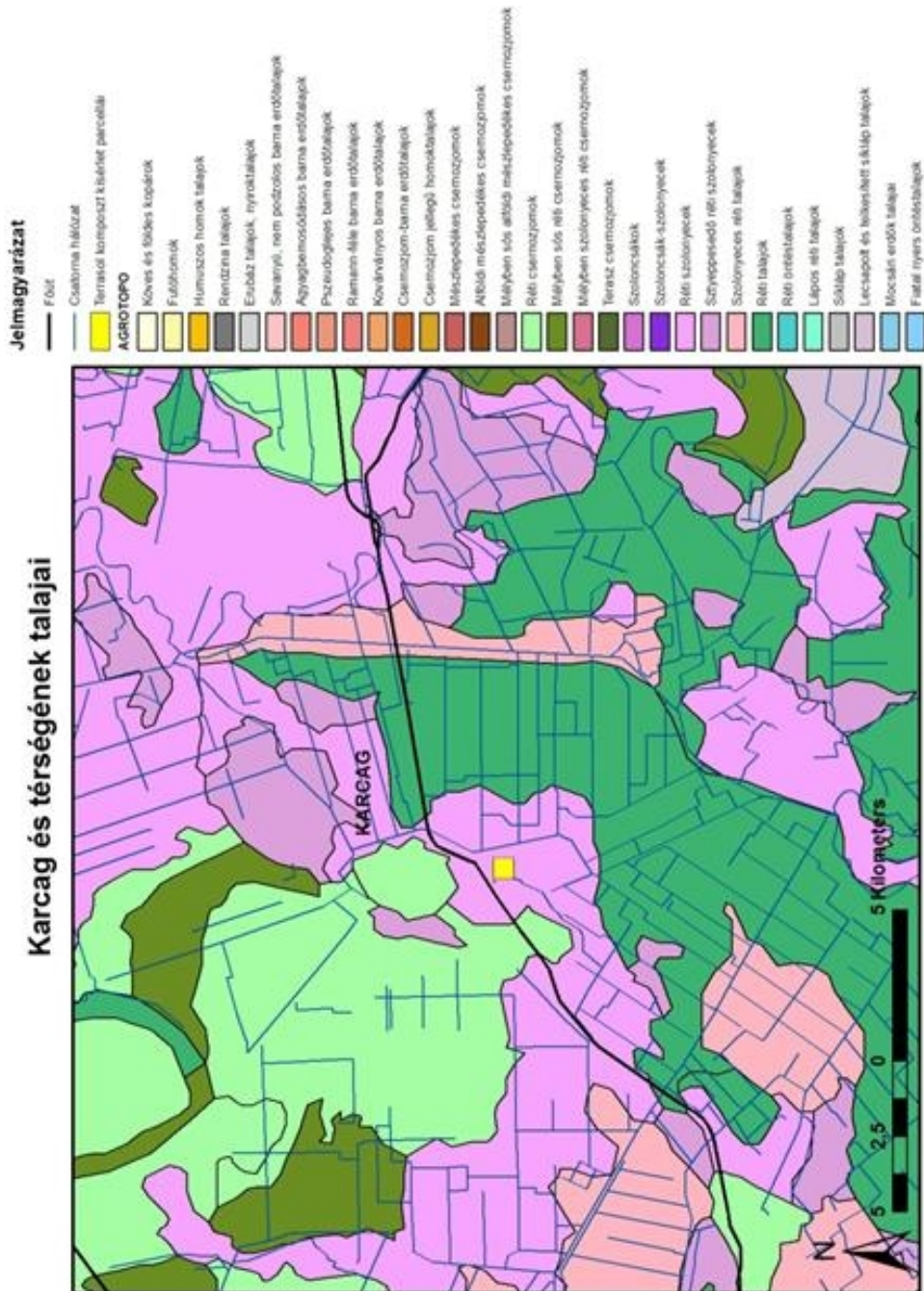
**III. Melléklet:** A komplex talajművelési kísérlet parcelláinak elhelyezkedése a kezelések szerint



#### IV. Melléklet: A kísérleti tért parcellái a gyeprágyázási kísérletben



## V. Melléklet: Karcag és térségének talajai



## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet szeretném kifejezni Dr. habil. Zsembeli Józsefnek, aki mint témavezetőm és egyben munkahelyi vezetőm szakmai útmutatásával és kritikai észrevételeivel segítette és támogatta munkámat az elmúlt évek során, valamint meghatározó szerepet játszott kutatói szemléletem alakításában.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a DE ATK Karcagi Kutatóintézet minden jelenlegi és volt kutatójának, különösen Dr. Czibalmos Róbertnek, †Dr. Forgács Lajosnak, Őri Nórának, Tuba Gézának, akik mind szakmai, mind technikai vonatkozásban igen fontos segítséget nyújtottak munkámhoz. Köszönetet mondok Gyárfási István Edének és a Műhely dolgozóinak a mérőeszközök kivitelezésben nyújtott segítségükért.

Köszönöm továbbá a DE ATK Karcagi Kutatóintézet korábbi vezetőségének, hogy megfelelő technikai és anyagi háttér biztosításával támogatták kutatói tevékenységemet.

Köszönetet mondok az asszisztenseknek, illetve a szakdolgozóimnak lelkiismeretes munkájukért, amellyel hozzájárultak, hogy ez az értekezés elkészülhessen.

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak is, akik támogattak a dolgozat megszületésében, de nevük nem került említésre. Köszönöm a családomnak a kitartást és biztos háttérrel.

### **NYILATKOZAT**

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Növénytermesztési, Kertészeti és Regionális Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2014. szeptember 12.

.....

a jelölt aláírása

### **NYILATKOZAT**

Tanúsítom, hogy Kovács Györgyi doktorjelölt 2007-2014 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2014. szeptember 12.

.....

témavezető aláírása

DEBRECENI EGYETEM

**KERPELY KÁLMÁN NÖVÉNYTERMESZTÉSI, KERTÉSZETI ÉS  
REGIONÁLIS TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

**Doktori Iskola vezető:**

Prof. Dr. Nagy János  
egyetemi tanár, az MTA doktora

**Témavezető:**

Dr. habil. Zsembeli József  
tudományos főmunkatárs

**MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁSÚ TALAJOK  
SZÉN-DIOXID-EMISSZIÓJÁNAK VIZSGÁLATA KARCAG TÉRSÉGÉBEN**

**Készítette:**

**Kovács Györgyi**  
doktorjelölt

Debrecen

2014

**MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁSÚ TALAJOK  
SZÉN-DIOXID-EMISSZIÓJÁNAK VIZSGÁLATA KARCAG TÉRSÉGÉBEN**

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében a növénytermesztési és  
kertészeti tudományok tudományágban

Írta: Kovács Györgyi okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem **Kerpely Kálmán Doktori Iskolája**  
(Növénytermesztés és kertészeti tudományok doktori programja) keretében

Témavezető: Dr. habil. Zsembeli József

A doktori szigorlati bizottság:

	név	fokozat
elnök:	Dr. Kátai János	egyetemi tanár CSc
tagok:	Dr. Izsáki Zoltán	egyetemi tanár CSc
	Dr. Juhász Csaba	egyetemi docens PhD

A doktori szigorlat időpontja: 2012. június 18.

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
.....	.....	.....
.....	.....	.....

A bírálóbizottság:

	név	fokozat	aláírás
elnök:	.....	.....	.....
tagok:	.....	.....	.....
	.....	.....	.....
	.....	.....	.....
titkár:	.....	.....	.....

Az értekezés védésének időpontja: 2014.....



## TARTALOMJEGYZÉK:

<b>1. BEVEZETÉS.....</b>	<b>3</b>
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS .....</b>	<b>6</b>
2.1. A talaj szerepe a szén ciklusban. A magyarországi szántóföldek és a gyepek szénkészlete .....	6
2.2. A talaj szénkészlete a globális változások tükrében, a globális változások hatásainak nemzetközi szintű felmérése.....	11
2.3. A talajművelés jelentősége, a hagyományos és az alternatív talajművelési eljárások hatása a mikrobiológiai aktivitásra.....	20
2.4. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének hatása a CO <sub>2</sub> -emisszióra .....	28
2.5. A gyökérlégzés szerepe a talaj CO <sub>2</sub> -emissziójában.....	32
2.6. A gázemisszió meghatározásának módszerei .....	35
2.7. A témához kapcsolódó szakirodalom összegző értékelése .....	41
<b>3. ANYAG ÉS MÓDSZER .....</b>	<b>43</b>
3.1. A mérési helyszínek természeti adottságai .....	43
3.1.1. Földrajzi elhelyezkedés .....	43
3.1.2. A terület geomorfológiája .....	43
3.1.3. A térség klímája .....	43
3.1.4. Talajtani viszonyok .....	45
3.1.5. Hidrológiai viszonyok .....	47
3.2. A mérések helyszínei .....	48
3.2.1. A komplex talajművelési kísérlet.....	48
3.2.2. Az átfolyóvízes liziméterek, mint tenyészedények .....	50
3.2.3. Az eredeti szerkezetű talajoszlopok, mint tenyészedények .....	51
3.2.4. A gyeprágyázási kísérlet.....	52
3.3. A talaj CO <sub>2</sub> -emissziójának meghatározása és a kiegészítő mérések .....	53
3.3.1. A CO <sub>2</sub> -koncentráció mérésére alkalmazott módszer .....	53
3.3.2. A CO <sub>2</sub> -emisszió számítása .....	55
3.3.3. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének mérése .....	55
3.3.4. A Forróvíz-oldható (labilis) szervesanyag-frakció meghatározása .....	56
3.4. A talaj szénkészletének számítása az IPCC módszer szerint .....	56
3.4.1. A területadatok meghatározása .....	59
3.4.2. A talajtípusok meghatározása .....	60
3.4.3. A klímazónák meghatározása .....	60
3.4.4. A talajművelési rendszer szerinti besorolás .....	60
3.4.5. A szervesanyag-input szerinti besorolás .....	61
3.5. Az alkalmazott adatfeldolgozási, statisztikai és térinformatikai módszerek .....	62

<b>4. EREDMÉNYEK.....</b>	<b>64</b>
4.1. A talaj CO <sub>2</sub> -emisszió mérési módszerének szántóföldi körülmények közötti alkalmazása, illetve továbbfejlesztése .....	64
4.1.1. <i>A hengeres módszer</i> .....	64
4.1.2. <i>A nagykeretes módszer</i> .....	66
4.1.3. <i>A kiskeretes módszer</i> .....	67
4.1.4. <i>Az ablakos módszer</i> .....	68
4.2. A CO <sub>2</sub> -koncentráció telítődésének vizsgálata az optimális inkubációs idő megállapítására .....	68
4.3. Különböző talajművelési eljárásokkal művelt talajok CO <sub>2</sub> -emissziójának alakulása .....	71
4.3.1. <i>A szántóföldi CO<sub>2</sub>-emisszió mérések eredményei</i> .....	71
4.3.2. <i>A labilis szervesanyag frakció vizsgálatának eredménye</i> .....	80
4.3.3. <i>Az eredeti szerkezetű talajoszlopokon beállított kísérlet eredményei</i> .....	81
4.4. A trágyázás, növénytáplálás, talajkondicionálás hatása a talaj CO <sub>2</sub> -emissziójára .....	83
4.4.1. <i>Hígrágyázás hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára</i> .....	83
4.4.2. <i>A talajkondicionáló-szer hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára</i> .....	85
4.4.3. <i>Juhtrágya alapú komposzt hatása a talaj CO<sub>2</sub>-forgalomára</i> .....	88
4.5. A környezeti tényezők hatása a talajlégzésre .....	89
4.5.1. <i>A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában</i> .....	89
4.5.2. <i>A talaj nedvességállapota és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggések</i> .....	91
4.5.3. <i>A hőmérséklet hatása a talajlégzésre</i> .....	93
4.5.4. <i>A napszakok szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában</i> .....	95
4.6. A talaj szénkészletváltozásának becslése különböző művelési eljárások tükrében .....	99
4.7. A talaj szénkészletváltozásának becslése a klímaváltozás tükrében .....	102
4.8. A szénkészletváltozás becslése a karcagi talajművelési kísérletben .....	103
<b>5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....</b>	<b>107</b>
<b>6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....</b>	<b>109</b>
<b>7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA .....</b>	<b>110</b>
<b>8. ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>111</b>
<b>9. SUMMARY .....</b>	<b>113</b>
<b>10. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK .....</b>	<b>115</b>
<b>12. MEGJELENT SAJÁT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK .....</b>	<b>130</b>
<b>MELLÉKLETEK.....</b>	<b>139</b>
<b>NYILATKOZAT.....</b>	<b>145</b>

## 1. BEVEZETÉS

A mezőgazdasági termelés alapja, helye és közege a talaj. A talajok fizikai, kémiai és biológiai állapotát az emberi tevékenység és a természeti tényezők együttesen határozzák meg, illetve befolyásolják. A különböző talajművelési rendszerek, módszerek, agrotechnológiai és agrotechnikai eljárások talajtulajdonságokra gyakorolt hatásai igen sokrétűek. A XXI. században már nem megengedhető az 1970-es 1980-as évekre jellemző kvantitatív szemlélet, amely a növénytermesztésben a termések mindenáron való növelését tűzte ki célul. A környezetvédelmi megfontolások előtérbe kerülésével, általánossá vált a környezetet érő antropogén hatások vizsgálata, sőt a hatások előzetes felmérése is (preventív intézkedések). A talajok mezőgazdasági hasznosításának legfontosabb feladata a talaj termékenységének és minőségének megőrzése, biológiai, fizikai és kémiai romlásának megelőzése a versenyképes növénytermelés mellett.

A környezeti vizsgálatok komplexitása, már csak a környezet önmagában való összetettsége miatt is, szinte lehetetlenné teszi a teljes körű, egzakt és mért adatokon nyugvó elemzéseket. A legtöbb természetes környezetünkben lejátszódó folyamat csak a modellezés eszközével közelíthető meg. Mindazonáltal, ahol csak lehet, méréseket kell végeznünk a folyamatok jobb megértése és az adekvát, az adott helyre ténylegesen vonatkozó adatok nyerése céljából, illetve a modellparaméterek validitásának ellenőrzése érdekében. Az analitika és a mérés technika rohamos fejlődése ma már olyan helyszíni mérések kivitelezését teszi lehetővé, melyekkel gyorsan, viszonylag pontosan, reprodukálhatóan és egyszerűen juthatunk adatokhoz.

Mind több az a megtapasztalás és tudományos megfigyelés, ami tendenciájában az éghajlat globális megváltozását jelzi. Ennek oka, hogy az emberi tevékenység napjainkban már számottevő éghajlat alakító tényezővé vált. Az emberi tevékenység szerepe a jövő éghajlatának kialakításában elsősorban azáltal válhat jelentős mértékűvé, hogy a modern élet következményeként, olyan gázok kerülnek egyre nagyobb mennyiségben a légkörbe, amelyek a rövidhullámú napsugárzást zavartalanul átbocsátják, az infravörös színek tartományban azonban jelentős elnyelési sávjai vannak. Mindez a „légköri üvegházhatás” fokozódásához, illetve a globális klíma melegedéséhez vezet. A feltételezések szerint, az éghajlat globális

melegedésével a nedves trópusi területek csapadékosága növekszik, míg a közepes szélességek kontinensein gyakoribbá válhat a nyári szárazság. A mérsékelt szélességeken feltételezhetően kedvezőtlenebb nyári csapadékviszonyokkal társuló melegebb éghajlat következik be, és az előrejelzések szerint hazánk területein is gyakoribbak lesznek az a leeső nagy csapadékok és az utána következő hosszú aszályos periódusok (DOBOR et al., 2013).

Az üvegházhatást előidéző gázok légköri koncentrációja az elmúlt két évszázadban gyorsuló ütemben növekedett (HOUGHTON, 1997; DALAL et al., 2003; GALLOWAY et al., 2003), és a CO<sub>2</sub>-gáz növekvő kibocsátása tehető felelőssé az üvegházhatás becsült növekedésének több mint feléért (ZÁGONI, 2004). Az összes emittált szén-dioxidnak azonban csak 57%-a marad a légkörben. Az óceánok mintegy 30%-ot kötnek meg, a többi pedig az erdők és más vegetáció fokozott gyarapodására fordítódik, illetve a talaj szervesanyagába épül be. A mezőgazdaságban CO<sub>2</sub>-emisszió származhat a talaj szervesanyagának csökkenéséből, ugyanakkor a növénytermesztés hozzájárulhat a CO<sub>2</sub>-megkötéséhez a talajban (GOUDRIAAN - UNSWORTH, 1990; FOGARASSY et al., 2008).

Míg a légköri CO<sub>2</sub> forrásairól már számos információval rendelkezünk, addig a légköri CO<sub>2</sub> talajba kerülésének, illetve a talajból a légkörbe jutásának folyamata nem tisztázott teljes mértékben. Ezen folyamatok térben és időben igen változékonyak, ezért megismerésük összetett feladat. Mindazonáltal minden ilyen jellegű mért adat kvantitatív és kvalitatív információt szolgáltat az egyes termőhelyekről származó környezeti terhelés és az aktuális talajállapothoz tartozó mikrobiológiai aktivitás tekintetében. A termőhely alapos ismerete pedig minden mezőgazdasági beavatkozás elvégzése előtt elengedhetetlen, hiszen a globális problémákat is csak a lokálisak megértésével együtt tudjuk értékelni (TAMÁS, 2001).

A szervesanyag- és szénkímélő talajhasználatra és művelésre való áttérés globális, térségi és helyi fontosságú. Alacsony szervesanyag-tartalmú erdő- és homoktalajokon a szénkímélés a termelés alapvető feltétele, de nincs arra ok, hogy a klímakár mérséklésében oly fontos anyag bármely talajban csökkenjen (BIRKÁS, 2010). A talaj szerkezetét kímélő művelés alkalmazásakor nem csak a CO<sub>2</sub>-kibocsátás tartható alacsony szinten, hanem egyúttal a szervesanyagok lebontása és felhalmozódása is kiegyenlítetté tehető (BIRKÁS - GYURICZA, 2004).

Magyarország természeti adottságai között a mezőgazdaság fejlesztésének és a környezetvédelemnek, illetve a környezetkímélő növénytermesztésnek egyaránt egyik kardinális tényezője a talajművelés. Véleményem szerint a különböző talajművelési és agrotechnikai eljárások a talaj szén-dioxid-körforgalmára kifejtett hatásának tanulmányozása feltétlenül aktuálisnak tekinthető és további erőfeszítéseket igényel.

Egyik ilyen erőfeszítést a Kyotoi Egyetem Talajtani Laboratóriuma kezdeményezte, amikor 2002-ben beindított egy több országot felölelő projektet, mely a világ különböző részein (Indonézia, Japán, Kazahsztán, Ukrajna, Thaiföld, Magyarország) a talaj CO<sub>2</sub>-emisszióját befolyásoló paraméterek meghatározására irányult. A magyar partnerintézmények a MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete és a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézete voltak. A japán kollégák a magyar partnerintézmények rendelkezésére bocsátottak egy infravörös gázanalizátort. 2005-ben kapcsolódhattam be ebbe a kutatásba, azóta volt lehetőségem a talajművelési kísérletben is kivitelezni méréseket, valamint a talaj szén-dioxid-emissziójára ható tényezőket vizsgálni, mely alkalmat adott adatgyűjtésre, saját megfigyelések végzésére, önálló elemző és értékelő munkára.

Az üvegházhatású gázok problematikája interdiszciplináris, aktualitásához továbbra sem fér kétség. Kutatómunkám céljait a következőképpen határoztam meg:

- A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára irányuló mérési módszerek továbbfejlesztése szántóföldi vizsgálatokhoz.
- A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára ható tényezők vizsgálata (nedvességállapot, hőmérséklet).
- Egyes agrotechnikai elemeknek (talajművelés, növénytáplálás, öntözés) a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára gyakorolt hatásának vizsgálata.
- Különböző becslések elkészítése, amelyek rámutatnak a talajhasználat és a talaj termékenységének összefüggéseire.
- A talaj szénkészletének változására számszerű adatok kalkulálása IPCC módszertan alapján országos illetve tábla szinten is.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A doktori értekezés témájához kapcsolódó hazai és nemzetközi szakirodalom áttekintését a következő szempontok szerint végeztem el:

- A talaj szerepe a szén ciklusban. A magyarországi szántóföldek és gyepek szénkészlete.
- A talaj szénkészlete a globális változások tükrében. A globális változások hatásainak nemzetközi szintű felmérése.
- A talajművelés jelentősége, a hagyományos és alternatív talajművelési eljárások hatása a mikrobiológiai aktivitásra.
- A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában.
- A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének hatása a CO<sub>2</sub>-emisszióra.
- A gázemisszió meghatározásának módszerei.

### 2.1. A talaj szerepe a szén ciklusban. A magyarországi szántóföldek és a gyepek szénkészlete

MENGEL – KIRBY (1982) megfogalmazása szerint a talaj szilárd, folyékony és gázfázisból álló heterogén rendszer, mely lehetővé teszi a növényi, állati és mikrobiális életet a talajban és annak felszínén. A szervetlen és szerves részekből álló szilárd fázis főként tápanyagtároló, a folyadékfázist jelentő talajoldat a tápanyagok szállítója és a fiziko-kémiai, biológiai átalakulások közege; a gázcsere főként az O<sub>2</sub> és N<sub>2</sub> beáramlását, és a CO<sub>2</sub> távozását jelenti.

A talajok szerepe önmagában is igen jelentős (CARDON et al., 2001), összes széntartalmuk nagyjából kétszerese a légkörben található, és szervesanyagaikban globálisan kb. 1,5 10<sup>18</sup>g szerves kötésű szén található (CHAPIN et al., 2002), amely 2-3-szor nagyobb, mint a vegetációé.

A talajban a szervesanyagok állandó átalakulásban vannak. Az összes humusztartalmat, és a különféle humuszanyagok egymáshoz viszonyított arányát végső soron az szabja meg, hogy a humifikáció és a mineralizáció milyen mértékben érvényesülhet, illetve a két folyamatsorozat

között milyen egyensúlyi állapot jön létre. A körülmények változásával (pl. az őszállapotú talaj művelésbe vétele) megváltozik a szervesanyagok felhalmozódásának és lebomlásának erőssége, s így mindaddig változik a talaj humusztartalma és a humusz minősége is, míg az adott körülményeknek megfelelően újabb egyensúlyi állapot ki nem alakul. A talajhasznosítás módja és a növénytermesztési technológia is hatással van a talaj szervesanyag-gazdálkodására (FILEP, 1999).

A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátása a globális szén ciklus egyik legfontosabb eleme, így fontos szerepet játszik a klímaváltozásban (REICH – SCHLESINGER, 1992). A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának mértéke ökoszisztémák szerint változik és a teljes ökoszisztéma légzésének fő komponense. Az időszakos hatások, mint az őszi lombhullás, a lebontó folyamatok dinamikája, illetve a csapadék mennyisége és időbeni eloszlása is, hatást gyakorolnak a talajlélegzési folyamatokra (RETH et al., 2005).

A talajokra jellemző, hogy oxigént nyelnek el és szén-dioxidot bocsátanak ki. A szabad levegőben a CO<sub>2</sub>-mennyisége térfogatalapon 0,047%. A talajjáratok és pórusok levegőjében lényegesen több a szén-dioxid; meghaladhatja a 6%-ot is. A talajlakó állatok nagyobb CO<sub>2</sub>-koncentrációkat tolerálnak, mint a felszínen élők. Toleranciájuk azonban korlátozott csakúgy, mint a növényeké. A növekvő CO<sub>2</sub>-koncentrációk gátolják a növények víz-, K-, N-, P-, Ca- és Mg-felvételét. A szerves vegyületek kémiai degradálása mind aerob, mind anaerob körülmények között CO<sub>2</sub>-ot eredményez. Szén-dioxidot termel a mikroflóra, a fauna és a növények gyökérzete is. A talajnedvességben felfogott CO<sub>2</sub> mint szénsav fontos tényező a talajásványok kémiai mállásában (KÁTAI, 2008).

A talaj mikrobiális életközössége fontos szabályozó funkciót tölt be a talaj szén, nitrogén és foszfor transzformációs folyamataiban és ezzel nagymértékben hozzájárul a növények tápanyaggal való ellátásához (SZILI-KOVÁCS – SZEGI, 1992).

A talaj oxigén-felvételét és szén-dioxid-produkcióját mérve a talajlélegzés intenzitását állapítják meg, ami egyenes összefüggést mutathat a lebontó folyamatok aktivitásával. Ez megközelítően így is van, habár az elnyelt oxigén további sorsát, a termelt szén-dioxid eredetét, továbbá mindkettőnek a talajban végbemenő veszteségeit és újratermelését

képtelenek vagyunk pontosan nyomon követni. A talajból kiáramló CO<sub>2</sub> karbonátok bontásából is származhat, továbbá a szerves vegyületekből termelt CO<sub>2</sub> egy része szinte azonnal újra el is nyelődhet akár az autotróf, akár a heterotróf CO<sub>2</sub>-fixáláshoz, vagy abiotikus, pl. szervesetlen reakciók során. A talajokban tehát a CO<sub>2</sub> áramlásának, megkötődésének és felszabadulásának útjai rendkívül tekervényesek, alig nyomon követhetők, és mennyiségileg nehezen becsülhetők (SZABÓ, 1986).

A talaj szervesanyagai (humuszanyagai) sokoldalúan befolyásolják a biogeocönózisok működési és szabályozási folyamatait, a talajszerkezetét, hő- és vízháztartását, a felvehető tápanyagok mennyiségét és a talajlégzést, mely folyamat során visszajut a légkörbe a növények számára felvehető CO<sub>2</sub> (MIELNICK – DUGAS, 2000). A talajlégzés általi szén-dioxid-kibocsátás 10-szer nagyobb a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó CO<sub>2</sub>-mennyiségnél, éppen ezért minden olyan változás, amely a talaj szervesanyag-forgalmát érinti, jelenősen befolyásolhatja a légkörbe jutó szén-dioxid-mennyiségét, valamint az üvegházhatáson keresztül Földünk hőmérsékletének, klímájának alakulását is.

Számos kutatási eredmény igazolja, hogy az intenzív talajhasználat a légköri szén-dioxid növekedésében szerepet játszik, amely különösen az elmúlt évtizedekben vált nyilvánvalóvá (LI, 1995; REICOSKY, 1995; LAL et al., 1998; DREES et al., 2001). A talajok intenzív művelése a szénkészlet 30-50%-os csökkenését idézi elő, amely elsősorban a talaj feltörésével hozható összefüggésbe. A szervesanyag fokozott mineralizációja révén felszabaduló szén-dioxid ilyen módon könnyen a légkörbe távozik (COLE, 1996). Ezzel szemben a talajvédő technológiák (forgatás nélküli eljárások, direktvetés stb.) alkalmazása révén a talaj humusztartalma évente 1 tonnával is növekedhet hektáronként. Az Egyesült Államokban végzett számítások szerint az elmúlt évek talajvédő technológiáinak elterjedése nyomán mérhetően csökkent a talajból a légkörbe kerülő szén-dioxid-mennyisége (PAUTIAN et al., 1998). Ha Európában a szántóterület 100%-át talajvédő módszerekkel művelnék, az a mezőgazdaság összes emisszióját mérsékelné. Ez, az Európában keletkező éves szén-dioxid 4,1%-át, globális méretekben az éves kibocsátás 0,8%-át jelenti.

Ha a talaj és a föld feletti növényi részek légzésének összege meghaladja a fotoszintézis által fixált szén mennyiségét, a biogeocönózis szénmérlege negatív lesz. Ez a tény is a talajlégzés



fontos szerepét bizonyítja, valamint az is, hogy a talaj folyamatosan bocsát ki szén-dioxidot, még kedvezőtlen időszakban is, amikor a fotoszintézis nem működik. A folyamatnak tehát meghatározó szerepe van a biogeocönózisok eredő forrás vagy nyelő aktivitásának kialakításában (BALOGH et al., 2005).

A mezőgazdasági, illetve erdősült területek esetében három fontos üvegházgáz forgalmával kell számolni, úgymint a dinitrogén-oxid-, a metán- és a szén-dioxid-fluxusával. A mezőgazdaság, elsősorban a műtrágyázás és az állattenyésztés következtében jelentős forrása a dinitrogén-oxidnak és a metánnak, globális szinten 70, illetve 81%-ban járulnak hozzá a forrásokhoz, míg szén-dioxid esetében ez az arány 21% (ISERMANN, 1994).

A szántóföldi növénykultúrák területi kiterjedése hazánkban rendkívül nagy, az ország mezőgazdasági területének mintegy 77%-ára terjed ki (RAJKAI et al., 2004). Ez azért is fontos, mert a mezőgazdasági- és gyepterületek – a nagy szénfelvevőként számon tartott erdők mellett – fontos szerepet játszanak bioszféra - légkör közötti szénforgalomban. A füves ökológiai rendszerek szén-dioxid-cseréjéről, szén-megkötéséről viszonylag keveset tudunk, jóllehet szerepük a globális szénforgalomban jelentős (SOUSSANA et al., 2007).

A magyarországi talajok szénkészlete folyamatosan változik, különösen az elmúlt évtizedre becsülhető jelentős változás. A talajművelésben beálló szemléletváltozás egyre nagyobb mértékben jellemző. Mivel a talaj – a klíma és az időjárás mellett – a növénytermesztés egyik legfőbb olyan tényezője, amely alapvetően meghatározza a termelés minőségét, gazdaságosságát, a talaj és a növénytermesztés összefüggéseinek feltárása az egyik legfontosabb kutatási feladat. A talajhasználat gyakorlatán belül a talajművelésnek van a legradikálisabb hatása a talaj tulajdonságaira. Mivel az elmúlt évtizedekre jellemző volt a talajt nem kímélő talajhasználat, a talajtulajdonságok leromlása miatt megnőtt az igény a környezetkímélő és energiatakarékos talajművelési módok bevezetésére (BIRKÁS, 2002). A talajhasználat eltérő hatású lehet a humusztartalomra, amely a művelési módtól függően enyhén csökkenhet, vagy növekedhet (BANKÓ et al., 2007).

A talajtermékenység megújulási folyamatát korlátozó tényezők között nemcsak hazánkban, hanem világszerte felgyorsult a szántóföldi termőhelyek rendszeresen művelt rétegének ma

már számszerűsíthetően is kimutatható fizikai degradációja, amelynek következménye a szerkezeti elemek szétesése, a növényélettani szempontból káros mértékű talajtömörödés, valamint a defláció. Ennek okait az antropogén eredetű talajterhelések és ezen belül elsősorban a növénytermesztés-technológiai követelményeknek megfelelő talajművelések következményeiben kell keresnünk. Különösen érvényes ez a kolloidokban gazdagabb nedvességváltozással művelhetőségre érzékenyebben – rögzítéssel vagy képlékenységgel – reagáló talajokra, és azokra a talajművelési rendszerekre, amelyekben az alapvető talajművelési eljárás nagyrészt a mindezekhez legkevésbé alkalmazkodni tudó ekére alapozott. Ez a felismerés vonul végig a hazai talajművelési rendszerek útkeresésében és fejlődésében, a nagy talajművelő klasszikusaink (GYÁRFÁS J. – MANNINGER G. A. – KEMENESSY E.) munkásságában és talajművelésünk gyakorlatában.

Hazai szén-dioxid-kibocsátás mérések eredményeit közölte BIRKÁS et al. (2007). Ebben az átfogó tanulmányban a művelés hatását vizsgálták a talaj fizikai állapotára és többek között a szén-dioxid-fluxusra. A mérések szerint meleg nyári napon a nem bolygatott talajok szén-dioxid-emissziója a nedvesség és a hőmérséklet függvényében  $\sim 5\text{-}8 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ nap}^{-1}$  ( $2,4 \text{ t C ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ ,  $14\text{-}23 \text{ Mt C év}^{-1}$ ), ami különösen a száraz bolygatott talaj esetében egy-két nagyságrenddel megnő (legnagyobb mértékben az elmunkálatlan szántásoknál) a művelés utáni napokban.

TÓTH et al. (2005) a műtrágyázásnak a talaj szén-dioxid-emissziójára gyakorolt hatását vizsgálta meszes csernozjom talajoknál, külön-külön mérve a gyökérlégzésből és a szervesanyag bomlásból származó fluxust. Két különböző mérési szinten tavasztól ősziig a szén-dioxid-emisszió  $\sim 25\text{-}130$  (gyökérlégzés), illetve  $\sim 60\text{-}220 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  (mikrobiológiai bomlás) között változott, melyet a műtrágyázás, különösen a nitrogénműtrágya jelentősen megnövelt (maximum:  $\sim 320$ , illetve  $\sim 410 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), különösen tavasszal, a vegetációs időszak kezdetén. Egy hosszú távú hazai műtrágyázási kísérletben (KOÓS - NÉMETH, 2007), a tenyészidőszakban a gyökérlégzésből származó átlagos  $\text{CO}_2$ -emisszió  $\sim 90 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  ( $2,1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ ,  $16,9 \text{ Mt C év}^{-1}$ ), melyet a műtrágyázás  $\sim 25\%$ -kal megnövel.

## **2.2. A talaj szénkészlete a globális változások tükrében, a globális változások hatásainak nemzetközi szintű felmérése**

A globális felmelegedés oka a Föld légkörében jelentkező üvegházhatás erősödése, amit az üvegházhatású gázok koncentrációjának növekedése okoz. Létezését a kutatók egy része vitatja, többségük azonban ma már elismeri, hogy nem csak átmeneti ingadozásról van szó (Internet 1.).

Az üvegházhatás a természetben jelenlévő, az élet alapvető feltételeit megteremtő folyamat. Az üvegház belső hőmérséklete azért magasabb, mint a külső hőmérséklet, mert az üveg csak az ún. rövidhullámú sugarakat engedi át, a hosszuhullámúakat pedig visszaveri. A Föld és környezete is egy nagy üvegházhoz hasonlóan viselkedik: a sugárzási energia a Napból fény formájában érkezik a Föld felszínére, ahonnan az infravörös sugárzás hatására, mint hő kisugárzódik. A levegőben lévő gázok és a vízpára azonban elnyelik az infravörös sugarakat, így a meleg az „üvegházon” belül reked. A földfelszín jelenlegi átlaghőmérséklete 15°C. Ha a légkör teljesen átjárható lenne az infravörös sugarak számára, ez az érték lényegesen alacsonyabb, kb. -15°C lenne (LAL et al., 1998; REICOSKY, 1998).

Az éves középhőmérséklet világszerte növekszik, Európában az elmúlt tíz év folyamán 0,3-0,6°C-os emelkedés figyelhető meg. Számos klímamodell alapján azonban a hőmérséklet további növekedése prognosztizálható (EEA, 1998). A globális felmelegedés fő oka a fosszilis eredetű anyagok elégetése során keletkező szén-dioxid légkörbe kerülése.

A szén természetes körforgását megzavarta az ipari civilizáció. A Földön ma már óriási tömegű fosszilis energiahordozót (kőolaj, szén, földgáz) égetünk el, aminek köszönhetően mostanában évi  $5 \cdot 10^8$  tonna szén kerül a levegőbe. A kémiai ipar során keletkező anyagok, vagyis a fluor, klórvegyületek szintén az üvegházhatást erősítik. Harmadrészen a mezőgazdaság is jelentős mértékben járul hozzá az üvegházgázok légköri koncentráció-növekedéséhez. Amerikai felmérések szerint az ipari tevékenység (beleértve a fosszilis energiahordozók égetését) 77%-kal, a mezőgazdaság pedig 23%-kal járul hozzá a globális felmelegedéshez. Összességében az antropogén eredetű metán és nitrogénvegyületek (NO<sub>x</sub>) 50-75%-a és a CO<sub>2</sub> 5%-a a mezőgazdasági tevékenységekből származik. Az erdőirtások, a

biomassza elégetése (pl. tarlóégetés) és a szántóföldhasználatban előidézett egyéb változások további 14%-ot tesznek ki (LÁNG, 2003).

Világviszonylatban az összes szén-dioxid-kibocsátás 5%-áért a mezőgazdasági tevékenység tehető felelőssé (COLE, 1996). A Kiotói Jegyzőkönyv (1997) állásfoglalása szerint a légköri szén-dioxid-tartalom növekedése a globális klímaváltozás egyik kiváltója lehet.

A talajok szén-dioxid-kibocsátása a szakirodalom szerint igen jelentős, mértéke jóval felülmúlja az antropogén kibocsátást. A kibocsátott szén-dioxidéhoz hasonló nagyságrendű mennyiséget viszont egyúttal fel is vesz a bioszféra, emiatt a nettó fluxus (talajkibocsátás és a bioszféra felvételének különbsége) globálisan negatív, azaz a bioszféra nettó nyelő. A nettó fluxus amplitúdója (egy nagyságrenddel) kisebb a talajkibocsátásnál vagy a bioszféra felvételénél. Globális szinten is megfigyelhető, hogy a természetes szénforgalom mellett az emberi hatás nem jelentős (IPCC, 2007). A bioszféra légkör közti szén-dioxid csere az ipari forradalom előtt kiegyensúlyozott volt (HASZPRA - BARCZA, 2001), napjaink problémája viszont az, hogy az emberi beavatkozás miatt a bioszféra-légkör közti egyensúly megbomlott, nem csak a szén-dioxiddal összefüggésben, hanem a többi üvegházgáz vonatkozásában is. A nemzetközi és a hazai szakirodalomban számos tanulmány jelent meg a talajok szén-dioxid-kibocsátására vonatkozóan.

A légkör CO<sub>2</sub>-készleteinek növekedése, amelynek hatására az elkövetkező 50 éven belül a mezőgazdasági termelésre is kiható klímaváltozásokkal kell számolnunk (SCHNEIDER, 1975; KEULEN et al., 1980) a fosszilis energiahordozók elégetésén kívül elsősorban is a szárazulatok talajainak szervesanyag-veszteségeire vezethető vissza. Az emberiség nekilendült talajforgató tevékenysége, vagy a magyar mezőgazdaság kiváló alakjának, a néhai Gyárfás professzornak a szavaival élve, a szántogatás olyan méreteket öltött, hogy STUIVER (1978) szerint a földfelszín szerves szénkészletei 1850 és 1950 között több mint 100 gigatonnával csökkentek. A mikrobiális aktivitásra is visszavezethető CO<sub>2</sub>-készletek a felső sztratoszférában növelik az infravörös sugarak űrbe való emittálását, és emiatt éppen abban a légtérben idéznek elő lehülést, ahol az ózon keletkezik (ISAKSEN et al., 1980). A lehülés sajátosan serkenti az ózonképző reakciókat, ami viszont ellensúlyozhatja az ózonszféra

antropogén hatásra megindult, ijesztő kimenetelűnek tűnő destrukcióját (ISAKSEN - STRODAL, 1981).

1997-ben a Kiotói Egyezmény keretében a 15 akkori tagország a szén-dioxid ekvivalens csökkentésének 2008-2012 között történő, 8%-os csökkentése mellett kötelezte el magát. Ennek elősegítésére az első Európai Éghajlatváltozási Program (EÉVP) új módszereket dolgozott ki, valamint vizsgálta a talaj szénmegkötésben játszott szerepét. Az első EÉVP jelentés évi 60-70 millió tonnára becsülte a mezőgazdasági művelésű talajban megköthető szén-dioxid (ekvivalens) mennyiségét.

A talajban a szenet a baktériumok, a gombák és a földigiliszták tudják megkötni. Ezek az élőlények a szervesanyagot humusszá alakítják, amely a talaj alkotója marad, így a szén nem távozik el szén-dioxid formájában. Nagyobb mennyiségű szén talajba juttatásának egyik módja a biológiailag lebontható szervesanyagok (mint például gabonamaradvány, gazdasági udvarról származó trágya, komposzt és szennyvíziszap) mezőgazdasági területen való szétterítése. A talaj-és hulladékgazdálkodás ilyen módon történő együttes alkalmazása segítségével a szén oda irányítható, ahol megkötése lehetséges (a talajba), ráadásul ezzel a megoldással csökkenthető a lerakókra kerülő hulladék mennyisége is. Különböző becslések - a talajminőség, a kezelési gyakorlat és az éghajlati jellemzők területenkénti eltéréseinek függvényében - évi 2-20 millió tonna közé teszik a módszer segítségével elérhető szénmegkötés mértékét (Internet 2.) A mezőgazdasági földterületeken és erdőkben történő szénmegkötés célja nemcsak az éghajlatváltozás elleni harc, hanem a talajminőség javítása is. Ennek hatásai megmutatkoznak a természetvédelemben, a biológiai sokszínűség megőrzésében, a vízminőség és az élelmiszerbiztonság javításában, s mindezek következtében az emberi egészség megőrzésében. A szénmegkötés ezért a 2005-ben második programját kezdő EÉVP kulcseleme maradt (MARMO, 2008).

### **A klímaváltozással kapcsolatos főbb nemzetközi állásfoglalások**

Amióta létezik a Föld, éghajlata folyamatosan változik, néha gyorsabban, máskor lassabban. A mostani helyzet abban új, hogy az emberi tevékenység nemcsak a mikro- és a makroklimát, hanem a globális klímát is befolyásolja. Nemzetközi rendezvények témakörei és állásfoglalásai jelzik, hogy a globális klímaváltozásra felfigyeltek, s a különféle

állásfoglalások, ajánlások érzékeltetik a témakörsúlyát, komolyságát, valamint széles körű összefüggéseit.

### **ENSZ Konferencia az Emberi Környezetről (Stockholm, 1972)**

A rendezvény dokumentumaiban a „climate change” kifejezés mindössze egyszer fordult elő. A javaslatokban azonban megjelent, hogy a természeti erőforrások fokozó mértékű felhasználásának a meteorológiai folyamatokra gyakorolt hatását szükséges vizsgálni. Az ajánlásokban pedig szerepelt a légköri szennyeződések klimatikus következményeinek és az ember által okozott hatások vizsgálata (BÁNDI et al., 1994).

### **Környezet és Fejlődés Világbizottsága (Brundtland Bizottság, 1984-1987)**

A Brundtland Bizottság jutott először arra a következtetésre, hogy az éghajlatváltozást „komoly valószínűségének” kell tekinteni, egyetértettek azon szakemberek körének véleményével, akik szerint ok és okozati összefüggés létezik a légkörben lévő üvegházhatású gázok mennyiségének növekedése és klímaváltozás között. A Bizottság a klímaváltozást a fenntartható fejlődés fogalmában integrálta, pontosabban szólva, a fenntartható fejlődést akadályozó, lassító tényező közzé sorolta. A CO<sub>2</sub>-emisszió csökkentése nemcsak a légkör védelmét, hanem a véges mennyiségű fosszilis energiahordozók megőrzését is szolgálta.

A Brundtland Bizottság már 1987-ben, a klímaváltozással kapcsolatban az alábbi négyirányú stratégia kialakítását sürgette (FARAGÓ – GYULAI, 1994):

- A kibontakozó jelenségek intenzitásának megfigyelése és értékelése.
- A jelenségek eredetének, működésének és hatásainak alaposabb vizsgálata.
- Az üvegházhatást előidéző gázok csökkentését szolgáló, nemzetközileg egyeztetett irányelvek kialakítása.
- Az éghajlatváltozások és az emelkedő tengerszint okozta veszélyek minimalizálását szolgáló stratégiák elfogadása.

### **ENSZ Konferencia a Környezetről és a Fejlődésről (Rio, de Janeiro, 1992)**

Ezen a konferencián került aláírásra az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye, amely 1994-ben lépett érvénybe, és amelyhez valamennyi ENSZ tagállam (az Amerikai Egyesült Államok is) csatlakozott. A Keretegyezmény kinyilvánította, hogy cselekedni kell az

éghajlatváltozás növekvő kockázata miatt, azonban nem adott jogilag kötelező érvényű irányadó számokat és határidőket az egyes országoknak. Ezen hiányosságok miatt sok bírálat érte a tagállamokat, közöttük is az iparilag legfejlettebbeket. Ezek hatására öt évvel később, Kiotóban (1997) találkozta a szakértők, ahol részleges megállapodás született (FARAGÓ, 2004).

### **A Kiotói Jegyzőkönyv (1997)**

A Kiotói Jegyzőkönyvet ratifikáló országok vállalták, hogy a 2008-2012-es időszakra összességükben 5,2%-kal csökkentik üvegházhatású gáz kibocsátásukat 1990-hez képest. E csökkentés szabályait számos konferencián lezajlott tárgyalások eredményeképpen dolgozták ki. Maga a Kiotói Jegyzőkönyv 2005-ben lépett hatályba. Fontos tudni, hogy mind a Keretegyezményre, mind a Kiotói Jegyzőkönyvre vonatkozó szabályok egyik fontos része az, hogy az országoknak évente üvegházhatású gáz leltárt kell benyújtania az ENSZ-hez. Ennek a követelménynek Magyarország is megfelel. A leltárok megtalálhatók a [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int) honlapon. A leltárok készítésének módszerét a világ egyik legrangosabb tudományos testülete, a Klímaváltozási Kormányközi Panel (Intergovernmental Panel on Climate Change) dolgozta ki (Internet 3.).

A jegyzőkönyv hatályba lépését követően a legsürgetőbb feladattá vált, hogy elfogadásra kerüljön az a szabályrendszer, amely alapján a jegyzőkönyv rendelkezései végrehajthatók. E szabályok kiterjednek azokra az eszközökre, amelyek segítségével a fejlett államok költséghatékonyabban teljesíthetik kötelezettségeiket. Ilyen eszköz a nemzetközi emisszió kereskedelem, amelynek keretében egy fejlett állam fejlődő vagy átmeneti gazdaságú országban finanszíroz emisszió csökkentést szolgáló beruházást kiotói kötelezettségvállalása részeként, akkor azt saját teljesítéseként számolhatja el (HAJDÚ, 2005; HUSZTINÉ, 2005). A további szabályok a kibocsátások nyomon követésére, a vegetációt érintő emberi beavatkozások, pl. erdőtelepítések által a légkörből kivont szén-dioxid-mennyiség elszámolására, a kötelezettségeiket nem teljesítő államokkal szembeni eljárásokra vonatkoznak. A találkozó egyik alapvető eredménye e szabályrendszer elfogadása.

A Kiotói Jegyzőkönyv azonban konkrét kibocsátás szabályozási előírásokat csak 2012-ig tartalmazta. Az üvegházhatású gázok kibocsátása és az éghajlatváltozás kockázata viszont

tovább növekszik, és ezek mérséklésére az eddigieknél határozottabb lépések szükségesek (EEA, 2005).

Feszült légkörben folyó egyezkedések után sikerült elérni olyan kompromisszumos megállapodásokat, amelyeket minden küldöttség elfogadott. Ezek értelmében egyeztetések kezdődtek:

- az egyezmény hatálya alatt tehát minden állam részvételével a kibocsájtás szabályozás további teendőiről,
- a Kiotói Jegyzőkönyv hatálya alatt az ahhoz csatlakozott fejlett államok további kibocsájtás csökkentési kötelezettségeiről a 2012 utáni időszakra,
- azon tárgyalások előkészítéséről, amelyek általában a Kiotói Jegyzőkönyv felülvizsgálatára vonatkoznak (ez a fejlődő országokat is érintheti),
- az önkéntes kibocsájtás mérséklési programokra kész országok ilyen irányú kedvezményeseinek elismeréséről.

A Montreali ülészak eredményeivel egy fontos időszakot zárt le az ember által kiváltott globális környezetváltozás növekvő veszélyével szembeni eddigi nemzetközi együttműködés folyamatában, s egyúttal megnyitotta az utat, ahhoz, hogy új tárgyalások kezdődhessenek a további remélhetően hathatósabb közös fellépésről (FARAGÓ, 1998; OECD, 1999; OECD-IEA, 2002).

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület harmadik beszámolójában az elmúlt század éghajlatának globális összefoglalója nagy érdeklődést váltott ki. A globális szinten  $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  melegedés több következménye nagymértékben érinti a Föld egyes területeinek lakosságát.

### **Emisszió szabályozás az Európai Unióban**

Az EU igen következetes a Kiotói Jegyzőkönyv kötelezettségeinek teljesítésében sőt „túlvállalást” is ígért, nevezetesen 8%-os csökkentésre tett ígéretet. Ezt a célt az energiahatékonyság növelésével, energiatakarékossgal és a megújuló természeti erőforrások növekvő felhasználási arányával kívánja megvalósítani. A vállalat teljesítése érdekében, 2005. január elsejével az EU mind a huszonöt tagállamra véve kötelező jelleggel beindította a kibocsájtási jogok kereskedelmét lehetővé tevő saját belső rendszerét. Ennek keretében mintegy tizenkétezer EU tagállamban működő ipari létesítmény kereskedhet szabadon a szén-



dioxid-kibocsájtására jogosító engedélyekkel, amelyek egyúttal a korlátozást is magukba foglalják (LÁNG, 2003; EEA, 2005).

### **Emisszió szabályozás Magyarországon**

Az Egyezmény és a Jegyzőkönyv által megadott konkrét kibocsátás-szabályozási előírások első két időszaka már eltelt, de továbbra is érvényben vannak az Egyezmény általánosabban megfogalmazott kibocsátás-szabályozással kapcsolatos előírásai, továbbá a Kiotói Jegyzőkönyv 2012 végén elfogadott Dohai Módosítása által a kibocsátás-csökkentés időbeli kiterjesztésével és újabb szigorításával új kötelezettségek születtek. A hazai teendők tételes számbavételének és teljesítésének lényegesen nagyobb lett a jelentősége az EU-tagsággal. Elsőrendű fontosságú volt az EU korábbi 15 tagállamának a 2012-ig tartó időszakban az általuk közösen vállalt kibocsátás-szabályozási és a fejlődőket segítő finanszírozási kötelezettségek betartása. 2013-tól pedig ugyanez a helyzet mindenekelőtt a Dohai Módosítás alapján 2020-ig közösen vállalt kibocsátás-csökkentési cél vonatkozásában a 2004-től számottevően kibővült EU minden tagállama számára (FARAGÓ, 2013).

Szükséges megjegyezni, hogy a kiotói kötelezettségek teljes mértékű teljesítésekor sem változik meg a légkör jelenlegi módosulása. A veszélyes mértékű éghajlatváltozás Európában akkor kerülhető el (2005. évi Tavasz Európai Tanács állásfoglalása értelmében), ha a földfelszín globális átlaghőmérséklete legfeljebb 2°C-kal haladja meg az ipari forradalom előtti szintet, ami már ma is mintegy 0,6-0,7°C -kal magasabb. A 2°C -t nagy valószínűséggel csak akkor nem lépi túl, ha az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja nem haladja meg a 450 ppm szén-dioxid mennyiséget. (1750 tájkán 280 ppm értéket figyeltek meg, 2000-ben 368 ppm-et, 2013-ban 400 ppm-et). A romlási folyamat mérsékléséhez 2020-ig 15-30%-os globális kibocsájtás csökkentése szükséges a fejlett országokban, az 1990-es szinthez képest. Emellett a gazdaságilag gyorsan növekvő fejlődő országoknak is részt kellene vállalniuk a globális probléma megoldásában (IEA, 2001).

Elmondható, hogy a Kiotói Jegyzőkönyv vállalásainak teljesítése csupán az első lépés a hosszú úton. A nagy kérdés, hogy a döntéshozók és a társadalom széles körei felismerik-e kellő időben a további határozott lépések megtételének szükségességét, és sikerül-e elkerülni egy globális éghajlati katasztrófát. Az éghajlatváltozással kapcsolatos nemzetközi

együtműködés tehát 2013-tól egy új korszakba lépett. Az eddigi erőfeszítések megalapozták a klímapolitikai együtműködést, de alig mérsékeltek a globális éghajlat változás növekvő kockázatát. A gyorsan változó világpolitikai és gazdasági viszonyok, valamint az EU saját belső gazdasági, együtműködési helyzetének lényeges változása alapvetően új körülményeket teremtettek a nemzetközi és az EU szintű klímapolitika továbbfejlesztése számára a 2020-ig tartó és az azutáni időszakra.

### **IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change)**

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testületet több mint húsz évvel ezelőtt, 1988-ban alapította meg a Meteorológiai Világszervezet (WMO) és az ENSZ Környezeti Programja (UNEP). A testület „háttérben” kutatók ezrei dolgoznak, jelentéseiket azonban politikai döntéshozók – kormánydelegációk - fogadják el. Az IPCC azzal a feladattal alakult meg, hogy átfogóan értékelje az emberi tevékenységek hatását a Föld éghajlati rendszerére, tudományosan megalapozott becsléseket adjon az éghajlat további várható globális változására, felmérje a társadalmi-gazdasági és környezeti következményeket, valamint feltárja és elemesse azokat a lehetőségeket, amelyek megfelelő alkalmazásával egyrészt csökkenthetők a földi éghajlatra gyakorolt veszélyes emberi hatások, másrészt mérsékelhetők az éghajlatváltozás kedvezőtlen következményei.

Ezen belül cél az emberi tevékenységek „mellékhatásaként” az üvegházhatású gázok – mindenekelőtt a szén-dioxid – légköri kibocsátásainak korlátozása, csökkentése, és emellett e gázok légkörből való kikerülésének fokozottabb elősegítése. A testület azt is vizsgálja, hogyan lehet felkészülni a környezeti körülményekben várhatóan bekövetkező változásokra, csökkenteni azok káros hatásait, illetve felkészülni az alkalmazkodásra.

A Testület keretében három munkacsoportban folyik a tudományos megfigyelések és a kutatási eredmények összesítése, értékelése:

- az első munkacsoport az éghajlati rendszerrel összefüggő megfigyelési adatokkal, az eddigi változások nyomon követésével, elemzésével, a hosszabb távon várható változások becslésével foglalkozik;

- a második munkacsoport a globális éghajlatváltozás globális és térségi környezeti hatásaival szembeni érzékenységet, a változások társadalmi-gazdasági és környezeti hatásait, illetve a hatásokra való felkészülés lehetőségeit vizsgálja;
- a harmadik munkacsoport a globális változást kiváltó tényezőknek, mérséklésük illetve csökkentésük lehetséges módjainak, eszközeinek szenteli figyelmét.

A Testület 2007-ben fogadta el Negyedik Értékelő Jelentését. Ebből kiderül, hogy komolyan számolni kell a nagymértékű változásokkal, ezek súlyos következményeivel, és ezek csak úgy kerülhetők el, ha a társadalmak hathatós lépéseket tesznek az üvegházhatású gázok globális kibocsátásainak csökkentésére, valamint a már elkerülhetetlen látszó, de még kezelhető mértékű változásokra való felkészülésre.

A Norvég Nobel Bizottság 2007-ben a Nobel-békedíjat két egyenlő részben megosztva az Éghajlatváltozási Kormányközi Testületnek (IPCC) és ifj. Albert Arnold (Al) Gore-nak ítélte oda, azért az erőfeszítésért, amit az ember okozta éghajlatváltozásra vonatkozó nagyobb tudás létrehozása és elterjesztése, valamint az e változás megakadályozására szolgáló intézkedések megalapozása érdekében fejtettek ki.

A Föld éghajlatának változására utaló jeleket komolyabban kell vennünk, különös tekintettel az elővigyázatosság elvére. Az éghajlat jelentős változásai módosítják, egyben fenyegetik is, az emberiség nagy hányadának életfeltételeit. Széleskörű népvándorlást idézhetnek elő, és fokozódó vetélkedést okozhatnak az elemi létfeltételekért. E változások különösen súlyos terheket rónak a világ legsérülékenyebb országaira, megnövelve a fegyveres konfliktusok és háborúk veszélyét, államokon belül és azok között is.

Az elmúlt két évtizedben az IPCC tudományos jelentései nyomán, egyre szélesebb körű tudáson alapuló egyetértés bontakozott ki arról, hogy az emberi tevékenység és a globális felmelegedés között kapcsolat van. Több mint száz ország tudósainak és hivatali képviselőinek ezrei működtek közre azért, hogy tisztábban lássuk a felmelegedés valódi mértékét. Amíg az 1980-as években a globális felmelegedés még érdekes hipotézisnek tűnt, addig az 1990-es évek ezt szilárd bizonyítékokkal támasztották alá. Az utóbbi néhány évben az összefüggések még inkább egyértelművé, a következmények még nyilvánvalóbbakká váltak (Internet 4.).

Korunk egyik legfontosabb környezetvédelmi problémája az üvegház hatású gázok légköri koncentrációjának növekedése és az ezzel összefüggésben fenyegető esetleges éghajlatváltozás. Mára már csaknem bizonyossá vált, hogy globális éghajlatváltozás előtt állunk, illetve többek véleménye és mérési adatok alapján, bizonyos mértékben klímánk már meg is változott, elsősorban az üvegház hatású gázok légköri koncentrációinak növekedése miatt (IPCC, 2007).

Az IPCC 2011. évi Tematikus Jelentése a szélsőséges éghajlati események kockázatáról és kezeléséről szól. Ebben értékeli a klímaváltozás szerepét az éghajlati szélsőségek intenzitásának és gyakoriságának változásában és hangsúlyozza a kockázatkezelési és alkalmazkodási stratégiák szerepét, amellyel a sérülékeny közösségek csökkenthetik a klímaváltozással szembeni kitézettségüket. A jelentés utal az egyes állításokkal kapcsolatos tudományos bizonyosság illetve bizonytalanság mértékére is. A jövőbeli változások előreláthatóan világszerte növelik a klímaváltozással szembeni sérülékenységet, kitézettséget és az éghajlati katasztrófákból származó veszteségeket. A javaslatok kiemelik a felkészülés kulcsszerepét és a veszélyforrások megfelelő kezelését. Mindazonáltal regionális felkészülési stratégiák kidolgozásához részletesebb információkra van szükség, amire a célzott finomfelbontású, regionális vizsgálatok nyújtanak lehetőséget.

### **2.3. A talajművelés jelentősége, a hagyományos és az alternatív talajművelési eljárások hatása a mikrobiológiai aktivitásra**

A természet és az emberi tevékenység egymással örök kölcsönhatásban van. A földművelés és a növénytermesztés története 6-8 ezer évet ölel fel. A szántóföldi talajok vetett vagy telepített növények termesztésével hasznosulnak. A termesztés színvonala, gazdasági és környezeti hatása alapján korai extenzív, hagyományos, korai intenzív, integrált, modern intenzív, modern extenzív és ökológiai talajhasználati rendszerek különíthetők el (BIRKÁS, 2001).

Hazánkban MANNINGER (1957) hívta fel a figyelmet arra, hogy a talajművelés során törekedni kell a talajszerkezet megóvására. SIPOS (1972) felhívja a figyelmet, hogy minden művelési eljárás súlyos beavatkozást jelent a talajéletbe. NYÍRI (1993) a művelést a talajban lejátszódó folyamatok szabályozójaként említi. A 20. század talajművelési kutatási

eredményei új vonásokkal gazdagították az elődök által elérteket, figyelmet kapott az agro-ökoszisztémák fenntartható működése, a klíma-érzékenység csökkentése és a környezetvédelem. Előtérbe kerültek azok az irányzatok, amelyek a természeti kívánt növények igényei helyett, de a termésbiztonság fenntartása mellett, a talaj védelmét és a nedvességvesztés csökkentését említik első helyen (ÁNGYÁN – MENYHÉRT, 1997). Hazánkban a művelés egyik legfontosabb feladata többek közt a talajnedvesség-forgalom szabályozása (NYÍRI, 1997; HUZSVAI et al., 2006), a talajfelszínre jutó csapadék talajba szivárgásának és a talajban történő hasznos tározásának elősegítése (VÁRALLYAY, 2005).

A hazai és a nemzetközi kutatási eredmények (TRACY et al., 1990; REICOSKY et al., 1997; REICOSKY et al., 1999; ETANA et al., 2001; GIUFFRÉ et al., 2003) egyaránt azt mutatják, hogy a legjelentősebb szén-dioxid veszteséget a talaj rendszeres szántása idézi elő. Az alternatív gazdálkodás lényege, hogy a ma általánosan vett termelésorientált mezőgazdasági módszereknek a környezetet, illetve a természetvédelmet fokozottabban figyelembevevő alternatíváit (pl. környezetkímélő eljárások, anyagok alkalmazása stb.) keresik (BIRKÁS, 2001).

A talajhasználat a szántóföldön a különböző biológiai igényű és hatású növények és termesztési technológiák összessége. Általa teremthető harmónia a termőhely és a termesztési technológia között (BIRKÁS et al., 1999). A talajművelés befolyásolhatja a talaj biológiai aktivitását, és általa növelhető a talaj aktív felülete, vagyis a talaj produktív potenciálja.

Növénytermesztési szempontból a talajok minőségének egyik legjelentősebb jellemzője a talajtermékenység (BOCZ, 1992). A talaj természetes termékenysége azt jelenti, hogy a környezeti feltételek (éghajlat, éves csapadékmennyiség, stb.), a talaj fizikai és kémiai tulajdonságai, adottságai milyen potenciális termékenységet biztosítanak a termesztett növények számára. A talaj termékenysége semmiképpen sem vonatkoztatható el a benne zajló biológiai és biokémiai folyamatoktól sem, így a termékenység másik természetes faktora a talaj biológiai élete. A talajbiológiai folyamatokat a külső tényezők ugyanúgy befolyásolják, mint a fizikai és kémiai folyamatokat. A biológiai élet döntően a gyökérszónában, a talaj humuszos rétegében zajlik, így a humuszos réteg mélysége, a humusz minősége a talajbiológiai folyamatokat alapvetően befolyásolja, meghatározza. A talaj állandóan változó, dinamikus folyamatok színtere, s elválaszthatatlan egységet képez nemcsak a benne, de a rajta

élő magasabb rendű szervezetekkel is. A talaj termőképessége tehát nagymértékben függ a talajban élő szervezetekkel, azok számával, életműködésével, azaz a talaj biológiai aktivitásával. Úgy is fogalmazhatnánk, hogy a talajbiológiai aktivitás legfontosabb megnyilvánulása a talaj termőképessége, melyben igen jelentős szerep jut a talajban élő mikroorganizmusok élettevékenységének.

Az utóbbi évtizedekben a talajok szervesanyag-tartalma az intenzív gazdálkodás következtében mintegy 50%-kal visszaesett, ami a természetes talajtermékenység kényszerű leromlásával jár együtt (HARROD, 1994). Ugyanakkor más külföldi tartamkísérletek eredményei is arról tanúskodnak, hogy a kímélő művelés (elsősorban direktvetés) a legfelső talajréteg szervesanyagban való gazdagodását segíti elő.

Az úgynevezett hagyományos (konvencionális) talajművelés hozzájárulhat az éghajlati változásokhoz. A talaj ekével történő rendszeres forgatása a szántóföldek szén-dioxid-emisszióját nagymértékben megnöveli (REICOSKY, 1998). Talajművelés hatására nő a lazultság, megváltozik a levegőellátottság, gyors gázcsere indul meg. A talaj megnövekedő oxigéntartalma intenzív mikrobiális tevékenységet indukál. A szervesanyag lebomlásakor keletkező szén-dioxid pedig a légkörbe távozik, aminek következtében a globális klímaváltozás egyik közvetlen előidézője lehet (GYURICZA et al., 2002). Mivel a fokozott mikrobiológiai tevékenység intenzív szervesanyag fogyasztással jár, a talaj levegőzöttsége, a szén-dioxid-emisszió és a humusztartalom között közvetlen kapcsolat figyelhető meg (SZABÓ, 1986; ECAF, 1999). A talaj humuszanyagai hosszú évek, esetenként évszázadok során épülnek fel, ezért néhány század százaléknyi csökkenés is nehezen fordítható vissza.

Az intenzív forgatásra alapozott talajművelés a talajok degradációját és erózióját eredményezheti. A hagyományos művelést felváltó, a talajt védő művelési módszerekkel jelentős mértékben javítható a talaj kémiai, fizikai és biológiai állapota. Ezt a tényt a világon sok helyen tapasztalták (DORAN, 1980; BRUCE et al., 1995; BEARE et al., 1994).

A bolygatott talajba kerülő szervesanyagok széntartalmának 2/3 része szén-dioxiddá oxidálódva a levegőbe kerülve fokozza a globális felmelegedést. Az ilyen talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátása jelentősen meghaladja azokét, amelyeket kevésbé bolygatnak (GYURICZA, 2000). A környezet minőségét lerontó károk – a talaj tömörödése, visszatömörödése,

elporosodása, cserepesedése, szervesanyagban elszegényedése, nagy szén-dioxid-kibocsátása, hordképességének romlása – a hagyományos művelés olyan nemkívánatos kísérő jelenségei, amellyel szembe mindössze néhány agronómiai előny állítható (BIRKÁS, 2002).

A helyes mezőgazdasági gyakorlat alkalmazásával a talaj szén-dioxid megkötő képessége növelhető, redukálódik a szerves szén veszteség és erősödik a humifikáció, ami a talaj szervesanyag-tartalmának növekedéséhez vezet (NÉMETH, 2004; KOÓS – NÉMETH, 2007).

Gazdálkodási és környezetvédelmi szempontból egyaránt fontos, hogy a talaj mikrobiológiai tevékenységének tudatos szabályozásával előnyösen befolyásolhatók a humuszgyarapító- és bontó folyamatok, egyúttal a talajmaradványok feltáródása, fenntartható a talaj kultúrállapota és művelhetősége (BIRKÁS, 2002). A forgatás nélküli talajművelési rendszerekben igen fontos tényező a talaj felszínén megmaradó növényi maradványok lebomlása (QUEMADA - CABRERA, 1995).

Számos kutatási eredmény igazolja, hogy az intenzív talajhasználat a légköri szén-dioxid növekedésében szerepet játszik, amely különösen az elmúlt évtizedekben vált nyilvánvalóvá (DREES et al., 2001; GYURICZA et al., 2005).

A műveléssel létrehozott talajállapot-változások befolyásolják a biokémiai és biológiai folyamatokat. A talajban meglévő tápanyagok, a bejuttatott szerves és műtrágyák, a tartómaradványok elbomlásának és érvényesülésének előfeltétele a kedvezően laza állapot kialakítása. Az aerob mikroszervezetek tápanyagfeltáró tevékenységéhez ugyanis kellő nyirkosság, levegőzettség és hő szükséges. A talaj forgatásakor az eredeti talajfelszín aerob módon légző mikrobái anaerob, vagy gyengén átlevégőztött körülmények közé kerülnek. Következésképpen a tömeges mikrobapusztulás, a szabadenzim-aktivitás növekedése, a humifikációs folyamatok erősödése, valamint az ásványosodás lelassulása. A mélyből felszínre került talajban a mikrobák aktívabbá válnak és előtérbe kerülnek a humusz-bontó folyamatok. A sekély, forgatás nélküli művelés a talajokat kevésbé szellőzteti és szárítja, így módon gyengébb, de tartósabb a mikrobiális tevékenység is (BIRKÁS, 1993), a mikrobák számára elérhető szerves széntartalom mennyisége magasabb a bolygatatlan talajban (TÓTH et al., 2009).

A fenntartható mezőgazdaság szempontjából a talaj szervesanyag-készlete kulcsfontosságú indikátorának számít. A földhasználat módjában és az agrotechnikai beavatkozásokban eszközölt változtatások befolyásolják a talaj szerves szénkészletét és a szervesanyagok mennyiségét és minőségét is. Ezek a változások gyakran kismértékűek és fokozatosan mennek végbe, így rövid- és középtávon nehezen észlelhetők. Ugyanakkor a talaj labilis szénkészletéhez tartozó anyagfeleségek - mint pl. a biomassa - érzékeny indikátorai a talaj ökológiai stabilitásának, a különböző stressz hatásoknak és az eredeti állapot helyreállítását célzó tevékenységeknek. A forróvíz-oldható C-tartalom (HWC) a talaj szerves szénkészletének egyik frakciója, mely szorosan összefügg a biomasszával, így labilis sajátságokat mutat (GHANI et al, 2002).

Az ülepedett, és az eredeti szerkezetet csak kismértékben lazító művelés hosszabb időszak alatt mérsékelte, a mélyebb bolygatás, a nagyobb lazultság, a nyitott felszín növeli a CO<sub>2</sub>-vesztést. SZABÓ (1992) szerint az intenzív művelés sok év alatt, az aerob légzési folyamatok serkentésével pusztítja a talaj humifikált és ásványosodott szervesanyagait, és idézi elő a szervesanyag fogyást. A talajból ily módon eltávozott szervesanyag a természet szempontjából veszteségnek minősül. A mérések tanulsága, hogy talaj szerkezetét kímélő művelés alkalmazásakor nem csak a CO<sub>2</sub>-kibocsátás tartható alacsony szinten, hanem egyúttal a szervesanyagok lebontása és felhalmozódása is kiegyenlítetté tehető.

A talajművelés intenzitása és a szén-dioxid-kibocsátás között közvetlen összefüggés figyelhető meg: minél nagyobb a pórusrétegben belül a levegőfázis aránya és mélyebben lazított a talaj, annál élénkebb a mikrobiológiai tevékenység, amely a szén-dioxid-emisszió fokozódásában nyilvánul meg (GYURICZA, 2004). Talajvédelmi szempontból is igen fontos tehát, hogy korszerű, a talajt kímélő, az adott klimatikus és edafikus tényezőkhez igazodó művelési rendszerek váltsák fel a forgatáson alapuló hagyományos rendszereket (NYIRI, 1997).

A talajművelés gyakorlatának megváltoztatása a talaj tulajdonságainak megváltozását eredményezi, a megváltozott mikrobiológiai aktivitás és tápanyag dinamika, illetve szervesanyag-profil hatással van a növénytermesztésre (FOLLETT - PETERSON, 1988). A hagyományos művelés elemei - mint pl. a szántás - elősegítik a talaj szervesanyag tartalmának



csökkenését a szármaradványok talajba keverése, az aggregátumok felaprózása és a levegőztetés növelése útján, míg a csökkentett műveletszám és a nagyobb mennyiségű, a talaj felszínén maradó növényi maradvány esetén a talaj szervesanyag vesztesége kisebb (BALESDENT et al., 1990). Ezeknek a hatásoknak az ismerete elengedhetetlen a tápanyagforgalom (HENDRIX et al., 1986; ANDRÉN et al., 1990) és a szervesanyag dinamika megismeréséhez a különböző talajművelési rendszerekben (DORAN, 1980; HOLLAND - COLEMAN, 1987).

A lazító-porhanyító és egyidejűleg tömörítő művelés biológiai szempontból is előnyös, gyengébb az átlegegőztetés, ezáltal az aerob mikrobatevékenység; kisebb a mikrobák szervesanyag igénye, ebből adódóan kevesebb szén-dioxidot termelnek, s a morzsákat összetartó, cementáló humuszanyagok sem degradálódnak. A tenyészdő alatt a mikrobiális légzés – a talaj ülepedettségének is betudhatóan – alacsony szinten van, a keletkezett melléktermékek, a szén-dioxid az újabb művelésig a pórusokban tárolódik. Friss műveléskor a megelőző mikrobiális tevékenység CO<sub>2</sub>-tartalma kerül a légkörbe, a veszteség, ezt követően a talajba juttatott szervesanyag feltáródási folyamata szerint alakul. Pl. átlagos évben 5 t/ha búzaszalma és 2,5 t/ha gyökérmadvány esetén a szénhozam 3 t/ha. A mélyen szántott és elmunkálatlan talajból ez mind a légkörbe távozhat szén-dioxid formában, ellenben szénkímélő műveléskor ennek legfeljebb a harmada. Friss művelés után 2-3 héttel, a tarlómaradványok feltáródásának felgyorsulása esetén – a mikrobiális bontásnak betudhatóan – a szén-dioxid-kibocsátás mértéke növekszik, amely kedvező esetben a légkörnek legfeljebb 2-2,5-szerese (BIRKÁS, 2010).

A biomassa elégetése (pl. tarlóégetés) szintén a szén-dioxid-koncentráció növekedésének kedvez (BIELEK, 2001). Ezzel szemben a teljesen vagy részben talajfelszínen hagyott növényi maradványok lassítják a szén körforgását, mert kevesebb mikroorganizmus számára elérhető, lassan bomlik le, stabilabb humuszvegyületeket hoz létre, és kevesebb szén-dioxidot bocsát ki az atmoszférába (VAN DER LINDEN, 1989; ECAF, 1999; GYURICZA et al., 2002).

A mikrobiális közösségen belül is eltérő a CO<sub>2</sub>-kibocsátás intenzitása és térbeli-időbeli mintázata (SCHIMEL - GULLEDGE 1998). Általánosságban az eukarióták, például a

gombák lebontó folyamatai hatékonyabbak, kevesebb szén lélegeznek el az összes biomassájukhoz képest, mint a baktériumok, azonos körülmények között, adott idő alatt. Természetesen a baktériumok különböző anyagcseréjű csoportjai között is lényeges különbségek vannak a lebontás hatékonyságában.

Az elmúlt ötven év folyamán a termékek nagysága jelentősen növekedett, köszönhetően a műtrágyák és peszticidek használatának, illetve korszerű fajták alkalmazásának. Manapság a kemikáliák magas költsége és a környezetvédelmi szempontoknak való megfelelés igénye arra ösztönzi a gazdálkodókat, hogy alternatív módszerek használatát is megfontolják a költségek csökkentése, az emberi egészség védelme és az erőforrás készletek megóvása érdekében. Ilyen módszerek a köztes növények zöldtrágyaként való alkalmazása, csökkentett talajművelés különböző típusai, szervesstrágyázás, és az integrált növényvédelem. A növénytermesztési rendszer megváltoztatása a talaj mikroklímájára is kihat és befolyásolja a talaj élővilágát is (PAUL - CLARK, 1989). A mikroflórában beálló változások jelentősen befolyásolhatják az alternatív termesztési módszerek eredményességét és fenntarthatóságát. Az ilyen rendszerekben általában a tápanyagok talajbani (belső) forgalmának optimalizálását, illetve a kívülről bevitt tápanyagok hatékonyságának maximalizálását célozzák meg (BUCHANAN, 1990).

A forgatás nélküli művelés biológiai szempontból azért előnyös, mert a levegőzöttség, az aerob mikrobiális tevékenység és a szervesanyag fogyás csak némileg erősödik fel, így a talajmorzsákat összetartó, cementáló humuszanyagok degradációja nem következik be (BIRKÁS, 2002). Talajvédelmi szempontból is igen fontos tehát, hogy korszerű, a talajt kímélő, az adott klimatikus és edafikus tényezőkhöz igazodó művelési rendszerek váltsák fel a forgatáson alapuló hagyományos rendszereket (NYIRI, 1997).

HOUGHTON et al. (1983) szerint a mezőgazdasági tevékenység csökkenti a talaj szervesanyag-tartalmát és hozzájárul a légköri szén-dioxid-koncentráció növekedéséhez. Azonban az újabb művelési módok (csökkentett művelés, minimum-művelés, talajvédő művelés), a növényi maradványok területen hagyása miatt, nemcsak csökkentik a talaj szén veszteségét, de néhány esetben a talaj szén tartalmát is növelik.

GYURICZA (2000) a talajművelés és a szén-dioxid-kibocsátás között keresett összefüggéseket. Ennek vizsgálatára kísérletben tanulmányozta a különböző talajművelési eljárások szén-dioxid-emisszióra gyakorolt hatását. A különböző kezelések hatására a CO<sub>2</sub>-kibocsátás minden esetben nőtt. A légköri CO<sub>2</sub>-tartalom a vizsgálat ideje alatt 736 mg/m<sup>3</sup> volt, ehhez viszonyítva a direktvetés fölött 844,2 mg/m<sup>3</sup> azaz 14,7%-kal magasabb értéket mért. A 16-20 cm-es mélységben végzett tárcsázás hatására 45,8%-kal magasabb értéket kapott, míg a 22-25 cm-es mélységben elvégzett szántás több mint duplájára emelte a vizsgált légréteg CO<sub>2</sub>-mennyiségét. A lazítás (35-40 cm) + tárcsázás (16-20 cm) 90,5%-kal eredményezett magasabb CO<sub>2</sub>-koncentrációt. Kiugróan magas értéket kapott a lazítás (35-40 cm) + szántás (22-25 cm) együttes elvégzésének eredményeként, ez a művelet ugyanis 119,8%-kal növelte az eredeti légköri CO<sub>2</sub>-koncentrációt.

FARKAS (2004) az eltérő talajművelési rendszerek hatását vizsgálta a talaj nedvességforgalmára és megállapította, hogy a talajadottságokhoz megfelelően alkalmazkodó lazító és mulcshagyó művelési rendszerek hozzájárultak a talajnedvesség veszteség csökkentéséhez.

KÁTAI (1992) különböző talajtípusokon vizsgálta a kölcsönhatásokat a talajtulajdonságok, néhány agrotechnikai eljárás és a mikrobiológiai aktivitás között. Megfigyelései szerint a gyengébb minőségű talajok kisebb CO<sub>2</sub>-termelő képességgel rendelkeznek. A vizsgált helyszíneken öntözetlen műtrágyakezelésekben a műtrágya dózissal közel lineárisan emelkedett a CO<sub>2</sub>-termelés, míg öntözött viszonyok között kisebb adag is elegendő volt hasonló koncentráció eléréséhez. Kukorica növényállományban megállapította, hogy monokultúrában nagyobb a CO<sub>2</sub>-termelés, mint trikultúrában.

Feltétlenül meg kell említenem ZSUPOSNÉ (2003) munkáját, aki az általam is vizsgált helyszínek egyikén, a karcagi komplex talajművelési kísérletben végzett mikrobiológiai vizsgálatokat. A hagyományos és a talajvédő művelési rendszerek összehasonlítása során megállapította, hogy bizonyos enzimek (ureáz, kataláz) aktivitásában nem volt szignifikáns különbség, a foszfátáz enzimaktivitás a hagyományos rendszerben volt nagyobb. A talajvédő művelési rendszerben éves átlagban 7,8%-kal magasabb CO<sub>2</sub>-termelést mért a hagyományos (forgatásos) rendszerhez képest.

TUBA (2013) aszályos és csapadékos évben végzett vizsgálatokat a karcagi talajművelési kísérletben és megállapította, hogy a redukált művelési rendszer a rendszeresen művelt réteg lazultságára és nedvességtartalmára mindkét vizsgált évjáratban kedvezően hatott.

ZSEMBELI - NAGY (2004) a hagyományos, forgatásra alapozott művelési rendszer és a talajvédő művelési rendszer vizsgálatából származó adatok alapján állapították meg, hogy a direktvetéses rendszerben termesztett növények parcelláiból több szén-dioxid távozott a légkörbe, bár a különbségek nem minden esetben voltak számottevőek. Kimutatták a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött rendkívül nagy jelentőségű szerepét. A mérési eredmények azt bizonyították, hogy az aktív, fejlődő növényállományokban az összes kibocsátott CO<sub>2</sub>-mennyiség akár 70-80%-ának is a gyökérlégzés a forrása. A kukorica és a napraforgó állományok összehasonlító elemzésekor megfigyelték, hogy a növényállományban előforduló gyomok mennyiségével arányosan növekszik a CO<sub>2</sub>-emisszió mértéke. A gyomok hatására erőteljesebb gyökérlégzés volt az oka a napraforgó állományban tapasztalt magasabb CO<sub>2</sub>-emisszió értéknek.

#### **2.4. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének hatása a CO<sub>2</sub>-emisszióra**

A kutatókat régóta foglalkoztatja a talajművelésnek és a klímának a talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátására gyakorolt hatása. Ezen oxidáció folyamata igen érzékeny a talaj hőmérsékletére és így közvetve a talaj nedvességtartalmára. (WILDUNG et al., 1975).

A talajművelés és a klíma változása hatással van a talaj nedvességtartalmára és hőmérsékletére. Azok a folyamatok, amelyek a szén oxidációját befolyásolják, igen komplexek. Ezért általában a művelés és a klíma a szén oxidációjára gyakorolt hatásának vizsgálatára szimulációs modelleket alkalmaznak. (GRANT - ROCHETTE, 1994).

ORCHARD - COOK (1983) megállapították, hogy a talaj respirációs rátája szoros, közvetlen összefüggést mutat a talaj nedvességtartalmával. Ez az összefüggés a textúrájukban különböző talajokra is igaz. A talaj szén-dioxid-kibocsátása a nedvességtartalom növekedésével szignifikánsan nő, majd egy maximum értéket elérve stagnál. A

nedvességtartalom és a mikrobiológiai aktivitás összefüggését mutatja az is, hogy számos tanulmány foglalkozik a száraz talajban a gyors benedvesedés után a szén-dioxid-termelés hirtelen bekövetkező növekedésével (FRANZLUEBBERS et al., 2000). A benedvesítés után a CO<sub>2</sub>-termelődés gyakran 500%-kal is megnövekedhet a folyamatosan nedvesen tartott talajállapothoz képest. Ez a megnövekedett CO<sub>2</sub>-termelés általában 2-6 napig tart. Mivel a felszín közeli talajrétegek nedvességtartalma szezonális dinamikát mutat, ezek a rövid tartamú impulzusok nagyon sokféle talajra jellemzőek (FIERER - SCHIMEL, 2003). Az Alföldön a nyári időszakban a talajok gyakran kiszáradnak és a jellemzően nem meghatározott rendszerességgel hulló nyári záporok hatására bekövetkező benedvesedés jelentős mértékben hozzájárul a talaj felszínéről a légkörbe távozó CO<sub>2</sub> összes mennyiségéhez.

A talaj nedvességtartalom és a mikrobiológiai aktivitás összefüggését elemezve SKOPP et al. (1990) megállapítják, hogy az aerob mikrobiológiai aktivitásnak számos fizikai korlátozója van. E két paraméter összefüggését optimum (haranggörbével) lehet jellemezni. A nedvességtartalom növekedésével a mikrobiológiai aktivitás maximumának elérése után éppen az oxigén diffúziójának csökkenése jelenti a legfőbb korlátot.

A nedvességtartalom és a talajállapot a nedvesség veszteség mértékét illetően is kölcsönhatásban van. A kedvezőtlen talajállapot – pl. tömör réteg a felszínhez közel, vagy a gyökérszónában – a csapadék talajba jutását, és a talajban lévő nedvesség hasznosulását is akadályozza. A talaj mélyebb rétegeinek állapota a felszín takartságával összefüggésben módosítja a talaj nedvességtartalmát, a veszteség nagyságát. A mélyebb bolygatások nagyobb vízvesztesége a felszín gyors – lehetőleg egymenetes – elmunkálása esetén kerülhető el (BIRKÁS - GYURICZA, 2004).

A talajra ható tevékenységek közül az erdőirtás, a legelőfeltörés, a hagyományos művelés, a meszezés, az öntözés (jó nedvességellátottság), az aerob mikroba-tevékenység szénfeltárás-fokozó beavatkozások, szénveszteséget okoznak (BIRKÁS, 2010).

A talajvédő művelés során a növényi maradványok jelentős hányada a felszínen marad és hatékony védelmet jelent a talajerózióval szemben (HARROLD - EDWARDS, 1974;

LANGDALE et al., 1979), továbbá jelentősen csökkenti a talajnedvesség-veszteséget (BUCHELE et al., 1955; MIELKE et al., 1986; UNGER, 1984).

A hőmérséklet a talaj mikrobiológiai tevékenységére gyakorolt hatásával közvetve is befolyásolja a növény növekedését. A mikroorganizmusok növekvő, illetve csökkenő tevékenysége következtében megváltozik a talajlevegő hőmérséklete és összetétele. A talaj hőmérsékletétől függ a magasabb rendű növények csírázása, növekedése, fejlődése, a talajban élő mikroszervezetek élettevékenysége, ezen keresztül a talaj tápanyagforgalma. A hőmérséklet befolyásolja a talaj ásványi részeinek mállását, a víz mozgását a talajban (folyékony és pára alakjában) (RÁTONYI, 2006).

A művelés utáni lebontó folyamatokat a talaj legfelső 10 cm-es rétegének hőmérséklete befolyásolja leginkább. Tapasztalatok szerint a hőmérséklet emelkedésével a talajban fejlődő CO<sub>2</sub>-mennyisége növekszik, 65°C-nál maximumot ér el, majd 90°C-ig csökken, és 110°C-nál hirtelen megnövekszik a CO<sub>2</sub>-koncentrációja. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy 65°C-nál a talaj mikrobiológiai aktivitása maximumot ér el, és ezért nő meg a CO<sub>2</sub>-tartalom. 110°C-nál pedig kémiai oxidáció okozza a CO<sub>2</sub>-tartalom növekedését (GYŐRI, 1984).

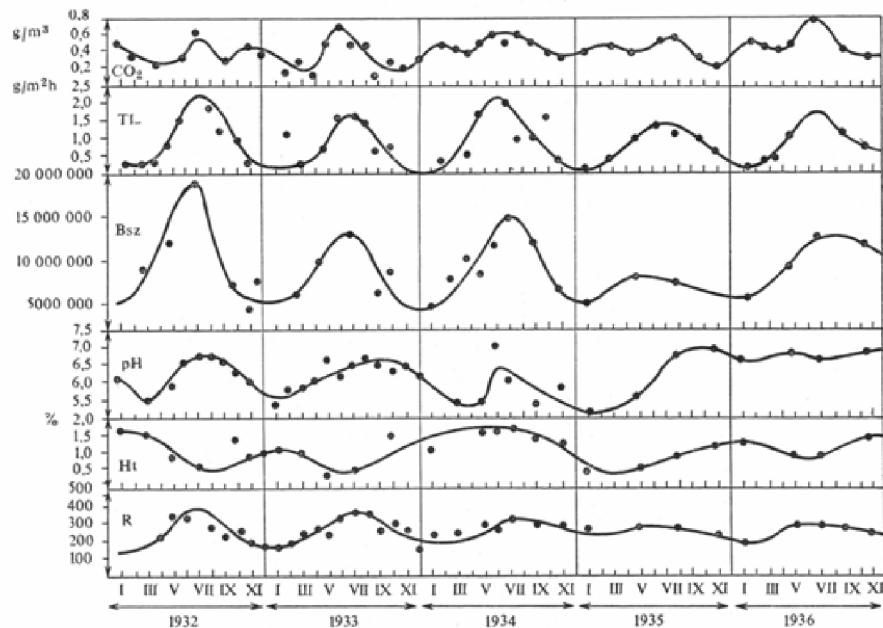
TÓTH et al. (2008) laboratóriumi körülmények között végzett emisszió méréseket a hőmérséklet és a nedvesség szén-dioxid-emissziót befolyásoló hatásának kimutatására, és azt tapasztalta, hogy növekvő talajnedvesség tartalom egyre nagyobb szén-dioxid-emissziót eredményezett.

A talajok CO<sub>2</sub>-emisszióját befolyásoló tényezők közül a talajok fizikai tulajdonságainak, azon belül is elsősorban a talajok hőmérsékletének és nedvességtartalmának van meghatározó szerepe (SMITH et al., 2003). A talajhőmérséklet vizsgálat adatai alapján megállapítható, hogy az intenzív szén-dioxid-kibocsátás egyik oka feltehetőleg a nagy talajhőmérséklet. A művelés utáni lebontó folyamatokat a legfelső 10 cm hőmérséklete befolyásolja leginkább. (BIRKÁS - GYURICZA, 2004).

Az időjárási körülmények, elsősorban a hőmérséklet lényegesen befolyásolják a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátását. Az intenzitásfüggvény változásai viszonylag jól követik a napszakváltásból

adódó talajhőmérséklet változást. Ha viszont a hőmérséklet 10°C alá süllyed az eltérő műveletek emissziós értékei között nincs lényeges különbség (CAF, 2007).

A talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátása és a talajhőmérséklet között pozitív korreláció van, továbbá a talaj nedvességtartalma szintén befolyásolja a CO<sub>2</sub>-fluxust. Egyéb tényezők is befolyásolják a CO<sub>2</sub>-emissziót (1. ábra), melyek a talaj pH értéke, a tápanyagok mennyisége illetve a vegetáció aktivitása, azaz a gyökérlégzés és a heterotrofikus élőlények légzése.



**1. ábra:** A levegő CO<sub>2</sub>-tartalmának, a talajlégzésnek (TL), a baktériumszámnak (BSz), a pH-értéknek, a humusztartalomnak (Ht) és az R-értéknek időszakos változásai egy parlagon hagyott szántóföldi területen (FEHÉR, 1954). Az R-érték a talajnedvesség és a hőmérséklet szorzata

Bár a talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátása a talajban lejátszódó mikrobiális folyamatok eredménye, mégis az emisszió mértéke erősen függ a talaj fizikai tulajdonságaitól. Számos kísérlet bizonyította, hogy a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátását a hőmérséklet, a talaj szervesanyag-tartalma, valamint a talaj nedvességtartalma alapvetően meghatározza (SZILI-KOVÁCS et al., 1993). A talaj hőmérséklete és nedvességtartalma közvetlenül befolyásolja a CO<sub>2</sub>-termelődését a mikroorganizmusokra és a gyökérlégzésre gyakorolt hatásuk révén (SMITH et al., 2003).

## 2.5. A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában

A szén-dioxidnak, mint a legfontosabb antropogén üvegházgáznak egyik fő forrása a talaj (RASTOGI et al., 2002). A talajból talajlégzés során szén-dioxid szabadul fel. A talajlégzésnek különböző komponensei vannak, mint a gyökérlégzés, a talaj szervesanyagainak bomlása mikrobák által és a talajfauna légzése a talaj vékony rétegében, ahol a növénymaradványok koncentrálnak (DE JONG et al., 1974; EDWARD, 1975). Ezen kívül még meg kell említeni a kémiai oxidációt, mely elsősorban magas talajhőmérsékletnél jelentős (BUNT - ROVIRA, 1954). Ezek közül a szervesanyagok bomlása és a gyökérlégzés a legfontosabb, melyek kb. fele-fele arányban járulnak hozzá a talaj CO<sub>2</sub>-légzéséhez (MACFAYDEN, 1970).

A talajlégzés, vagyis a talajfelszínen át kibocsátott CO<sub>2</sub>-mérése viszonylag egyszerű, jóval problematikusabb annak felbontása gyökér-, rizoszféra- és mikrobiális légzésre. A CO<sub>2</sub> talajból légkörbe áramlása a földi anyagforgalom egyik legfontosabb komponense, és elsősorban a talajban zajló mikrobiális lebontó folyamatok, valamint a növényi gyökerek respirációjának a következménye (HANSON et al., 2000). Kisebb mértékű, mindössze néhány százaléknnyira tehető a talaj makro- és mezofaunájának CO<sub>2</sub>-kibocsátása (KE et al. 2005).

Nagyságrendjét tekintve a talajlégzés évi összegének területi eloszlása Magyarországon 380–470 g C·m<sup>-2</sup>·év<sup>-1</sup> értékek között változik (ÁCS et al., 2005). A talajnak, mint a légköri szén-dioxid pufferének elnyelő vagy kibocsátó szerepe nagyban függ a talaj széntartalmának eredetétől, formájától és stabilitásától. Lényeges a kibocsátott szén eredetének (növényi eredetű CO<sub>2</sub>, vagy a talaj szervesanyagából származó CO<sub>2</sub>, megállapítása a talaj, illetve az ökoszisztéma szénkészletének jövőbeni sorsát illető előrejelzések szempontjából is (TRUMBORE 1997).

Az ökoszisztémák szénmérlegét két nagy áramlás, a bruttó primer produkció és a különböző eredetű légzések összege alakítja. Az utóbbi komponens nagyobbik hányada a talajhoz köthető. A talajlégzésen belül az adott légzési komponens eredete szerint megkülönböztetünk az aktuális asszimilációs rátához erősen kapcsolt gyökér- és rizomikrobiális légzést, továbbá a



talaj egyéb szervesanyag tartalmának bomlásához köthető egyéb mikrobiális légzést (KRÖEL-DULAI et al., 2008). Emellett a komponensek abszolút mennyisége és egymáshoz való aránya is változhat térben és időben. A mikrobiális közösségen belül is eltérő a CO<sub>2</sub>-kibocsátás intenzitása és térbeli-időbeli mintázata. A fenti állítást támasztja alá az is, hogy az eukarióták közül a gombák lebontó folyamatai hatékonyabbak, kevesebb szenet lélegeznek el az összes biomassájukhoz képest, mint a baktériumok, azonos körülmények között, egységnyi idő alatt. Természetesen a baktériumok különböző anyagcseréjű csoportjai között is lényeges különbségek vannak a lebontás hatékonyságában.

A talajlégzés meghatározása több szempontból is fontos. A talajlégzés intenzitásának értékei nagyléptékű szénforgalmi vizsgálatok bemeneti adatait képezhetik, hozzájárulhatnak a bioszféra-atmoszféra interakciók feltárásához, szénmérlegek készítéséhez, szükségesek a globális klímaváltozás-modellek kialakításához, és ezzel kapcsolatos predikciók megtételéhez (DAVIDSON – JANSSENS, 2006). A talajok CO<sub>2</sub>-kibocsátási intenzitása alapját képezi talajok minősítésének, és hozzájárul talajszennyezések következményeinek becsléséhez (HUND-RINKE – SIMON, 2008). Sok esetben a talajlégzés természetének és ezen keresztül a talajban zajló folyamatoknak, valamint az azokat meghatározó tényezőknek a vizsgálata a cél: pl. a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásáért felelős egyes összetevők elkülönítése, arányuk meghatározása, illetve a talajlégzést befolyásoló hatások elemzése, mint a talajhőmérséklet, a talajnedvesség, a talaj tápanyagtartalma, valamint a külső CO<sub>2</sub>-koncentráció hatása (BRUCE et al. 2000). Végül célkitűzés lehet közvetlenül magának a talajlégzés vizsgálati, mérési módszertanának a kidolgozása, módszerek összehasonlítása, megbízhatóságuk elemzése is (DORE et al., 2003).

A talajok CO<sub>2</sub>-termelését a talajban zajló bonyolult folyamatok együttese adja, melyben a különböző eredetű szubsztrátok mikrobiális lebontása mellett szerepet játszik a gyökérlégzés és a talaj mezofaunájának légzése is. A CO<sub>2</sub>-kibocsátás komponenseinek szezonális változásokra adott válasza mind mértékében, mind időléptékét tekintve jelentősen eltérhet egymástól. Hosszabb távon a klímaváltozásra adott válaszok is igen különbözőek lehetnek. Ráadásul a légköri, a klimatikus, valamint a tájhasználatbeli globális és regionális változások kihatnak nemcsak a növényi, hanem a talaj mikrobiális társulásainak összetételére is, ami

alapvetően megváltoztathatja az ökoszisztéma-légkör interakciókat (SCHIMMEL - GULLEDGE, 1998).

A CO<sub>2</sub>-gázcseré és annak valamennyi komponense (fotoszintetikus CO<sub>2</sub>-fixáció, fotoszintetizáló és nem fotoszintetizáló szervek sötét- és fénylégzése, valamint a talaj autotróf és heterotróf légzése) térben és időben nagy variabilitást mutat minden vegetációtípusban (STOYAN et al., 2000). E variabilitás (akár természetes, akár mesterséges okok hozták létre) a folyton változó környezeti feltételekhez való alkalmazkodás egyik lényeges megnyilvánulása (CHENG et al., 2007). Emellett a zöld növényzet sűrűsége is befolyásolja a talajnedvesség, a felszíni hőmérséklet, az energia- és vízháztartás, a tápanyagforgalom mintázatát, és ez a viszony kölcsönös (COSH - BRUTSAERT, 2003).

Amikor CO<sub>2</sub>-kibocsátást vizsgálunk, számos különböző tér- és időléptékű folyamat együttes eredményét mérjük. Ezek a folyamatok a környezet változásaira eltérően válaszolhatnak (pl. az olyan abiotikus tényezőkre, mint a hőmérséklet vagy a talajnedvesség, a gyökérszövet élettani folyamatai eltérően reagálhatnak, mint a mikrobáké (BOONE et al., 1998), így nehéz ezekre a folyamatokra, de még közös eredőjükre is adekvát megállapításokat tenni. Ezért tehát lényeges a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátás jövőbeni változásainak becsléséhez az adott ökoszisztémában a komponensek arányának ismerete. Az elkülönítés fontos a szénmérleg vizsgálatoknál, a szénallokációs és szénelnyelési kutatásoknál is, mert sok tanulmány szerint a talaj megfigyelt CO<sub>2</sub> kibocsátásának nagy részét a gyökérlélegzés teszi ki.

Az aerob talajlélegzést általában a termelt CO<sub>2</sub> és a fogyasztott O<sub>2</sub> mérésével határozzák meg, ill. becslik. Nagyon sokszor azonban csak a CO<sub>2</sub>-termelést mérik: ezt ugyanis mind az aerobok, mind az anaerobok egyaránt kibocsátanak (SZABÓ, 1986).

A tárcsás boronák és szántóföldi kultivátorok hozzájárulnak a rizoszféra-közösség maximális, de lokalizált aktivitását lehetővé tevő pF 2 körüli tenzió értékek fenntartásához, miközben a növény alatt, a morzsastruktúra és a szervesanyag-készlet károsítása nélkül, a talaj még több CO<sub>2</sub>-ot fejleszthet és biomasszája is nagyobb lehet, mintha szántották volna. Ez a tény feltehetően az intenzív gyökéraktivitásra vezethető vissza (BARBER - STANDELL, 1977; ANDERSON - DOMSCH, 1975; LYNCH - PANTING, 1980). Az ilyen művelés hatására a

felszíni réteg végső soron gazdagabbá válik szervesanyagokban és szerves tápanyagokban is, mint a szántott (DOUGLAS, 1977; DREW - SAKER, 1978). A forgatás nélkül művelő lazítók, közöttük az altalaj- vagy mélylazítók működésének biokémiai háttere egészen sajátos. Ezek – a lazítókések távolságától és a lazítás mélységétől függően eltérő mértékben – elsősorban a talaj óvatos ventillációján keresztül mérsékelten aktiválják az aerob dinamikát. A légjáratok levegőjében csökken számos illó anyagcseretermék toxikusan magas szintje. A CO<sub>2</sub> a talaj gázfázisában pl. elérheti a 6%-ot, ami már gátolja a gyökerek K-, N-, P-, Ca- és Mg-felvételét, de a mikrobiológiai aktivitást is (ALEXANDER, 1974).

A mérsékelt övi füves ökoszisztémák föld feletti biomasszájában – eltérően a mérsékelt övi erdőktől – jellemzően az összes szerves szén kevesebb, mint 1 %-a található (BURKE et al., 1997). Ennél lényegesen nagyobb a gyökérzetben tárolt organikus szén mennyisége (az élő biomasszában tárolt mennyiség akár kilenctizede is), de legnagyobb széntároló kapacitással a talaj rendelkezik, mely a füves ökoszisztéma összes szerves széntartalmának döntő tömegét (átlag 90%) tárolja.

## **2.6. A gázemisszió meghatározásának módszerei**

Noha az első talajrespiráció mérés több mint 100 évvel ezelőtt történt, mostanáig sincs egy egyezményes módszer a talajlégzés mérésére (ANDERSON, 1982, NAKAYAMA, 1990). A talajlégzés egy rendkívül heterogén folyamat mind térben mind időben, valamint vertikálisan és horizontálisan is befolyásolják a talajtulajdonságok és számos más változó tényező. A meglévő mérési módszerek bizonytalansága alapvetően összefüggésben van ezzel a változékonysággal (SMITH et al., 2008).

A gázemisszió meghatározására szolgáló módszereket a Környezettechnika kézikönyv (BARÓTFI, 1991) vonatkozó fejezetének megfelelően tekintem át. Alapvetően két megoldás (számítás és mérés) kínálkozik a kibocsátott gázok kvantitatív meghatározására.

### *a. Az emisszió meghatározása műszaki számításokkal*

A méréseknél egyszerűbb, de természetesen pontatlanabb műszaki számításokat három fő csoportba sorolhatjuk:

- anyagmérlegek,
- fajlagos, empirikus adatok,
- gyors elemzések.

*b. A gázemisszió mérése*

A mérés gázelemző rendszerekkel történik. Ezek lehetnek fix telepítésűek és mobil rendszerek. Működési elvüknek megfelelően a következő csoportokba sorolhatjuk őket:

- hővezetési elven működő gázelemzők,
- paramágneses elven működő gázelemzők,
- infravörös elven működő gázelemzők,
- ultraibolya sugárzás elve alapján működő gázelemzők,
- elektrokémiai elven működő gázelemzők,
- villamos vezetőképesség elvén működő gázelemzők.

A talajlélegzés jelentős tér és időbeli változatosságának következtében számos mérési technikát fejlesztettek ki azzal a céllal, hogy a különböző léptékekben uralkodó, eltérő folyamatokat vizsgálják. Az *in situ* terepi mérések általában respirációs kamrák (nyitott vagy zárt, statikus vagy dinamikus) használatán alapszanak. Mivel a talajnedvesség-tartalom és a talajhőmérséklet a két fő tényező, amely befolyásolja a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátást (REICH - SCHLESINGER, 1992, SZILI-KOVÁCS, 2004), így ezen környezeti változók értékét is rögzíteni kell, a CO<sub>2</sub>-emisszió és a környezeti tényezők közötti kapcsolat megismeréséhez. A talaj szén-dioxid-kibocsátásának mérését laboratóriumban általában szerkezet nélküli, bolygatott mintákon végzik (LINN - DORAN, 1984, BOWDEN et al., 1988, BAJGAI et al., 2011).

A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásának mértékét különféle módszerekkel lehet meghatározni, azonban a számos módszer mindegyikének megvannak az előnyök mellett a maguk korlátai is – nem létezik tökéletes módszer. Ráadásul ezen módszerek összehasonlíthatósága a mai napig is kérdéses (HEINEMEYER – MCNAMARA, 2011). A mérés gázelemző rendszerekkel

történik. Ezek lehetnek fix telepítésűek és mobil rendszerek. Működési elvüknek megfelelően a következő csoportokba sorolhatjuk őket:

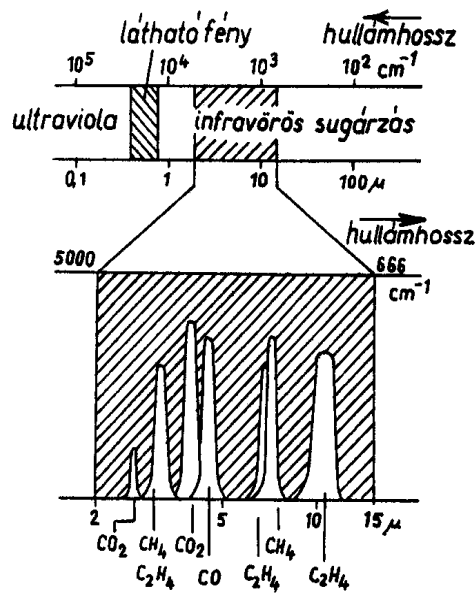
- Gázelektrodos mérési technika (oxigénelektróddal) WILSON - GRIFFIN (1975) a mikroorganizmusok oxigénfogyasztásának mérésével becsülték a CO<sub>2</sub>-keletkezését elektrolitikus respirométer és a hozzá csatlakoztatott nyomás kompenzátor segítségével.
- Alkáli abszorpciós technika statikus kamra csatlakoztatásával egy lúgos oldatban vagy mészben (általában NaOH, KOH vagy szódamész) elnyeletik a szén-dioxidot, mely adott idő alatt fejlődik egy statikus kamrában, és így az oldat súlygyarapodásából (ROCHETTE - FLANAGAN, 1997), vagy a maradék lúg sósavas titrálásával (WILDUNG et al, 1975) számítják ki a keletkezett CO<sub>2</sub>-mennyiségét.
- A gázkromatográfias módszernél a talajra helyezett zárt kamrában gyúlik fel a szén-dioxid, a kamralevegőből injekcióstűvel mintát vesznek, majd gázkromatográfban megméri a CO<sub>2</sub>-tartalmat (EMMETT et al., 2004).
- Infravörös gázanalizátor (IRGA) statikus vagy dinamikus zárt rendszerű kamrával módszer esetén a zárt kamrában fejlődő CO<sub>2</sub>-mennyiségét infravörös gázanalizátor segítségével is meghatározhatjuk, vagy statikus módon (a kamrából adott időközönként vett levegőminta IRGA-ban való megméréseivel), vagy az IRGA-hoz kapcsolt szintén zárt dinamikus kamrában.
- Infravörös gázanalizátor nyílt rendszerű kamrával. A nyílt rendszer alkalmazása esetén az IRGA-hoz csatlakoztatott nyílt dinamikus kamra levegője folyamatosan a külső levegővel keveredik, elkerülendő a külső körülményeknél jóval magasabb szén-dioxid-koncentráció kialakulását a kamra belsejében (FANG - MONCRIEFF, 1998). Míg előbbi esetben (zárt rendszer) lényeges a kamra CO<sub>2</sub>-koncentrációjának változását a kezdeti állapottól fogva és minél kisebb időközönként mérni, ez utóbbi esetben (nyílt rendszer) meg kell várni, amíg kialakul a dinamikus egyensúly a kamralevegő és a talaj között, és ekkor már közvetlenül a CO<sub>2</sub>-fluxus határozható meg.
- Szén-dioxid-profil technika a talajban: a széndioxid-profil technikával a talaj vertikális CO<sub>2</sub>-eloszlását és áramlási mintázatait becsülik, valamint azok időbeli (napi, szezonális) változásai követhetők nyomon. Itt különböző talajmélységekbe leszúrt szondákkal vesznek mintát a talajlevegőből, és azt elemzik infravörös gázanalizátorral vagy gázkromatográfias módszerrel (NAGY et al., 2011).

A rendelkezésemre álló Anagas CD 98; illetve GasAlert Mico5 típusú, angol gyártmányú készülékek az infravörös elven működő gázanalizátorok csoportjába tartoznak, ezért ezek működési elvének ismertetését tartottam csak szükségesnek. Az infravörös elven működő eljárás azt a jelenséget használja ki, hogy a különböző atomokból álló (heteroatomos) gázok az infravörös sugárzást is, minden egyes gáz esetében jellegzetes sávokban elnyelik. A gázok a fénysugarakat legnagyobbbrészt átteresztik. Az infravörös sugarak elnyelése függ az infravörös sugarak hullámhosszától, a gázok fajtájától, valamint a gázréteg vastagságától. A maximális értékek minden gáz esetén más helyen vannak, és azonos vastagságú gázrétegre más és más értékűek. Nincs két, egymástól különböző összetételű gáz, amelynek átteresztési görbéi azonosak lennének.

Az elemi gázoknak nincsenek abszorpciós tulajdonságaik. Az infravörös sugarakat mindenütt átengedik. Az infravörös gázelemzők tehát kizárólag vegyületek elemzésére alkalmasak. Sugárforrásul két egyforma, meghatározott fűtésű infravörös sugárzó szolgál, amelyek sugárzását egy motorikus hajtású blendekegész azonos fázisban modulálja. Az egyik sugárzó modulált sugara az analízáló kamrán keresztül az egyik érzékelő kamrába jut, a másiké pedig az N<sub>2</sub>-töltésű összehasonlító kamrán keresztül az előzővel azonos kiképzésű másik érzékelőkamrába. Az összes részek infravörös sugarakat átbocsátó ablakocskákkal vannak lezárva.

Az érzékelőkamrák, amelyeket egy membránkondenzátor választ le egymástól, mindenkor azzal a gázzal vannak töltve, amelynek a koncentrációját mérni akarjuk, tehát infravörös sugárzást csak a mérendő komponens sávjaiban képesek elnyelni. Ha az analízáló kamrán átáramlik a mérendő gáz, úgy az infravörös sugárzás egy része már ott elnyelődik. Ezáltal az érzékelőkamra kisebb mértékben melegszik fel, mint az összehasonlító ágban lévő kamra, amelybe a gyengítettlen sugárzás lép be. A moduláció ütemében ingadozó kamrák közti hőmérsékletkülönbség a mérendő komponens koncentrációjától függ. Ez a kompenzátormembrán meghajlítása révén modulált kapacitásváltozást okoz, és ezzel egy ellenálláson a váltakozó feszültség megváltozását. Ezt egy szelektív mérőerősítő egyenárammá alakítja.

Amennyiben a mérendő gáz olyan komponenseket tartalmaz, amelyek elnyelési sávjai a mérendő komponensével átlapolják egymást, úgy az analizáló és az összehasonlító kamra előtt azonos, a zavaró komponenssel töltött szűrőkamrák helyezhetők el, s ezáltal megnövelhető a mérendő komponensre vonatkoztatott szelektivitás (pozitív szűrés). A negatív szűrésnél, amelyet az egymást erősebben átlapoló elnyelési sávok esetében alkalmaznak, a mérendő gáz a mérőküvetta mindkét oldalán átáramlik, míg a csak az összehasonlító oldalon lévő szűrőküvetta a mérendő komponenssel van megtöltve, amely koncentrációja úgy van meghatározva, hogy csak a zavaró komponens által fedett részt nyeli el. Ezáltal a zavaró befolyás a mérő- és az összehasonlító oldalon azonos mértékben lép fel, s így a mérést nem befolyásolja. A 2. ábrán az elektromágneses sugárzási tartomány a  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  és  $\text{CO}_2$  elnyelési sávjaival az infravörös tartományban szemantikusan vázlatát mutatom be.



2. ábra: A gázemisszió infravörös elven történő mérésének vázlata

Szántóföldi körülmények között a leginkább elterjedt gázemisszió meghatározási módszer a hagyományos kamrás mérés (AMBUS et al., 1993). Előnye, hogy biztosítja a folyamatos mérés lehetőségét, így akár a napi dinamika meghatározását is. Mindazonáltal a mintavételi és analitikai korlátok miatt sokkal jellemzőbbek a heti, vagy havi intervallumokra meghatározott emisszió értékek (MOISER, 1989). Ezeket egy egyszerű mérőhenger (3. ábra) lehelyezése, és

a mérés kezdete előtti lefedése (inkubáció) után, a meghatározott mérési intervallum szerinti in situ mérésekkel nyerhetjük.



**3. ábra:** Egyszerű mérőhenger a mérési terület lehatárolására

Jelenleg a szabadföldi gázemissziós mérések technikai csúcsát az automatizált, kvázi folyamatos mérést biztosító, korszerű analitikai egységgel felszerelt, nagyméretű kamrákkal ellátott berendezések jelentik. Egy ilyen berendezésről számol be AMBUS - ROBERTSON (1998). A műszer fotoakusztikus infravörös spektrométeres analitikai egysége CO<sub>2</sub>- és N<sub>2</sub>O-koncentráció, 2,5 percenkénti gyakorisággal történő mérésére alkalmas (4. ábra).



**4. ábra:** Automatikus szabadföldi kamrás gázanalizátor

LOFTFIELD et al. (1992) szintén keretes módszert alkalmaztak (5. ábra), ők a HUTCHINSON - MOISER (1981) által kifejlesztett eszközt fejlesztették tovább, úgy, hogy erdei körülmények között is alkalmas legyen a mérésekre.





**5. ábra:** Duplafalú kerettel ellátott kamra

## **2.7. A témához kapcsolódó szakirodalom összegző értékelése**

A témához kapcsolódó szakirodalomban fellelhető megállapítások közül a következőket tartom az értekezésben foglaltak szempontjából mérvadónak:

- A talajok szerepe igen jelentős a szén ciklusban, összes széntartalmuk nagyjából kétszerese a légkörben található, és szervesanyagaikban kétszer-háromszor annyi szerves kötésű szén található, mint a vegetációban. A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátása a globális szén ciklus második legfontosabb eleme, így fontos szerepet játszik a klímaváltozásban.
- A magyarországi talajok szénkészlete folyamatosan változik, különösen az elmúlt évtizedre becsülhető jelentős változás. A talajművelésben beálló szemléletváltozás egyre nagyobb mértékben jellemző. Mivel a talaj – a klíma és az időjárás mellett – a növénytermesztés egyik legfőbb olyan tényezője, amely alapvetően meghatározza a termelés minőségét, gazdaságosságát, a talaj és a növénytermesztés összefüggéseinek feltárása az egyik legfontosabb kutatási feladat. A mezőgazdasági földterületeken és erdőkben történő szénmegkötés célja nemcsak az éghajlatváltozás elleni harc, hanem a talajminőség javítása is.

- Az intenzív forgatásra alapozott talajművelés a talajok degradációját és erózióját eredményezheti. A hagyományos művelést felváltó, a talajt védő művelési módszerekkel jelentős mértékben javítható a talaj kémiai, fizikai és biológiai állapota. A műveléssel létrehozott talajállapot-változások befolyásolják a biokémiai és biológiai folyamatokat. Az eddigi kutatási eredmények bizonyították, hogy az újabb művelési módok (csökkentett művelés, minimum-művelés, talajvédő művelés), a növényi maradványok területen hagyása miatt, nemcsak csökkentik a talaj szén veszteségét, de néhány esetben a talaj szén tartalmát is növelik.
- A talajok CO<sub>2</sub>-emisszióját befolyásoló tényezők közül a talajok fizikai tulajdonságainak, azon belül is elsősorban a talajok hőmérsékletének és nedvességtartalmának van meghatározó szerepe.
- A talajlégzésnek különböző komponensei vannak, mint a gyökérlégzés, a talaj szervesanyagainak bomlása mikrobák által és a talajfauna légzése a talaj vékony rétegében, ahol a növénymaradványok koncentrálnak. Ezen kívül még meg kell említeni a kémiai oxidációt, mely elsősorban magas talajhőmérsékletnél jelentős. Ezek közül a szervesanyagok bomlása és a gyökérlégzés a legfontosabb.
- A talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásának mértékét különféle módszerekkel lehet meghatározni, azonban a számos módszer mindegyikének megvannak az előnyök mellett a maguk korlátai is.

A fentiekben összefoglalt megállapítások természetesen nem ölelik fel a teljes szakirodalmat, amely igen széleskörű, de véleményem szerint kellő áttekintést ad a disszertáció témaköréhez kapcsolódó kutatási eredményekről. Mindazonáltal megállapítható, hogy a mezőgazdasági talajok szén-dioxid-kibocsátásával, a kibocsátást befolyásoló talajművelési és talajfizikai tényezők tisztázásával, és a talajok szénkészletének becslésével kapcsolatos ismereteink nem teljesek és nem általános érvényűek, hiszen nem minden körülményre interpretálhatóak. Ezért véleményem szerint ismereteink ilyen irányú bővítése nem hiábavaló és további erőfeszítéseket igényel.

### **3. ANYAG ÉS MÓDSZER**

#### **3.1. A mérési helyszínek természeti adottságai**

##### ***3.1.1. Földrajzi elhelyezkedés***

Karcag a Nagyalföldön, a Közép-Tiszamente térségben, a Nagykunság kistérségben helyezkedik el a Tisza folyótól keletre, földrajzi koordinátái: É 47° 23', K 20° 56', átlagos tengerszint feletti magassága 87 m Bf.

##### ***3.1.2. A terület geomorfológiája***

Karcag a Kárpát-medence egyik legalacsonyabban fekvő területén található, a Közép-Tiszavidéken belül a Nagykunság kistérségben a Közép-Tiszavidék jelenlegi felszíne kialakulásának, felépítésének és arculatának minden vonását makro- és mezoformáit a folyók építőmunkájának köszönheti. A talajok kialakulása során részben a szél, részben a víz által szállított és lerakott üledékekből jöttek létre az alapkőzetek. A medence jellegű terület feltöltődése során magas agyagtartalmú üledékek depozíciója volt jellemző. A folyók üledéke keveredett a felszínre hulló porral, azaz a szél által szállított ún. eolikus lösszel. A löszanyagok a többé-kevésbé vízzel borított felszínre kerülve az ún. infúziós löszet hozták létre. Ezen folyamatok következményeként a terület alapkőzeteinek agyagtartalma magas. A felszín legnagyobb részét löszös anyag, lösziszap borítja, melyhez téglagyag-készletek kapcsolódnak (Karcag, Mezőtúr, Kisújszállás, Törökszentmiklós, Martfű, Tiszaföldvár).

##### ***3.1.3. A térség klímája***

A Nagykunság kistérség Magyarország egyik legszárazabb, a hőmérsékleti ingadozásokat tekintve legszélsőségesebb, illetve leginkább kontinentális jellegű területe. A maximum középhőmérséklet 20,8°C, június és augusztus között jellemző, a minimum középhőmérséklet -2,9°C, általában januárban mérhető. Meleg, száraz, mérsékelt forró nyarú éghajlati körzetbe esik. A napsütéses órák évi összege 2000-2100 között változik. (DÖVÉNYI, 2010).

A vizsgált időszak meteorológiai adatait az 1. táblázatban mutatom be. A méréseimhez szükséges aktuális meteorológiai adatokat a Kutatóintézet területén felállított OMSZ mérőhálózatába tartozó meteorológiai állomás méréseiből használtam.

**1. táblázat:** Meteorológiai adatok Karcagon a vizsgálati időszakban  
(Forrás: DE ATK Karcagi Kutatóintézet)

	<b>50 éves átlag (1951- 2000)</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Éves átlaghőmérséklet (°C)</b>	10,02	9,8	10,6	12,0	11,4	11,7	10,4	11,1	11,5
<b>Vegetációs időszak (április-október) átlaghőmérséklete (°C)</b>	16,3	16,5	17,1	17,7	16,9	18,1	16,2	17,8	18,6
<b>Éves csapadékmennyiség (mm)</b>	503,4	743,1	585	548	567,9	547,4	889,1	385,7	344,5
<b>Vegetációs időszak (április-október) csapadékmennyisége (mm)</b>	340,3	569,4	420,1	386,9	418,7	272,5	614,0	278,2	246,9
<b>A talajhőmérséklet (-10 cm) közéértéke (április- október) (°C)</b>	-	18,2	18,4	19,2	18,4	18,8	17,6	18,6	19,3
<b>A talajhőmérséklet (-10 cm) maximális értéke (április- október) (°C)</b>	-	27,6	28,3	31,4	26,5	27,0	26,9	28,7	30,2
<b>A talajhőmérséklet (-10 cm) minimális értéke (április- október) (°C)</b>	-	5,6	4,6	7,1	8,8	7,4	5,3	5,8	5,0
<b>A talajlégzés minimális értékei (g*m<sup>-2</sup>*h<sup>-1</sup>)</b>	-	0,03	0,02	0,05	0,01	0,01	-	0,13	0,04
<b>A talajlégzés maximális értékei (g*m<sup>-2</sup>*h<sup>-1</sup>)</b>	-	0,35	0,46	0,56	0,73	0,73	-	0,61	0,84

A vizsgálati időszak időjárása meglehetősen változatos volt, ezzel kiváló alkalmat teremtett az évek közötti összehasonlításhoz. 2011 nyár és 2012 nyár vége kivételesen meleg és száraz volt, valamint a 2009-es év is szokatlanul meleg és száraz nyarat hozott. Ezzel szemben 2005 és 2010 igen csapadékos évjáratok voltak, míg 2006 és 2008 többé-kevésbé átlagos évnék mondható az 50 éves meteorológiai átlagokat tekintve. A legnagyobb évek közötti változatosság az áprilistól júniusig (a vegetációs aktivitás csúcsának időszakában) lehullott csapadék mennyiségében mutatkozott. 2005-ben a vegetációs időszak során 569,4 mm csapadék esett, míg például 2012-ben 246,9 mm, ami az említett mennyiség felét sem érte el.

A Nagykovácsány Alföldünk és egyben országunk legszárazabb tája, az átlagos éves csapadékmennyiség 500mm körüli. Az alacsony csapadékmennyiségen kívül annak éves eloszlása is kedvezőtlen, de szélsőségesen magas csapadékmennyiségű évjáratok is előfordulnak. A csapadék mennyiségének évi változása nagyon erős (a legcsapadékosabb hónapban két és félszer annyi esik, mint a legszárazabbban). A potenciális evapotranszpiráció éves értéke meghaladja a 700-800 mm-t. Az évi vízhiány a kevés csapadék és a meleg nyár miatt itt a legnagyobb hazánkban. A tájra jellemző uralkodó szélirány az északi, északkeleti.

#### ***3.1.4. Talajtani viszonyok***

A különböző talajtípusok kialakulása szoros összefüggésben áll a térség geológiai, hidrológiai és klimatikus viszonyaival. A tájban 9 talajtípus fordul elő. A talajvízhatás alatt álló mélyebb fekvésű területek kiterjedt (15%) talajtípusát az agyag vagy agyagos vályog mechanikai összetételű réti talajok és a fiatalabb, kisebb humusztartalmú réti öntéstalajok (3%) képviselik. Számottevő (30%) a szikes talajok mennyisége, amely a réti szolonyec (9%), a sztyeppesedő réti szolonyec (8%) és a szolonyeces réti talajokból (13%) tevődik össze. A szikes (szolonyec) talajok a mélyebben fekvő területek löszhátain, a csernozjom talajok a magasabb, míg a réti talajok az alacsonyabb fekvésű területeken találhatóak. A táj talajképző közeiteiben az agyag, a löszszerű képződmények, a homok különböző változatai vékonyabb vagy vastagabb rétegekben fordulnak elő. Eloszlásuk és váltakozásuk különösen a felszínhez közeli rétegekben nagy befolyást gyakorol a talajképződési folyamatokra és a kialakuló talajtípus tulajdonságaira is.

### A mérési helyszínek talajának jellemzése

A komplex talajművelési kísérlet talajának, illetve a tenyészedényes vizsgálatokban alkalmazott talajnak a típusa mély humusz rétegű, mélyben szolonyeces réti csernozjom (6. ábra). A talajképző kőzet vályogos agyag textúrájú infúziós lösz.



**6. ábra:** A karcagi réti csernozjom talaj szelvénye (*Saját fotó*)

A mérőhely talajának szelvényleírását az alábbiakban közlöm:

**A<sub>sz</sub>** 0-30 cm: sötétbarna, vályog, poliéderes szerkezet, sok gyökér, fokozatos átmenet

**A<sub>1</sub>** 30-50 cm: feketésbarna, agyagos vályog, kifejezettebb poliéderes szerkezet, kevesebb gyökér, éles átmenet

**B** 50-84 cm: világosbarna, vályog, morzsás szerkezet, csökkenő humusztartalom, karbonátos, folyamatos átmenet

**BC** 84-120 cm: még világosabb szín, agyagos vályog, mészkiválások, kevés gyökér 110 cm-ig, fokozatos átmenet

**C** 120 cm-: sárgás szín, agyag, vasborsók, nincs gyökér.

A mérési helyszínek feltalajának kémhatása gyengén savanyú (2. táblázat), az A-szintben azonban jelentős hidrolitos aciditást mutat, amely a szén-savas mész megjelenésével a 40-50 cm-es rétegtől megszűnik. Mérhető mennyiségű szóda az 50 cm alatti rétegekben mutatható ki.

**2. táblázat:** A terület kémiai alapvizsgálatának eredményei

Kezelés	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	só- tart.	CaCO <sub>3</sub>	Humusz tart.
			%	%	%
Hagyományos művelés	6,81	5,48	<0,02	<0,05	3,27
Redukált művelés	7,17	6,08	0,03	<0,05	3,65

A vizsgált talajréteg mechanikai összetételének elemzése (3. táblázat) kimutatta, hogy a talaj minkét művelési módnál agyag fizikai feleségű, Arany féle kötöttsége alapján szintén ebbe a kategóriába sorolható, e paraméter értékei a szelvényben lefelé haladva fokozatos növekedést mutatnak.

**3. táblázat:** A minták mechanikai elemzésének eredményei és az Arany féle kötöttsége

Kezelés	>0,25 mm	0,25- 0,05 mm	0,05- 0,02 mm	0,02- 0,01 mm	0,01- 0,005 mm-	0,005- 0,002 mm	0,002> mm	K <sub>A</sub>
Hagyományos művelés	0	6,7	8,8	16	11,7	11,7	45,1	49
Redukált művelés	0	4,8	11,5	12	14,7	12,5	44,5	54

A vizsgált talaj agyagtartalmának megfelelően víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságai rosszabbak, a talajlevegő részére rendelkezésre álló makropórusok aránya a talajban kisebb, így a légjárhatósága, szellőzése rosszabb, mint a könnyebb, vályogtalajoké. Ezeken a talajokon különösen fontos a szervesanyag tartalom megőrzése, hiszen ezáltal javítható a levegőgazdálkodás, szellőzőtség.

### 3.1.5. Hidrológiai viszonyok

A talajokat kialakító folyamatok szoros kapcsolatban állnak a felszíni és felszínalatti hidrológiai körülményekkel. A Nagyalföld jelentős része állandó vagy időszakos vízborítás alatt állt a Tisza múlt századbeli szabályozása előtti időszakban. Számos kisebb folyó is finom üledéket szállított a területre. A folyószabályozás után a Tisza és mellékfolyói hatása alatt álló terület jelentősen csökkent, a talajvízszint süllyedt. Ezek ellenére a talajvízszint ingadozása még ma is meghatározó folyamatnak tekinthető. Ez az ingadozás (fluktuáció) mintegy 0,8-1,8

m mértékű Karcag térségében. A Közép-Tiszavidék talajvízszintje geomorfológiai és talajtani körülményektől függően a felszíntől 1-20 m mélységig váltakozhat. A talajvizek ásványi sótartalma egyes esetekben igen jelentős, más esetekben azonban csekély. A vízben oldott ásványi sók minősége helyenként és talajtípusonként igen változó.

A táj legfontosabb jellemzője a nagyfokú vízszegénység, ami a felszíni és felszín alatti vizekre egyaránt vonatkozik. Az egész területnek egyetlen olyan állandó jellegű természetes vízfolyása sincs, mely a táj határán belül eredne. Az átfolyó vízfolyások eloszlását a szomszédos területek vízháztartási viszonyai és a térszín lejtése szabja meg. A tájat fő folyója, a Tisza a szerkezeti vonalnyalábokhoz igazodva keresztezi.

### **3.2. A mérések helyszínei**

A méréseket a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézetének (DE ATK KKI) területein végeztem.

#### ***3.2.1. A komplex talajművelési kísérlet***

Az 1997-ben indított komplex talajhasznosítási és talajművelési kísérlet célkitűzése a talaj fizikai degradációját megállító konzerváló talajművelési rendszer lehetőségeinek és hatékonyságának megállapítása a Tiszántúl agroökológiai és szántóföldi ökoszisztémái között, környezetkímélő energiatakarékos talajművelési rendszer kidolgozása. A program tartalmazza:

- a rendszeresen művelt réteg mélységének csökkentését,
- a forgatásos talajművelési eljárás elhagyását, csökkentett menetszámú talajművelés és direktvetés alkalmazását,
- a termőhelyen képződő szervesanyagok mulcsozási technológiával történő talajba juttatását,
- valamint a mélylazítás alkalmazását a talaj fizikai hibáinak, illetve a termékenységet korlátozó tényezők megszüntetésére.



A talajművelési kísérlet a Kutatóintézet H-1 jelű tábláján (7. ábra) folyik. A tábla mérete 16 hektár, ebből 3,5 hektáron hagyományos művelést folytatunk (továbbiakban HM), 12,5 hektáron talajkímélő, forgatás nélküli, redukált művelést (továbbiakban RM). A 4 parcellán egyszerre 2 növényfaj vetésváltásban került termesztésre. Az itt termesztett növényfajok (őszi búza, kukorica, borsó, napraforgó, őszi árpa) reprezentálják a Nagykunságban kialakult szántóföldi növénytermesztés szerkezetét.



**7. ábra:** A komplex talajművelési kísérlet

2006 őszén a tábla egyharmada, mindkét talajművelési parcella esetében, hígtrágyával volt kezelve. A viszonylag jó tápanyag-ellátottságú talajon, az akkori cirok kísérletben, 60 t/ha termésszint biztosításához szükséges 200 kg/ha nitrogén, 30 kg/ha  $P_2O_5$  illetve 222 kg/ha  $K_2O$  hatóanyagoknak megfelelő hígtrágyakezelés történt. Így a műveléshatáson kívül a hozzáadott anyag hatását is tudtam vizsgálni a  $CO_2$ -emisszió vizsgálatokkal.

2011-2012-ben a terület egyharmada, mind a hagyományosan, mind a redukáltan művelt parcellákon PRP-Sol nevű talajkondicionáló szerrel volt kezelve. A talajkondicionáló szer javítja a talaj szerkezeti állapotát, vízgazdálkodását, növeli annak tápanyagtartalmát. A talajkondicionáló szer gyártója az anyag a talaj biológiai aktivitását serkentő hatást hangsúlyozza. A javítóanyag növeli a talajban élő mikro- és makroorganizmusok tevékenységének aktivitását, lényege, hogy aktiválja a talajfunkciókat. A termék egy olyan pellet, amely természetes kötésű kalcium és magnézium karbonátokat tartalmaz (4. táblázat). Kijuttatás után az anyag szemcséi a talajoldatban oldódnak és szétoszlanak. A gyártó a terméket mindenféle talajtípusra és növényre ajánlja.

4. táblázat: A talajkondicionáló szer jellemzői

CaO	MgO	Semlegesítési érték	pH	Térfogattömeg
35%	8%	46%	7,7	1,19 g/cm <sup>3</sup>

### 3.2.2. Az átfolyóvizes liziméterek, mint tenyészedények

A méréseket a DE ATK KKI liziméter állomásán végeztem, 8 átfolyóvizes liziméter egységben állítottam be a kísérletet, ahol a liziméter hengerek tenyészedényként funkcionáltak.

Általában a talaj CO<sub>2</sub>-tartalma két különböző forrásból származhat, ezek a gyökérlégzés és a talaj szervesanyagainak mikrobiológiai bomlása. Azért, hogy ezt a kétféle folyamatot külön-külön kiértékelhessem, az edények felét befűvesítettem, a többi növényborítás nélkül maradt (8. ábra), így a gyökérlégzés kizárásával, pusztán a mikrobiológiai bontásból származó CO<sub>2</sub>-mennyiségét is meg lehetett határozni. A gyept mindig visszanyírásra került, hogy a növényi fotoszintézis ne zavarja meg a vizsgálatokat.



8. ábra: A növényborítás nélküli és a befűvesített edények (Saját fotó)

A vizsgált 3 évben öntözési kísérletet is rávittem a növényborításos kísérletre. 2008-ban mindegyik sorozatban volt egy egység, amit öntöztem, egy, amit csökkentett dózissal öntöztem és egy-egy edény öntözetlen maradt. 2009-ben egységesen öntöztem a 8 átfolyóvizes liziméter egységet. 2011-ben átalakítottam a kísérletet, 4 edényt öntöztem teljes

dózissal, 2 edényt csökkentett dózissal, 2 pedig öntözetlen maradt (5. táblázat), így az öntözővíz dózissokkal kialakított különböző talajnedvesség-tartalom és a talaj szén-dioxid-kibocsátása közötti összefüggéseket is tudtam vizsgálni.

**5. táblázat:** Az átfolyóvízes lizimétereken beállított kísérlet kezelése

Az egység sorszáma	Felület	Gyökér-légzés	Öntözés 2008	Öntözés 2009	Öntözés 2011
16	Gyep	+		Teljes dózis	Teljes dózis
17	Növényborítás nélkül	-	Teljes dózis	Teljes dózis	Teljes dózis
18	Gyep	+	Teljes dózis	Teljes dózis	-
19	Növényborítás nélkül	-	Csökkentett dózis	Teljes dózis	-
20	Gyep	+	Csökkentett dózis	Teljes dózis	Csökkentett dózis
21	Növényborítás nélkül	-	-	Teljes dózis	Csökkentett dózis
22	Gyep	+	-	Teljes dózis	Teljes dózis
23	Növényborítás nélkül	-		Teljes dózis	Teljes dózis

### 3.2.3. Az eredeti szerkezetű talajoszlopok, mint tenyészedények

A méréseket a DE ATK Karcagi Kutatóintézetének talaj-előkészítőjében végeztem. 8 mintavevő hengerrel eredeti szerkezetű (bolygatatlan) talajminta lett véve az Intézet H-1 jelű táblájáról, a komplex talajművelési kísérletből. A gyakorlatban sokszor előforduló probléma, hogy szerkezet nélküli, bolygatott talajmintákat használnak szerkezetfüggő talajtulajdonságok – mint amilyen a CO<sub>2</sub>-emisszió is – laboratóriumi vizsgálatához. Ezzel megsemmisítik a talajszerkezetének és pórusméret-eloszlásának hatását a talajok szilárd-, folyékony- és légnemű fázisainak arányára és ezek erős befolyását a talaj biológiai folyamataira és a CO<sub>2</sub>-emisszióra. Ritkán találkozunk a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátását bolygatatlan talajoszlopokon, ellenőrzött körülmények között végzett kísérletekkel (TÓTH et al., 2009).

A kísérlethez használt talaj típusa csernozjom. Az első négy mintát hagyományos művelésű (H), a második négy mintát a redukált (R) művelésű parcellából vettem (6. táblázat). A mintavevő henger mindkét vége nyitott, így az alsó részét szitaszövetet helyettesítő selyemmel zártam le, ami a nedvességet át tudja engedni. A hengerek a továbbiakban tenyészedényként funkcionáltak. A mintavétel után a talajoszlopok nedvességtartalmát szántóföldi vízkapacitásig feltöltöttem, így az első emisszió mérés időpontjában a talajok telítettek voltak. Az edényeket cserépdarabok segítségével megemelttem, és tálcára helyeztem, így az öntözés során a kifolyó víz alul távozni tudott, és ezt a tálcán összegyűjtöttem. Mindegyik egység hetenként kapott 0,15 liter öntözővizet, mivel zárt térben szobahőmérsékleten volt beállítva a kísérlet, és így a párolgási veszteségek pótlására ennyi nedvességre volt szükség. A vízpótlásnak abban is volt szerepe, hogy meggátolja a talajoszlop és az edény elválását, illetve repedések képződését, ami duzzadó-zsugorodó (réti csernozjom) talajok esetében bekövetkezhet, és az emisszió vizsgálatokban mérési hibát okozhat. Az edényeket növénymentesen tartottam. A kísérlet 30 napig tartott, 5 alkalommal történt öntözés, és 16 alkalommal végeztem emisszió méréseket.

**6. táblázat:** A tenyészedényes kísérlet néhány jellemzője

Jelölés:	henger magassága (cm)	talajoszlop magassága (cm)	talajoszlop sugara (cm)	talajoszlop térfogata (cm <sup>3</sup> )	edény+talaj tömege (g)	száraz talaj tömege (g)	térfogattömeg (g/cm <sup>3</sup> )
H 0	20,0	17,2	8,7	4102,0	7800	6835	1,666
H 1	20,0	17,2	9,0	4313,6	7800	6835	1,585
H 2	20,0	17,3	8,9	4290,4	8200	7235	1,686
H 3	20,0	17,9	9,0	4537,5	8600	7635	1,683
R 0	20,0	17,9	8,8	4352,6	8500	7535	1,731
R 1	20,0	18,0	8,7	4280,8	8200	7235	1,690
R 2	20,0	17,3	8,4	3851,1	7500	6535	1,697
R 3	20,0	17,7	8,4	3943,2	8300	7335	1,860

### 3.2.4. A gyeprágyázási kísérlet

A DE ATK Karcagi Kutatóintézet juhtelepe mellett található extenzív kezelésű gyeptársuláson, továbbiakban Rainer, is végeztem méréseket. A kísérleti terület WGS 84 koordinátái É 47°23', K 20°56', tengerszint feletti magasság 83 m. A kísérletet egytényezős, négy kezeléssel, négy ismétléssel, véletlen blokkrendezésben állítottuk be 2003 őszén. Az

ismétlések nettó területe 10 m<sup>2</sup> volt. Használt jelölések a kezeléseknél: T0: kontroll; T20: 20 t/ha komposzt; T40: 40 t/ha komposzt; T60: 60 t/ha komposzt. A kísérleti terület talajtípusa közepes réti szolonyec. A talaj nagy agyagtartalmú, nedvességtartalomtól függően hajlamos nagymértékű duzzadásra, zsugorodásra. A feltalaj laboratóriumi vizsgálati adatait az 7. táblázat tartalmazza.

**7. táblázat:** A kísérleti terület talajvizsgálati adatai (0 – 10 cm)

pH(KCl)	y1	K <sub>A</sub>	Össz. Só (%)	Hu (%)	NO <sub>3</sub> -N (mg/100 g)	AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100 g)	AL-K <sub>2</sub> O mg/100 g)
4,78	18,1	57	0,03	3,82	3,12	4,65	31,7

A kísérletnél felhasznált komposzt természetes úton előállított, tápanyagokkal dúsított szerves juhtárgya. A komposzt aprómorzsa (15mm kisebb frakció), szagtalan, patogén baktériumoktól, gyommagvaktól mentes szagmentes, egyöntetű termék, beltartalmi adatait a 8. táblázat tartalmazza, nagy mennyiségű mikro- és mezoelemet tartalmaz. 2010. novemberében került a komposzt kiszórásra a kísérleti területre, tehát 2012-ben másodéves trágyaként fejtette ki hatását. Kiszórás után csak szét volt gereblyézve a gyepen, hiszen ösnyepeknél nincs bedolgozási lehetőség.

**8. táblázat:** A juhtárgya alapú komposzt beltartalmi adatai

szárazanyag tartalom (m/m%)	szerves anyag tartalom (m/m%)sz.a.	pH (H <sub>2</sub> O)	N (m/m%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (m/m%)	K <sub>2</sub> O (m/m%)	Ca (m/m%)	Mg (m/m%)
legalább	legalább		legalább	legalább	legalább	legalább	legalább
60	50	~8	2,5	1,9	5	1,8	0,7

### 3.3. A talaj CO<sub>2</sub>-emissiójának meghatározása és a kiegészítő mérések

#### 3.3.1. A CO<sub>2</sub>-koncentráció mérésére alkalmazott módszer

Többféle módszer és eszköz létezik a mérési felület lehatárolására, ezek nagyon hasonlítanak, de néhány gyakorlati különbség található közöttük. Magyarországon TÓTH és KOÓS (2006)

is kifejlesztett egy saját mérési technikát, mely többé-kevésbé megegyezik a miénkkel, a fő különbség a gáz mintavétel módszerében és vizsgálatában van. Karcagon egy egyedi, speciális eszközt (fémkeret és műanyag mérőedény) fejlesztettem ki, melyet a disszertáció Eredmények című fejezetében mutatok be részletesen.

A CO<sub>2</sub>-koncentráció mérésére az Anagas CD 98 illetve a GasAlertMicro5wPump típusú infravörös gázanalizátorokat használtam (9. ábra). Az analizátorok mérési tartománya 0-5%, felbontása 0,01%, elemes kivitelezésű, motoros pumpás.



**9. ábra:** Az Anagas CD 98 típusú infravörös gázanalizátor (balra) és a GasAlertMicro5wPump típusú (jobbra) gázanalizátor (*Saját fotó*)

A CO<sub>2</sub>-mérés folyamata a következő:

- a mérési terület lehatárolása,
- a kezdeti CO<sub>2</sub>-koncentráció megmérése, a terület felfedése,
- 30 percet várakozási idő (inkubációs idő), majd
- a megemelkedett CO<sub>2</sub>-koncentrációt megmérése az edényekben.

A mérések során a következő adatokat jegyeztem fel:

- dátum, időpont,
- a levegő hőmérséklete (kezdeti és végső),
- a talaj hőmérséklete a 5 és 10 cm mélyen (kezdeti és végső),
- CO<sub>2</sub>-koncentráció.

A méréseket minden esetben három ismétlésben végeztem, az Eredmények fejezetben közölt adatok mindig a három ismétlés átlagát mutatják be.

### 3.3.2. A CO<sub>2</sub>-emisszió számítása

A CO<sub>2</sub>-emissziós értékek kiszámításához a következő képletet alkalmaztam:

$$F = d * (V/A) * (C_2 - C_1) / t * 273 / (273 + T)$$

ahol

$F$  = CO<sub>2</sub>-emisszió (g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>)

$d$  = a CO<sub>2</sub> térfogattömege (1,96 kg m<sup>-3</sup>)

$V$  = a henger talajszint feletti térfogata (m<sup>3</sup>)

$A$  = a mérési felület (m<sup>2</sup>)

$C_1$  = a kezdeti CO<sub>2</sub>-koncentráció (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)

$C_2$  = az inkubáció utáni CO<sub>2</sub>-koncentráció (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)

$t$  = inkubációs idő (s)

$T$  = a levegő hőmérséklete (°C).

### 3.3.3. A talaj nedvességtartalmának és hőmérsékletének mérése

Minden CO<sub>2</sub>-koncentráció mérés során mértem a levegő és a talaj hőmérsékletét is (5 és 10 cm mélységekben), amelyhez digitális hőmérőt használtam.

A talajok nedvességtartalmát többféle módszerrel határoztam meg a mérések során. A szántóföldi mérések során a gravimetriás módszert alkalmaztam. A mért nedvességtartalmat tömeg %-ban, az abszolút száraz talaj tömegére vonatkoztatva kaptam meg. Helyszíni nedvességmérésre alkalmas TTN-M típusú Sinóros-Szőllősi féle szondákat is alkalmaztam a talajművelési kísérlet utolsó vizsgált évében. A talaj aktuális nedvességtartalmának mérésére a HydroSense TM típusú talajnedvesség-mérőt használtam (5-10 cm-en) az átfolyóvizes lizimétereken beállított tenyészedényes kísérletekben.

### 3.3.4. A Forróvíz-oldható (labilis) szervesanyag-frakció meghatározása

A vizsgálatokhoz a talajmintákat a feltalajból vettem, a hagyományos talajművelésű területeken a művelt rétegből (0-30 cm), míg a redukált művelésű területeken a 0-15 cm-es rétegből. A forróvíz-oldható széntartalom meghatározásához az extrahálást a SZIE Agrokémiai Tanszékén található Hot Water Percolator készülékén végeztük (FÜLEKY - CZINKOTA, 1993). A kivonatok fényelnyelését a 190-900 nm hullámhossztartományban mértük. Az extraktok (alacsony) C-tartalmának meghatározására a DE ATK Karcagi Kutatóintézetében kifejlesztett módosított Tyurin-módszert alkalmaztuk. A módszer alapja az, hogy kénsav jelenlétében, oxidálószer (kálium-bikromát) segítségével a talaj szervesanyag-tartalmát elroncsoljuk, és a feleslegben maradt roncsolószer visszamérésével a fogyott oxidálószerrel egyenértékű szerves kötésű C mennyiségét kiszámítjuk.

### 3.4. A talaj szénkészletének számítása az IPCC módszer szerint

A talaj szénkészletének változásra vonatkozó számításaimat az IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry – továbbiakban IPCC Útmutató - (kb. Helyes Gyakorlati Útmutató a Földhasználatra, a Földhasználat változására és az Erdészetre vonatkozóan) 2003-as kiadásában leírt módszertan szerint végeztem. Ez a kézikönyv segítséget nyújt a talaj földhasználatától függő CO<sub>2</sub>-emissziója és elnyelése mértékének becsléséhez. Ez a metodika a talaj szénkészletét egységesen és egyezményesen a felső 30 cm-es rétegben veszi figyelembe, és nem kalkulál a felszínen esetlegesen felhalmozódó növényi maradványok széntartalmával vagy a szervesetlen szén (pl. karbonát ásványok) változásával.

A számítási módszer azon alapszik, hogy egy a földhasználatban bekövetkezett változás utáni meghatározott időszak alatt a talaj szénkészlete annak hatására megváltozik. A változást a következő egyenlettel lehet leírni:

$$\Delta C_{CC} = [(SOC_0 - SOC_{(0-T)}) * A] / T$$
$$SOC = SOC_{REF} * F_{LU} * F_{MG} * F_I$$

ahol

$\Delta C_{CC}$  = a talaj szénkészletének éves változása, t C év<sup>-1</sup>

$SOC_0$  = a talaj szénkészlete a vizsgálati évben, t C év<sup>-1</sup>



$SOC_{(0-T)}$  = a talaj szénkészlete a kiindulási évben T évvel a vizsgálati év előtt, t C év<sup>-1</sup>

T = vizsgálati időszak, év (alapbeállítás 20 év)

A = a vizsgált terület nagysága, ha

$SOC_{REF}$  = referencia szénkészlet, t C ha<sup>-1</sup>

$F_{LU}$  = a talajhasználat típusától függő készletváltozási faktor, dimenzió nélkül

$F_{MG}$  = a talajművelési rendszertől függő készletváltozási faktor, dimenzió nélkül

$F_1$  = a szerves C-inputtól függő készletváltozási faktor, dimenzió nélkül.

Az adott területre vonatkozó kiindulási szénkészlet ( $SOC_{(0-T)}$ ) és a vizsgálati évben meglévő szénkészlet ( $SOC_0$ ) a referencia szénkészletekből és a készletváltozási faktorokból számítható ki a vizsgálati időszakra. A növénytermesztéssel hasznosított területet a számára specifikusan megfelelő klíma-, talaj- és művelési rendszer kombinációjával jellemezzük. Az emisszió, illetve az elnyelés éves értékét úgy kapjuk meg, hogy a vizsgálati időszakra eső szénkészletváltozást osztjuk a vizsgálati időszak éveinek számával. Az IPCC metodikában az alapbeállítás 20 év.

Természetesen a fenti egyenlet csak egy olyan terület szénkészletének változást írja le, ahol csak egy bizonyos talajtípus fordul elő, adott a talajhasználat típusa, a talajművelési rendszer és a szervesanyag-gazdálkodás intenzitása. Amennyiben tehát ezek az adatok a rendelkezésünkre állnak, az adott területnagyságra ki lehet számolni a talaj szénkészletének változását. Ennek megkönnyítésére az IPCC felkérésére a Colorado State University Natural Resource Ecology Laboratory (kb. Colorado Állami Egyetem Természeti Erőforrások Ökológiai Laboratóriuma) egy számítógépes programot (IPCC Soil Carbon Tool – a továbbiakban SCT) fejlesztett ki. A program leírása szerint ez egy olyan eszköz, amely a szántó és gyepterületek talajának szénkészletében a talajhasználat változásának hatására bekövetkező változások becslésére szolgál az IPCC által meghatározott alapértelmezett értékek alapján. Az SCT-ben a következő alapparamétereket kell beállítani:

- ország (country),
- éghajlat típus (climate region),
- talajtípus (native soil type).

Az utóbbiak az IPCC saját kategóriái, de a WRB, vagy a USDA kategóriarendszerének felhasználásával az adott talajtípusok besorolhatóak ebbe a rendszerbe. Ezen alapparaméterek ismeretében a program becslést ad az adott talaj meglévő szénkészletének (existing carbon stock) nagyságáról MgC/ha dimenzióban ( $t\ ha^{-1}$ ).

Az egyes faktorok és paraméterek meghatározását és alapértelmezett értékeit is tartalmazza a program, ezeket a megfelelő fülre kattintva egy-egy megnyíló kis dialóg négyzetben olvashatjuk (10. ábra).

10. ábra: Az IPCC Soil Carbon Tool program kezelőfelülete (minta)

Ezután a módosító tényezőket kell figyelembe venni mind az eredeti (FROM system), mind a 20 évvel későbbi (TO system) talajhasználati jellemzőknek megfelelően. Meg kell adni az eredeti talajhasználatra (FROM system) jellemző adatokat, elsőként a talajhasználati módot. Az én esetemben ez mindig szántó (long-term cultivated) volt, mivel csak a magyarországi szántók szénkészlet változásának becslésével foglalkoztam ebben a dolgozatban. A talajhasználati módon belül az adott területünket a talajművelési rendszer (management system) szerint kell meghatározni, ez határozza meg az ún. management faktort. Ennek

értékét a program azonnal meg is jeleníti az addig betáplált paraméterek ismeretében. Ezt követően a szervesanyag-input (inputs) kategóriákba való besorolást kell elvégeznünk. A következő lépésként ugyanezeket az adatokat meg kell adnunk a 20 évvel későbbi állapot (TO system) esetében is. Eredményként a program azonnal megjeleníti mindkét évre vonatkozóan a talaj becsült szénkészletét (predicted carbon stock) szintén MgC/ha dimenzióban ( $t\ ha^{-1}$ ), továbbá az egy évre eső szénkészlet változás értékét (annual carbon stock change - MgC/ha/yr).

Ahhoz, hogy egy nagyobb területre is meg tudjuk határozni a talajok szénkészletének változását, a területet fel kell osztanunk klímazónák és talajtípusok szerint. Minden egyes klímazónára és talajtípusra eső területet be kell sorolnunk a releváns talajművelési rendszer és a szervesanyag-input szerint. Ez egy igen összetett, nagyléptékű munka, amely egyrészt központi, pl. statisztikai, illetve azokból származtatott adatokból táplálkozik, másrészt szakértői becsléseken alapszik. A DE ATK Karcagi Kutatóintézetének munkatársai évek óta részt vesznek egy olyan munkában, amely erre a metodikára épül. Konkrétan az ENSZ-nek, illetve az Európai Uniónak évente készített ÜHG-leltár elkészítéséről van szó, amelybe nekem is volt szerencsém bekapcsolódni, s a metodikát megismerni, használni. Az egyes tagországok által elkészített éves nemzeti jelentések (NIR: National Inventory Report) megtalálhatók az ENSZ honlapján: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories).

#### **3.4.1. A területadatok meghatározása**

A területi adatok meghatározásakor szükség van azok felosztására, azaz alkategóriákba való besorolásra. Az egyes területeket az IPCC metodikának megfelelően a talaj típusa, a klíma, a talajművelési rendszer és a bevitt szervesanyag mennyisége (input) alapján osztályoztam. Az egyes alkategóriák területi kiterjedésének meghatározásához a KSH adatokat kombináltam a CORINE adatbázissal, mely utóbbi az 1990-es és a 2000-es évre vonatkozó felmérések eredményeit tartalmazza. Habár a földhasználat változására vonatkozóan nem állnak rendelkezésre adatok 1990 előtti és a 2000 utáni időszakról, a hiányzó időszakokra a meglévő adatok interpolációjával becsültem értékeket.

### ***3.4.2. A talajtípusok meghatározása***

A talajoknak az IPCC metodikának megfelelő besorolását három lépésben végeztük el. Először a magyar talajosztályozási rendszernek megfelelő talajtípusokba soroltuk be Magyarország szántóit az AGROTOPO (Magyarország talajainak digitális térképe) adatbázisára támaszkodva. A második lépésben az egyes talajtípusokat a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete GIS Laborjának munkatársai sorolták be a WRB klasszifikációnak megfelelően, majd csoportosították azokat az IPCC talajtípusoknak megfelelően. Az egyes talajtípusok területi kiterjedését kiszámolták és térképen ábrázolták. Ezen adatok voltak az alapadatai a további területi leosztásoknak.

### ***3.4.3. A klímazónák meghatározása***

Magyarország szántóinak klímazónák szerinti besorolását, az egyes éghajlati zónák területi kiterjedésének meghatározását az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársai végezték a Karcagi Kutatóintézet megbízásából. Az OMSZ-nál két IPCC metodika szerinti klímakategóriát neveztek meg, amelyek Magyarország teljes területét lefedik:

1. mérsékelt hideg, száraz (Cold Temperate Dry), ahol az éves középhőmérséklet 10°C alatti és az éves csapadékmennyiség kevesebb, mint a potenciális evapotranszspiráció mértéke,
2. mérsékelt meleg száraz (Warm Temperate Dry), ahol az éves középhőmérséklet 10°C feletti és az éves csapadékmennyiség kevesebb, mint a potenciális evapotranszspiráció mértéke.

A klímazónák meghatározása után azokat harmonizáltuk a talajtípusok szerinti besorolással, azaz a négy talajtípust elhelyeztük a két klímakategóriába.

### ***3.4.4. A talajművelési rendszer szerinti besorolás***

Az IPCC metodika alapján a szántóföldi művelés alatt álló területeket a következő művelési rendszerekkel jellemezhetjük:

*Direktvetés:* az elsődleges művelés nélküli talajművelési mód, a lehető legkisebb talajbolygatás a vetési mélységben. A gyomirtás tipikusan kémiai módszerrel történik.

*Redukált talajművelés:* elsődleges és/vagy másodlagos talajművelést is magába foglal, de mérsékelt talajbolygatással (általában sekély művelést jelent a talaj forgatása nélkül). Általában 30%-nál nagyobb növényi maradványokkal való fedettséget biztosít a talajfelszínen.

*Hagyományos talajművelés:* a valódi talajforgatást foglalja magába és/vagy gyakori (az adott éven belül) talajművelési beavatkozásokat. Vetéskor a növényi maradványokkal borított talajfelszín aránya kisebb, mint 30%.

Ahhoz hogy fel lehessen mérni a talajok szénkészletének változását, meg kellett állapítani a hagyományos és a redukált művelés alatt álló területek nagyságát a vizsgálati periódus elején és végén. Mivel erre vonatkozóan nem állnak rendelkezésre kielégítő adatok, a területlehatárolást szakértői becsléssel kellett megállapítani. A becslés alapját a főbb gabonanövények (őszi búza, őszi és tavaszi árpa, illetve kukorica) vetésterülete adta, amely nagyjából azonosnak tekinthető évről évre (2,6 millió ha), jelentős mértékben nem változik. Mivel az újnak számító talajvédő művelési rendszereket elsősorban ezen gabonanövények termesztése esetében használják, ezért indultunk ki a vetésterületük nagyságából. A KITE Zrt-től (amely Magyarország legnagyobb mezőgazdasági szolgáltató és kereskedelmi vállalata) kapott gépeladási statisztika alapján számba vettük azokat a gépeket és eszközöket, amelyek a talajvédő művelési rendszerekben használatosak. Az eladott gépek és eszközök számából megbecsültük, hogy mekkora területen használják ezeket (a gabona vetésterület egy negyedén).

#### **3.4.5. A szervesanyag-input szerinti besorolás**

Az IPCC metodika szerint az input faktorok a talajba bekerülő szervesanyag széntartalmának a talaj szénkészletének változására gyakorolt hatását jellemzik annak függvényében, hogy pl. mennyi a területen maradó növényi maradvány, a fekete ugaroltatás gyakorisága, vagy az alkalmazott javítóanyagok és trágyaszerek mennyisége. Az IPCC metodika szerint az input faktor kategóriák a következők: alacsony, közepes, magas-szervestrágyázás nélkül és magas-szervestrágyázással.

- *Alacsony*: kevés növényi maradvány visszajuttatása köszönhetően a növényi maradványok eltávolításának (azok összegyűjtése vagy elégetése útján), a gyakori ugaroltatásnak vagy olyan növények termesztésének, amelyek kevés növényi maradványt produkálnak (pl. zöldség félék, dohány, gyapot).
- *Közepes*: közepes mennyiségű növény maradvány jellemzi azokat a rendszereket, amelyekben általában gabonaféléket termesztenek és az összes növényi maradvány a területen marad. Ha a növényi maradványok mégis eltávolításra kerülnek, akkor egyéb anyagok (pl. szerves trágya) talajba jutásával egészül ki a szerves anyag bevitel.
- *Magas-szervestrágyázás nélkül*: olyan vetésváltási rendszerek tartoznak ide, amelyekben a növényi maradvány input szervestrágyázás nélkül is lényegesen nagyobb a sok növényi maradványt produkáló növények termesztésének, a zöldtrágyázás-, köztesnövények alkalmazásának, a zöldugaroltatásnak, az évelő fűféléknek a vetésváltásban való gyakori használatának köszönhetően.
- *Magas-szervestrágyázással*: a fenti kategóriához hasonlóan magas növényi maradvány input, de rendszeres állati eredetű szerves trágyázással kiegészítve.

A fenti kategóriák közül hármát alkalmaztunk, mivel a nagy mennyiségű szerves trágya rendszeres kiszórása, különösen olyan területeken, ahol egyébként is magas a szervesanyag-input, egyáltalán nem jellemző a mai magyar mezőgazdasági gyakorlatra.

### **3.5. Az alkalmazott adatfeldolgozási, statisztikai és térinformatikai módszerek**

A mérési adatok számítógépes feldolgozását, az ábrák és táblázatok szerkesztését Microsoft Office operációs rendszerben futó szoftverek alkalmazásával végeztem el. A mért adatokból EXCEL alapú adatbázist hoztam létre.

A talaj nedvességtartalma, hőmérséklete és a talaj CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggések feltárásához a trendvonalak illesztését választottam. Ez az eljárás a legkisebb négyzetek módszere alapján a legjobban illeszkedő görbét adja meg az ismert adatok megadott tartományra történő kiegészítése céljából.

A kísérletekben a talajművelés, növénytáplálás kezeléshatását SPSS statisztikai program segítségével értékeltem ki. A Statistical Package for Social Science (SPSS) egy olyan Windows operációs rendszerben működő program, mely statisztikai adatok osztályozására,

feldolgozására és elemzésére szakosodott. Az alkalmazott vizsgálatok a varianciaanalízis és a t-próba voltak. A varianciaanalízis számos, egyező szórású, normál eloszlású csoport átlagának összevetésére alkalmas statisztikai módszer. A kétmintás t-próba azt vizsgálja, hogy két külön mintában egy-egy valószínűségi változó átlagai egymástól szignifikánsan különböznek-e. A statisztikai vizsgálatokat SzD 5% mellett végeztem. A kiugró értékek kiszűrésére valamint a kezeléshatások ábrázolására a szintén SPSS programmal készített box-plot analízist használtam.

A H1 jelű tábla mérési pontjainak felvételéhez nagy pontosságú kézi GPS-t (THALES) használtam, mely szubméteres pontosságot tud és DGPS jeleket használ. Erre azért volt szükség, hogy minden mérésnél vissza tudjak menni a legelső mérés helyére.

Ábrázoláskor megjelenítéshez használtam egy kataszteri fedvényt (1:10000-es méretarány), a Karcagi Kutatóintézet üzemi táblák fedvényét (poligonok), illetve a saját mért pontok rétegét. Ortophoto térképet, meg még egy fedvényt is alkalmaztam. Látható a volt vízfoltok rétege is. Ezen fedvények szerkesztése, megjelenítése mind a kézi GPS-re, mind az irodai számítógépen magyar Digiterra Explorer V4 térinformatikai szoftverrel történt (1-2. *Melléklet*).

A Rainer terület térképi munkáit EOVRendszerben készítettem Digiterra Explorer 6.0 illetve ArcGIS 9.2 térinformatikai szoftverek segítségével. A felhasznált térképi fedvények az 1:100ezres AGROTOPO és saját kutatóintézeti GIS adatbázisunkból származnak. A vizsgált kísérleti tér összes attributív adatait felhasználtam (4-5. *Melléklet*), tehát információnk van a talajféleségről/típusról, a közetről, fizikai talajféleségről, talajásványról, a talaj vízgazdálkodásáról, illetve kémhatásáról. Természetesen ezen térképi attributív adatokat a saját adatbázisaink tovább pontosították (helyszíni mintavételek, akkreditált laboratóriumi vizsgálataink).

A gyepterület talajának alakulásában fontos szerepet játszott a mikrodomborzat, a természetes és mesterséges vízfolyások, tereptárgyak (fő- és mellékutak, csatorna műtárgyak, erdősávok stb.). Ezek feltérképezésében felhasználtuk a saját, valamint az OTAB (Országos Térinformatikai Alapadat Bázis) digitális alapadatbázisát, rárakva a kiinduló térképi rétegünkre (kataszteri- és saját fedvényeink) a talajtípusok foltjai, a fő- és mellékutak, a csatornahálózatok fedvényeit.

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1. A talaj CO<sub>2</sub>-emisszió mérési módszerének szántóföldi körülmények közötti alkalmazása, illetve továbbfejlesztése

Számos módszer létezik a mérési felület lehatárolására, ezek sok mindenben hasonlítanak, de van köztük néhány gyakorlati különbség. A következőkben az általam használt eszközöket mutatom be, illetve azt a munkafolyamatot, mely során az eszközöket mindig az egyes mérőhelyek sajátosságaihoz igazítottam, hogy a legjobb konstrukció alakuljon ki. A méréseim helyszíneit a következő sajátosságok jellemzik (9. táblázat).

9. táblázat: A mérőhelyek sajátosságai

	Növényállomány	Gyep	Tarló
Felület	csupasz talaj	növényborítás	részleges fedettség
Rendelkezésre álló tér	korlátozott	korlátlan	korlátlan
Talajállapot	művelt, egyenetlen	kemény, egyenletes	kemény, egyenetlen
Gyökérlégzés	+	+	-

Különböző eszközök használata indokolt a mérési terület lehatárolásához a mérőhelyek tulajdonságai miatt. A megfelelő eszközök kifejlesztésében mindig a korábbi mérések tapasztalatai segítettek. Az egyes mérőhelyeken általam használt eszközök leírását közlöm használatuk és fejlesztésük szerinti kronológiában.

#### 4.1.1. A hengeres módszer

Ezt a módszert először a komplex talajművelési kísérletben használtam, ebben az esetben művelt talaj adta a mérési felületet. A vizsgálati terület lehatárolására legelőször a karcagi intézetben talajfizikai vizsgálatokhoz már korábban is használatos és bevált, a kereskedelmi forgalomban is kapható Ø110 mm-es PVC csövek 20 cm-es hosszúságú

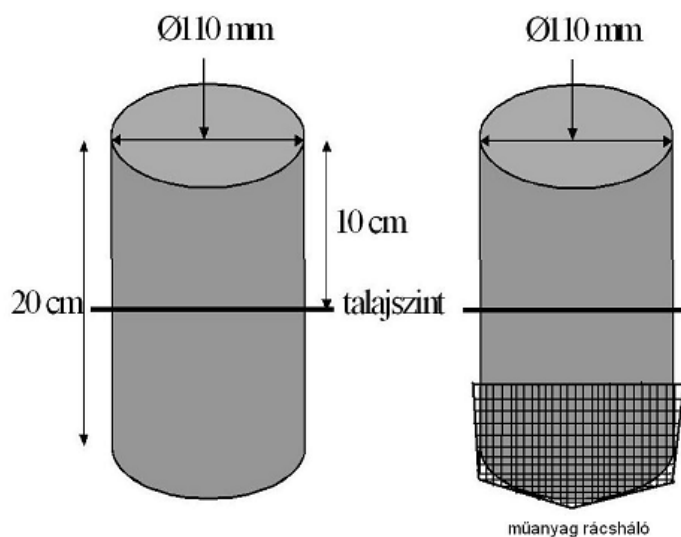


darabjait használtam. A hengereket 10 cm mélységig helyeztem a talajba, így a mintavételi tér 10 cm magas és 95 cm<sup>2</sup> felületű volt. Az inkubációhoz egyedi megoldásként a szintén vízszereelésben használatos záródugóból és karmantyúból kialakított könnyen feltehető és levehető, szigetelt kupakokat használtam. Tíz ilyen eszköz volt kialakítva, így egy-egy alkalommal 2 mérőhelyen 5 ismétlésben lehetett mérni a CO<sub>2</sub>-koncentráció értékeket (11. ábra).



**11. ábra:** A hengeres módszer (Saját fotó)

Általában a talaj CO<sub>2</sub>-tartalma két különböző forrásból származhat, ezek a növénygyökér légzés és a talaj szervesanyagainak mikrobiológiai bomlása. Ahhoz, hogy ezt a kétféle folyamatot külön-külön ki lehessen értékelni, két sorban ötösével helyeztem el a hengereket. Az első sorozatot a talajfelszín alá 10 cm-es mélységbe tettem le (A-hengerek), itt a CO<sub>2</sub>-kibocsátás mértékéhez a gyökérlégzés is hozzájárul. A másik sorozatot is 10 cm-es mélységre helyeztem, a hengerek alját hálóval fedtem le (12. ábra), hogy az a talajt visszatartsa. Méréskor a kiemelt henger aljára húzott műanyag tasakkal azt légmentesen lezártam (B-hengerek), így a gyökérlégzés kizárásával, pusztán a mikrobiológiai bontásból származó CO<sub>2</sub>-mennyiségét is meg tudtuk határozni.



**12. ábra:** A mérőhengerek paramétereit

#### **4.1.2. A nagykeretes módszer**

A komplex talajművelési kísérletben és a műtrágyázási kísérletben használt 950 cm<sup>3</sup>-es PVC csövek a gyepel borított talajfelszínre nem voltak alkalmasak, azon egyszerű oknál fogva, miszerint a műanyag csöveknek a szikes legelő kemény talajába való inzertálása gyakorlatilag lehetetlen. Ennek megfelelően egy új eszközt kellett kifejleszteni a gyepen történő mérések igényéhez igazítva azt. Az eszköz egy fémkeretből és egy műanyag edényből áll (13. ábra).



**13. ábra:** A nagykeretes mérőszett (Saját fotó)

Az élezett szegélyű fémkeret talajba inzertálása és a fémkereten kiképzett vályús perem vízzel való feltöltése biztosítja a légmentes izolációt. Az edény térfogata  $18\,000\text{ cm}^3$ . A fémkeret átmérője 44 cm, 8 cm magas, melyből 5,5 cm van a talajban, és 2 cm a felszín feletti pereme. Mindegyik esetben 3 ismétlést alkalmaztunk a méréseknél.

A mérések kivitelezése, illetve a kapott adatok feldolgozása után úgy vélem, az így kifejlesztett nagykeretes (*fémkeret + mérőedény*) mérőszett alkalmas a legelő (gyeppel borított talajfelszín)  $\text{CO}_2$ -emissziójának mérésére.

#### **4.1.3. A kiskeretes módszer**

A speciálisan gyepfelszínre kialakított nagykeretes módszert kipróbáltam szántóföldi körülmények között is. Növényállományban való mérésekre nyilvánvalóan nem praktikus az eszköz, elsősorban méretei miatt (sortáv), mindazonáltal úgy véltem, hogy egy ugyanilyen, de kisebb méretű szett megfelelő lenne a növényállományokban, illetve a tarlókon való emissziós mérések kivitelezéséhez. Ezért a nagykeretes eszközt továbbfejlesztettem, kisebb edényt és keretet készítettem, így egy könnyen szállítható és kezelhető szettet kaptunk, amely véleményem szerint kiválthatja az általam korábban alkalmazott hengeres módszert. Az így kialakított műanyag edény térfogata  $4000\text{ cm}^3$ , a fémkeret átmérője 20 cm, és ugyanúgy 8 cm magas (*14. ábra*). Hat ilyen eszközt alakítottam ki, így egy-egy alkalommal több ismétlésben tudtam mérni  $\text{CO}_2$ -koncentráció értékeket.



**14. ábra:** Az eredeti méretű (balra) és a kisebb térfogatú (jobbra) mérőeszközök  
(Saját fotó)

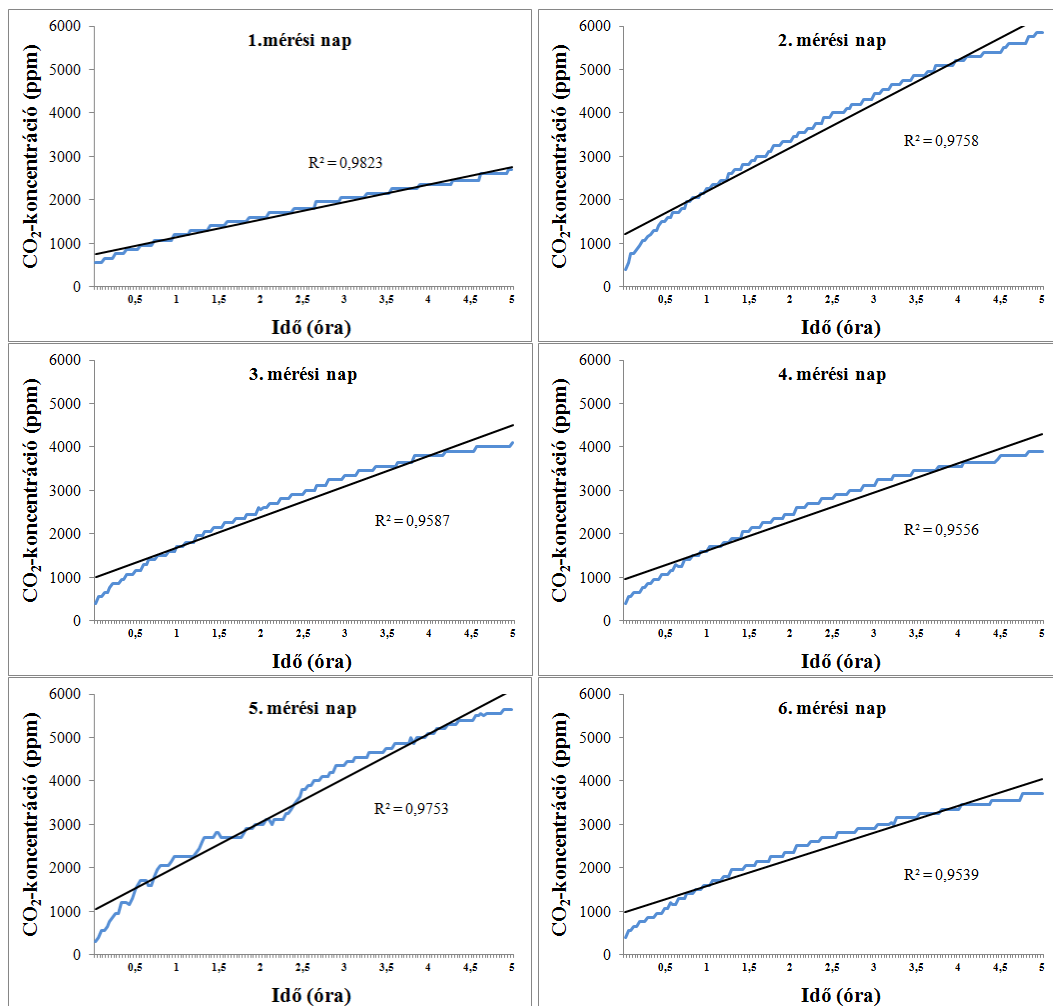
#### **4.1.4. Az ablakos módszer**

A GasAlertMicro5 típusú mérőműszer beszerzése lehetővé tette a CO<sub>2</sub>-koncentráció telítődésének mérését is. A mérés kivitelezése során a mérőműszert az inkubációs térbe helyeztem, viszont a teljesen fedett tér nem tette lehetővé a mérési nyomon követését folyamat (a műszer feltöltöttségének ellenőrzését, illetve a gázkoncentráció riasztási szintjének elérését). A probléma megoldására, az egyik műanyag edényünkön egy átlátszó plexi lap segítségével ablakot alakítottam ki, melynek segítségével betekintést nyertem az inkubációs tér belsejébe. Így már a telítődés mérés is eredményesebb volt.

#### **4.2. A CO<sub>2</sub>-koncentráció telítődésének vizsgálata az optimális inkubációs idő megállapítására**

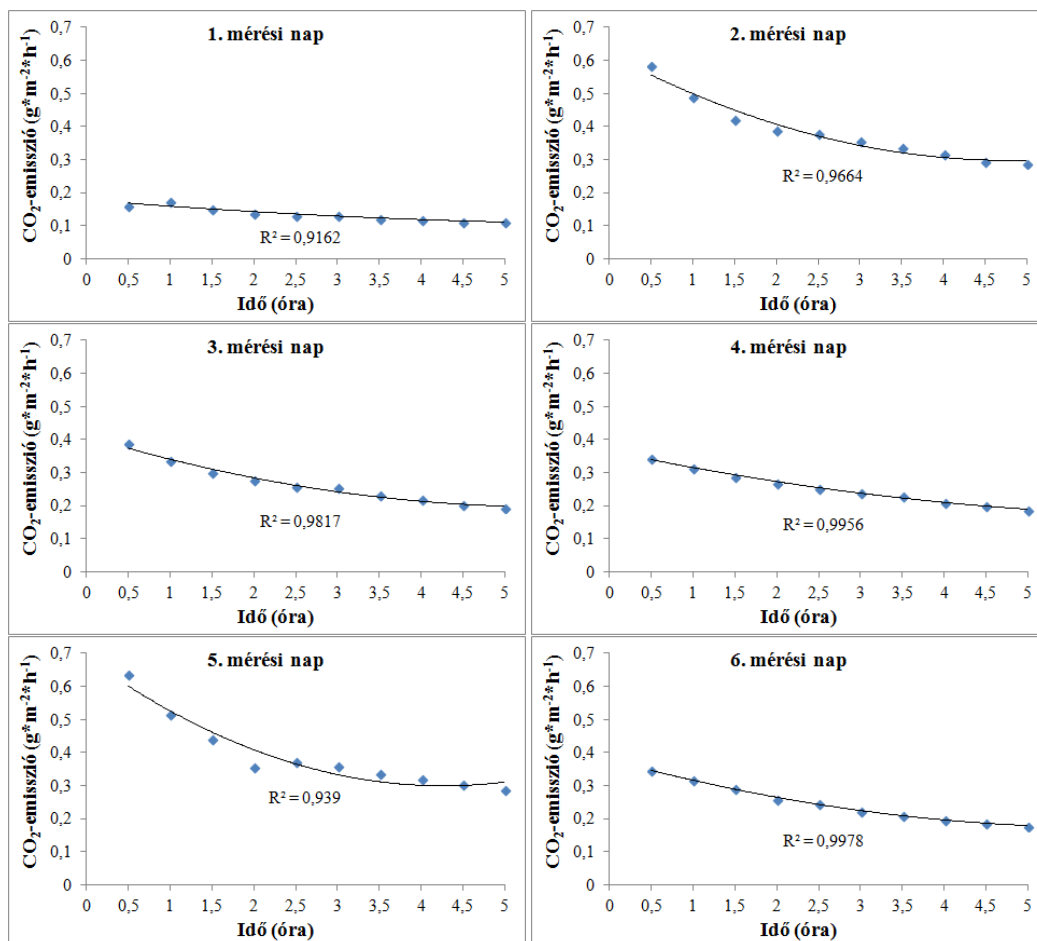
A GasAlertMicro5 típusú gázanalizátor tartozékai lehetővé tették a készülék átszerelését, vagyis a mintavevő csőnek és pumpának az eltávolítását és egy pumpa nélküli fej felszerelését, így a készülék, szivattyúzás nélkül, folyamatosan tudja mérni a tér szén-dioxid-tartalmát és a műszerben elhelyezett memóriakártyára 2 percnként tudja menteni az aktuális koncentráció értékeit. Az így átalakított készülékkel a lizimétereken beállított tenyészedényes kísérletben tudtam mérni az inkubációs térben a gázkoncentráció alakulását, illetve vizsgálni az időbeli telítődés folyamatát. A kísérlet beállítás során az is a célom volt, hogy egy optimális inkubációs időtartamot meghatározzak. Erre mérés technikai szempontból volt szükség.

A 15. ábrán 6 mérési nap eredményét mutatom be. Jól látható, hogy 5 óra hossza alatt egyik esetben sem állt be a teljes telítettség a lezárt légtérben, ezért próba jelleggel végeztem mérést 8 órahosszán keresztül is, ott is ezt tapasztaltam, de így az összehasonlíthatóság miatt, csak az 5 órás mérések eredményeit mutatom be. A nagyságrendi különbségek (a koncentráció értéke szórása) a hőmérsékleti és öntözési különbségekből adódtak, de ebben a mérésorozatban nem az emissziót befolyásoló hatótényezők feltárása volt a célom. Az inkubációs téren belüli CO<sub>2</sub>-koncentráció változás linearitását, mely a telítetlen állapotot igazolja, minden esetben sikerült kimutatni. Látható, hogy bár koncentráció értékek szinte lineárisan nőnek az inkubáció időtartama alatt, a telítődési görbe a második mérési napon jobban illeszkedik a mért CO<sub>2</sub>-koncentráció értékekre ( $R^2=0,9758$ ).



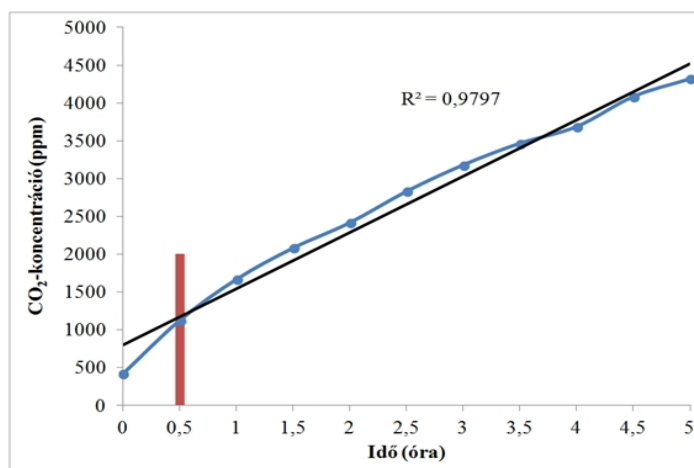
**15. ábra:** A CO<sub>2</sub>-koncentráció alakulása 5 óra inkubációs idő alatt

Ha egy zárt térben növekszik a gázkoncentráció, akkor az emisszió folyamatának időben csökkennie kell, hiszen transzmisszió (terjedés) is lassul a zárt térben. A talajfelszín pórusai és az inkubált tér közötti nyomáskülönbség elkezd kiegyenlítődni. Ennek igazolására kiszámítottam félórás időközönként (30 perc) az emissziós értékeket (a 2. mérési nap adataira) és a 16. ábrán jól megfigyelhető, hogy az értékek folyamatosan (polinomiális trendet követve) csökkennek az inkubációs idő növekedésével. A legmagasabb emissziós értéket az első félóra elteltével detektáltam.



**16. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása az idő függvényében

Ezek után a 6 nap mérési eredményeit 30 perces időközökre osztottam és a 6 mérési sorozat félóránkénti értékeit átlagoltam, és ezen átlag értékeket szintén ábrázoltam (17. ábra) és a linearitását szintén igazoltam. A grafikonon jól látszik, hogy a telítettségi görbe és a trendvonal inflexiós pontja 0,5 óránál található, vagyis addig a legnagyobb a görbe meredeksége. Ez azt mutatja, hogy félóránál hosszabb inkubációs időre a koncentráció-különbségen alapuló vizsgálatoknál sincs szükségünk, mert ennyi idő megfelelő a gázkibocsátás jellemzésére, valamint hosszabb időtartam alatt már nem a természetközeli állapotot modelleznénk. Megnéztem a 10 és 20 perces inkubációs időtartam adatait is, viszont ekkora időintervallumban még túl nagy szórást mutattak a koncentrációs értékek.



17. ábra: Az átlagos CO<sub>2</sub>-koncentráció alakulása 5 óra alatt az inkubációs térben

Az így kapott eredményekre támaszkodva alkalmaztam a koncentrációkülönbségen alapuló emissziós méréseknél a 30 perces inkubációs időtartamot.

### 4.3. Különböző talajművelési eljárásokkal művelt talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása

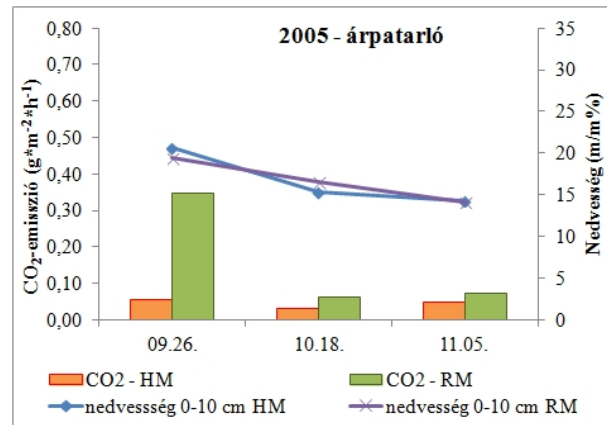
#### 4.3.1. A szántóföldi CO<sub>2</sub>-emisszió mérések eredményei

A komplex talajművelési kísérletben került sor a szabadföldi mérésekre. Itt 1997 óta folyik talajművelési kísérlet, nekem 2005-óta volt itt lehetőségem a CO<sub>2</sub>-koncentráció mérésére, hogy a különböző talajművelési módok szén-dioxid-emisszióban betöltött szerepét vizsgálhassam összehasonlító elemzésekkel. A legtöbb esetben az emisszió méréseket tarlón végeztem, betakarítás után. A talajművelési kísérletben mért eredményeket évenként külön szükséges értékelni, mert minden év, minden tenyészidőszak más körülményeket teremt, mind meteorológiai, mind növénytermesztési, mind a talajállapot szempontjából. Minden mérési időpontban legalább 3 ismétlésben mértem, az ábrákon az egyes mérési időpontokban mért mérések átlagát tüntettem fel.

A vizsgált hét év időjárása igen változatos volt (5. táblázat), kiváló alkalmat teremtve az évek közötti összehasonlításhoz.

2005-ben három időpontban volt lehetőség a mérések kivitelezésére, mindhárom időpont öszre tehető (18. ábra). Magasabb emisszió értékeket mértem a redukált

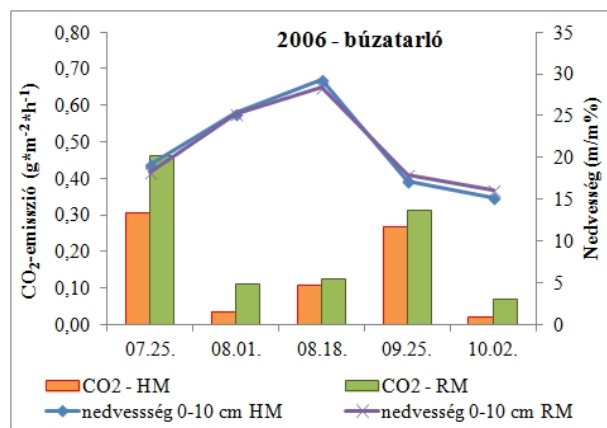
parcellában minden alkalommal, és (SzD5% = 0,14; 0,02; 0,01) mindegyik időpontban szignifikánsnak tekinthető a különbség a művelési módok között. A 09.26-i időpontban a redukált művelésű parcella talajában a mikrobiológiai aktivitás őszi csúcsa is kimutatható volt, a későbbi időpontokban még lehetőség volt a talajélet számszerűsített kimutatására, de már a hőmérsékleti és nedvességviszonyok gyengülésének következményeként alacsonyabb értékeket tapasztaltam.



**18. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2005-ben

2006-ban öt mérést sikerült elvégezni (19. ábra). A 2006. júliusi 25-i adat aratás utáni érték, számottevő különbség látható búzatarló estén a hagyományos és a redukált művelésű parcellán kapott eredmények között. Majd a hagyományos parcella nyári szántása, illetve redukált tarló esetén diskripperezés után 3 nappal megismételtem a méréseket (08.01.). Augusztusban csapadék hullás után ismét végeztem méréseket (08.18.), hiszen a mérés előtt 6-7 nappal hullott csapadék, meghatározta a talaj aktuális nedvességtartalmát, ezen keresztül annak mikrobiológiai aktivitását, így közvetve a CO<sub>2</sub>-emissziót is. Szeptemberben a búzatarlóba megtörtént a repce elvetése. A kezelések után mért értékek még a kora őszi időszakban kicsúcsosodó biológiai aktivitást mutatják (09.25.), az októberi értékek (10.02.) pedig a mikrobiológiai aktivitás szezonális dinamikájának megfelelő csökkenést. 2006 őszén az átlagnál jóval kevesebb csapadék hullott térségünkben, ennek hatása a szeptember végén és október elején mért alacsony emissziós értékeket is befolyásolta. Minden időpontban szignifikáns a különbséget tapasztaltam a két művelési mód esetén a CO<sub>2</sub>-emisszió értékekben (SzD 5% = 0,08; 0,04; 0,01; 0,02; 0,02).

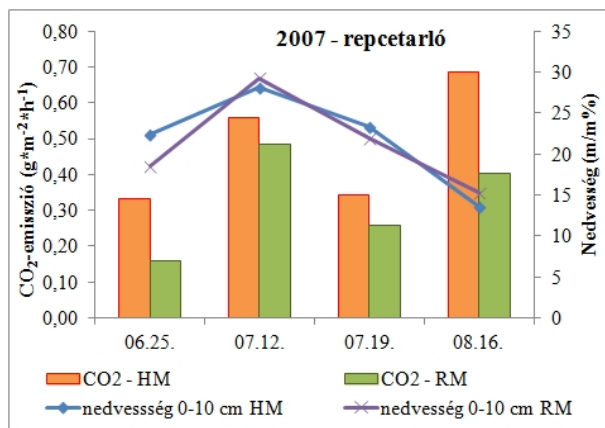




**19. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2006-ban

A kísérlet vizsgált parcelláiról 2007. június 21-én repce volt learatva, így a mérések idejére a terület tarlón maradt. A 20. ábrán négy mérési időpont adatai vannak feltüntetve, ezeket a méréseket 2007. június közepe és augusztus közepe között végeztem. A 2007-es év több szempontból is kirívó évnak számított. Az éves átlaghőmérséklet ekkor volt a legmagasabb (12,0 °C), illetve a talajhőmérséklet (-10 cm) maximális értéke is 2007-ben volt a legmagasabb (31,4 °C), a nyári forróság szempontjából, pedig emlékezetes lehet július második fele, amikor a léghőmérséklet közel egy hétig 40 °C közelében maradt. Ezt azért tartom fontosnak megemlíteni, mert a mérési időpontok a nyár ezen időszakára estek. Így az időjárás által kialakított feltételek sem kedveztek a talajélet számára. Az első mérést a betakarítás után 4 nappal végeztem el (06.25.) a releváns művelési beavatkozások előtt. A második mérést közvetlenül szárazzás után (07.12.), a harmadikat (07.19.) pedig redukált művelési rendszer esetén mulch finisher kezelés, hagyományos művelés esetén pedig gyűrűshengerezés után. A harmadik időpontban (07.19.) mért értékek jól mutatják, hogy a felszín lezárása csökkent a párolgást, a szervesanyagok lebomlását, és a szén-dioxid légkörbe távozását. Aszályos nyári napokon a száraz bolygatott talajok esetén nő meg a szén-dioxid-fluxus a művelés utáni napokon. Sajnálatos hiba volt (az eszköz meghibásodása), hogy augusztus 16-a után nem tudtam a kísérletben méréseket végezni, így „beérett” tarlóról nincs adat ebben az évben, amikor a kezeléshatás, a redukált művelés kedvező hatása kimutatható lenne. Az agrotechnikai beavatkozások után mért értékekből még nem derülhet ki a takarás/mulcsolás nedvességmegőrző hatása. A mulch finisher-rel való művelés hatására a felszínen hagyott növényi maradványok jelentős hányada a talaj felső rétegébe (0-10 cm) lett bekeverve, így annak felszintakaró hatása a mérés

időpontjában még kevésbé érvényesülhetett. Mindazonáltal a levegőzött, szervesanyagban dúsított és kedvező szerkezetűvé tett talajtól, a tapasztalataim alapján, várt magasabb CO<sub>2</sub>-emissziós értékeket tarlón ebben az évben nem tudtam kimutatni.

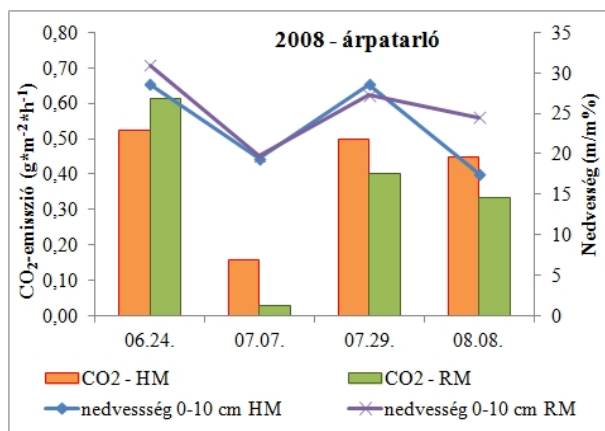


**20. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2007-ben

Mivel a talaj mikrobiális aktivitása, így CO<sub>2</sub>-emissziója is szoros összefüggésben van a talaj nedvességtartalmával, ezért a mérések kivitelezésekor figyelembe vettem a mérések közötti időszakokban lehullott csapadék mennyiségét is, hiszen a nedvességtartalom növekedése a talajélet aktivitását idézheti elő. Az aratás és a mérések megkezdése előtt 14 mm eső esett, az első és a második mérés között 42,5 mm, a második és a harmadik között nem esett csapadék, míg az utolsó kettő között 23,8 mm. Ezek a nyári időszakban viszonylag nagy számító mennyiségek biztosították, hogy a vizsgált időszakban végig meglehetősen magas CO<sub>2</sub>-emissziós értékeket mértem. A kísérlet egyéb eredményeit tekintve azonban annyi megállapítható erre az évre, hogy a terméseredményekben számottevő különbség nem mutatkozott a kezelések között. A gyökérvizsgálatok mélyebbre hatoló és nagyobb tömegű gyökereket fedtek fel a hagyományos művelésű területen, mely a gyökérlégzés nagyobb arányú jelenlétét mutatja a hagyományos művelés esetén.

2008-ban négy alkalommal végeztem méréseket a komplex talajművelési kísérletben (21. ábra). A legnagyobb szén-dioxid-kibocsátást a betakarítást követően a redukált művelés után tapasztaltam (06.24.), míg a felszíni lezárás miatt ez az érték jelentősen lecsökkent (07.07.). A forgatásos művelésű területeken tárcsa+gyűrűhengerezés, míg a redukált művelésű területeken mulch tillerezést hajtottak végre. Nyári napokon végzett

tárcsázás/forgatás esetén kitüntetett szerepe van az azonnali, lehetőleg a műveléssel azonos menetben végrehajtott elmunkálásnak. A felszín hengerrel történő lezárása csökkenti a párolgást, valamint a szervesanyagok lebomlását, és a szén-dioxid légkörbe távozását. A második (07.07.) és harmadik mérés (07.29.) közötti időszakban jelentős mennyiségű csapadék (több, mint 30 mm) esett, ami a vizsgált területre nem jellemző a nyári időszakban, ez a talajnedvesség-tartalom értékek megemelkedésében is látható. Ez biztosította, hogy meglehetősen magas CO<sub>2</sub>-emissziós értékeket mértem, az eső okozta megnövekedett biológiai aktivitásnak köszönhetően a redukált és hagyományosan művelt területeken. A negyedik mérést megelőzően (08.08.) nem volt jelentős csapadék mennyiség (15 mm), tartósan meleg és száraz idő volt.

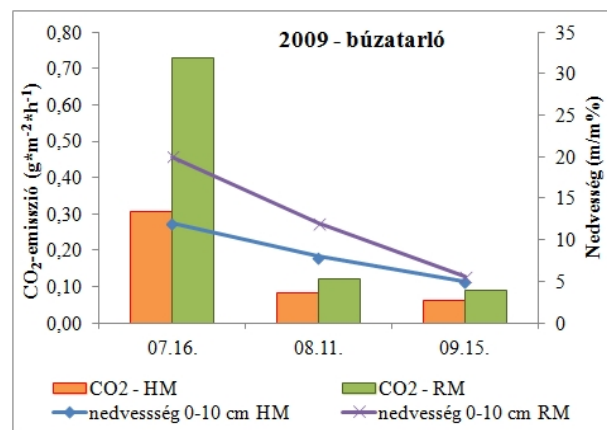


**21. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2008-ban

Míg az abszolút értékek nem csökkentek jelentősen, a talajművelési kezelésekből származó különbségek mindvégig megmaradtak, azaz a hagyományos művelésben mértem magasabb emisszió értékeket. Sajnos ebben az évben sem tudtam őszi méréseket végezni, így redukált művelés által előidézett talajélet számára kedvezőbb körülményeket teremtő hatást ebben az évben sem tudtam mérésekkel igazolni.

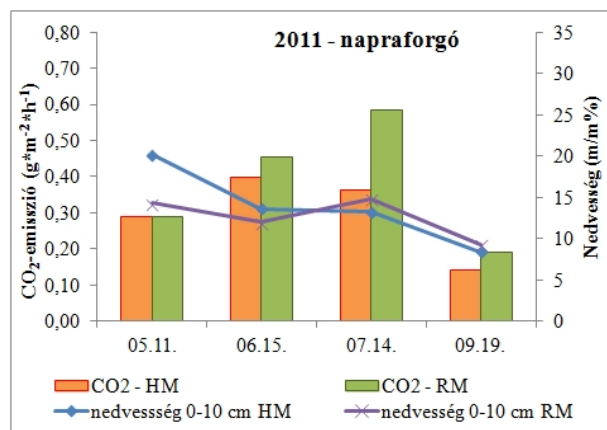
2009-ben folytattam aratás (07.14) után 2 nappal a méréseket búzatarlón (22. ábra). A legnagyobb szén-dioxid-kibocsátást ismételt betakarítást követően tapasztaltam, míg a felszíni lezárás (07.24.) miatt ez az érték jelentősen lecsökkent. A forgatásos művelésű területeken tárcsa + gyűrűshengerezést, míg a redukált művelésű területeket mulch finisherrel művelték. A vizsgált időszakban nagyon kevés csapadék hullott, az első és a második (08.11.) mérés közötti időszakban 38,5 mm, míg a második és a harmadik

mérés (09.15.) között 15,9 mm, ami az ilyenkor megszokottnál jóval alacsonyabb, valamint tartósan meleg és száraz idő volt ez a nedvességtartalmi értékek csökkenésében is megmutatkozott. Ez az egyik oka annak, hogy meglehetősen alacsony CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket mértem. Míg az abszolút értékek nem csökkentek jelentősen, a talajművelési kezelésekből származó különbségek mindvégig megmaradtak, azaz a kezeléshatás kimutatható, a redukált művelésű parcellán a száraz időjárás ellenére a nedvességmegőrző hatás és a magasabb szervesanyag tartalom révén kiegyensúlyozottabb volt mindegyik mérési időpontban a talajélet aktivitása. A kezelések közötti különbség minden esetben szignifikáns (SzD5% = 0,21, 0,02; 0,02).



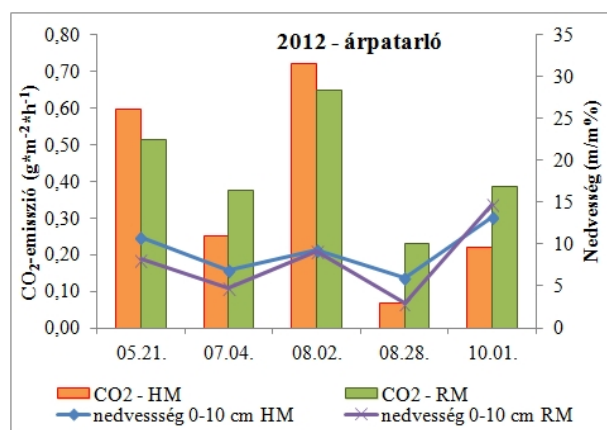
**22. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2009-ben

2011-ben 4 alkalommal volt lehetőségem mérni (23. ábra). Az egész táblán napraforgó került termesztésre ebben az időszakban, a mérések elején még pár leveles állapotú volt a növényállomány (05.11), valamint mértem a tenyészidőszak közepén (06.15. és 07.14.), az utolsó mérés pedig közvetlenül a betakarítás utáni (09.19) tarlón történt. Májustól júliusig a növények fejlődéséhez elegendő mennyiségű csapadék hullott, viszont augusztus eleje után nem volt nagyobb mennyiségű csapadék, aszályos időjárás következett, a tarlón végzett mérés eredménye ezt a száraz időszakot jellemzi. Összességében (az első mérési időpont kivételével) a redukált művelésű parcellán szignifikánsan is magasabb emisszió értékeket tapasztaltam, mint a forgatásra alapozott művelés esetén.



**23. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2011-ben

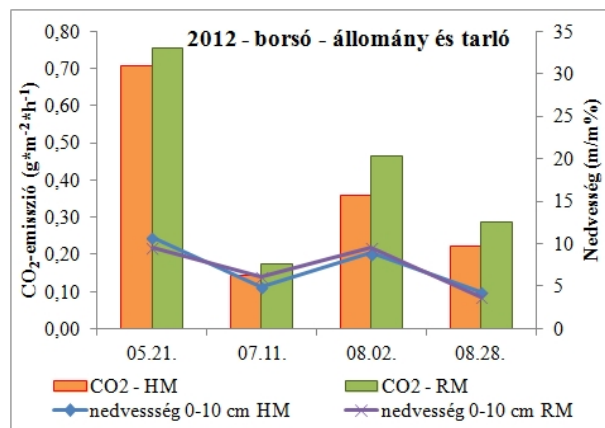
2012-ben két parcellán árpát, kettőn pedig takarmányborsót termesztettek a vizsgált időszakban. Az árpa parcellában (24. ábra) vizsgálatok elején még árpaállományban mértem (05.21.), majd a következő mérést közvetlenül a betakarítás után végeztem (07.04.). Az augusztusi mérések (08.02. és 08.28.) tarlón történtek, majd az utolsó (őszi) mérést (10.01.) már az őszi borsó elvetése után végeztem el. Hosszú száraz időszak után májusban és júniusban a növények fejlődéséhez elegendő mennyiségű csapadék hullott, viszont augusztus eleje után nem volt nagyobb mennyiségű csapadék, aszályos időjárás következett, a tarlón végzett mérések eredménye ezt a száraz időszakot jellemzi. Az őszi mérési időpont előtt hullott egy kevés csapadék, valamint a vetés és gyűrűshengerezés elvégzése után történt a mérés.



**24. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2012-ben árpatarlón

Az adatok jól mutatják, hogy az augusztus végi szárazságban tarlón és az őszi mérési időpontban tapasztaltam magasabb CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket a redukált művelésű parcellában, ekkorra tudott kialakulni a talajélet aktivitása számára a kedvező állapot a csökkentett művelési mód esetén.

Borsó indikátor növény esetében (25. ábra) is az első mérést (05.21.) növényállományban végeztem, majd legközelebb közvetlenül a borsó betakarítása (07.11.) után mértem. Az augusztusi méréseket (08.02. és 08.28.) már tarlókon végeztem. Májusban az állományban megfelelő nedvességtartalom mellett magasabb emisszió értékeket tapasztaltunk, mint a későbbi időszakban, viszont ekkor a kezeléshatások még nem voltak egyértelműen kimutathatóak. A betakarítás utáni értékek nagyon alacsonyak voltak, viszont az augusztus eleji mérés (08.02.) előtt hullott csapadék hatása a már kimutatható volt az emelkedett emisszió értékekben. Augusztusban összesen 4,1 mm csapadék hullott és a szárazsághoz nagy meleg társult, ami nem kedvezett a mikrobiológiai aktivitásnak. A redukált művelésű parcellán végig magasabb emisszió értékeket tapasztaltam, mint a hagyományos művelés esetén. Ez redukált művelés talajnedvesség megőrző szerepét és szervesanyag többletét is bizonyítja. A nedvességmegőrzés a talaj felső 10 cm-es rétegének nedvességtartalmi értékeiben nehezen mutatható ki.



**25. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a két művelési rendszerben 2012-ben borsó esetén

A talaj szén-dioxid-kibocsátása a nedvességtartalom növekedésével szoros összefüggésben van, hiszen a talajok szervesanyag tartalmának változását (felhalmozódását illetve csökkenését), így a talajban élő mikroszervezetek

életkörülményeit a környezeti feltételek (nedvesség-tartalom, hőmérséklet, kémhatás stb.) döntően befolyásolják. A talaj benedvesítése után a CO<sub>2</sub>-termelés megnövekedhet és ez a megnövekedett CO<sub>2</sub>-termelés általában 2-6 napig tart. A mérések kivitelezésére legtöbbször a csapadék hullást követő 2-6 napon került sor, hogy jól mérhető eredményeket kapjak, mert kiszáradt talajnál a rendelkezésemre álló eszközök segítségével nehezen mutatható ki emisszió. A szakirodalmi leírásokkal összecsengően a beavatkozások magasabb emisszió értékeket eredményeztek közvetlenül a betakarítás és szárzúzás után (például 2007-ben), legmagasabb CO<sub>2</sub>-kibocsátása a hagyományosan, forgatásra alapozott műveléssel kialakított parcella talajának volt ezekben a mérési időpontokban. A mérsékelt talajbolygatás és a mikrobiológiai aktivitás szempontjából kedvezőbb talajállapot miatt, a redukált művelési mód a hagyományos, forgatásra alapozott művelési módhoz képest időben kiegyensúlyozottabb, de mértékében magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót idézett elő.

Az egyes időpontokban a kezelések különbségében szignifikáns különbség figyelhető meg, viszont az összes mérési adat felhasználásával, a szén-dioxid-emisszió és a talajművelés közötti statisztikai elemzések eredményeiből a művelési különbségek eredményei egyértelműen nem mutathatók ki. A CO<sub>2</sub>-emisszió és a talajművelés közötti összefüggés vizsgálatára t-próbát végeztem el. Mivel a t-próba csak akkor végezhető el, ha a független minták szórása megegyezik, a t-próba elvégzése előtt ezt is vizsgáltam a Levene teszt F próbájával. Az F próba alapján a minták szórása megegyezett, az F értéke kicsi (0,013) a szignifikanciaszint magas (0,909), így az összefüggés vizsgálatára a t-próba megfelelőnek bizonyult (10. táblázat).

**10. táblázat:** A t-próba eredményei a CO<sub>2</sub>-emisszió és a talajművelés között

Independent Samples Test										
	Levene's Test for quality of Variance		t-test for Equality of Means						95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper	
CO2_emiss: Equal variance assumed	.013	.909	-.766	72	.446	-.03630	.04739	-.13076	.05816	
CO2_emiss: Equal variance not assumed			-.766	71.978	.446	-.03630	.04739	-.13076	.05817	

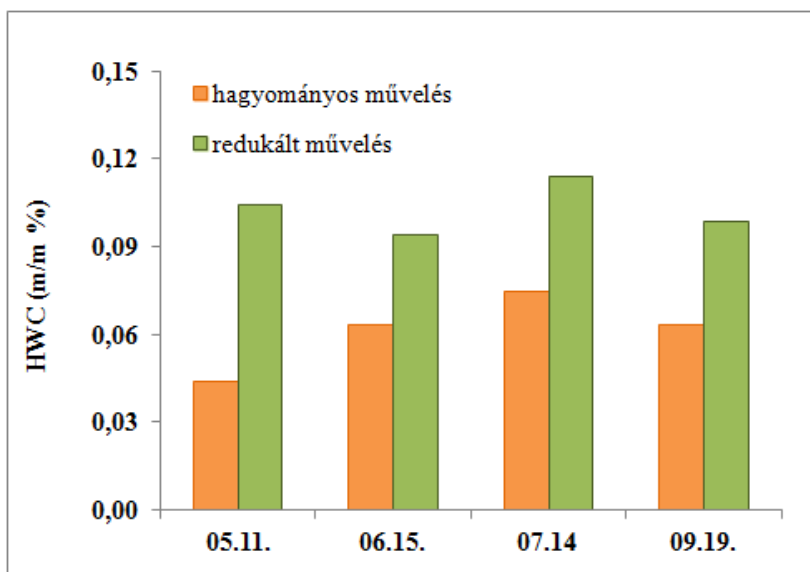
A t-próba szignifikanciaszintje az elfogadott 5%-os határ fölé esik (0,446), így nem vethetem el a nullhipotézist, tehát a két kezelésben nincs statisztikailag bizonyítható különbség, amit magyaráz az, hogy különböző időpontokban (eltérő időjárási viszonyok és talajállapot), különböző körülmények között végeztem a méréseket és a műveléshatás statisztikailag nehezen mutatható ki.

#### ***4.3.2. A labilis szervesanyag frakció vizsgálatának eredménye***

A talaj forróvíz-oldható szén frakcióját is vizsgáltam, hogy a talajművelési módoknak a talaj szénkészletére gyakorolt hatását kimutathassam. A forróvíz-oldható C-tartalom a talaj szerves C-készletének egyik frakciója, mely szorosan összefügg a biomasza mennyiségével. A talajok széntartalma függ az adott hely éghajlati, hidrológiai és biológiai adottságaitól, a talaj szerkezetétől, és a talajhasználat, valamint a művelési mód is jelentősen befolyásolja annak mennyiségét és anyagi összetételét. A könnyen mineralizálódó frakció mennyisége közvetlenül utal a talaj termékenységére. A földhasználat módjában és az agrotechnikai beavatkozásokban eszközölt változtatások befolyásolják a talaj szerves C-készletét és a szervesanyagok mennyiségét és minőségét is. BANKÓ (2008) szerint a talajművelés felhagyásával elsődlegesen a labilis szerves frakció aránya növekszik a talajban.

A hagyományos művelés elemei - mint pl. a szántás - elősegítik a talaj szervesanyag tartalmának csökkenését a szármaradványok talajba keverése, felaprózása és a levegőztetés növelése útján. A csökkentett műveletszám, sekélyebb művelés - nagyobb mennyiségű, a talaj felszínén maradó és sekélyen bekevert - növényi maradványt hagy, így a talaj szervesanyag vesztesége kisebb, tehát magasabb lehet a labilis szervesanyag aránya is. A 26. ábra mutatja, hogy redukált művelés esetén a labilis szervesanyagok mennyisége a kísérlet teljes időtartamában, minden mérési időpontban, jelentősen meghaladta a hagyományos művelés alatt álló területeken mért mennyiségeket. Ugyanez a műveléshatásból eredő különbség a CO<sub>2</sub>-emisszió vizsgálatokkor nem volt ennyire egyértelműen kimutatható.





26. ábra: A talaj forróvíz-oldható C-tartalmának (HWC) változása a vizsgálati időszakban hagyományos és redukált művelési rendszerben (2011)

A varianciaanalízis (11. táblázat) a talajművelés szignifikáns hatását igazolja, sig. <0,05 a forróvíz-oldható széntartalom esetében. Statisztikailag is igazolható volt, hogy a redukált művelés a hagyományos műveléshez képest gazdagította a talajt könnyen mineralizálható szervesanyagokban. A redukált művelés talajéletre gyakorolt kedvező hatását a tenyészidőszak közepétől lehetett igazán kimutatni, ekkortól érvényesül igazán ezeken a talajokon a szervesanyag tartalom megőrzése, ami által javul a levegőgazdálkodás, a szellőzőtség, így a víz- és levegőgazdálkodási tulajdonságok jobb feltételeket teremtenek a mikrobiológiai tevékenységhez.

11. táblázat: A varianciaanalízis (Anova) eredményei a forróvíz-oldható C-tartalomra (HWE)

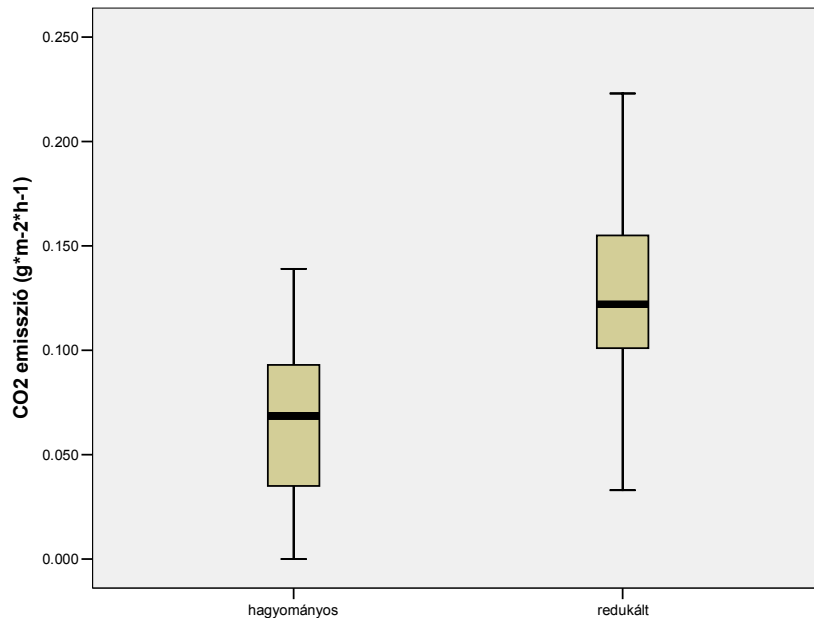
	Négyzetösszeg	df	Négyzetes átlag	F	Sig.
Kezelések között	0,007	1	0,007	18,516	0,001
Kezelésen belül	0,005	14	0,000		
Összes	0,012	15			

#### 4.3.3. Az eredeti szerkezetű talajoszlopokon beállított kísérlet eredményei

A komplex talajművelési kísérlet tábláiról bolygatatlan talajmintákat vettünk a különböző művelésű (hagyományos és redukált) parcellákból, hogy a talajművelés emisszióban betöltött szerepét is vizsgálhassam. Az eredeti szerkezetű mintákon végzett

emisszió mérések adatainak értékelése során különbséget tapasztaltam a hagyományos művelésű és a redukált művelésű parcellákról vett minták CO<sub>2</sub>-kibocsátásában.

A 27. ábrán jól látható, hogy a redukált művelésű talajok CO<sub>2</sub>-emissziós értékei magasabbak voltak (átlag 0,123 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), mint hagyományos művelés esetén (átlag 0,067 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), a szórásuk 0,34 és 0,45 hasonló, vagyis a redukált talajművelés során kedvezőbb feltételek alakulhatnak ki (szerkezet, légjárhatóság, szervesanyag tartalom) a mikrobiológiai aktivitáshoz.



**27. ábra:** A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának alakulása a talajművelés függvényében

Az eredetű szerkezetű redukált művelésű területről származó minták több szármaradványt, szervesanyagot tartalmaztak, azonos körülmények között, azonos hőmérsékleten, azonos nedvességtartalom mellett ezekben a talajoszlopokban jobb feltételek teremtődtek a mikrobiális tevékenységhez. A szerkezet sem volt összetömörödve, a magasabb szervesanyag, a megfelelő hőmérséklet és nedvességtartalom élénkítette a talajéletet.

A két kezelés adatainak elemzésére t-próbát végeztem (12. táblázat). Az átlagok különbözőek, a szórások közt nincs jelentős különbség. A statisztikai próba elvégzése

után megállapítom, hogy a próba szignifikanciája az elfogadott 5%-os határ alá esik (0,000), tehát a két kezelésben eltérés van a CO<sub>2</sub>-emisszió tekintetében.

**12. táblázat:** A t-próba eredményei a CO<sub>2</sub>-emisszió és a talajművelési kezelések között

művelés		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CO2 emisszió	hagyományos	62	.06680	.034015	.004320
	redukált	57	.12323	.045297	.006000

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
CO2 emisszió	2.935	.089	-7.723	117	.000	-.056430	.007306	-.070900	-.041960
			-7.633	103.562	.000	-.056430	.007393	-.071091	-.041768

A behozott talajoszlopok között csak abban volt különbség, hogy eltérő művelésű területről származtak, a továbbiakban azonos körülmények között voltak (szobahőmérséklet, azonos nedvességtartalom), így a CO<sub>2</sub>-kibocsátásban tapasztalt különbséget, a művelésnek tulajdonítom. A hagyományos talajoszlopokat valószínűleg tömörödés, elporosodás jellemezte, és szervesanyagban szegényebbek voltak, míg redukált művelés kevésbé szellőzteti, szárítja a talajokat, ily módon tartósabb mikrobiális tevékenység tud benne kialakulni, és a mikrobák számára elérhető szerves széntartalom mennyisége magasabb bennük. Az aerob mikroszervezetek tápanyagfeltáró tevékenységéhez kellő nedvességtartalom és hőmérséklet mellett levegőzöttség is szükséges. A talaj szerkezetét kímélő művelés alkalmazásakor, a szervesanyagok lebontása és felhalmozódása is kiegyenlítetté tehető, és mindez hozzájárulhatott az emisszióban tapasztalt különbséghez.

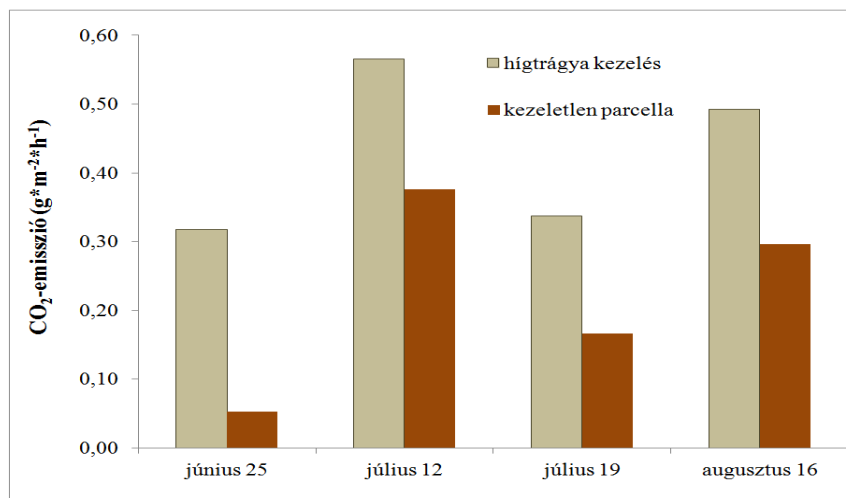
#### **4.4. A trágyázás, növénytáplálás, talajkondicionálás hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára**

##### **4.4.1. Hígtrágyázás hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára**

A műveléssel létrehozott talajállapot-változások befolyásolják a biokémiai és biológiai folyamatokat. A talaj termékenységének növelése céljából a trágyázási módokat (az

istállótrágyázástól a zöldtrágyázásig) lehet kombinálni a talajművelési módszerekkel (GYURICZA et al., 2006).

Azzal a céllal, hogy vizsgáljuk a különböző talajok válaszát a szerves trágyázásra is, 2006 őszén elindítottunk egy másik kísérletet is a talajművelési kísérletben. Hígrágya került kijuttatásra mind a hagyományos mind a redukált művelési rendszer parcelláira. Az emisszió vizsgálattal célom volt a kezelések hatásának kimutatása. Nyilvánvaló, hogy szerves- illetve szervesetlen anyag hozzáadása jelentősen befolyásolja a talaj mikrobiológiai aktivitását, így jelentősen hozzájárul az alternatív termesztési módszerek eredményességéhez, a 28. ábrán is látható, hogy a trágyával kezelt területek emissziója minden esetben magasabb a kezeletlenhez képest minden mérési időpontban.



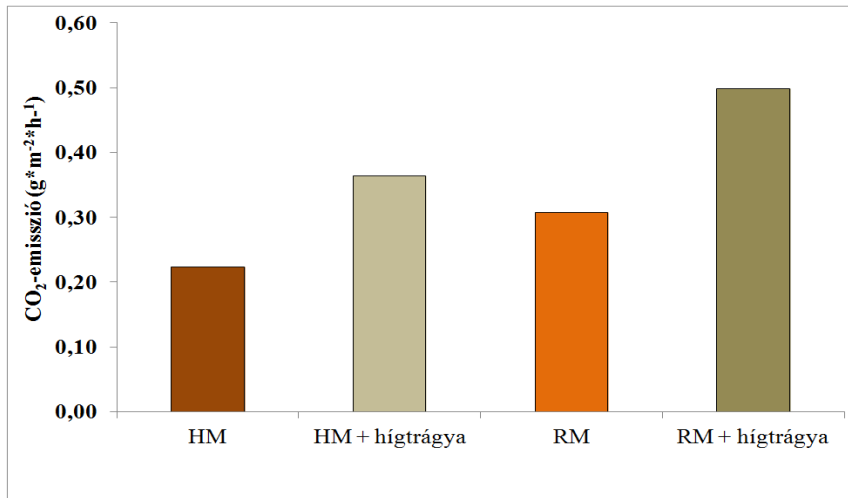
28. ábra: A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a trágyakezelésekben (2007)

A 13. táblázatban közölt statisztikai adatok is azt mutatják, hogy a hígrágyával kezelt parcellában átlagosan (0,43) és maximálisan (0,57) is magasabb emisszió értékeket tapasztaltam. A kezeletlen parcellában mért értékek minimuma (0,05) és maximuma (0,38) is alacsonyabb volt, míg a szórásuk (0,14) nagyobb volt a kezelt parcellában mért értékek szórásához (0,12) képest.

13. táblázat: A CO<sub>2</sub>-emisszió és a kezelések közötti összefüggések statisztikai adatai

CO <sub>2</sub> -emisszió (g m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	Várható érték	Standard hiba	Medián	Szórás	Minimum	Maximum
<i>Hígrágya kezelés</i>	0,43	0,06	0,41	0,12	0,32	0,57
<i>Kezeletlen</i>	0,22	0,07	0,23	0,14	0,05	0,38

A 29. ábrán bemutatom, hogy mindkét vizsgált talajművelési rendszerben megemelkedett CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket mértem a trágyakezelésben. A szerves trágyakezelés minden esetben stimulálta a talajban lejátszódó mikrobiológiai folyamatokat.



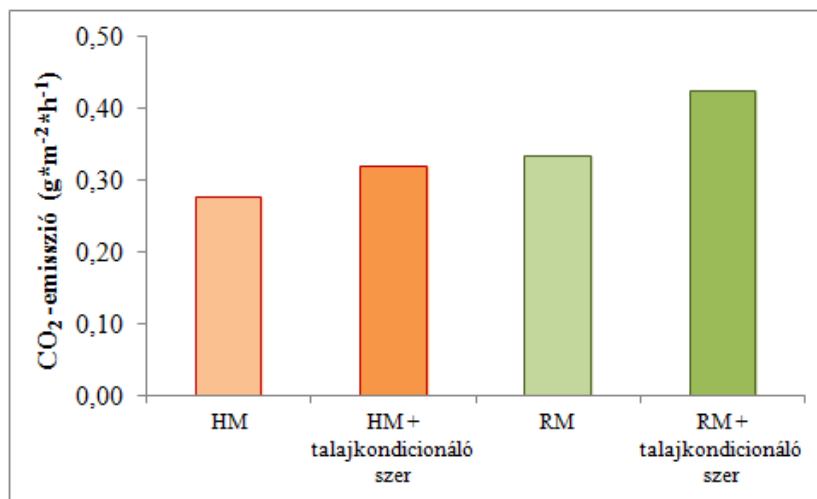
**29. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a trágyakezelésekben különböző talajművelés esetén (2007)

A szén talajba juttatásának egyik módja ez is, amikor biológiailag lebontható szervesanyagokat terítünk szét a mezőgazdaságilag művelt parcellán. A talajban meglévő tápanyagok, a bejuttatott hígtrágya, a tarlómaradványok elbomlásának és érvényesülésének előfeltétele a kedvezően laza állapot kialakítása. Viszont az aerob mikroszervezetek tápanyagfeltáró tevékenységéhez kellő nyirkosság, levegőzöttség és hő szükséges.

#### **4.4.2. A talajkondicionáló-szer hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára**

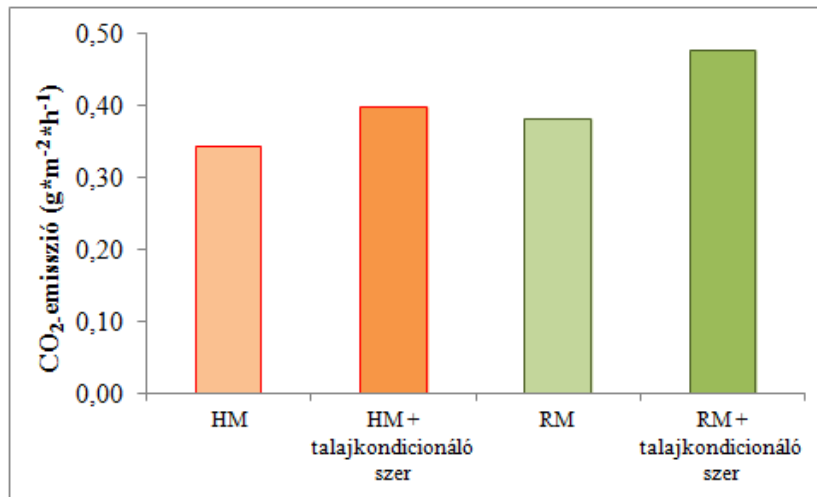
A talajművelési kísérletben először 2011-ben alkalmazták a talajkondicionáló szert. A gyártó szerint a termék serkenti a talaj biológiai aktivitását. A termék leírása szerint a ellátja a talajt a szükséges anyagokkal, hogy annak humuszszférája a megfelelően működjön, növeli a talajban élő mikro- és makroorganizmusok tevékenységének aktivitását, ennek kimutatására végeztem CO<sub>2</sub>-emisszió méréseket a kísérletben.

A 30-32. ábrákon a talajművelési kísérlet parcelláinak talajában mért CO<sub>2</sub>-kibocsátás átlagértékeit mutatom be a 2 év alatt mért eredményeim alapján. Amint az a 30. ábrán jól látszik, a CO<sub>2</sub>-emisszió a redukált művelésű parcella talaján magasabb volt, a hagyományos művelésű talajon mérttel szemben. Ez alátámasztja a Kutatóintézet munkatársainak korábbi méréseredményeit, miszerint a redukált művelés a talajban élő mikroorganizmusok számára kedvezőbb életfeltételeket biztosít (elsősorban a magasabb szervesanyag szint és a nedvességmegőrzés miatt), így aktívabb talajéletet, ennek következtében magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót eredményezve.



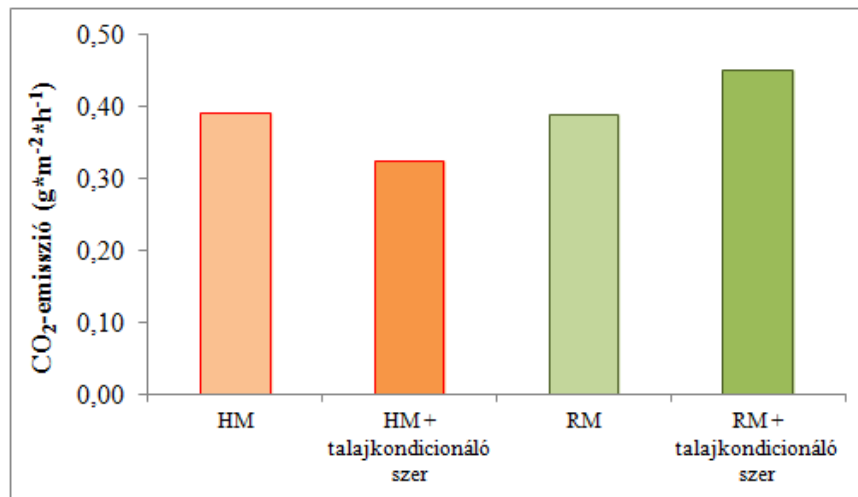
**30. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a kezelésekben 2011-ben búzatarlón

A talajkondicionáló szer a talaj fizikai-kémiai paramétereit javítja (porozitás növelése, jobb vízbefogadó képesség, jobb levegőzöttségi viszonyok) és ezáltal a biológiai életét (mikroflóra és fauna egyensúly, jobb szervesanyag újrahasznosítás) kedvezően befolyásolja, így aktívabb talajéletet, magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót vártam ezen kezelések esetében. 2011-ben búzatarlón kapott eredmények ezt igazolták is mind a hagyományos, mint a redukált művelésű parcellán. Nem volt okom azt feltételezni, hogy a különbségeket valamilyen más tényező okozza, mert a mérési körülmények azonosak voltak. 2012-ben árpatarlón (31. ábra) hasonló eredményeket kaptam.



**31. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a kezelésekben 2012-ben árpatarlón

Viszont 2012-ben borsótarlón végzett vizsgálatokban látható (32. ábra), hogy a talajkondicionáló szer a hagyományos művelésű parcellán nem tudta ugyanúgy kifejteni hatását, mint a redukált művelésű parcellán.



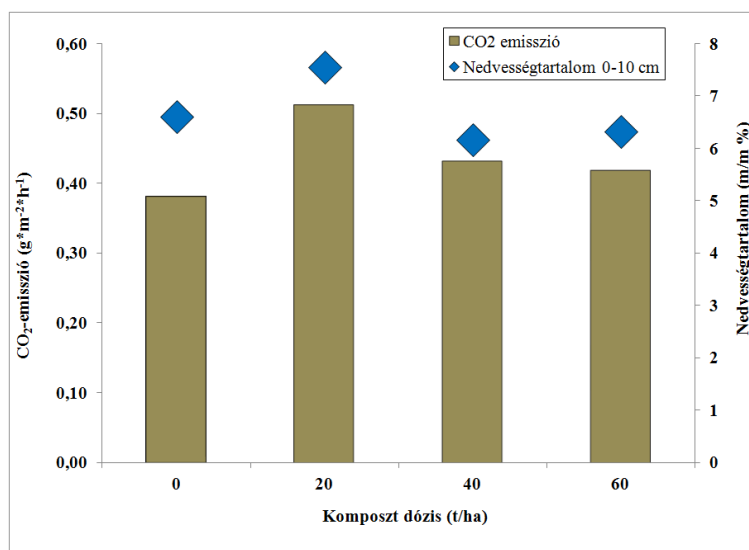
**32. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a kezelésekben 2012-ben borsótarlón

Mindezek alapján megállapítom, hogy a talajkondicionáló szer talajéletet befolyásoló hatása redukált művelésű talajban hamarabb érvényesült, mint a hagyományos művelésű területen. A gyártó szerint a termék hatása lassan érvényesül (3 év után) ezért lehetséges az, hogy 2012-ben a borsó elővetemény után hagyományos művelésű területen még nem tudtam igazolni a talajkondicionáló szer pozitív hatását. Ahhoz, hogy a hagyományos parcellán kifejtett pozitív hatást ki lehessen egyértelműen mutatni, a

termék további használata és további vizsgálatok szükségesek. A talajkondicionáló szer alkalmazása viszont ez esetben is jelentősen befolyásolta a talaj mikrobiológiai aktivitását, és a redukált talajművelési mód eredményességéhez bizonyítottan hozzájárult.

#### 4.4.3. Juhtrágya alapú komposzt hatása a talaj CO<sub>2</sub>-forgalomára

Mivel térségünk szikes talajainak jórészt gyepterületként hasznosítják, így a fűhozam javítása érdekében ajánlott a gyep trágyázása. Méréseket végeztem három ismétlésben a három különböző komposzt dózissal kezelt és a kezeletlen (kontroll) parcellákon gyepterületen. Az eredményeket az 33. ábrán foglaltam össze.



33. ábra: A CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a komposztkezelésekben

Amint az ábra mutatja, a kezeletlenhez képest megemelkedett CO<sub>2</sub>-emisszió jellemezte a kezelt gyepcellák talaját, ami fokozott gyökérlégzésre, illetve mikrobiológiai aktivitásra utal. A legmagasabb értéket a 20 t/ha komposzt alkalmazásánál tapasztaltam, ebben a kezelésben volt a legmagasabb a feltalajtalaj nedvességtartalma is, ami bizonyítja, hogy a mikrobiális tevékenység fokozásához – a szervesanyag tartalom mellett – megfelelő hőmérséklet és nedvességtartalom egyaránt szükséges.

Az eredmények azt mutatják, hogy a juhtrágya alapú tápkomposzt extenzív gyepen javítja a talaj vizsgált fizikai és biológiai tulajdonságait. Adott időjárási körülmények között a kísérletben alkalmazott dózisek közül a 20 t/ha adag bizonyult



leghatékonyabbnak. A 40 és 60 t/ha komposztadagok is növelték a talaj CO<sub>2</sub>-emisszióját és a feltalaj nedvességtartalmát, de nem akkora mértékben, mint a 20 t/ha-os adag.

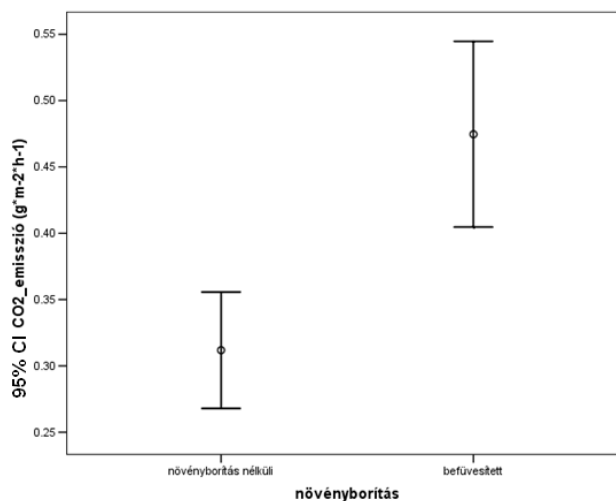
#### **4.5. A környezeti tényezők hatása a talajlégzésre**

Számos környezeti tényező befolyásolja a talajlégzést (ami a heterotróf – főként mikrobiális- és az autotróf – gyökér-respiráció összege). Ezek közül a tényezők közül is legfontosabb a talaj hőmérséklete, nedvességtartalma, a szubsztrátok hozzáférhetősége (RUSTAD et al., 2001, KIRSCHBAUM, 2004, REICHSTEIN – BEER, 2008). Ezért ebben a fejezetben az adott környezeti változók talajlégzésre gyakorolt hatásainak elkülönítését és számszerűsítését vizsgálom.

A levegő és a talaj hőmérséklete a talaj borítottsága, valamint a talaj nedvességállapota és a talajok CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggéseket az átfolyóvizes liziméterekben beállított kísérletekben vizsgáltam. A vizsgálatban 3 év során 6 liziméter egységen mért adatokat vettem figyelembe.

##### ***4.5.1. A gyökérlégzés szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában***

A gyökérlégzés szerepét az átfolyóvizes liziméterekben beállított kísérletben volt lehetőségem tanulmányozni. Az edények felét befűvesítettük, a növényeket rendszeresen visszavágtam, a többi edény növényborítás nélkül maradt. A vizsgált 6 egységben ekkor nem volt az öntözési dózisokban különbség, így a befűvesített egységekben a növények állapota megegyezett, rendszeresen le volt nyírva, így az emissziós értékekben jól lehetett vizsgálni a gyökérlégzés szerepét. A következő *34. ábrán* a növényborításos illetve a növényborítás nélküli edényekben tapasztalt CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket mutatom be. Az ábrán az általam mért emisszió értékek láthatóak 95%-os konfidencia intervallum mellett.



**34. ábra:** CO<sub>2</sub>-emisszió alakulása a növényborított és a növényborítás nélküli edényekben

A diagram egyértelműen mutatja, hogy a növényborítás nélküli edényekben jelentősen kisebb emisszió értékek voltak tapasztalhatóak (átlag 0,294 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), mint a befüvesített edényekben (átlag 0,442 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), az értékek szórásánál is hasonló volt a helyzet. Mivel a 2 intervallum nem fedi egymást, így 95%-os valószínűséggel az átlagok közötti különbség valódi, ami a növényborításnak köszönhető. A növényborított talajfelszín emisszió értékei magasabbak, hiszen ezekben az értékekben a gyökérlégzés és a talajban lejátszódó mikrobiológiai bomlásból származó CO<sub>2</sub>-kibocsátás együttesen szerepel. A két adatsor közötti különbség igazolására a t-próbát is alkalmaztam (14. táblázat).

**14. táblázat:** A t-próba eredménye a CO<sub>2</sub>-emisszió és a növényborítás kezelések között

**Independent Samples Test**

	Levene's Test for quality of Variance		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
CO2_emissz: Equal variance assumed	34.902	.000	-3.519	190	.001	-.15076	.04284	-.23527	-.06625
CO2_emissz: Equal variance not assumed			-3.360	121.803	.001	-.15076	.04487	-.23959	-.06193

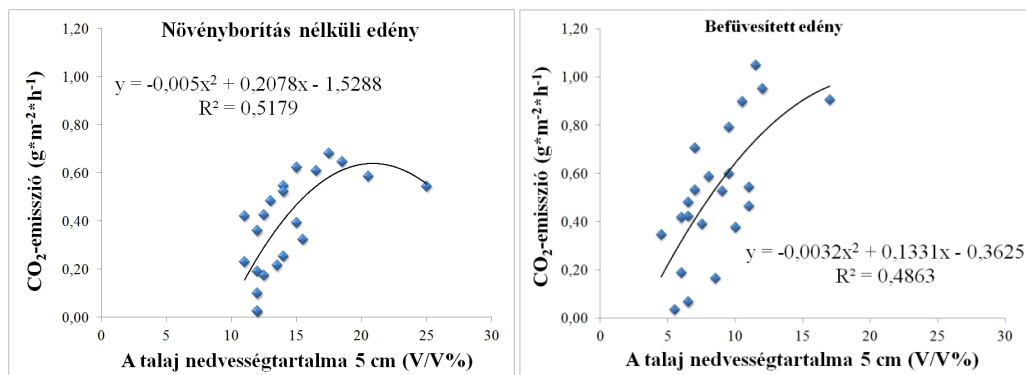
A t-próba szignifikanciája az elfogadott 5%-os határ alá esik, tehát a két mintában eltérés van, vagyis a növényborításos edényekben a gyökérlégzés szerepet játszik a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójában.

#### ***4.5.2. A talaj nedvességállapota és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggések***

Azok a folyamatok, amelyek a szén oxidációját befolyásolják, igen komplexek. A felszínhez közeli talajrétegek nedvességtartalma általában szezonális dinamikát mutat, ezek a rövid tartamú impulzusok nagyon sokféle talajra jellemzőek. Az Alföldön a nyári időszakban a talajok gyakran kiszáradnak és a jellemzően nem meghatározott rendszerességgel hulló nyári záporok hatására bekövetkező benedvesedés jelentős mértékben hozzájárul a talaj felszínéről a légkörbe távozó CO<sub>2</sub> összes mennyiségéhez. A nedvességtartalom növekedésével a mikrobiológiai aktivitás maximumának elérése után éppen az oxigén diffúziójának csökkenése jelenti a legfőbb korlátot. A talaj nedvességtartalmának szerepét az átfolyóvizes liziméterekben beállított kísérletben volt lehetőségem vizsgálni. A meglévő adatok felhasználásával, statisztikai módszerekkel (varianciaanalízis, regresszió elemzés) kerestem összefüggést a talaj nedvességtartalma és a CO<sub>2</sub>-emissziója között.

Mind lineáris, mind exponenciális valamint a polinomiális összefüggés illesztését elvégeztem a mért CO<sub>2</sub>-emisszió és a talaj nedvességtartalmi értékeire, és megállapítottam, hogy a két vizsgált tulajdonság között a polinomiális kapcsolat tűnt szorosabbnak. Egy ponton túl az egyenes elhajolna, ezért a lineáris összefüggés illesztése itt nem célszerű.

A 35. ábra a függő változó (CO<sub>2</sub>-emisszió) értékeit tartalmazza a független változó függvényében. Világosan látszik, hogy az illeszkedés nem tökéletes, ugyanakkor a trend fellelhető.



**35. ábra:** A nedvességtartalom és a CO<sub>2</sub>-emisszió közötti összefüggés különböző talajtakarások esetén

A bemutatott két a talaj nedvességtartalomra és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti determinisztikus együttható (R<sub>2</sub>) értékei értelemszerűen 0,51 és 0,48 voltak, ami a közepes erősségű kapcsolatot jelzi, a 15. táblázatban látható egy F próba, amelynek szignifikanciája (0,002) a kapcsolat létét engedi sejtetni.

**15. táblázat:** A varianciaanalízis eredménytáblázatai a CO<sub>2</sub>-emisszió és a növényborítás kezelések között

VARIANCIAANALÍZIS (növényborítás nélküli edény)					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F szignifikanciája</i>
Regresszió	1	0,338	0,338	12,388	0,002
Maradék	20	0,545	0,027		
Összesen	21	0,882			

VARIANCIAANALÍZIS (befűvesített edény)					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F szignifikanciája</i>
Regresszió	1	0,768	0,768	17,552	0,000
Maradék	20	0,876	0,044		
Összesen	21	1,644			

A víz a növényi növekedés fokozásán keresztül, közvetlen is hat a talajlégzésre, egyrészt nagyobb mennyiségű szervesanyag visszajutását eredményezi a talajba, másrészt fokozza a gyökérlégzést. A befűvesített edényben nagyobb CO<sub>2</sub>-emisszió értékeket tapasztaltam.

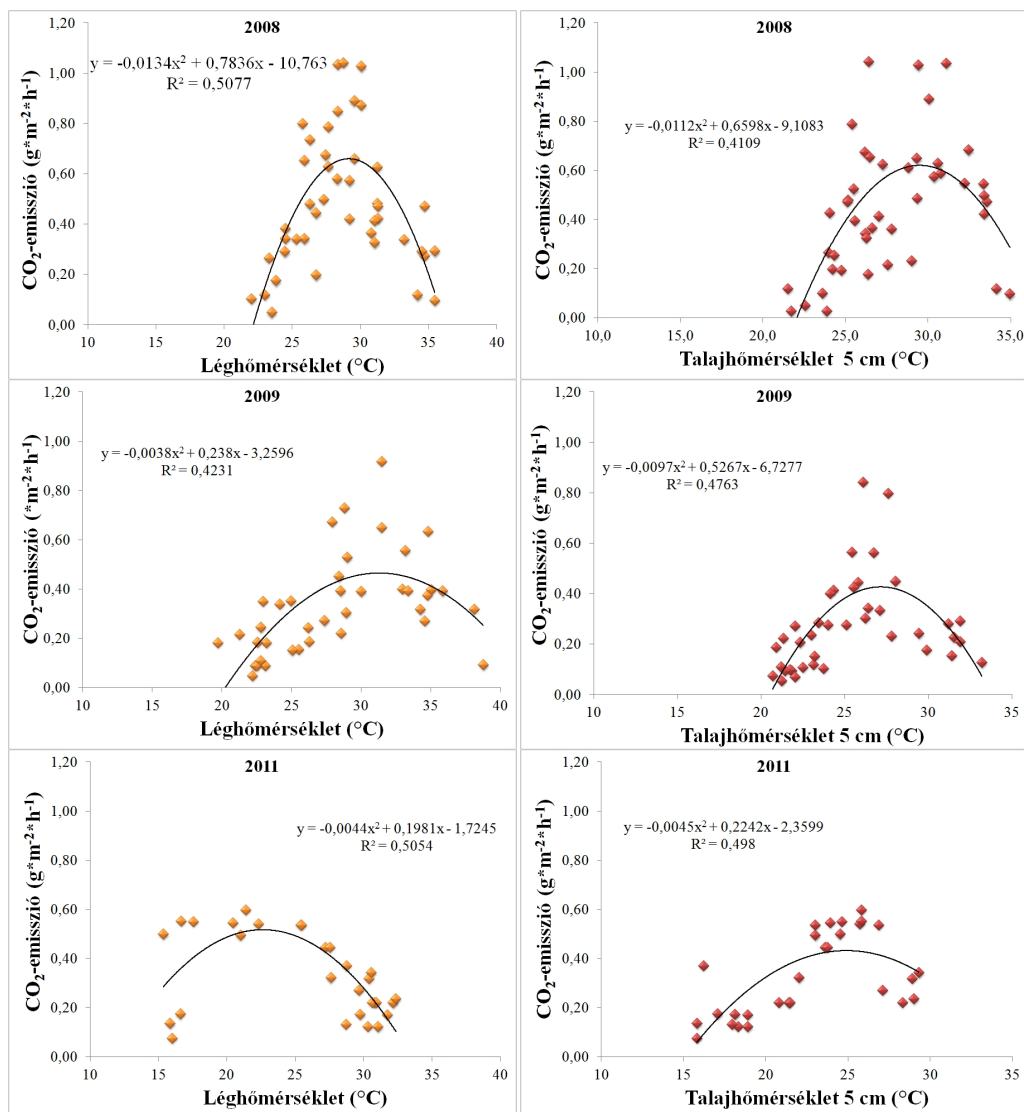
#### 4.5.3. A hőmérséklet hatása a talajlégzésre

A talajhőmérséklet változása a levegőével szoros összefüggésben van, ugyanis ez utóbbi növekedése magával vonja a talaj hőmérsékletének emelkedését. A talaj hőmérséklete változékonyabb a felszín közelében, mint a mélyebb talajrétegekben, valamint várakozásaim szerint a talaj szén-dioxid-kibocsátása, mint fizikai folyamat, szorosabb kapcsolatban áll a talajfelszín hőmérsékletével, mint a mélyebb talajrétegekével (PAVELKA et al., 2007), így a talajlégzés-hőmérséklet függésének vizsgálatához a talajfelszínhez közeli (5 cm) rétegben mért hőmérsékleti értékeket használtam fel.

Az átfolyóvizes lizimétereken beállított kísérlet CO<sub>2</sub>-emisszió értékeinek a léghőmérséklet és talajhőmérséklet értékeivel végzett összefüggés vizsgálatát a következő 36. ábrán mutatom be a 3 vizsgált évben. A levegő hőmérsékletének változása valamennyi kezelésben korrelációt mutatott a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójával.

A vizsgált három évben jól megfigyelhető, hogy az évjáratnak megfelelően a hőmérsékleti értékek is különböző intervallumban mozogtak, így a hozzájuk tartozó emisszió értékek is ennek megfelelően alakultak. 2008 időjárása, hőmérséklete átlagosnak tekinthető, ekkor tapasztaltam a legmagasabb kibocsátási értékeket, míg 2009 szokatlanul meleg száraz évnek tekinthető, 2011 nyáreleje pedig az átlagnál hűvösebb volt, tehát mindegyik évjáratban máshogy alakul az optimumgörbe csúcossága, de egy közepesen erős kapcsolat a vizsgált 2 paraméter között végig kimutatható.

A heterotróf talajlégzés során komplex enzimmösszetétellel találkozunk, ahol az enzimeknek változatos az aktiválási energiája, tehát működésükhöz eltérő hőmérsékleti igényekkel rendelkeznek. A hőmérséklet növekedésével a különböző enzimek különböző időpontban érhetik el a denaturáció állapotát, tehát megfelelően magas hőmérsékleten elkezdhet csökkenni a talajlégzés mértéke. Adott enzimmösszetétel aktivitásának a talajban van optimális hőmérséklete, amely hőmérsékleten a legtöbb enzim aktív és ami felett a respiráció aktivitása csökken. A jelenség haranggörbével jellemezhető, mely illeszkedést részben sikerült igazolnom. Az ábrákon megtalálhatjuk az R<sup>2</sup> értékét (~0,5; ~0,4), ami a közepes erősségű kapcsolatot jelez minden esetben.



**36. ábra:** A lég- és a talajhőmérséklet valamint a talajok CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggés vizsgálat

A talajlégzés optimális hőmérséklete változhat akár rövidtávon is a talajnedvesség- és szervesanyag ellátottságával (DAVIDSON et al., 2006). A talaj nedvességtartalmának növekedésével illetve a labilis szervesanyag-tartalommal a CO<sub>2</sub>-emisszió hőmérsékleti toleranciája (a haranggörbe szélessége) változhat. Az általam vizsgált liziméteregységekben a talaj szélsőséges hőgazdálkodású, alacsony víztartó képességű, a szervesanyag felhalmozódása csekély volt, ráadásul minden évben öntöztem, de így is hozzájárulhatott a talajlégzés hőmérsékleti optimumának számszerűsítéséhez. A környezeti tényezőknek a klímaváltozás során végbemenő tartós megváltozása

(hőmérséklet, csapadékmintázat) azonban már akár maradandó változást is okozhat a talajélet működésében és a mikroorganizmusok összetételében.

#### **4.5.4. A napszakok szerepe a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában**

A CO<sub>2</sub>-kibocsátás napi dinamikájának vizsgálatára végeztem 24 órás mérést, úgy hogy egyik nap reggel 8 órától másnap reggel 8 óráig (vagyis 24 órán keresztül nappal és éjjel) 2 órás időközönként mértem a koncentráció alakulását. A mérések helyszínül ismételten az átfolyóvizes liziméterek szolgáltak. Mértem mind a befűvesített, mind a növényborítás nélküli egységekben öntözött és öntözetlen körülmények között.

A mérésre 2011. augusztus 31. reggel 8 óra és szeptember 01. reggel 8 óra között került sor, az akkori összefoglaló meteorológiai jellemzőket a 16. táblázatban ismertetem.

**16. táblázat:** Összefoglaló meteorológiai adatok a mérés ideje alatt

		<b>2011.08.31. 8:00 - 2011.09.01. 8:00</b>
<b>Átlaghőmérséklet</b>	<b>°C</b>	20,6
<b>Hőmérsékleti maximum</b>	<b>°C</b>	28,8
<b>Hőmérsékleti minimum</b>	<b>°C</b>	13,3
<b>Relatív nedvességtartalom</b>	<b>%</b>	24,0
<b>Légnyomás</b>	<b>hPa</b>	1003,3
<b>Csapadék</b>	<b>mm</b>	0,0
<b>Talajhőmérséklet (10 cm)</b>	<b>°C</b>	22,9

2011. augusztus végén térségünkben kánikula volt, csapadék hetekig nem esett, ennek következtében aszályos napunk volt, ami a relatív nedvességtartalmi adatból is látható. A légkörben található alacsony páratartalom hatására légköri aszály alakul ki. Az aszályos időjárás visszatükröződik a talajnedvesség tartalmi adatokban is. A mérések elején vettem talajmintát a gravimetriás nedvességtartalom meghatározásához. A felső 20 cm-es réteget vizsgáltam, mivel a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára ez a szint van hatással. A

nedvességtartalmi értékek a meleg és csapadékmentes időszak miatt nagyon alacsonyak (17. táblázat).

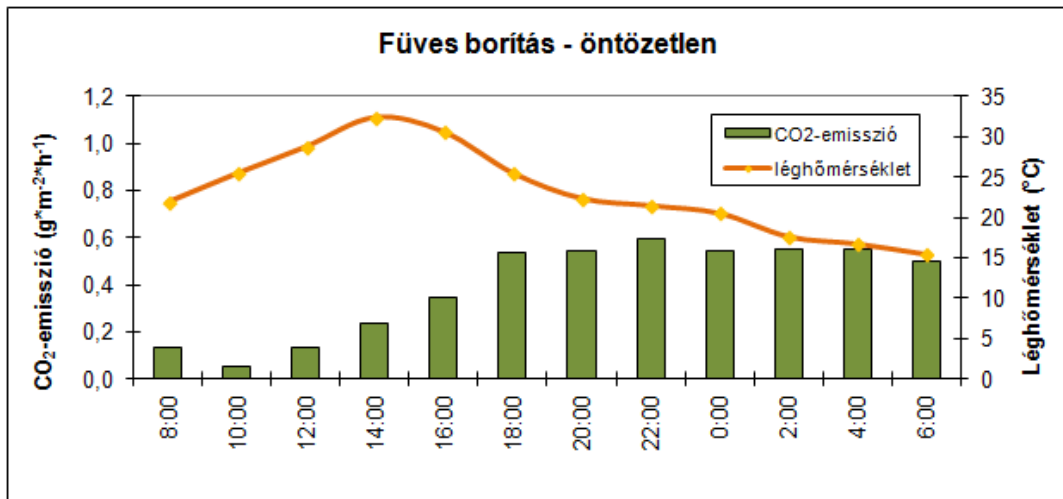
**17. táblázat:** A talajoszlopok nedvességtartalma (m/m %) 2011. 08. 31-én

	<b>Réteg</b>	<b>Nedvesség (s%)</b>
<b>Füves - öntözetlen</b>	0 - 10 cm	2,4
	10 - 20 cm	6,8
<b>Növényborítás nélküli- öntözetlen</b>	0 - 10 cm	6,0
	10 - 20 cm	14,3
<b>Füves - öntözött</b>	0 - 10 cm	5,6
	10 - 20 cm	8,3
<b>Növényborítás nélküli- öntözött</b>	0 - 10 cm	10,6
	10 - 20 cm	14,6

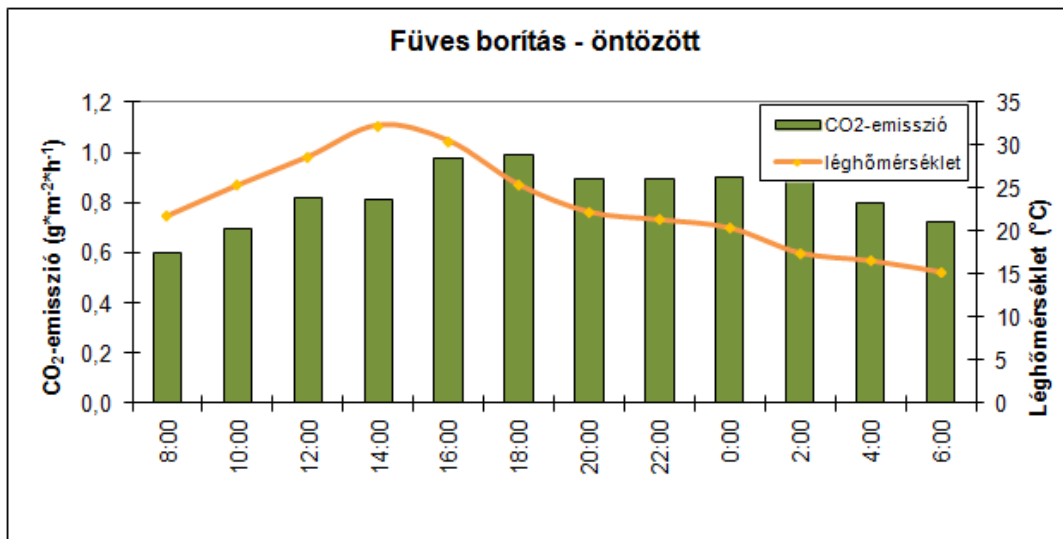
Az adatokban is látható, hogy az öntözött edények feltalaja nedvesebb, valamint a füves borítás nedvességmegőrző szerepe is kimutatható. A mikroorganizmusok tevékenységéhez szükség van megfelelő nedvességtartalomra. A nedvességtartalom növekedése egy ideig a mikrobiális aktivitás növekedését vonja maga után.

A legalacsonyabb értékeket a délelőtti órákban tapasztaltam. A határréteg ekkor jól átkevert, vagyis az éjszaka felhalmozódott (és kizárólag a mérőhelyre és közvetlen környezetére jellemző) többlet szén-dioxid ekkorra elkeveredik a határrétegben. A növényvel borított egységekben a délutáni és az éjszakai órákban nagyobb emisszió értékeket kaptam, ami a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött nagymértékű arányát mutatja (37-38. ábra). Valamint a növények nappal fotoszintetizálnak, éjjel sötétben pedig gázcsereenyílásaikon keresztül ők is lélegeznek, vagyis szén-dioxidot bocsátanak ki, tehát ez is közrejátszhatott az emelkedett emisszió értékekben. A növényborítás nélküli egység CO<sub>2</sub>-kibocsátása a 24 óra alatt végig kiegyenlített volt, a füves borítás nedvességmegőrző és hűtő szerepe valószínűleg jobb körülményeket teremtett a mikroorganizmusok számára.



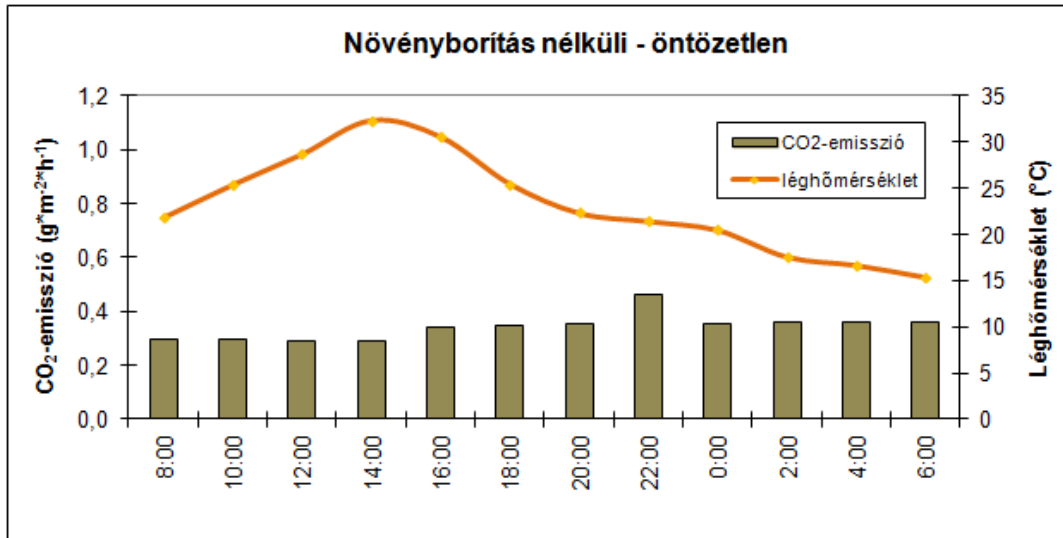


37. ábra: A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás esetén öntözetlen körülmények között

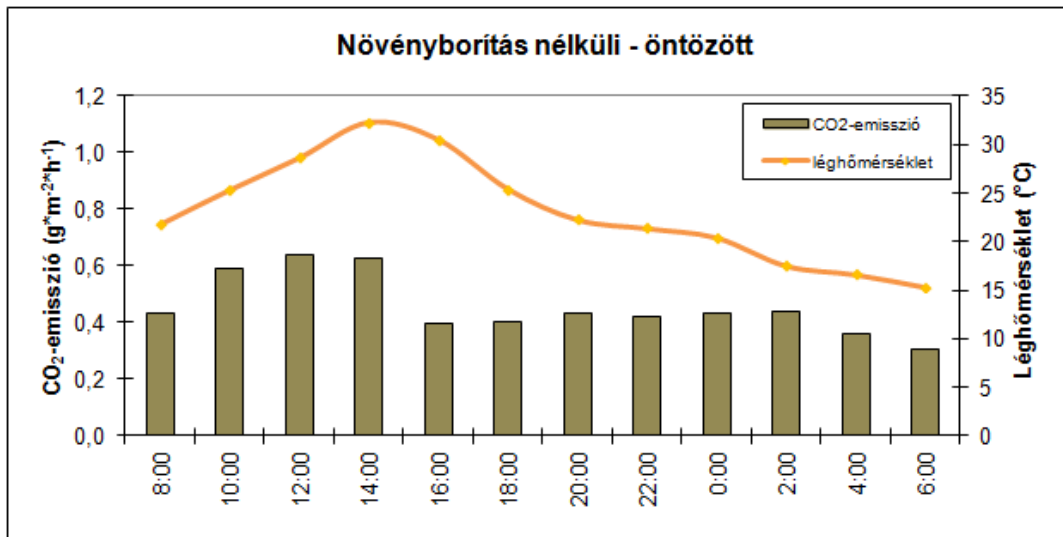


38. ábra: A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás esetén öntözött körülmények között

A befűvesített edényekben öntözött körülmények között is hasonló tendenciát vonhatok le (39-40. ábra), mint öntözetlen esetben. Nagyobb emisszió értékeket tapasztaltam, és szintén az esti és éjszakai órákra emelkedett meg a szén-dioxid-kibocsátás.



**39. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás nélküli esetben öntözetlen körülmények között



**40. ábra:** A CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájának alakulása növényborítás nélküli esetben öntözött körülmények között

A növényborítás nélküli edényekben öntözött körülmények között is alacsonyabb emisszió értékeket kaptam. A talaj CO<sub>2</sub>-emissziója 4 és 6 óra között volt a legalacsonyabb. A maximális talaj CO<sub>2</sub>-koncentrációkat 12-kor (0,64 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) és 14 órakor (0,63 g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) tapasztaltam (utóbbinál maximális léghőmérséklet értékek).

#### 4.6. A talaj szénkészletváltozásának becslése különböző művelési eljárások tükrében

A magyarországi szántóterületek szénkészlet változására irányuló számításaimhoz figyelembe vett művelési scenáriókat a 18. táblázatban foglaltam össze. Bázisévnek 2006-ot vettem alapul, így az azt követő 20. évre tudtam elvégezni becsléseket. Véleményem szerint Magyarországon most és a jövőben a potenciálisan alkalmazott talajművelési rendszerek a direkt vetés, a redukált és a hagyományos talajművelés, így ezeket alkalmaztam úgy, mintha az ország teljes területén az adott művelési rendszerekre térnének át. Természetesen ezeknek a művelési rendszereknek a különböző arányú megjelenése valószínűsíthető, mindazonáltal a szélsőséges alternatívákra vonatkozó számítások eredményeivel a talajok szénkészletében beálló különbségek nagyságrendjére kívánom csak felhívni a figyelmet. Az egyes talajművelési rendszereket különböző inputok alkalmazása mellett vizsgáltam.

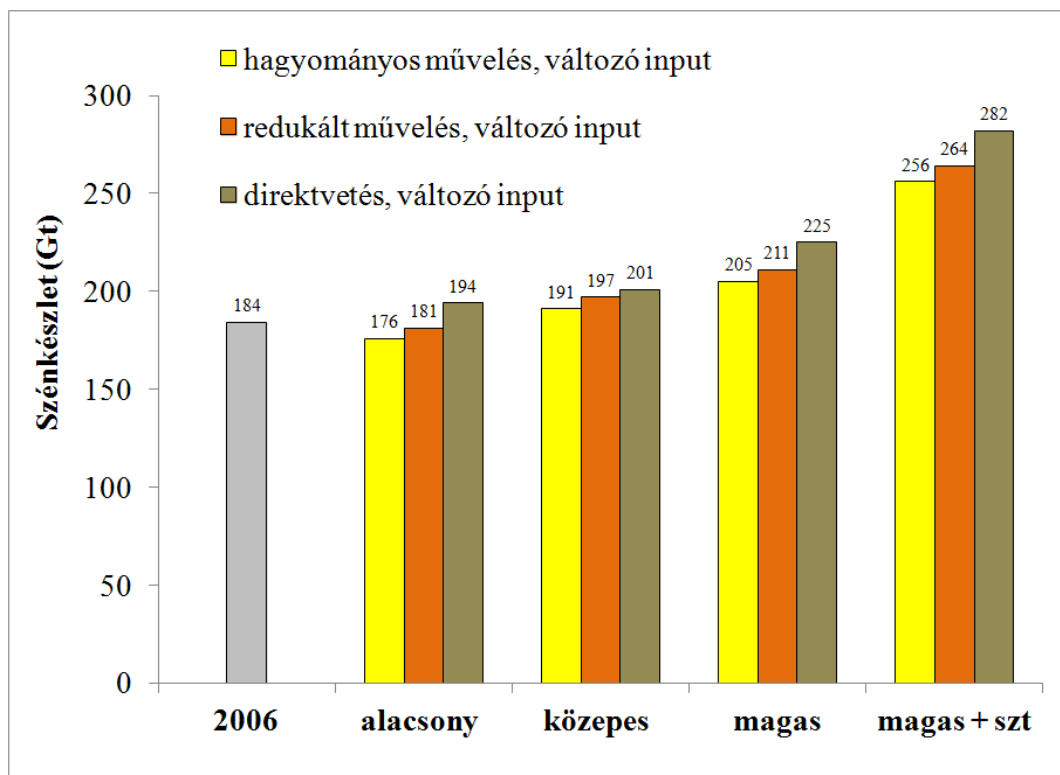
18. táblázat: A vizsgált talajművelési scenáriók

Szenárió	Talajművelési rendszer	Input
1.1.	direkt vetés	magas + szerves trágya
1.2.	direkt vetés	magas
1.3.	direkt vetés	közepes
1.4.	direkt vetés	alacsony
2.1.	redukált	magas + szerves trágya
2.2.	redukált	magas
2.3.	redukált	közepes
2.4.	redukált	alacsony
3.1.	hagyományos	magas + szerves trágya
3.2.	hagyományos	magas
3.3.	hagyományos	közepes
3.4.	hagyományos	alacsony

Az alkalmazott talajművelési rendszer megváltoztatása által kiváltott szénkészletváltozást a 41. ábra foglalja össze. Az ábrán megfigyelhető, hogy az inputtényező változásával (a talajba bevitt szervesanyag mennyiségének növekedésével)

a talajban található szerves szén összessége is növekszik, azonban ennek mértéke az egyes talajművelési rendszerek esetében eltérő.

A direkt vetés a legkevésbé talajbolygató talajművelési rendszer, a szakirodalmi adatok alapján ezzel őrizhető meg leginkább a talajban lévő szerves szén mennyisége, s csökkenthetők az emissziós veszteségek. A direktvetéses művelési rendszerre való átállás esetén, magas szervesanyag bevitel mellett (ami ennek a rendszernek alapvetően jellemzője) mintegy 22%-kal lenne növelhető talajaink szénkészlete. Amennyiben még szervestrágyázás (továbbiakban: szt) is párosulna ehhez, akkor akár 53%-os növekedéssel is számolhatnánk, azonban ennek a realitása kicsi.



**41. ábra:** Magyarország szántóinak szénkészlet változása különböző művelési rendszerek esetén változó inputtal

A redukált talajműveléssel elért szénkészletváltozás adatait is ez az ábra tartalmazza. A redukált talajművelési rendszerrel a talaj eredeti szerkezetének megőrzése érdekében mérsékelt talajforgatást, gépkombinációkat és egy menetben történő több munkafázis elvégzését alkalmazzák. Magyarországon e talajművelési rendszer nagyobb mértékű elterjedésével reálisan lehet számolni az elkövetkező évtizedben. Egyre több

gazdálkodó gondolja úgy, hogy a forgatásra alapozott talajművelési rendszerek felváltása nemcsak költségtakarékos, hanem jótékony hatással van a talaj szervesanyag gazdálkodására is. Természetesen a redukált művelési módok elterjedéshez szükség lenne az ilyen rendszerekben használatos gépek árának csökkenésére is, mivel az jelenleg még igen magas. Mindazonáltal az eladások növekedésével az árcsökkenés valószínűsíthető.

A redukált talajművelésre való áttérés és az arra szintén jellemző magas szervesanyag bevitel eredményeként szénkészleteink növekedésére számíthatunk, bár ennek mértéke elmarad a direktvetéses rendszerre való átálláshoz képest. A talaj legfelső 30 cm-es rétegének szénkészlete a 2006-os referencia évhez képest mintegy 7-15%-kal növekedne az erre a művelési rendszerre leginkább jellemző közepes-magas szervesanyag input esetén. Véleményem szerint ez a növekedés is jelentős mértékű és bekövetkezésének esélye sem kicsi a talajművelés szemléletében jelenleg tapasztalható változások tükrében.

Bár Magyarországon a hagyományos talajművelést perspektivikusan felválthatják a talajvédő művelési rendszerek, a forgatásra alapozott technológia a domináns. A direktvetéses és a redukált talajművelési rendszerekre kiszámított szénkészlet változási adatok értékelése érdekében azt az esetet (szcenáriót) is megvizsgáltam, amikor az ország szántóinak teljes területén hagyományos művelést alkalmaznak. A legújabb kutatási eredmények azt mutatják, hogy az optimális időben, megfelelő talajállapot mellett elvégzett szántással és a szántott talajfelszín mihamarabbi lezárásával elkerülhető a magas szervesanyag veszteség, így a talaj szénkészletének védelme szempontjából a szántás sem minősül károsnak (BIRKÁS-GYURICZA, 2004). Ennek a scenáriónak a megvalósulása esetén csak akkor lehet számítani a szénkészlet növekedésére, ha fokozott szervesanyag bevitel valósul meg, ennek esélye azonban igen kicsi. A hagyományos művelési rendszerre manapság is jellemző alacsony szervesanyag input esetén a 2006-os évhez viszonyítva a szénkészlet mennyiségének mintegy 4%-os csökkenése várható.

Talajvédelmi szempontból is igen fontos tehát, hogy korszerű, a talajt kímélő, az adott klimatikus és edafikus tényezőkhöz igazodó talajművelési rendszerek legyenek jellemzőek Magyarországon a jövőben. A művelési rendszer megváltozásának hatására

a talaj szénkészletében bekövetkező változásokra vonatkozó számításaim eredményei arra engednek következtetni, hogy a talajművelés szerepe döntő, hatásainak vizsgálata a fenntartható mezőgazdaság szempontjából aktuális kérdés.

Véleményem szerint a talajvédő művelési rendszereknek a következő évtizedben várható elterjedésével, illetve az általam feltételezett scenáriók gyakorlati realitását figyelembe véve, talajaink 20 éves ciklusra számított szénkészlete mintegy 5-10%-kal lesz növelhető az elkövetkező mintegy 30 évben.

#### **4.7. A talaj szénkészletváltozásának becslése a klímaváltozás tükrében**

Magyarország szántóit klímazónák szerint alapvetően két típusba soroltuk: a mérsékelt meleg (évi átlaghőmérséklet  $10^{\circ}\text{C}$  felett) és a mérsékelt hűvös (évi átlaghőmérséklet  $10^{\circ}\text{C}$  alatt) kategóriákba. Mivel a számításoknál a klímakategóriák közti határérték  $10^{\circ}\text{C}$ , és Magyarország egy területére sem jellemző, hogy az éves átlaghőmérséklet ettől az értéktől több mint 0,1 fokkal eltérne, könnyen elképzelhető, hogy hosszú távon már az egész ország területére ugyanaz a klímakategória lesz jellemző. Nyilván ez a megközelítés, illetve a számításokhoz használt alapadatok magukban hordozzák a hiba lehetőségét, különös tekintettel a számok abszolút értékére, de a tendenciákról és a változások nagyságrendjéről véleményem szerint jó becslést adnak.

Számos tanulmány és előrejelzés szerint a Magyarországra becsült klímaváltozások rövidebb és hosszabb távon is elsősorban a szélsőséges időjárási helyzetek gyakoriságának növekedését hangsúlyozzák. A szélsőséges helyzetek gyakoriságától elvonatkoztatva és figyelembe véve az elmúlt évek tendenciáit (az átlag hőmérséklet növekedése, kevesebb csapadék, szárazság gyakorisága) valószínűnek tartom, hogy a meleg száraz klíma Magyarország nagyobb területén fog érvényesülni.

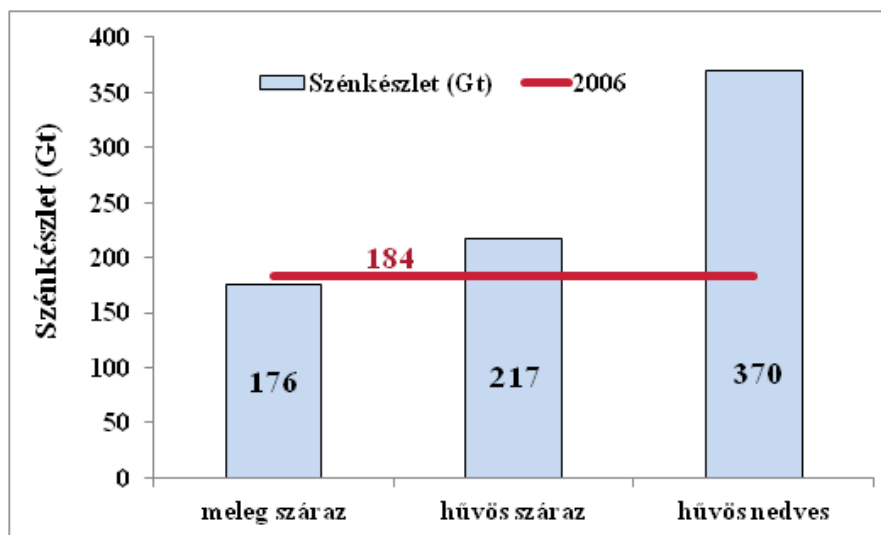
A hűvös nedves klímazóna típusra is becslést készítettem a szénkészlet változás tükrében. A vizsgált klíma scenáriókat a *19. táblázatban* közlöm. Ezek a scenáriók azokat az eseteket foglalják magukban, amikor az ország egész területe az adott klímakategóriába esik. Az összehasonlításban referenciaként szereplő 2006-os év az az

állapot, amikor az ország területének durván 60%-a a mérsékelt meleg száraz, míg 40%-a mérsékelt hűvös száraz kategóriákba esik.

**19. táblázat:** A vizsgált klíma scenáriók

Szenárió	Klíma
1.1.	meleg száraz
1.2.	hűvös száraz
1.3.	hűvös nedves

A különböző klíma scenáriókra kiszámolt szénkészleteket bemutató 42. ábrán láthatjuk, hogy amennyiben Magyarország teljes területén meleg száraz klíma lenne a jellemző a talajaink szénkészlete némileg csökkenne, de hasonló mértéket mutatna a referencia évhez képest. A szénkészlet viszont mintegy kétszeresére nőne, ha a klíma az ellenkező irányba változna és évről évre hidegebb és csapadékosabb időjárás váltaná fel a mostanit.



**42. ábra:** Magyarország szántóinak szénkészlet változása különböző klíma scenáriók esetében (bázisév 2006 – 184Gt)

#### 4.8. A szénkészletváltozás becslése a karcagi talajművelési kísérletben

Az IPCC metodikáját felhasználtam arra is, hogy kisebb léptékben, akár táblaszinten is meghatározzam a talaj szénkészletének változását. A számításokhoz a 3.2.1. fejezetben leírt komplex talajművelési kísérlet parcelláinak adatait használtam fel, a faktorok

meghatározását a 3. fejezetben ismertetett SCT programmal végeztem. Mivel a kísérlet 1997-ben indult, az akkori állapotot tekintetem kiindulási állapotnak. Azt kívántam kiszámítani, hogy vajon a kísérlet indítása után 20 évvel milyen mértékben fog változni a kísérleti parcella szénkészlete. Mivel erről a területről konkrét adatok állnak rendelkezésre a talaj humusztartalmát illetően, az abból számított szénkészlet figyelembevételével is kiszámítottam a szénkészleteket mindkét időpontra. Mivel a talaj szervesanyagainak széntartalmát átlagosan 58%-nak vesszük, a humusztartalom és a szerves szén mennyisége között az alábbi összefüggés állapítható meg (FILEP, 1999):  $Hu\% = \text{szerves C} \times 1,72$ . Ezen összefüggésre alapozva számítottam ki a mért humusztartalom alapján a talaj szénkészletét.

A számítás menete a következő volt:

- 1. kiszámítottam 1 ha, azaz 10000 m<sup>2</sup> területen a talaj 30 cm-es (0,3 m) rétegének a térfogatát:  $10000 \times 0,3 = 3000 \text{ m}^3$ ,*
- 2. kiszámoltam 3000 m<sup>3</sup> talaj tömegét, úgy hogy a térfogatot (m<sup>3</sup>) megszoroztam a talaj térfogattömegével ( $\text{g cm}^{-3} = \text{t m}^{-3}$ ):  $3000 \text{ m}^3 \times 1,59 \text{ t m}^{-3} = 4770 \text{ t}$ ,*
- 3. kiszámoltam a talaj humusztartalmának a tömegét, úgy a talaj tömegét megszoroztam a százalékos humusztartalommal:  $(4770 \times 2,68) / 100 = 127,836 \text{ t}$ ,*
- 4. végül a humusz tömegének széntartalmát számoltam ki:  $127,836 \text{ t} \times 0,58 = 74,14488 \text{ t}$ .*

A fenti számítások alapján tehát a talaj felső 30 cm-es rétegének a szénkészlete 74,1 t ha<sup>-1</sup>.

A 20. táblázat adatai az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával a 20 éves időszakra számított szénkészlet változás mértékét mutatja a talajművelési kísérlet talajában. Az eredeti állapot (1997) hagyományos művelésű, alacsony szervesanyag inputtal jellemezhető, a talaj felső 30 cm-nek szénkészlete hektáronként 28,7 t ha<sup>-1</sup>. A redukált művelésre való áttérés és a megnövelt szervesanyag bevitel eredményeként évi 0,17 t ha<sup>-1</sup> szénkészlet növekedésre számíthatunk, ami az eredetinel kb. 12%-kal magasabb szénkészletet jelent 2017-re.



**20. táblázat:** A talajművelési kísérlet hagyományos művelésű parcellájának talajában bekövetkező becsült szénkészlet-változás a művelési rendszer redukáltra történő változtatásával az IPCC alapértelmezett adatok felhasználásával

Év	Klíma	Talaj típus	Művelés	Input	SOC <sub>ref</sub>	F <sub>LU(0)</sub>	F <sub>MG(0)</sub>	F <sub>I(0)</sub>	SOC (t ha <sup>-1</sup> )
1997	meleg száraz	HAC	hagyományos	alacsony	38	0,82	1,00	0,92	28,7
2017	meleg száraz	HAC	redukált	közepes	38	0,82	1,03	1,00	32,1
<b>Éves változás: 0,17 t ha<sup>-1</sup></b>									

A 21. táblázat adatai a humusztartalomból számított szénkészletből kiindulva mutatják a 20 éves időszakra számított szénkészlet változás mértékét a talajművelési kísérlet talajában. Az így számított szénkészlet hektáronként 55,9 t ha<sup>-1</sup>, ami jóval magasabb az IPCC alapértelmezett adataiból számolténál. A redukált művelésre való áttérés után 20 évvel 62,6 t ha<sup>-1</sup> szénkészlet adódik, ami évi 0,33 t ha<sup>-1</sup> növekményt jelent, természetesen a növekedés mértéke ebben az esetben is 12%.

**21. táblázat:** A talajművelési kísérlet hagyományos művelésű parcellájának talajában bekövetkező becsült szénkészlet-változás a művelési rendszer redukáltra történő változtatásával a humusztartalomból számított szénkészlet (SOC<sub>calc</sub>) felhasználásával

Év	Klíma	Talaj típus	Művelés	Input	SOC <sub>calc</sub>	F <sub>LU(0)</sub>	F <sub>MG(0)</sub>	F <sub>I(0)</sub>	SOC (t ha <sup>-1</sup> )
1997	meleg száraz	HAC	hagyományos	alacsony	74,1	0,82	1,00	0,92	55,9
2017	meleg száraz	HAC	redukált	közepes	74,1	0,82	1,03	1,00	62,6
<b>Éves változás: 0,33 t ha<sup>-1</sup></b>									

Egy másik megközelítésben, azt is meg akartam tudni, hogy vajon mennyiben változna a terület szénkészlete, ha az elmúlt 14 évben (1997-2010) redukált rendszerben művelt talajon hirtelen váltással direktvetéses művelési rendszerre tértek volna át. Feltételezve a szénkészlet-változás egyenletes voltát (évi rendszerességgel mért adatok híján csak ez jöhet szóba) kiszámoltam, hogy 2010-re mennyire gyarapodott az 1997-ben redukált művelésbe vett parcella szénkészlete, s ebből az adatból kiindulva becslést adtam a 2030-ra várható szénkészlet-változásra, amennyiben ezen a területen direktvetést (minimális műveléssel) alkalmaznának az elkövetkező 20 évben. Ezt a számítást az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával végeztem el, a humusztartalomból számított SOC értékkel nem, mivel tendenciájában ugyanazt az eredményt kaptam volna más abszolút értékekkel.

A 22. táblázat adatai az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával azt az esetet jellemzik, ha az elmúlt időszakban (1997-2010) redukált rendszerben művelt talajon hirtelen váltással direktvetéses művelési rendszerre térnének át. Az eredeti állapot (1997) után 14 évvel (jelenlegi állapot) a talaj felső 30 cm-nek szénkészlete hektáronként 31,08 t ha<sup>-1</sup>. A talajművelési rendszer direktvetésessé (no-till) történő megváltoztatása után 20 évvel már 34,3 t ha<sup>-1</sup> szénkészletre számíthatunk, ami az eredetinel kb. 12%-kal magasabb szénkészletet jelent 2017-re.

**22. táblázat:** A talajművelési kísérlet redukált művelésű parcellájának talajában bekövetkező becsült szénkészlet-változás a művelési rendszer direktvetésre történő változtatásával az IPCC alapértelmezett adatok felhasználásával

Év	Klíma	Talaj típus	Művelés	Input	SOC <sub>ref</sub>	F <sub>LU(0)</sub>	F <sub>MG(0)</sub>	F <sub>I(0)</sub>	SOC (t ha <sup>-1</sup> )
1997	meleg száraz	HAC	hagyományos	alacsony	38	0,82	1,00	0,92	28,7
2010	meleg száraz	HAC	redukált	közepes	38	0,82	1,03	1,00	31,08
2030	meleg száraz	HAC	direktvetés	közepes	38	0,82	1,10	1,00	34,3

Amint az a táblázatokból is jól látszik, jelentős különbség van a két megközelítés között, ami felhívja a figyelmet az alapadatok megválasztásának fontosságára. Mivel az ilyen jellegű számításokhoz általában nem állnak rendelkezésre mért adatok, a tapasztalati értéken nyugvó alapértelmezett adatok is jó közelítést adnak és a számítások eredményei tendenciájukban helyesnek tekinthetők. Azonban az alapértelmezett adatok részben vagy egészében mért adatokkal történő helyettesítése az adott területre jobban jellemző eredményeket ad, így mindenképpen javasolható. Ez az IPCC metodikában is létező módszer (Tier 2.), ebben az esetben csak az alapegyenletek használatosak, mind a referencia szénkészlet értékek, mind a faktorok lehetnek specifikusak.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Azok a folyamatok, amelyek a szén oxidációját befolyásolják, igen komplexek. Vizsgálati eredményeim kiegészítő információkat szolgáltatnak a különböző talajművelési és agrotechnikai eljárások valamint klimatikus elemeknek a talaj szén-dioxid-emissziójára kifejtett hatásának pontosításához, tanulmányozásuk feltétlenül aktuálisnak tekinthető és további erőfeszítéseket igényel.

Az általam használt ANAGAS CD 98 és GasAlertMicro5 típusú infravörös gázanalizátorokat alkalmasnak találtam a talajból származó CO<sub>2</sub>-emisszió vizsgálatára. A műszer cellájának szén-dioxiddal való feltöltődése után reális adatok nyerhetők az értékeléshez.

A CO<sub>2</sub>-emisszió mérések egyik problematikus pontja a mérési terület lehatárolása, mivel a vizsgálandó talajfelszín egyenetlen lehet, és a megfelelő izoláció feltétlenül szükséges. Csak a mérési terület minél precízebb és annak jellegzetességeihez minél jobban alkalmazkodó térbeli lehatárolása biztosítja a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának meghatározásához szükséges mérések szabatos kivitelezését. A kifejlesztett keretes (fémkeret + mérőedény) módszerek alkalmasak a legelő (gyeppel borított talajfelszín), illetve más, mezőgazdasági művelés alatt álló talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának mérésére.

Kimutattam, hogy félóránál hosszabb inkubációs időre a koncentráció-különbségen alapuló vizsgálatoknál sincs szükség, mert ennyi idő megfelelő a gázkibocsátás jellemzésére, valamint hosszabb időtartam alatt már nem a természetközeli állapotot modelleznénk.

A CO<sub>2</sub>-emisszió mérésekkel és a labilis szervesanyagok meghatározásával igazoltam, hogy a redukált művelési mód, a mérsékelt talajbolygatás révén a kiegyensúlyozottabb talajélet kialakulásában jelentős szerepet játszik. A növekvő légköri szén-dioxid-koncentráció klímaváltozásban betöltött szerepének miatt, javasolom a talajok szén-dioxid-kibocsátását alacsony szinten tartó talajvédő művelési mód alkalmazását, valamint a hagyományos műveléseknél a felszín lezárását, illetve a talajmunkák jó minőségű kivitelezését.

A hozzáadott anyagok, mint például a szerves trágyák, komposztok, talajkondicionáló szerek élénkítik a talajéletet, ezt a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának növekedésével, mint a talajtermékenység számszerűsítésének eszközével bizonyítottam.

Kimutattam a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött nagy jelentőségű szerepét. A mérési eredmények azt bizonyították, hogy az általam beállított kísérleti feltételek között és az adott talajon az aktív, fejlődő növényállományokban az összes kibocsátott CO<sub>2</sub>-mennyiség akár 60-70%-ának is a gyökérlégzés a forrása.

A talajhőmérséklet és a talajnedvesség tartalom a talajélet szabályozó szerepét is vizsgáltam. Az eredmények azt mutatják, hogy a talaj CO<sub>2</sub>-kibocsátásának fő limitáló tényezője a talajnedvesség és a talajhőmérséklet. A CO<sub>2</sub>-emisszió napi menetét tekintve is a hőmérséklet a meghatározó tényező.

Vizsgálataimmal adatokat szolgáltatottam a talajhasználat és a szénkészlet változás összefüggéseinek feltárásához. Az IPCC metodikája és módszertana alapján különböző talajművelési és klíma scenáriókat állítottam fel, meghatároztam a hazai szántó területek talajainak legfelső 30 cm-ében szénkészlet változását a 2006-os évre.

A hagyományos, forgatásra alapozott talajművelési rendszer és a talajvédő művelési rendszer vizsgálatából származó adatok alapján megállapítottam, hogy a direktvetés a szénkészlet megőrzése érdekében hatékonyabb talajművelési rendszer a hagyományossal szemben. A művelési rendszer megváltozásának hatására a talaj szénkészletében bekövetkező változásokra vonatkozó számításaim eredményei arra engednek következtetni, hogy a talajművelés szerepe döntő, hatásainak vizsgálata a fenntartható mezőgazdaság szempontjából aktuális kérdés.

A kutató munkám során használt IPCC módszerrel viszonylag jól becsülhető a talaj szénkészlete, illetve annak változása. Igazoltam, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.

## 6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A szabadföldi CO<sub>2</sub>-emisszió mérések egyik problematikus pontjának, a mérési terület lehatárolásának megoldására új eszközt fejlesztettem ki. Igazoltam, hogy a keretes (fémkeret + mérőedény) módszer eszközei alkalmasak a különböző felszínű talajok mérési területének lehatárolására. Kimutattam, hogy 30 percnél hosszabb inkubációs időre a koncentráció-különbségen alapuló vizsgálatoknál nincs szükség, mert ennyi idő megfelelő a gázkibocsátás jellemzésére, valamint hosszabb időtartam alatt már nem a természet közeli állapotot modelleznénk.

2. Szántóföldi mérésekkel igazoltam, hogy a mérsékelt talajbolygatás és a mikrobiológiai aktivitás szempontjából kedvezőbb talajállapot miatt, a redukált művelési mód a konvencionálishoz képest időben kiegyensúlyozottabb, de mértékében magasabb CO<sub>2</sub>-emissziót eredményezett.

3. Az általam vizsgált, a talaj termékenységét növelő anyagok, a hígtrágya, komposzt és talajkondicionáló szer élénkítik a talajéletet, a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának növekedését eredményezik, amelynek számszerűsítésével ezen hatásukat bizonyítottam.

4. Statisztikailag igazoltam a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött szerepét. A mérési eredményeim alapján számszerűsítettem a növényvel borított talajfelszín nagyobb CO<sub>2</sub>-kibocsátását a növényborítás nélküli felszínhez képest.

5. A talajhőmérséklet és a talajnedvesség tartalom a talajéletet szabályozó szerepét is bebizonyítottam. Közepes erősségű kapcsolatot sikerült statisztikailag igazolnom a feltalaj nedvességtartalma illetve CO<sub>2</sub>-kibocsátása között. A levegő és a talaj hőmérsékletének változása valamennyi kezelésben korrelációt mutatott a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójával. 24 órás méréssel képet kaptam CO<sub>2</sub>-emisszió napi dinamikájáról és megállapítottam, hogy annak nagyságrendjét tekintve a hőmérséklet a meghatározó tényező.

6. Megállapítottam, hogy az IPCC módszerrel jól becsülhető a talaj szénkészlete, illetve annak változása. Igazoltam, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.

## **7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA**

A 6. pontban ismertetett új tudományos eredmények közül az alábbiakat tartom a gyakorlatban is hasznosíthatónak:

1. A szántóföldi illetve gyepterületen végzett CO<sub>2</sub>-emissziós mérések egyik problematikus pontja a mérési terület lehatárolása, mivel a vizsgálandó talajfelszín egyenetlen lehet, és a megfelelő izoláció feltétlenül szükséges. Az értekezésben bemutatott keretes (fémkeret + mérőedény) módszerek alkalmasak a legelő (gyeppel borított talajfelszín), illetve más, mezőgazdasági művelés alatt álló talajok felszínének lehatárolásához a CO<sub>2</sub>-emissziójának meghatározásához. A koncentrációkülönbségen alapuló CO<sub>2</sub>-emissziós vizsgálatoknál 30 perces inkubációs idő elegendő a gázkibocsátás jellemzésére.

2. A vizsgált, a talaj termékenységét növelő anyagok, a hígtrágya, a juhtrágya alapú komposzt és talajkondicionáló szer élénkítik a talajéletet, a talajok CO<sub>2</sub>-emissziójának növekedését eredményezik, amelynek számszerűsítésével, ezen hatásukat bizonyítottam, mivel ezek az anyagok az ökológiai gazdálkodásban is használhatóak.

3. Az IPCC módszerrel jól becsülhető a talaj szénkészlete, illetve annak változása. Számításaim igazolják, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az értekezés alapjául szolgáló vizsgálatokat a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézetében végeztem 2005 és 2012 között. Kutatómunkám során olyan kérdéseket határoztam meg, amelyek megválaszolásával további, illetve új információk szerezhetők a talajban lejátszódó mikrobiológiai folyamatokról, a talajhasználattól függő CO<sub>2</sub>-emisszió és széntartalom dinamikájáról és sajátosságairól.

A CO<sub>2</sub>-emisszió méréseknél a terület lehatárolásának megoldására bemutattam azokat az eszközöket, illetve azt a munkafolyamatot, mely során az eszközöket az egyes mérőhelyek sajátosságaihoz igazítottam. A keretes (fémkeret + mérőedény) módszer eszközei alkalmasak a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának mérésére. Az inkubációs térben a gázkoncentráció alakulásának nyomon követésével, illetve az időbeli telítődés folyamatának vizsgálatával az optimális inkubációs időtartamot határoztam meg. Bebizonyítottam, hogy 30 percnél hosszabb inkubációs időre a koncentrációkülönbségen alapuló vizsgálatoknál nincs szükség.

A különböző talajművelési módok szén-dioxid-emisszióban játszó szerepének vizsgálatához az intézet H-1 jelű tábláján szabadföldi, illetve eredeti szerkezetű, bolygatatlan mintákon tenyészedenyes körülmények között végeztem méréseket. A legtöbb esetben az emissziós méréseket tarlón végeztem, betakarítás után. A vizsgált hét év időjárása igen változatos volt, kiváló alkalmat teremtve az évek közötti összehasonlításhoz. A betakarítás, szárazzás magasabb emisszió értékeket eredményeztek közvetlenül a beavatkozások után, viszont tarlón, amikor már nem végeztünk beavatkozásokat, a redukált parcella talajára kiegyenlítettebb emisszió értékek voltak jellemzőek. A tenyészedenyes kísérletben a redukált művelésű talajoszlopok CO<sub>2</sub>-emisszió értékei magasabbak voltak, mint hagyományos művelés esetén, vagyis a redukált talajművelés során kedvezőbb feltételek alakulnak ki a mikrobiológiai aktivitáshoz.

A talajok szervesanyagban való dúsítása élénkíti a talajokban lejátszódó mikrobiológiai folyamatokat. Ennek kimutatására hígtrágyával kezelt talajon is vizsgáltam a CO<sub>2</sub>-emisszió alakulását. A trágyával kezelt területek emissziója minden esetben magasabb a

kezeletlenhez képest. Ugyanígy a talajkondicionáló szer a talaj mikro- és makroorganizmusainak aktivitását növelő hatását is a CO<sub>2</sub>-emissziós mérésekkel igazoltam. Megállapítottam, hogy a talajkondicionáló szer hatása redukált művelésű talajban hamarabb érvényesül, mint a hagyományos művelésű területen. Méréseket végeztem különböző komposzt dózissal kezelt és a kezeletlen parcellákon gyepterületen. A kezeletlenhez képest megemelkedett CO<sub>2</sub>-emisszió jellemezte a komposzttal kezelt parcellák talaját, ami fokozott gyökérlégzésre, illetve mikrobiológiai aktivitásra utal.

A levegő és a talaj hőmérséklete, a talaj borítottsága, valamint a talaj nedvességállapota és a talajok CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggéseket az átfolyóvizes liziméterekben beállított kísérletekben vizsgáltam. Statisztikailag igazolható különbséget tapasztaltam a növényborításos edények talajának CO<sub>2</sub>-emissziójában a növényborítás nélküli felszínéhez képest. A talaj nedvességtartalma és CO<sub>2</sub>-emissziója közötti összefüggéseket elemezve közepes erősségű kapcsolatot sikerült statisztikailag igazolnom a két paraméter között. A levegő hőmérsékletének változása valamennyi kezelésben korrelációt mutatott a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójával.

A CO<sub>2</sub>-kibocsátás napi dinamikájának vizsgálatához 24 órán keresztül végeztem méréseket. A legalacsonyabb emisszió értékeket a délelőtti órákban tapasztaltam. A határreteg ekkor jól átkevert, vagyis az éjszaka felhalmozódott (és kizárólag a mérőhelyre és közvetlen környezetére jellemző) többlet szén-dioxid ekkorra elkeveredik a határretegben. A növényvel borított egységekben a délutáni és az éjszakai órákban nagyobb emisszió értékeket kaptam, ami a gyökérlégzésnek a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójában betöltött nagymértékű arányát mutatja.

Az IPCC metodikája és módszertana alapján különböző talajművelési és klíma scenáriókat állítottam fel, meghatároztam a hazai szántó területek talajainak legfelső 30 cm-ében szénkészlet változását. Megállapítottam, hogy a direktvetés a szénkészlet megőrzése érdekében hatékonyabb talajművelési rendszer a hagyományossal szemben. Az IPCC alapértelmezett adatainak felhasználásával a 20 éves időszakra számítottam a szénkészlet változás mértékét a karcagi talajművelési kísérlet talajában. Igazoltam, hogy ezzel a módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a szénkészlet meghatározása.



## 9. SUMMARY

Investigations providing the basis of this dissertation were carried out in Karcag Research Institute of CAS, University of Debrecen between 2005 and 2012. During my research work I determined questions for that the answers provide additional or new information on the microbial processes taking place in the soil, the CO<sub>2</sub> emission dependent on soil use and the dynamics of carbon content and characteristics.

I introduced the tools and the work process suitable for the spatial delimitation of the measurement area. The tools were adjusted to the specific characteristics of each measuring place. The tools of the frame + bowl method are suitable to determine the CO<sub>2</sub> emission of the soil. The optimal incubation term was determined by the evolution of the gas concentration in the incubation space and analysis of the temporal saturation process. It has been proved that no more than 30 minutes incubation time is needed for the examinations based on the measurement of concentration difference.

My measurements were carried out under field circumstances and in plots containing undisturbed samples in order to examine the effect of different soil tillage methods on carbon dioxide emission from the soil. In most cases, the emission measurements were carried out on stubbles after harvest. In the investigated seven years the weather has been very diverse so it created an excellent opportunity for comparison between years. Increased emission level was induced immediately after the cultivation intervention but on the stubble on the plot without disturbance higher emission values were characteristic. CO<sub>2</sub> emission levels were higher on the reduced cultivated soil columns than on conventional tillage, because reduced tillage created favourable conditions (structure, air permeability, organic matter content) for microbiological activity.

Enriching the soil with organic matter stimulates soil microbial processes. In order to quantify this, I studied the evolution of CO<sub>2</sub> emission on soil treated with thin manure. Higher emissions were detected from the manure-treated fields in each case as compared to the untreated plots. Similarly, the soil conditioner increases the activity of soil micro- and macro organisms, this effect was proven by CO<sub>2</sub> emission measurements. I found that the effect of soil conditioner prevails faster in the reduced

cultivation system than in the conventional tillage system. Measurements were performed in grassland plots treated with different compost doses. In the treated plots I detected higher values compared to the untreated plot. Nevertheless it is obvious that organic and inorganic matters added to the soil have significant influence on the microbiological activity in the soil.

The correlation between air and soil temperature, soil coverage and soil moisture content and the soil CO<sub>2</sub> emissions was examined in a simple drainage lysimeter experiment. Statistically significant difference was found in the CO<sub>2</sub> emissions of the soil of the plant cover units compared to the lysimeter units with bare soil surface. The correlation between soil moisture content and CO<sub>2</sub> emissions are analyzed statistically with moderate correlation between the two parameters. The change of the air temperature was correlated with soil CO<sub>2</sub> emissions of each treatment.

To examine the time dynamics of the CO<sub>2</sub> emissions measurements for 24 hours were carried out. The lowest emission values were observed in the morning. In the plant covered units higher emission values were observed in the afternoon and at night, which shows that the root respiration has big role in the CO<sub>2</sub> emission of the soil.

According to the IPCC methodology and methods different cultivation and climate scenarios were set up to determine the change of soil carbon stocks of the top 30 cm layer in the arable lands of Hungary. I established that the direct seeding system is more efficient compared to the conventional tillage system regarding the preservation of soil the carbon stocks.

Using the default data of the IPCC method I quantified the change in carbon stocks of the soil of the soil tillage experiment at Karcag for a 20-year-long period. I could prove that using this method it is possible to determine the carbon stocks not only at national, but even at plot level.

## 10. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

1. ÁCS, F. – BREUER, H. – TARCZAY, K. - DRUCZA M.: 2005. A talaj és az éghajlat közötti kapcsolat modellezése. *Agrokémia és talajtan*. 54. (2005) 3–4 257–274.
2. ALEXANDER, M.: 1974. *Advances in Applied Microbiology*. 18, 1.
3. AMBUS, P. – CLAYTON, H. – ARAH, J.R.M. – SMITH, K.A. – CHRISTENSEN, S.: 1993. Similar N<sub>2</sub>O flux from soil measured with different chamber techniques. *Atmos. Environ.* 27A:121-123.
4. AMBUS, P. – ROBERTSON, G.P.: 1998. Automated near-continuous measurement of carbon dioxide and nitrous oxide fluxes from soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:394:400.
5. ANDERSON J. P. E. 1982. Soil respiration. 831–871. p. In: Page A. L., Miller R. H., Keeney D. R. (Szerk.): *Methods of Soil Analysis. Part 2*. Madison: Soil Science Society of America, 1692.
6. ANDERSON, J.P.F. – DOMSCH, K.H.: 1975. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Canadian Journal of Microbiology*. 21, 314.
7. ANDRÉN, O. – LINDENBERG, T. – PAUSTIAN, K. – ROSSWALL, T.: 1990. *Ecology of arable lands – Organisms, Carbon and Nitrogen Cycling*. Munksgaard Int., Copenhagen.
8. ÁNGYÁN, J. – MENYHÉRT, Z.: 1997. *Alkalmazkodó növénytermesztés, ésszerű környezetgazdálkodás*. Budapest, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Ház, 414.p.
9. BAJGAI, Y. – KRISIANSEN, P. – HULUGALLE, N. – MCHENRY, M. 2011. A laboratory study of soil carbon dioxide emissions in a vertisol and an alfisol due to incorporating corn residues and simulating tillage. *Journal of Organic Systems* 6 (3) 20-26.
10. BALESSENT, J. – MARIOTTI, A. – BOISGONTIER, D.: 1990. Effects of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from <sup>13</sup>C abundance in maize fields. *J. Soil Sci.* 41:584-596.

11. BALOGH, J. – FÓTI, SZ. – JUHÁSZ, A. – CZÓBEL, SZ. – NAGY, Z. – TUBA, Z.: 2005.: Seasonal CO<sub>2</sub>-exchange variations of a temperate semi-desert grassland in Hungary. *Photosynthetica*, 43 (1) 107-110. p.
12. BÁNDI, GY. – FARAGÓ, T. – LAKOSNÉ HORVÁTH, A.: 1994. Nemzetközi környezetvédelmi és természetvédelmi egyezmények. Budapest, KVTVM. 1994..80. p
13. BANKÓ, L. –HOFFMANN, S. –DEBRECZENI, K.: 2007. A talaj forróvíz-oldható C-frakciójának vizsgálata trágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 56 (2007) 2. 271-284. p.
14. BANKÓ, L.: 2008. A talajtermékenység egyes tényezőinek vizsgálata szerves és műtrágyázási tartamkísérletben. [http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2009/Banko\\_Laszlo\\_theses\\_hu.pdf](http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2009/Banko_Laszlo_theses_hu.pdf)
15. BARBER, D.A. – STANDELL, C.J.: 1977. *Agr. Res. Counc. Letcombe Lab. Ann. Rep. for 1976* 58.
16. BARÓTFI I.: 1991. Környezettechnika kézikönyv. Környezettechnikai Szolgáltató Kft., Budapest.
17. BEARE, M.H. – HENDRIX, P.F. – COLEMAN, D.C.: 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:777-786.
18. BIELEK, P.: 2001. CO<sub>2</sub> released from different soil conditions. In: Garcia-Torres, L., Benites, J., Martinez-Vilela, A., (eds.) 2001. *Conservation Agriculture, a worldwide challenge. Proc. of Conf.* 151-154.
19. BIRKÁS, M. – GYURICZA, CS.: 2004. A talajhasználat és a klimatikus hatások kapcsolata. In: *Talajhasználat, Műveléshatás, Talajnedvesség.* (Szerk.: Birkás M. – Gyuricza Cs.). Quality-Press Nyomda & Kiadó Kft. p. 10-47.
20. BIRKÁS, M. – GYURICZA, CS.: 2004. *Talajhasználat, műveléshatás, talajnedvesség.* Szent István Egyetem, Gödöllő.
21. BIRKÁS, M. – KRISZTIÁN, J. – NAGY, J.: 1999. *Talajhasználat és talajvédelem, Növényterm. Tud. Nap, 1999.01.26.* Kiadvány, „Magyarország az ezredfordulón” Startégiai Kutatások az MTA-n. Növénytermesztés és környezetvédelem (szerk. Ruzsányi L., Pepó P.) MTA Agr. Tud. Oszt., Budapest, 19-29.p.

22. BIRKÁS, M. – JOLÁNKAI, M. – STINGLI, A. – BOTTLIK, L., 2007: Az alkalmazkodó művelés jelentősége a talaj- és klímavédelemben. "Klíma-21" füzetek 51, 34-47.
23. BIRKÁS, M.: 2001. A talajhasználat. A talajhasználati módok értékelése. In: Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban (szerk.: Birkás M.) Akaprint Kiadó, Budapest, 99-120.p.
24. BIRKÁS, M.: 2002. Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Akaprint Kiadó és Nyomda, Budapest.
25. BIRKÁS, M.:1993. Talajművelés. In: Földműveléstan. 1993. Szerk. Nyiri L. Bp. Mezőgazda Kiadó, 96-194.
26. BOCZ, E.: 1992. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
27. BOONE, R.D. – NADELHOFFER, K.J. – CANARY, J.D. – KAYE, J.P.: 1998. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. *Nature* 396: 570-572.
28. BOWDEN R., – NEWKIRK K.M., – RULLO G.M. 1988. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions. *Soil Biol. Biochem.* 30 (12) 1591-1597
29. BRUCE, K.D. – JONES, T.H. – BEZEMER, T.M. – THOMPSON, L.J. – RITCHIE, D.A.: 2000. The effect of elevated atmospheric carbon dioxide levels on soil bacterial communities. *Global Change Biol.* 6: 427-434.
30. BRUCE, R.R. – LANGDALE, G.W. – WEST, L.T. – MILLER, W.P.: 1995. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 654-660.
31. BUCHANAN, M.A.: 1990. Carbon and phosphorus cycling in no-till and reduced chemical input maize agroecosystems: Experimental and simulation analysis. North Carolina State Univ., Raleigh.
32. BUCHELE, W.F. – COLLINS, E.V. – LOVELY, W.G.: 1955. Ridge farming for soil and water control. *Agric. Eng.* 36, 324-329.
33. BUNT, J.S. – ROVIRA, A.D., 1954: Oxygen uptake and carbon dioxide evolution of heatsterilized soil. *Nature* 173, 1242.
34. BURKE, I.C. – LAURENROTH, W.K. – MILCHUNAS, D.G.: 1997. Biogeochemistry of managed grasslands in central North America. [In: Paul E.

- A. et al. (eds.) Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America.] Boca Raton: CRC Press, 414. 85-102.
35. CAF: 2007. A talajművelő gépek feladatai, lehetőségei és műszaki megoldásai a számítógéppel támogatott mezőgazdaságban. OTKA Nyilvántartási szám: T 043355. Budapest.
  36. CARDON, Z.G. – HUNGATE, B.A. – AMBARDELLA, C.A. – CHAPIN, III F.S. – FIELD C.B. – HOLLAND, E.A. – MOONEY, H.A.: 2001. Contrasting effects of elevated CO<sub>2</sub> on old and new soil carbon pools. *Soil Biology and Biochemistry*. 33 365-373. p.
  37. CHAPIN, III F.S. – MATSON, P.A. – MOONEY H.A.: 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology. New York: Springer-Verlag, 484 p.
  38. CHENG, X. – AN, S. – CHEN, J., LI, B. – LIU, Y. – LIU, S.: 2007. Spatial relationships among species, above-ground biomass, N, and P in degraded grasslands in Ordos Plateau, northwestern China. *Journal of Arid Environments*, 68. 652-667.
  39. COLE C.V.: 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change. 1995. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emission IPCC Working Group 11, Chapter 23, Washington, D.C.
  40. COSH, M.H. – BRUTSAERT, W.: 2003. Microscale structural aspects of vegetation density variability. *Journal of Hydrology*, 276. 128-136.
  41. DALAL, R.C. – WANG, W. – ROBERTSON, G.P. – PARTON, W.J.: 2003. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review, *Australian Journal of soil Research*, 41, 165-195.
  42. DAVIDSON, E.A. – JANSSENS, I.A.: 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440: 165-173.
  43. DE JONG, E. – SCHAPPEART, H.J.V. – MACDONALD, K.B., 1974: Carbon dioxide evolution from virgin and cultivated soil as affected by management practices and climate. *Can. J. Soil. Sci.* 54, 299-307.
  44. DOBOR, L., BARCZA, Z., HLÁSNY, T., HAVASI, Á., 2013. Creation of the FORESEE database to support climate change related impact studies In: Proceedings, International Scientific Conference for PhD Students, March 19-20, 2013, Győr, Hungary
  45. DORAN, J.W.: 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 765-771.

46. DORE, S. – HYMUS, G.J. – JOHNSON, D.P. – HINKLE, C.R. – VALENTINI, R. – DRAKE, B.G.: 2003. Cross validation of open-top chamber and eddy covariance measurements of ecosystem CO<sub>2</sub> exchange in a Florida scrub-oak ecosystem. *Global Change Biol.* 9: 84-95.
47. DOUGLAS, J.: 1977. *Agr. Res. Counc. Letcombe Lab. Ann. Rep. for 1976.* 46.
48. DÖVÉNYI, Z.: 2010. Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
49. DREES, R.L. – WILDING, L.P. – NORDT, L.C.: 2001. Reconstruction of soil inorganic and organic carbon sequestration across broad geoclimatic regions. *Soil carbon sequestration and the greenhouse effect.* SSSA Spec. Publ. No. 57., 155-171.
50. DREW, M.C. – SAKER, L.R.: 1978. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 29, 201.
51. ECAF: 1999. *Conservation Agriculture in Europe: Environmental Economic and EU Policy Perspectives.* Brussels. 23 p.
52. EDWARD, N.T., 1975: Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. *Proc. Soil Sci. Soc. Am. J.* 39 361-365.
53. EMMETT, B. – BEIER, C. – ESTIARTE, M. – TIETEMA, A. – KRISTENSEN, H.L. – WILLIAMS, D. – PEÑUELAS, J. – SCHMIDT, I. – SOWERBY, A.: 2004. The response of soil processes to climate change: Results from manipulation studies of shrublands across an environmental gradient. *Ecosystems* 7, 625-637.
54. ETANA, A. – HAKANSSON, I. – ZAGAL, E. – BUCAS, S.: 2001. Effects of tillage depths on organic carbon content and physical properties in five Swedish soils. Kézirat.
55. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY.: 1998. *Soil Degradation*, chapter 11, p.23 1-246.; chapter 2 climate change, p. 37-59. In: *Europe's Environment: The Second Assesment* Elsevier Science Ltd., pp.293.
56. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY.: 2005. *European environment outlook.* Luxemburg: OOPEC, 2005. 87. (EEA report; 4/2005)
57. FANG, C. – MONCRIEFF, J.B.: 1998. An open-top chamber for measuring soil respiration and the influence of pressure difference on CO<sub>2</sub> efflux measurement. *Functional Ecology* 12, 319-325.

58. FARAGÓ T., 2013: Nemzetközi klímapolitikai együttműködés, Magyarország részvétele és feladatai, Grotius, 84.p.
59. FARAGÓ, T.. 1998. Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése: kiotói jegyzőkönyv az ENSZ éghajlatváltozási keretegyezményéhez és a hazai feladatok. In.: Fenntartható fejlődés és környezet. Fenntartható Fejlődés Bizottság. Budapest. KTM Fenntartható Fejl. Biz. 1998. p. 96
60. FARAGÓ, T.: 2004. Globális környezeti problémák és a riói megállapodások végrehajtásának helyzete. (Szerk.: Faragó T.-Kerényi A; Összeáll. Ángyán J. et al.) Környezet és Vízügyi Minisztérium; Debrecen. Debreceni Egyetem, 2004. p.166.
61. FARAGÓ, T. – GYULAI, I.: 1994. Környezet és társadalom közös jövője: Az ENSZ Környezet és Fejlődés Konferenciáján elfogadott „Feladatok a XXI. Századra” című program áttekintése és megvalósításának első eredményei. Budapest, FFB.1994.p.121.
62. FARKAS, Cs.: 2004. A művelés és a talajállapot hatása a talaj nedvességforgalmára. In: Talajhasználat. Műveléshatás. Talajnedvesség. (Szerk.: Birkás M. – Gyuricza Cs.) Szent István Egyetem. 61-81. p.
63. FEHÉR, D.: 1954. Talajbiológia. Akadémiai Kiadó, Budapest.
64. FIERER, N. – SCHIMEL, J.: 2003. A proposed mechanism for the pulse in carbon dioxide production commonly observed following the rapid rewetting of a dry soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 798-805
65. FILEP, GY. 1999 Talajtani alapismeretek I. 79.p.
66. FOGARASSY, Cs. – LUKÁCS, Á. – BÖRÖCZ, M.: 2008. Basic structure of CO<sub>2</sub> emission management practice in agricultural land use. Cereal Research Communications Vol.36. 327-330.p.
67. FOLLETT, R.F. – PETERSON, G.A.: 1988. Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:141-147.
68. FRANZLUEBBERS, A. – HANEY, R. – HONEYCUTT, C. – SCHOMBERG, H. - HONS, F.: 2000. Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 613-623
69. FÜLEKY Gy. – CZINKOTA I.: 1993 Hot Water Percolation (HWP): - A New Rapid Soil Extraction Method. Plant and Soil, 157, 131-135.



70. GALLOWAY, J.N. – ABER, J.D. – ERISMAN, J.W. – SEITZINGER, S.P. – HOWARTH, R.W. – COWLING, E.B. – COSBY, B.J.: 2003. The nitrogen cascade, *BioScience*, 53, 341-356
71. GHANI, A. – DEXTER, M. – PERROTT K. W.: 2002. Hot-water carbon is an integrated indicator of soil quality. Symposium 32.WCSS, Thailand 1650.p
72. GIUFFRÉ, L. – HEREDIA, O. – PASCALE, C. – COSENTINO, D. – CONTI, M. – SCHNUG, E.: 2003. Land use and carbon sequestration in arid soils of northern Patagonia (Argentina). *Landbauforschung Völkenrode*, 53, 13-18.
73. GOUDRIAAN, J. – UNSWORTH, M.H.: 1990. In: Lægheid, M. - Bøckman, O.C. - Kaarstad, O.: *Agriculture, Fertilizers and the Environment*. (1999) CABI Publishing. University Press, Cambridge, UK, 67.
74. GRANT, R.F. – ROCHETTE, P.: 1994. Soil microbial respiration at different water potentials and temperatures: theory and mathematical modeling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58 :1681-1690.
75. GYŐRI, D., 1984. A talaj termékenysége. *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest, 254.
76. GYURICZA, CS. – BIRKÁS, M. – JÓRI, J.I.: 2002. Művelési rendszerek hatása a talaj szén-dioxid kibocsátására. *Tud. Konf. Debrecen*.
77. GYURICZA, Cs. – FÖLDESI, P. – MIKÓ, P. – UJJ A.: 2005. Carbon dioxide emission from arable lands. *Cereal Research Communications* Vol. 33. No. 1. 89-92. p.
78. GYURICZA, CS. – MIKÓ, P. – FÖLDESI, P. – UJJ, A. – KALMÁR, T.: 2006. Investigation of green manuring plants as secondary crop improving unfavorable field conditions to efficient food production. - *Cereal Research Communications*, Vol. 34 No. 1. 191-195.p.
79. GYURICZA, CS.: 2000. Az értékmegőrző és hagyományos talajművelés egyes fizikai és biológiai hatásának értékelése. *Doktori értekezés*. Gödöllő.
80. GYURICZA, CS.: 2004. A szántóföldi talajhasználat és az üvegházhatás összefüggései mért adatok alapján. In: *Talajhasználat, Műveléshatás, Talajnedvesség*. (Szerk.: Birkás M. – Gyuricza Cs.). *Quality-Press Nyomda & Kiadó Kft.* pp. 47-61.
81. HAJDÚ, V.: 2005. Kibocsátási jogok és emisszió kereskedelem. *Gazdasági statisztika*. 2005. 17.2. p.18-31.

82. HANSON, P.J. – EDWARDS, N. – GARTEN, C.T. – ANDREWS, J.A.: 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry* 48: 115-146.
83. HARROD, T.R.: 1994. Runoff, soil erosion and pesticide pollution in Cornwall. In: Rickson, R.J. (edit.) 1994. Conserving soil resources, CABI, Oxford, U.K.
84. HARROLD, L.L. – EDWARDS, W.M.: 1974. No-tillage system reduces erosion from continuous corn watersheds. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 17, 414-416.
85. HASZPRA L. – BARCZA Z., 2001: A magyarországi légkör/bioszféra széndioxid fluxus mérések eredményei. *Fizikai Szemle* 2001/2. 50.o.
86. HEINEMEYER, A. – MCNAMARA, N.P.: 2011. Comparing the closed static versus closed dynamic chamber flux methodology: Implications for soil respiration studies. *Plant and Soil* , 296. 1-5 p.
87. HENDRIX, P.F. – PARMELEE, R.W. – CROSSLEY, Jr., D.A. – COLEMAN, D.C. – ODUM, E.P. – GROFFMAN, P.M.: 1986. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. *Bio-Science* 36:374-380.
88. HOLLAND, E.A. – COLEMAN, D.C.: 1987. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem. *Ecology* 68:425-433.
89. HOUGHTON, J.: 1997. In: Lægheid, M. - Bøckman, O.C. - Kaarstad, O.: *Agriculture, Fertilizers and the Environment.* (1999) CABI Publishing. University Press, Cambridge, UK., 65.
90. HOUGHTON, R.A. – HOBBIE, J.E. – MELILLO, J.M. – MOORE, B. – PETERSON, B.J. – SHAVER, G.R. – WOODWELL, G.M.: 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. *Ecol. Monogr.* 53: 235-262.
91. HUND-RINKE, K. – SIMON, M.: 2008. Bioavailability assessment of contaminants in soils via respiration and nitrification tests. *Environ. Pollut.* 153(2):468-75
92. HUSZTINÉ, B. K.: 2005. Some commercial questions of the CO<sub>2</sub> emission. *Cereal Research Communications.* 2005. 33. 1. 221-224.
93. HUTCHINSON, G.L. – MOISER, A.R.: 1981. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Sci., Soc. Am.* 45: 311-316.

94. HUZSVAI, L. – RÁTONYI, T. – MEGYES, A. – SULYOK D.: 2006. The effect of reduced tillage methods in physical characteristics of the soil and organic matter cycles. *Cereal researches Communications* 33 (1) 399-402.p.
95. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.: 2001. The road from Kyoto: Current CO<sub>2</sub> and transport policies in the IEA.OECD. 2001. p.169
96. IPCC, 2007: IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report.
97. IPCC, 2011: Tematikus Jelentés a szélsőséges éghajlati események kockázatáról és kezeléséről. Döntéshozói összefoglaló. IPCC, 2011.
98. ISAKSEN, I.S.A. – HESSTVEDT, E. – STORDAL, F.: 1980. *Nature*. 283, 189.
99. ISAKSEN, I.S.A. – STRODAL, F.: 1981. *Ambio*, 10, 9.
100. ISERMANN, K., 1994: Agriculture's share in the emission of trace gases affecting the climate and some cause-oriented proposals for sufficiently reducing this share. *Environmental Pollution* 83, 95-111.
101. KÁTAI J.: 1992. Kölcsönhatások a talajtulajdonságok, néhány agrotechnikai eljárás és a mikrobiológiai aktivitás között. Kandidátusi értekezés. Debrecen.
102. KÁTAI J.: 2008. Talajtan, talajökológia. 148-163.p.
103. KE, X. – WINTER, K. – FILSER, J.: 2005. Effects of soil mesofauna and farming management on decomposition of clover litter: a microcosm experiment. *Soil Biol. Biochem.* 37: 731-738.
104. KEULEN, van H. - LAAR, – van H.H. - LOUWERSE, W. – GOUDRIAAN, J.: 1980. *Experientia*, 36, 786.
105. KIRSCHBAUM, M.U.F.: 2004. Soil respiration under prolonged soil warming: are rate reductions caused by acclimation or substrate loss? *Global Change Biology* 10, 1870-1877.
106. KOÓS, S. – NÉMETH, T.: 2007. Relation between carbon –dioxide fluxes and nitrogen content of soil in a long-term fertilization experiment. *Cereal Research Communications* Vol. 35. No. 2. 641-644.p.
107. KRÖEL-DULAY, GY. – KALAPOSS, T. – MOJZES, A. (szerk.): 2008. Talaj – vegetáció - klíma kölcsönhatások. Köszöntjük a 70 éves Láng Editet. MTA ÖBKI, Vácrátót. 135-146.
108. LAL, R. – KIMBLE, J.M. – FOLLETT, R.F. – COLE, C.V.: 1998. The potential of U.S. cropland sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Sleeping Bear Press*, 128.

109. LÁNG, I.: 2003. Agrártermelés és globális környezetterhelés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 215.
110. LANGDALE, G.W. – BARNETT, A.P. – LEONARD, R.A. – FLEMING, W.G.: 1979. Reduction of soil erosion by the no-till system in the Southern Piedmont. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 22, 82-86, 92.
111. LI, C.: 1995. Modeling impact of agricultural practices on soil C and N<sub>2</sub>O emissions. In: Lal, R., Kimble, J., Levine, E., Stewart, B.A., (eds.) 1995. *Soil management and greenhouse effect*. Lewis Publishers, 101-112.
112. LINN D.M., –DORAN J.W., 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci Soc Am J.* 48 (1984) 1967-1972
113. LOFTFIELD, N.S. – BRUMME, R. – BEESE, F.: 1992. Automated monitoring of Nitrous oxide and carbon dioxide flux from forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1147-1150.
114. LYNCH, J.M. – PANTING, L.M.: 1980. *Soil Biology and Biochemistry.* 12, 29.
115. MACFAYDEN, A., 1970: Soil metabolism in relation to ecosystem energy flow. In: *Methods of Study in Soil Ecology* (ed. Phillipson, J.), IBP/UNESCO Symp, Paris, 1970, pp 167-172.
116. MANNINGER, G. A. (1957): A talaj sekély művelése. (Sajtó alá rend. Manninger I.) Budapest, Mezőgazdasági Kiadó.
117. MARMO, L.: 2008. EU strategies and policies on soil and waste management to offset greenhouse gas emissions. */Waste Management/*. 28: 685-689.
118. MENGEL, K. – E. A. KIRBY.: 1983. *Principles of Plant Nutrition*, 3rd. Ed. Bern.
119. MIELKE, L.N. – DORAN, J.W. – RICHARDS, K.A.: 1986. Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil Till. Res.* 7, 355-366.
120. MIELNICK, P.C. – DUGAS, W.A.: 2000. Soil CO<sub>2</sub> flux in a tallgrass prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, 32 221-228. p.
121. MOSIER, A.R.: 1989. Chamber and isotope techniques. In: Andreae, M.O., Schimel, D.S. (ed.) *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere*. John Wiley & Sons, New York. 175-187.
122. NAGY, Z. – PINTÉR, K. – PAVELKA, M. – DARENOVÁ, E. – BALOGH, J.: 2011. Carbon fluxes of surfaces vs. ecosystems: advantages of measuring eddy

- covariance and soil respiration simultaneously in dry grassland ecosystems. *Bio geosciences* 8, 2523-2534.
123. NAKAYAMA, F.S. 1990. Soil respiration. *Remote Sensing Review*, 5 311-321.
  124. NÉMETH, T.: 2004. Organic matter cycles in agriculture. In: Láng I., Jolánkai M., Kőmíves T. (eds.): *Pollution process in agri-environment*.
  125. NYÍRI, L.: 1993. *Földműveléstan*. (Szerk.: Nyíri L.) Budapest, Mezőgazda Kiadó.
  126. NYIRI, L.: 1997. *Az aszálykárok mérséklése*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
  127. ORCHARD, V.A. – COOK, F.J.: 1983. Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biol. Biochem.* 15: 447-453.
  128. ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2002. *Beyond Kyoto: Energy dynamics and climate stabilisation*. Paris. P.162
  129. ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. (1999). *National Climate Policies and the Kyoto Protocol* Paris. p.87
  130. PAUL, E.A. – CLARK, F.E.: 1989. *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, San Diego.
  131. PAUTIAN, K. – COLE C.V. – SAUERBECK, D. – SAMPSON, N.: 1998. CO<sub>2</sub> mitigation by agriculture: An overview, *Climate Change* 40 (1):135-162.
  132. PAVELKA, M. – ACOSTA, M. – MAREK, M.V. – KUTSCH, W. – JANOUS, D.: 2007. Dependence of the Q<sub>10</sub> values on the depth of the soil temperature measuring point. *Plant & Soil* 292, 171-179.
  133. QUEMADA, M. – CABRERA, M.L.: 1995. Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of four cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 471-477.
  134. RAJKAI, K. –SZÁSZ, G. – HUZSVAI, L. (2004). *Agroökológiai modellek*. Debrecen, Debreceni Egyetem.
  135. RASTOGI, M., –SINGH, S. – PATHAK, H., 2002: Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science* 82, 510-517.
  136. RÁTONYI, T.: 2006. Termőhelyi tényezők szerepe a szántóföldi növénytermesztésben. In: *Földművelés és földhasználat*. (Szerk.: Birkás M.). Mezőgazda Kiadó, Budapest. ISBN 963 286 238 4.
  137. REICH, J.W. – SCHLESINGER, W.H.: 1992. The global carbon-dioxide flux in soil respiration and its relationship to climate. *Tellus* 44 B. 81-89.

138. REICHSTEIN, M. – BEER, C.: 2008. Soil respiration across scales: The importance of a model-data integration framework for data interpretation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171, 344-354.
139. REICOSKY, D.C. – REEVES, D.W. – PRIOR, S.A. – RUNION, G.B. – ROGERS, H.H. - RAPER, R.L.: 1999. Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss. *Soil Till. Res.* 52, 153-165.
140. REICOSKY, D.C.: 1995. Impact of tillage on soil as a carbon sink. In: *Farming for a better environment. A White Paper*, Soil, Water Conservation Soc., Ankeny, Iowa, 67.
141. REICOSKY, D.C.: 1998. Tillage and short-term CO<sub>2</sub> emissions from soils in the laboratory. *Kézirat*.
142. RETH, S. – REICHSTEIN, M. – FALGE, E.: 2005. The effect of the soil water content soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO<sub>2</sub> efflux – A modified model. *Plant and Soil* 268. 21-33.
143. ROCHETTE, P. – FLANAGAN, L.B.: 1997. Quantifying rhizosphere respiration in a corn crop under field conditions. *Soil Science Society of America Journal* 61, 466-474.
144. RUSTAD, L.E. – CAMPBELL, J.L. – MARION, G.M. – NORBY, R.J. MITCHELL, M.J. – HARTLEY, A.E., – CORNELISSEN, J.H.C., – GUREVITCH J., *GCTE NEWS*.: 2001. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia* 126, 543-562.
145. SCHIMEL, J.P. – GULLEDGE, J.: 1998. Microbial community structure and global trace gases. *Global Change Biol.* 4: 745-758.
146. SCHNEIDER, S.H.: 1975. *J. Atmos. Sci.* 32, 2060.
147. SIPOS, G.: 1972. *Földműveléstan. Mezőgazdasági Kiadó Budapest*.
148. SKOPP, J. – JAWSON, M.D. – DORAN, J.W.: 1990. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1619-1625.
149. SMITH, K.A. – BALL, T. – CONEN, F. – BOBBIE, K.E. – MASSHEDER, J. – REY, A.: 2003. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science* 54. 779.

150. SMITH, P., –FANG, C., – DAWSON, J. J. C., –MONCRIEFF, J. B. 2008. Impact of global warming on soil organic carbon. *AdvAgron*, 97 1–43.
151. SOUSSANA, J. F. – ALLARD, V. – PILEGAARD, K. – AMBUS, P. AMMAN, C. – CAMPBELL, C., – CESCHIA, E. – CLIFTON BROWN, J., – C.ZÓBEL, S. – DOMINGUES, R. – FLECHARD, C. – FUHRER, J. – HENSEN, A. – HORVATH, L. – JONES, M. – KASPER, G. – MARTIN, C. – NAGY, Z. – NEFTEL, A. – RASCHI, A. – BARONTI, S. – REES, R. M., – SKIBA, U. – STEFANI, P. – MANCA, G. – SUTTON, M. – TUBA, Z. – VALENTINI, R. (2007). Full accounting of the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121 121–134.p.
152. STOYAN, H. – DE - POLLI, H. - BÖHM, S. - ROBERTSON, G. P. - PAUL, E. A.: 2000. Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale. *Plant and Soil*, 222. 1-2. 203-214.p.
153. STUIVER, M.: 1978. *Science*. 199, 253.p.
154. SZABÓ, I. M.: 1992. A mikroorganizmusok aktivitásának szabályozása. A talajművelési eljárások, trágyázási és növénytermesztési rendszerek célszerű kombinációjával. In: Szabó I. M.: *Az általános talajtan biológiai alapjai*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 325-335.p.
155. SZABÓ, I.M.: 1986. *Az általános talajtan biológiai alapjai*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. ISBN 963 232 249 5.
156. SZILI-KOVÁCS, T. – RADIMSZKY, L. – ANDÓ, J. – BICZÓK, GY.: 1993. CO<sub>2</sub> evolution from soils formed on various parent materials in the East-Cserhát mountains (Hungary) during laboratory incubation. *Agrokémia és Talajtan* 42. 140-146.
157. SZILI-KOVÁCS, T.: 2004. Szubsztrát indukált respiráció a talajban. *Agrokémia és Talajtan*, 22 1–22. p.
158. SZILI-KOVÁCS, T. - SZEGI, J.: 1992. Néhány magyarországi talaj mikrobiális biomassza C-tartalmának meghatározása kloroform fumigációs és szubsztrát indukált respirációs módszerrel. *Agrokémia és Talajtan* 41. 227-240.
159. TAMÁS, J.: 2001. *Precíziós Mezőgazdaság*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.

160. TÓTH, E. – FARKAS, Cs. – KOÓS, S: – NÉMETH T.: 2009. A művelés hatása a talaj szén-dioxid kibocsátására I. Laboratóriumi módszertan tesztelése bolygatatlan talajoszlopokon. *Agrokémia és Talajtan* 58 (2009) 2. 215-226.p.
161. TÓTH E. – KOÓS S.: 2006. Carbon dioxide emission measurements in a tillage experiment on chernozem soil. *Cereal Research Communications*. Vol. 34. No. 1. 331-334.
162. TÓTH E. – KOÓS S: - FARKAS Cs.: 2008. A talaj szén-dioxid emissziója és nedvességtartalma közötti kapcsolat vizsgálata talajművelési tartamkísérletben. *Talajvédelem különszám* (szerk.: Simon L.). 175-184.
163. TÓTH, E. – KOÓS, S: - FARKAS, Cs.: 2009. Soil carbon dioxide efflux determined from large undisturbed soil cores collected in different soil management systems. *Biologia* 64/3. 643-647. p.
164. TÓTH, E. – KOÓS, S., – FARKAS, CS., – NÉMETH, T.: 2005. Carbon dioxide emission from calcareous chernozem soil. *Cereal Research Communications* 33, 129-132.
165. TRACY, P. – WESTFALL, D.G. – ELLIOTT, E.T. – PETERSON, G.A. – COLE C.V.: 1990. Carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur mineralization in plow and no-till cultivation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 457-461.
166. TRUMBORE, S.E.: 1997. Potential responses of soil organic carbon to global environmental change. *Colloquium Paper in Proc. Nat. Acad. Sci.* 94: 8284-8291.
167. TUBA, G.: 2013. A talaj fizikai állapotának vizsgálata hagyományos és redukált talajművelési rendszerben. *Agrártudományi Közlemények* 51. Debrecen, 183-186.p.
168. UNGER, P.W.: 1984. Tillage and residue effects on wheat, sorghum, and sunflower grown rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 885-891.
169. VAN der LINDEN, A.M.A.: 1989. Turnover of soil microbial biomass as influenced by soil compaction. cit. Brussaard, L. – Faasen, H.G., 1994.
170. VÁRALLYAI, Gy.: 2005. Talajvédelmi stratégia az Európai Unióban és Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan*, 54. (1-2) 203-216. p.
171. WILDUNG, R.E. – GARLAND, T.R. – BUSCHBOM, R.L.: 1975. The interdependent effects of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root and decomposition in arid grassland soils. *Soil Biol. Biochem.* 7: 199-204.



172. WILSON, J.M. – GRIFFIN, D.M.: 1975. Water potential and the respiration of microorganisms in the soil. *Soil Biology & Biochemistry* 7, 199-204.
173. ZÁGONI, M.: 2004. Az üvegházhatás, a globális felmelegedés és a légköri széndioxid-tartalmi összefüggéséről, "AGRO-21" Füzetek. (Szerk.: Csete L.) AKAPRINT, Budapest, 33, 95-105.
174. ZSEMBELI, J. – NAGY, I.: 2004. Talajművelési technológiák hatása a széndioxid emisszióra. 4. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok. Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Főiskolai Kar, 2004. (ISBN:963 217 059 8, Paper 41.
175. ZSUPOSNÉ, OLÁH Á.: 2003. Talajt javító és kímélő technológiák talajbiológiai tesztelése. Talajjavítás–talajvédelem. Debrecen. 63-70.p.

#### **AZ ONLINE SZAKIRODALOM JEGYZÉKE**

- Internet1.: <http://www.zoldtech.hu/lexikon/szocikkek/uveghazhatas> 2009. 12. 15. 14.26.h
- Internet2.:<http://www.humusz.hu/hirek/talaj-szenmegkotes-csokkentheti-co2-kibocsatast/2783> 2010. 05. 23. 20.12.h
- Internet3.:[http://forestpress.hu/jie\\_hu/index.php?option=com\\_content&task=view&id=13330&Itemid=225](http://forestpress.hu/jie_hu/index.php?option=com_content&task=view&id=13330&Itemid=225) 2010. 05. 23. 21.03.h
- Internet4.: <http://www.kvvm.gov.hu/index.php?pid=1&sid=1&hid=1809> 2012. 09. 23. 15.06.h



Iktatószám: DEENKÉTK/142/2014.  
Tételszám:  
Tárgy: Ph.D. Publikációs Lista

Jelölt: Kovács Györgyi  
Neptun kód: P3CXRO  
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Növénytermesztési- és Kertészeti  
Tudományok Doktori Iskola  
Mtm-t azonosító: 10028403

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (1)

1. Óri N., Füleky G., Zsigrai G., **Kovács G.**: Mútrágyázás és melioratív meszezés hatása egy csernozjom talaj szervesanyag-frakcióinak mennyiségére.  
In: Talajvédelem. Szerk.: Farsang Andrea, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudomány Egyetem, Szeged, 229-236, 2011. 978-963-306-089-6

#### Idegen nyelvű, külföldi könyvrészlet(ek) (1)

2. Tóth, E., Barcza, Z., Birkás, M., Gelybó, G., Zsembeli, J., Bottlik, L., Davis, K.J., Haszpra, L., Kern, A., Kljun, N., Koós, S., **Kovács, G.**, Stingli, A., Farkas, C.: Arable lands.  
In: Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective. Ed.: Haszpra L., Springer, London, 157-197, 2011. 978-90-481-9949-5  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-9950-1>

#### Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (6)

3. **Kovács G.**, Tuba G., Czibalmos R., Csízi I.: Különböző komposztadagok hatása az extenzív gyepek talajának néhány tulajdonságára.  
*Gyepgazdálk. közl.* 2010/11 (2), 9-14, 2013. 1785-2498.
4. Szöllösi N., Juhász C., **Kovács G.**, Zsembeli J.: A növényborítás hatása a talaj CO<sub>2</sub> emissiójának napi dinamikájára.  
*Agrártud. Közl. [Debrecen]*. 42, 97-102, 2010. 1587-1282.



5. Szöllősi N., **Kovács G.**, Zsembeli J.: A talaj szén-dioxid emissziója árpa tarlón.  
*Agrártud. Közl. [Debrecen].* 35, 95-102, 2009. 1587-1282.
6. **Kovács G.**, Szöllősi N.: A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának mérésére szolgáló eszközök mérőhelyspecifikus fejlesztése.  
*Agrártud. Közl. [Debrecen].* 30, 53-58, 2008. 1587-1282.
7. Szöllősi N., Zsembeli J., **Kovács G.**, Juhász C.: A talajművelés szerepe környezetünk CO<sub>2</sub> terhelésében.  
*Talajvédelem. Különszám,* 517-526, 2008. 1216-9560.
8. **Kovács G.**, Zsembeli J.: A talaj CO<sub>2</sub>-emissziójának dinamikája hagyományos és redukált talajművelési rendszerekben.  
*TSF Tud. Közl.* 7 (1), 103-108, 2007.

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (8)

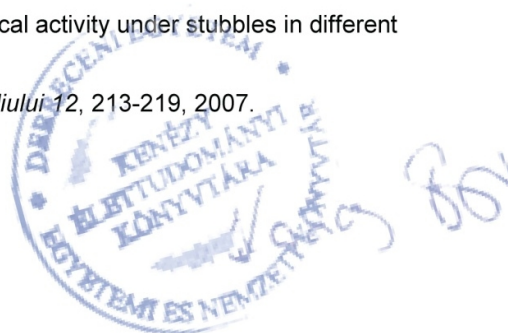
9. Óri, N., Zsigrai, G., **Kovács, G.**: Effect of fertilizers and meliorativ liming on soil organic matter fractions.  
*Növénytermelés.* 60 (Suppl.), 183-186, 2011. 0546-8191.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556>
10. **Kovács, G.**, Óri, N., Tuba, G.: Effects of soil cultivation systems on the factors of the soil carbon cycle.  
*Növénytermelés.* 59 (Suppl.), 37-40, 2010. 0546-8191.
11. **Kovács, G.**: Examination of CO<sub>2</sub> emission of different stubbles on a chernozem soil.  
*J. Agr. Sci., Debr.* 38, 53-59, 2010. 1916-9752. -1916-9760.
12. Zsigrai, G., Zsembeli, J., **Kovács, G.**: Effects of regular under- and over-fertilisation on the chemical features of a chernozem soil and on the yield of winter wheat.  
*Cereal Res. Commun.* 37 (Suppl.), 117-120, 2009. 0133-3720.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/117> CRC.37.2009.Suppl.2
13. **Kovács, G.**, Zsembeli, J., Szöllősi, N., Juhász, C.: Effect of reduced cultivation systems on the CO<sub>2</sub>-emission of the soil.  
*Cereal Res. Commun.* 36 (Suppl.II), 1247-1250, 2008. 0133-3720.



14. Szöllősi, N., Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Juhász, C.: Role of Cultivation systems in environmental pollution by CO<sub>2</sub> emission from the soil.  
*J. Agric. Sci. Suppl.*, 277-282, 2008. 1588-8363.
15. Zsembeli, J., **Kovács, G.**: Dynamics of CO<sub>2</sub>-emission of the Soil in Conventional and Reduced Tillage Systems.  
*Cereal Res. Commun.* 35 (2), 1337-1340, 2007. 0133-3720. -1788-9170.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/CRC.35.2007.2.293>  
IF:1.19
16. Zsembeli, J., Tuba, G., **Kovács, G.**: Development and extension of CO<sub>2</sub> -emission measurements for different soil surfaces.  
*Cereal Res. Commun.* 34 (1), 359-362, 2006. 0133-3720.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/CRC.34.2006.1.90>  
IF:1.037

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (4)

17. Czibalmos, Á., **Kovács, G.**, Zsembeli, J., Czibalmos, R., Tuba, G.: Yields of winter wheat varieties bred at Karcag in different soil cultivation systems.  
*Res. J. Agr. Sci.* 45 (3), 71-80, 2013. 2066-1843.
18. **Kovács, G.**, Tuba, G., Czibalmos, R., Csízi, I.: Effect of different compost doses on some properties of an extensive grassland soil.  
*Res. J. Agr. Sci.* 45 (2), 157-165, 2013. 2066-1843.
19. Szöllősi, N., Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Juhász, C.: CO<sub>2</sub> emission and Long-term prediction of Carbon stock change of the soil in different soil tillage systems.  
*Anal. Univ. Oradea Fac. Protect. Med.* 14, 1139-1150, 2009. 1224-6255.
20. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Tamás, J.: Microbiological activity under stubbles in different soil cultivation systems.  
*Analele Univ. Oradea Fascicula. Protect. Mediului* 12, 213-219, 2007.





Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (7)

21. Zsembeli J., **Kovács G.**: A talaj szén-dioxid emissziója hagyományos és redukált művelésben.  
In: Vyuxzivanje pod v prihranicnej oblasti Slovensko-Maxdarsko. Ed.: Jana Jakubová, Agroökológiai Kutató Intézet, Mihalovce, Slovakia Mihalovce, 95-101, 2012. 978-80-89417-38-4
22. **Kovács G.**: Gazdálkodás és környezetvédelem: Gazdálkodói felmérés az alföldi leader kistérségekben.  
In: Gazdaságosság és/vagy biodiverzitás? : LII. Georgikon Napok. Szerk.: Tóth Gábor, PE Georgikon Kar, Keszthely, [10], 2010. 978-963-9639-39-3
23. Szöllösi N., Zsembeli J., **Kovács G.**, Juhász C.: A talajélet aktivitása különböző talajművelési rendszerekben.  
In: AGTEDU 2009. Szerk.: Belina Károly, Klebniczki József, Lipócziné Csabai Sarolta, Borsné Pető Judit, Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, 113-118, 2009.
24. Szöllösi N., Juhász C., Zsembeli J., **Kovács G.**: A fenntartható növénytermesztés megvalósulásának vizsgálata különböző talajművelési rendszerekben.  
In: LI. Georgikon Napok [elektronikus dokumentum] : Nemzetközi tudományos konferencia : Keszthely, 2009. október 1-2. Szerk.: Tóth Gergely, Pannon Egyetem, Keszthely, 923-929, 2009.
25. **Kovács G.**, Kun A., Zsembeli J.: A talaj széndioxid emissziója és nedvességtartalma közötti összefüggés vizsgálata.  
In: VI. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok. Közread.: Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, Szolnoki Főiskola, Mezőtúr, 32, 2008.
26. Szöllösi N., **Kovács G.**, Zsembeli J.: A redukált talajművelési rendszer hatása a talaj CO<sub>2</sub>-emissziójára.  
In: I. Országos Környezetgazdaságtani PhD. Konferencia : Budapest, Magyarország, 2007.11.27. Szerk.: Kerekes S. ; közread. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, 116-128, 2007.
27. **Kovács G.**, Zsembeli J., Tuba G.: CO<sub>2</sub>-emissziós mérések kiterjesztése különböző talajfelszínre.  
In: V. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok : Mezőtúr, 2006. október 26-27. : összefoglalók. Szerk.: Kalmár Imre, SZF MMF, Mezőtúr, 1-5, [2006]. 963-06-0816-2



Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (2)

28. Szöllősi, N., **Kovács, G.**, Bakti, B., Zsembeli, J., Gyuricza, C.: CO<sub>2</sub>-emission of the soil on the basis of the comparison of measured and calculated data.  
In: Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia : Globális kihívások, lokális megoldások : 2009. szeptember 3-4., Kecskemét : konferenciakiadvány. Szerk.: Ferencz Árpád, Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar, [Kecskemét], 1352-1356, 2010.
29. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Szöllősi, N., Gyuricza, C.: Correlations of soil management and carbon stock change in soils.  
In: ECOMIT Proceedings of the 5th International Scientific Conference on Sustainable Farming Systems November 5-7 (Szlovákia, Piestany). Ed.: Zuzana Lehocká, Marta Klimeková, Wijnand Sukkel, Slovak Association for Sustainable Agriculture, Považany, 75-80, 2008. 978-80-969603-1-6

Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikk(ek) (1)

30. Óri N., **Kovács G.**: A talaj termékenységének változása szerves és műtrágyázás hatására.  
*Értékálló aranykorona* . 13 (8), 17-21, 2013. 1586-9652.





---

**A kutatási témához közvetlenül nem kapcsolódó publikációk**

Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (1)

31. Zsembeli J., **Kovács G.**, Gyuricza C., Kovács G.P.: A kukorica és a cirok vízfelhasználási hatékonyságának összehasonlítása liziméterekkel.  
In: Talajvédelem. Szerk.: Farsang Andrea, Ladányi Zsuzsanna, Szegedi Tudomány Egyetem, Szeged, 307-312, 2011. 978-963-306-089-6

Idegen nyelvű, hazai könyvrészlet(ek) (1)

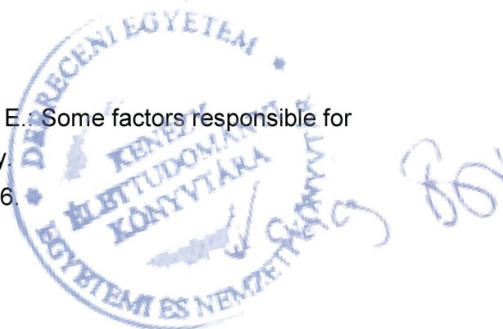
32. Tóth, E., Barcza, Z., Birkás, M., Gelybó, G., Zsembeli, J., Bottlik, L., Davis, K.J., Haszpra, L., Kern, A., Kljun, N., Koós, S., **Kovács, G.**, Stingli, A., Farkas, C.:  
Measurements and estimations of biosphere-atmosphere exchange of greenhouse gases.  
In: Atmospheric Greenhouse Gases : The Hungarian Perspective. Ed.: Haszpra L., Springer, London, 157-197, 2011.

Magyar nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (2)

33. Fehér A., Czibalmos R., **Kovács G.**, Szepesy E.: Birtokkoncentráció, foglalkoztatás, diverzifikáció és multifunkcionalitás.  
*Gazdálkodás*. 54 (3), 286-296, 2010. 0046-5518.
34. Zsembeli J., **Kovács G.**: A mulcsolás hatása a cirok vízforgalmára liziméterekben.  
*TSF Tudományos Közlemények*. 7 (2), 485-490, 2007.

Idegen nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (3)

35. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Some factors responsible for reductions in employment on farms in Hungary.  
*Stud. agric. econ.* 112, 69-82, 2010. 1418-2106





36. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Motivations and intentions of farmers as regards the development of multifunctional agriculture in micro-regions of Northern and Eastern Hungary.  
*Stud. agric. econ.* 111, 65-77, 2010. 1418-2106.
37. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Murányi, A.: Effect of Pentakeep-V on the evapotranspiration and yield of Sorghum hybrids, monitored in precision weighing lysimeters.  
*Cereal Res. Commun.* 36 (Suppl.II), 795-798, 2008. 0133-3720.

Idegen nyelvű közlemény(ek) külföldi folyóiratban (1)

38. Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Fehér, A.: Multifunctionality and farm concentration in Hungary.  
*Res. J. Agr. Sci.* 45 (2), 52-60, 2013. 2066-1843.

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (3)

39. Zsembeli J., **Kovács G.**, Pásztor F.: A Pentakeep-V hatásának vizsgálata a kukorica és a cirok nedvességforgalmára liziméterekben.  
In: VI. Alföldi Tudományos Tájégzdálkodási Napok. Közread.: Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, Szolnoki Főiskola, Mezőtúr, 42, 2008.
40. Czibalmos R., Fehér A., **Kovács G.**: Jász-Nagykún-Szolnok megye kis- és közepes földterületen gazdálkodók véleménye az EU csatlakozás hatásairól.  
In: Agrárgazdaság, Vidékfejlesztés, Agrárinformatika Nemzetközi Konferencia. Szerk.: Nábrádi András, Lazányi János, Herdon Miklós, DE ATC AVK, Debrecen, 1-10, 2007. 978-963-87118-7-8
41. Zsembeli J., **Kovács G.**: Liziméteres vízforgami vizsgálatok talaj-növény rendszerben.  
In: Alföldi Tudományos Tájégzdálkodási Napok. Szerk.: szerk. Kalmár Imre, Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, Mezőtúr, 1-5, 2006. 963-06-0816-2







Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (8)

42. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Deák, D.: Water use efficiency of energy willows determined in weighing lysimeters.  
*LFL Raumberg-Gumpenstein. 15*, 181-184, 2013. 2309-0839.
43. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Szűcs, L., Tóth, J.: Examination of secondary salinization in simple drainage lysimeters.  
*LFL Raumberg-Gumpenstein. 15*, 153-156, 2013. 2309-0839.
44. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Mándoki, A.: Water use efficiency of maize and different sorghum hybrids under lysimeter conditions.  
In: 14. Gumpensteiner Lysimetertagung. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Gumpenstein, 227-229, 2011. 978-3-902559-61-6
45. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Increasing farm concentration in Hungary.  
*Journal of Settlements and Spatial Planning. 1* (1), 29-35, 2010. 2069-3419. -2248-2199.
46. Fehér, A., Czibalmos, R., **Kovács, G.**, Szepesy, E.: Increasing farm concentration in Hungary driven by RDP payments and farmers's motivations.  
In: EAAE Seminar (114) (Berlin). Ed.: Reinhold Wilhelm, Humboldt-Universität, Berlin, 1-5, 2010.
47. Nolz, R., **Kovács, G.**, Zsembeli, J., Cepuder, P.: Water balance of two lysimeter sites:Karcag vs. Gross-Enzersdorf.  
In: 13. Lysimetertagung : am 21. und 22. April 2009 am LFZ Raumberg-Gumpenstein. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 155-157, 2009.
48. Zsembeli, J., **Kovács, G.**, Murányi, A., Tanaka, T.: Water use efficiency of sorghum and maize treated with PENTAKEEP-V.  
In: 13. Lysimetertagung : am 21. und 22. April 2009 am LFZ Raumberg-Gumpenstein. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 59-61, 2009.



49. Zsembeli, J., **Kovács, G.**: Effect of Mulching on the Water Balance of Sorghum in Weighing Lysimeters.  
In: 12. Lysimetertagung. Ed.: Brigitte Marold, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein., Gumpenstein, 185-186, 2007.

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 2.227**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 2.227**

A DEENK a Jelölt által a publikációs adatbázisba feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2014.06.18.

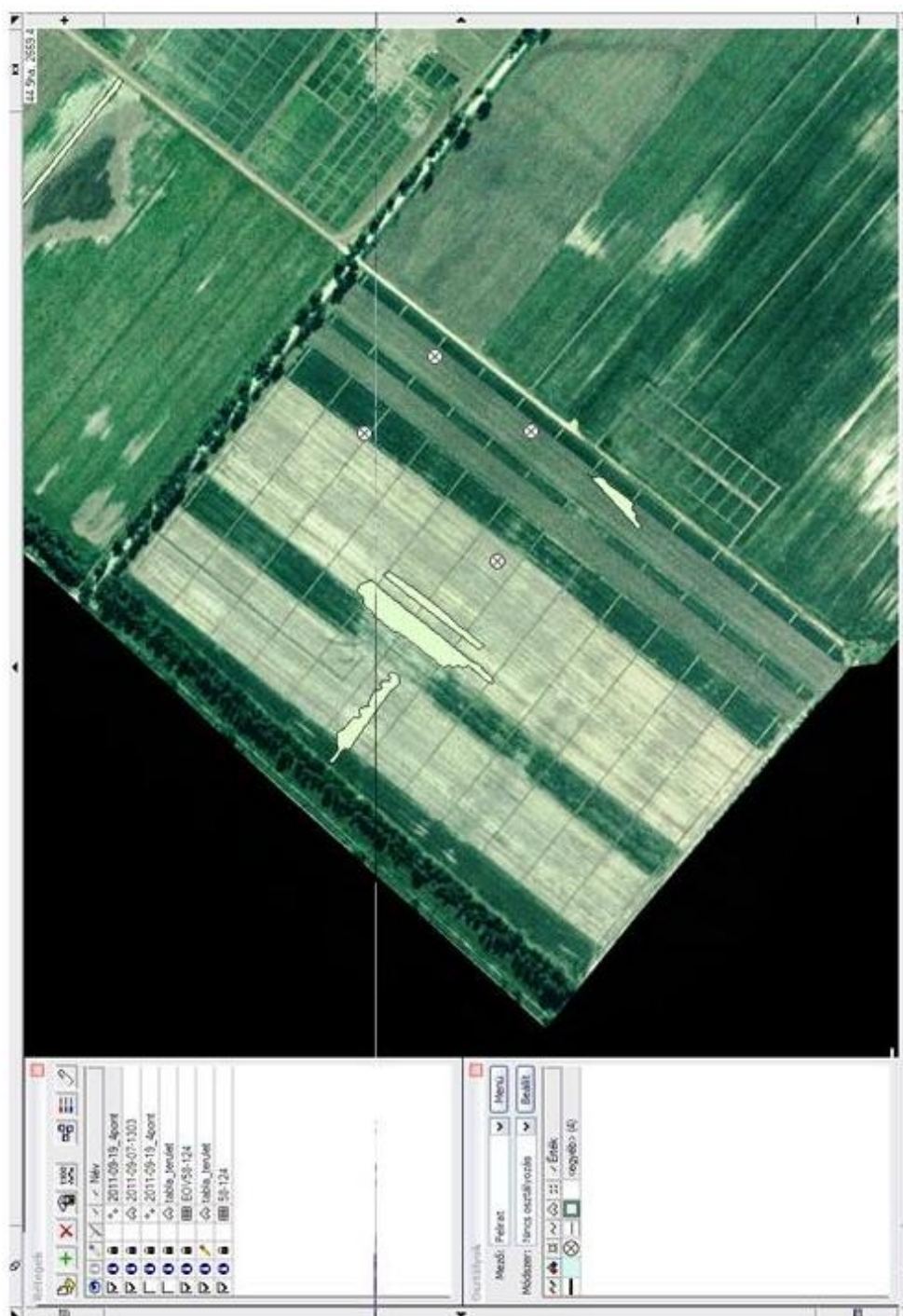


## MELLÉKLETEK

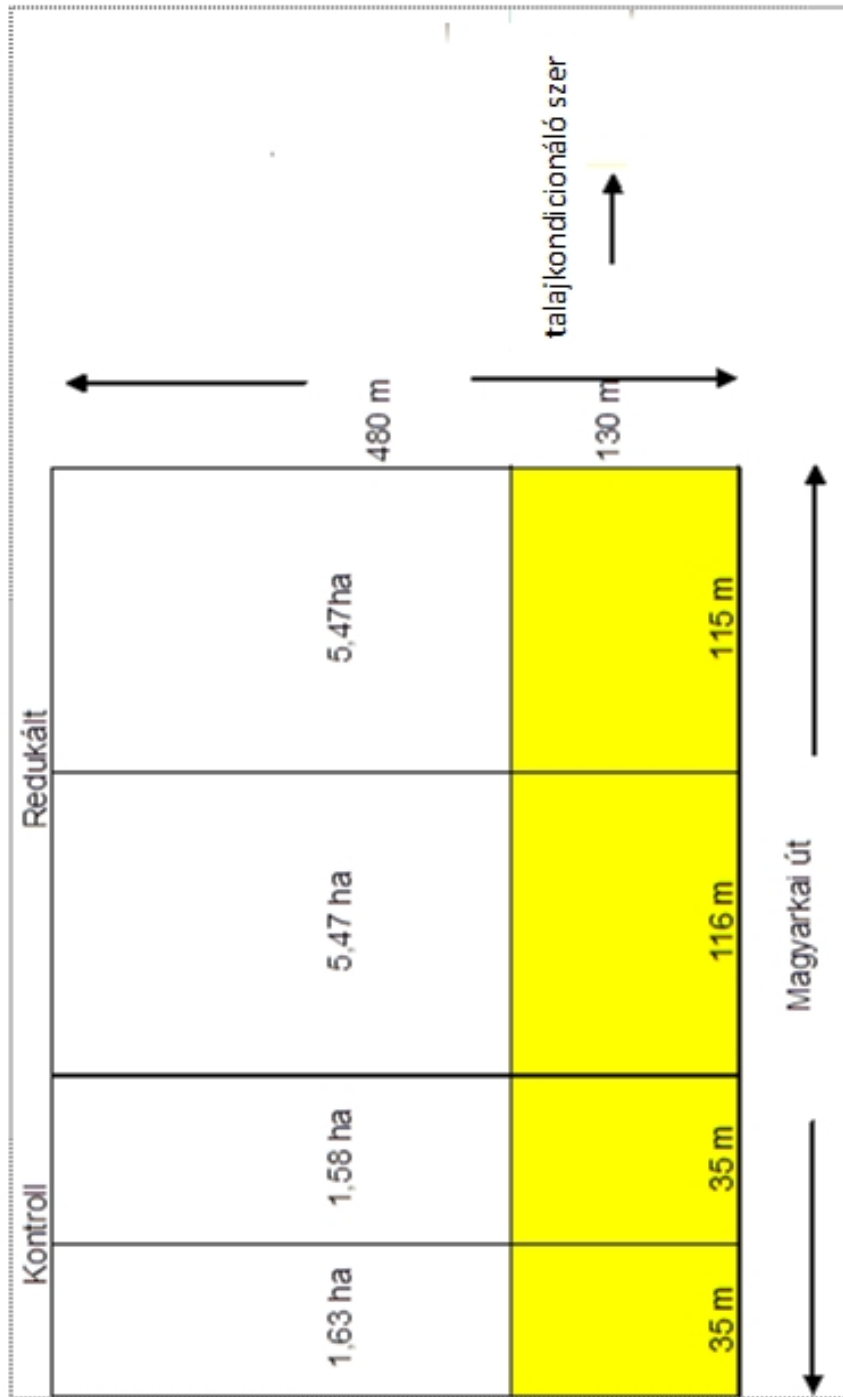
### I. Melléklet: A mérési pontok a komplex talajművelési kísérletben



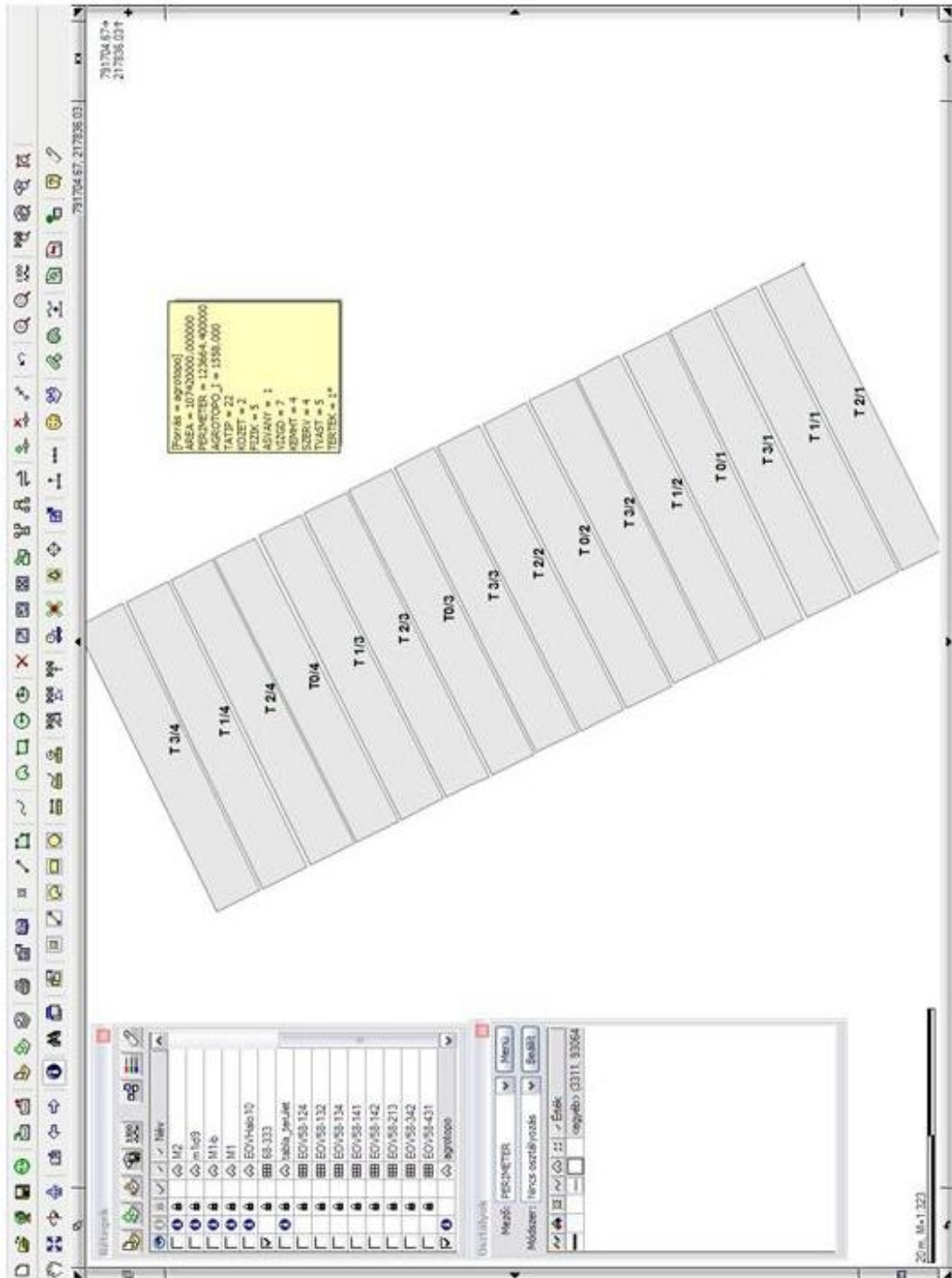
**II. Melléklet:** A komplex talajművelésű kísérleti tábla mérési pontjainak és talajvízzel borított területeinek térinformatikai szoftverrel történő ábrázolása



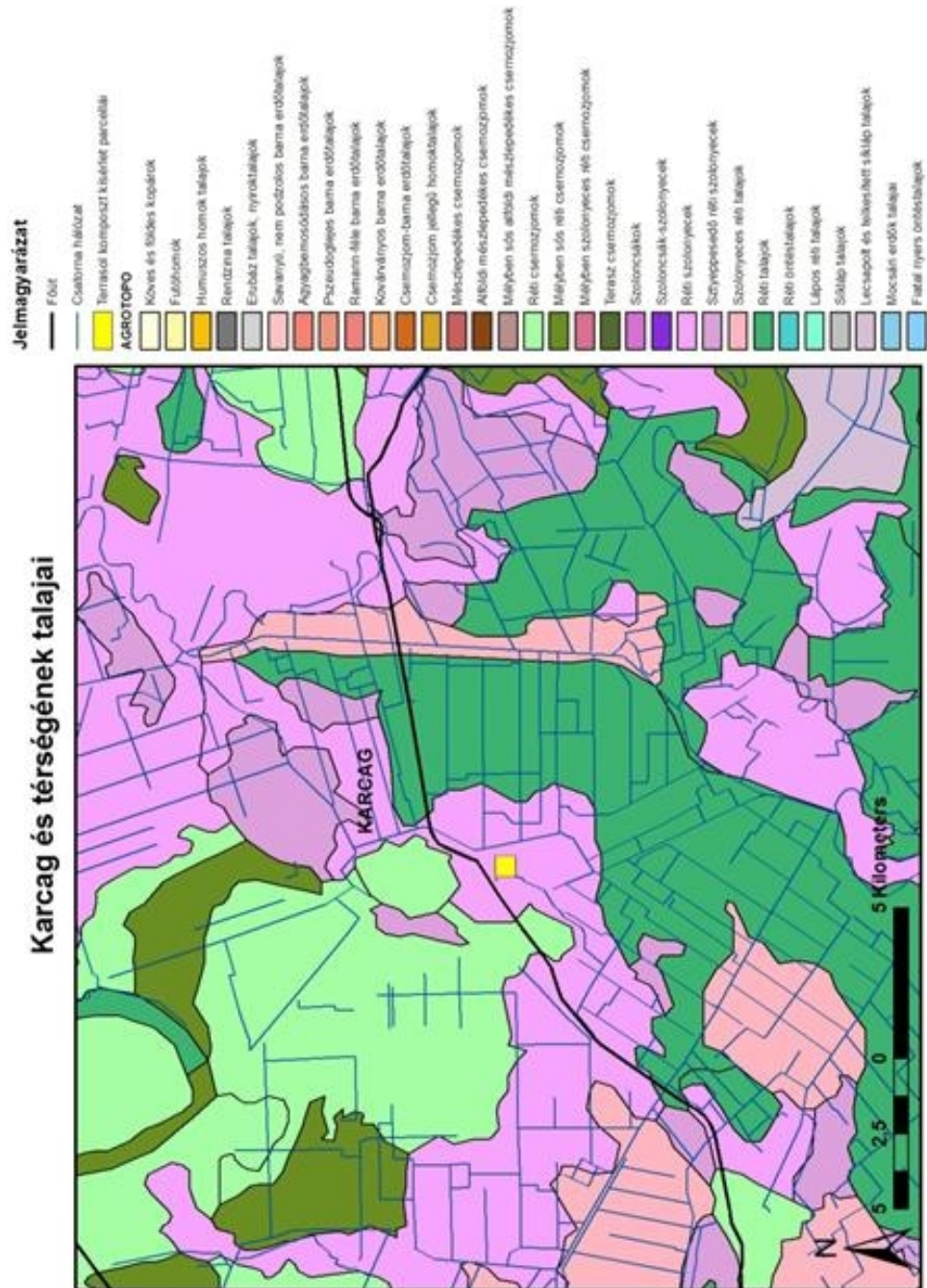
**III. Melléklet:** A komplex talajművelési kísérlet parcelláinak elhelyezkedése a kezelések szerint



#### IV. Melléklet: A kísérleti tért parcellái a gyeprágyázási kísérletben



## V. Melléklet: Karcag és térségének talajai



## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet szeretném kifejezni Dr. habil. Zsembeli Józsefnek, aki mint témavezetőm és egyben munkahelyi vezetőm szakmai útmutatásával és kritikai észrevételeivel segítette és támogatta munkámat az elmúlt évek során, valamint meghatározó szerepet játszott kutatói szemléletem alakításában.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a DE ATK Karcagi Kutatóintézet minden jelenlegi és volt kutatójának, különösen Dr. Czibalmos Róbertnek, †Dr. Forgács Lajosnak, Őri Nórának, Tuba Gézának, akik mind szakmai, mind technikai vonatkozásban igen fontos segítséget nyújtottak munkámhoz. Köszönetet mondok Gyárfási István Edének és a Műhely dolgozóinak a mérőeszközök kivitelezésben nyújtott segítségükért.

Köszönöm továbbá a DE ATK Karcagi Kutatóintézet korábbi vezetőségének, hogy megfelelő technikai és anyagi háttér biztosításával támogatták kutatói tevékenységemet.

Köszönetet mondok az asszisztenseknek, illetve a szakdolgozóimnak lelkiismeretes munkájukért, amellyel hozzájárultak, hogy ez az értekezés elkészülhessen.

Szeretnék köszönetet mondani mindazoknak is, akik támogattak a dolgozat megszületésében, de nevük nem került említésre. Köszönöm a családomnak a kitartást és biztos háttérrel.



### **NYILATKOZAT**

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Növénytermesztési, Kertészeti és Regionális Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2014. szeptember 12.

.....

a jelölt aláírása

### **NYILATKOZAT**

Tanúsítom, hogy Kovács Györgyi doktorjelölt 2007-2014 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2014. szeptember 12.

.....

témavezető aláírása