

Talajművelő gépek hatása a talaj szén-dioxid–kibocsátására

Rádics János Péter¹, Jóri J. István¹, Fenyvesi László²

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Gép- és Terméktervezés Tanszék

² NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő

Bolygónk klímájának megváltozását elsősorban a földi légkör természetes üvegházhatását szabályzó, üvegházhatású gázok (GHG) koncentrációjának emelkedése okozza. Ez a folyamat egyidős az emberiség növekvő igényeit kielégíteni kívánó iparosodási folyamatok által okozott kibocsátás növekedésével. A káros következmények szinte folyamatosan érzékelhető közelsége egyre inkább sürgető tevékenységi kötelezettséggel terheli a kutatókat és a döntéshozókat, mivel a klímaváltozás hosszú távú hatásai nem kiszámíthatók. A létező klímadellek egyelőre nem képesek leírni a Föld bonyolult ökoszisztémájának pontos működését, mivel nem tudják maradéktalanul figyelembe venni a lehetséges visszacsatolási mechanizmusokat (COX et al., 2000).

A Földünket terhelő kedvezőtlen antropogén hatások ma már olyan mértékűek, hogy a megszokott életminőség fenntartásához az élet minden területét meghatározó folyamatot a klímaváltozás megállításának, majd visszafordításának alárendelt szemlélet alapján kell átgondolnunk. A mezőgazdasági tevékenységek káros hatásainak, termelés-csökkentési szemléletű mérséklése beláthatóan katasztrofális következményekkel járna. A kutatások feladata a megtermelt élelmiszer-alapanyag mennyiségének fenntartása mellett a klímaváltozást elősegítő hatások mérséklése. Ezért kiemelten fontos, hogy a mezőgazdasági és erdőgazdálkodási gyakorlat szem előtt tartsa azokat a technológiákat, amelyek segítségével a megnövekedett GHG koncentráció csökkenthető (COX et al., 2000; PACALA, 2004).

A mezőgazdasági talajhasználat alapja a talajművelés, melynek egyik klímánkra káros hatása a talajok intenzív művelése során megnövekedett szén-dioxid–kibocsátás. A kibocsátás intenzitása az ipari tevékenységek pontszerű jellegéhez képest jelentősen alacsonyabb, de a felületszerű kibocsátás miatt összességében jelentős mennyiségű CO₂-emissziójáról beszélhetünk. A talaj művelése rövidtávon jelentősen megnöveli a talaj CO₂-kibocsátását, azonban szárazabb éghajlaton vagy kevésbé intenzív művelés esetén a kibocsátás intenzitása már néhány nap eltelté-

vel visszatérhet a művelés előtt mérhető közeli értékre (ELLERT és JANZEN, 1999; ROCHETTE et al., 1997). Homokos anyag-talajon, nedves körülmények között, a művelés után 19 nappal (REICOSKY és LINDSTROM, 1993) és egy hónappal (HENDRIX et al., 1988) is megfigyelték a művelt területek intenzívebb kibocsátását. A kezdeti kibocsátás intenzitása elsősorban a művelés mélységétől függ (REICOSKY és LINDSTROM, 1993), de a kibocsátott CO₂ mennyiségében jelentős területi eltérések tapasztalhatók (REICOSKY, 1995; LA SCALA et al., 2000).

A talaj pórusterének a nedvesség által el nem foglalt részét levegő tölti ki. A talaj levegőtartalma állandóan változik. Átmedvesedéskor a pórusok egy részéből a víz kiszorítja a levegőt, a száradó talajban pedig fokozatosan nő a gázfázis térfogata (STEFANOVITS et al., 1999). A talajlégzés során keletkező szén-dioxidot, a növények gyökérzetének légzése, a szerves anyagok lebontása során a talajban található mikroorganizmusok tevékenysége, a fauna légzése, valamint néhány nem-biológiai folyamat, mint például a kémiai oxidáció eredményezi (SINGH és GUPTA, 1977). A talajlégzés mérésének nehézségét a talaj komplex természete adja, hiszen a talajt különböző típusú organo-minerális részecskék és aggregátumok alkotják, miközben számtalan különböző fiziológiai jellemzővel rendelkező organizmust tartalmaz. A talajtu-

lajdonságok változását térbeli, időbeli, horizontális és vertikális eltérések jellemzik (DAVIDSON és TRUMBORE, 1995).

A talaj CO₂-kibocsátásának szántóföldi körülmények között történő vizsgálatára számos lehetőség adódik. A leggyakrabban használt eljárások a kamrás módszerek. Ezek alapelve szinte minden esetben megegyezik: a vizsgált talajfelszín meghatározott területét egy kamrával fedik le, amely izolálja a mintavételi területet a környezeti levegőtől, így a talajból távozó CO₂ mennyisége a kamra CO₂-koncentrációjának változása alapján meghatározható (SINGH és GUPTA, 1977). A kamrás vizsgálati módszer alapja, hogy a talajlégzés során keletkező és a talajból távozó szén-dioxidot a talaj felett egy kamrában akumuláljuk, és ebből mintát véve vagy közvetlenül a kamrában vizsgáljuk a gázkoncentrációt. A mért adatok alapján a kamra által letakart terület egység és a kamratérfoogat, valamint az inkubációs idő alapján számítható az egységnyi területre vonatkoztatott szén-dioxid–kibocsátás, amely az adott talaj-típusra és adott művelésre jellemző értéket ad meg.

Az optimális mérőkamra-kialakítás több kutatás tárgyát is képezi. Az egyes kutatók különböző alakú és méretű, általában egyedi kialakítású kamrákat használnak. A szakirodalomban megtalálhatók 3,25 m³ térfogatú, hasáb alakú, légkeveréses kamrával végzett vizsgálatok (REICOSKY, 1990); jóval kisebb térfogatú, hengeres, csonkakúp és hasáb alakú, légkeverés nélküli kamrákkal végzett vizsgálatok beszámoló is (PARKIN és VENTEREA, 2010; ZSEMBELI et al., 2005).

A kutatásunk alapvető céljai a művelési eljárások hatására megváltozott szén-dioxid–kibocsátás mérése és az emittált mennyiség meghatározása voltak.

1. ábra Kverneland BB 115 hattestű ágyeca



2. ábra Kuhn Optimer kompakt tárcsás borona





3. ábra Vogel&Noot ©plus XM négytestű váltva forgató eke



4. ábra Pöttinger Synkro szántóföldi kultivátor, egyedi rögtörő hengerrel

1. táblázat A mérések összefoglaló adatai

Mérés száma	Művelet / dátum	Terület	Időjárási viszonyok	Talajművelő gép	Művelési mélység, cm
1.	Tarlóhántás gabonatarlón 2004.07.15-16.	Enying "S4"	száraz, napos, 28°C	Kuhn Optimer kompakt tárcsás borona Kverneland BB115 ágyeke	12-14 24-26
2.	Tarlóhántás gabonatarlón 2014.08.18-19.	Mesztegyő „H2”	száraz, napos, 28°C	Pöttinger Synkro szántóföldi kultivátor Vogel&Noot váltva forgató eke	20-22 32-35

Anyag és módszer

A CO₂-kibocsátás méréseinek vizsgálatai a Fejér megyei Enying és a Somogy megyei Mesztegyő térségében történtek (1. táblázat). A vizsgálati területeken a méréseket megelőző időszakban hagyományos, szántásos alapművelést végeztek. Az enyingi vizsgálati terület magas szervesanyag-tartalmú vályogtalaj, míg a mesztegyői terület alacsony szervesanyag-tartalmú, erősen agyagos vályogtalaj.

A méréseknél használt munkagépeket a mérőterület kezelőjének gépparkjából választottuk (1-4. ábrák).

A vizsgált gépek többnyire gyári kialakításúak voltak, műszaki paramétereik és kialakításuk megegyezett a gyártók specifikációjával. A Pöttinger Synkro szántóföldi kultivátort esetében egy egyedi építésű, 450 mm átmérőjű, 100 mm osztással elhelyezett, háromszög alakú fogakkal ellátott nehéz tömörítő henger végezte a művelt terület lezárását.

A mérések során a vizsgált területen kisebb parcellákat jelöltünk ki a forgókon belüli részen, amelyeken felváltva alkalmaztuk a különböző műveléseket. A mérőparcellákon a mintavevő edények elhelyezése véletlenszerűen történt.

A vizsgálatokat a korábbi évek tapasztalatai alapján hitelesített TESTO 535 típusú CO₂-mérő műszerrel végeztük (5. ábra), a mérőkamrák 8,3 liter térfogatú csonkakúp, valamint 27 liter térfogatú hasáb alakú PE anyagú edények voltak. A mérőkamrákat – minden mérés alkalmával más-más – véletlenszerűen kiválasztott mérési ponton, talajba süllyesztve helyeztük el, így minden egyes mérőpont esetében biztosított volt, hogy mérés megkezdéséig nem történik beavatkozás a természetes folyamatokba és a mért értékek

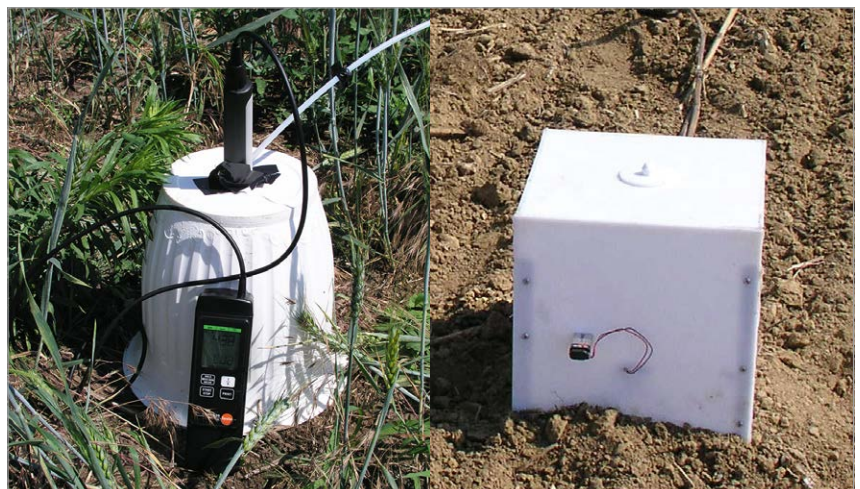
a valós, a művelésre természetes körülmények között jellemző emissziós értékeket adják meg. Így biztosítottuk, hogy a vizsgált területen található természetstechnológiai hiányosságok (pl.: permetezőgép-kimosás, hidraulikus rendszer meghibásodása) vagy egyéb, a mérőterület csak elenyésző (és nem reprezentatív) részét jellemző anomáliák helyén esetlegesen kijelölt mérőpontban csak egy hibás mérés torzíthatja a mért adatokat. A méréseket a korábbi mérések tapasztalatai alapján validált üritéses módszerrel végeztük, amely során a mérőkamrákat minden mérés után szellőztettük.

Az üritéses mérések esetén minden mérőrsorozat előtt szükség van a környezeti levegő CO₂-koncentrációjának feljegyzésére is, mivel a vizsgált terület CO₂-kibocsátása főként gyenge légmozgások esetén megváltoztatja a terület feletti levegő összetételét.

Így a szellőztetett kamrák CO₂-koncentrációja az inkubációs idő kezdetén a mérőterület feletti légköri koncentrációval egyezik meg. Ezért a kamrák kihelyezésekor – minden mérőrsorozat első lépéseként – a korábbi gyakorlathoz hasonlóan a mérőterület felett körülbelül 1 m-es magasságban mértük a légköri CO₂-koncentrációt. A vizsgálatokat szalmaszecskával borított gabonatarlón végeztük és referenciaértéknek felvettük a műveletlen terület kibocsátását is.

A mintavételi időközöket a korábbi mérési tapasztalatok alapján – a kibocsátás valószínűsíthető intenzitása függvényében – a kibocsátás reprezentálásának optimalizálására törekedve igyekeztünk meghatározni (2. táblázat). A művelést követő 3-5 órás időszakban a legintenzívebb a kibocsátás. Ennek megfelelően az intenzitás változása is nagyobb mértékű lehet. Ebben az időszakban minima-

5. ábra TESTO 535 műszer és a mintavevő kamrák



2. táblázat A szántóföldi mérések ciklusideje

Mérés időszaka a művelés után	Mérés ciklusideje
0-4 óra	45 perc
4-9 óra	60 perc
9-30 óra	120 perc
éjszaka	240-360 perc

lizáltuk a mérések közötti időt, de ezt a minimális inkubációs idő, a kamrák száma, valamint a pillanatnyi kamrakoncentráció mérésének időszükséglete határozta. A mérés időszükségletét a TESTO műszer esetében főként az határozta meg, hogy a pontos méréshez a mérőfejnek alkalmazkodnia kell a kamra atmoszférájához, amely 60-90 másodperc a környezeti levegő hőmérsékletétől függően.

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

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

ahol

F_{CO₂} - a CO₂-kibocsátás intenzitása [$\frac{g}{m^2 \cdot h}$],

dt - a mérési idő [h],

dC - a CO₂-koncentráció változása a mérés időtartama alatt [$\frac{mol}{mol}$],

V - a mérőkamra térfogat [m³],

p - a légköri nyomás [Pa],

M - a CO₂ moláris tömege = 44,01 [$\frac{g}{mol}$],

R - az univerzális gázállandó = 8,314 [$\frac{J}{mol \cdot K}$],

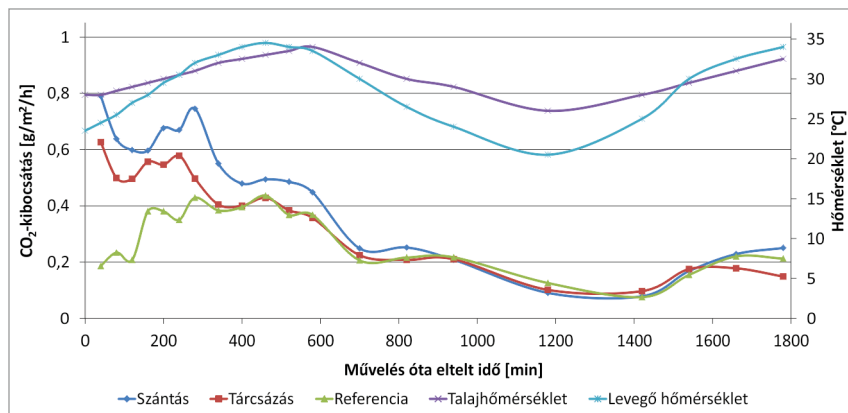
T - a hőmérséklet [°C]

A - a mérőkamra által lefedett talajfelszín [m²].

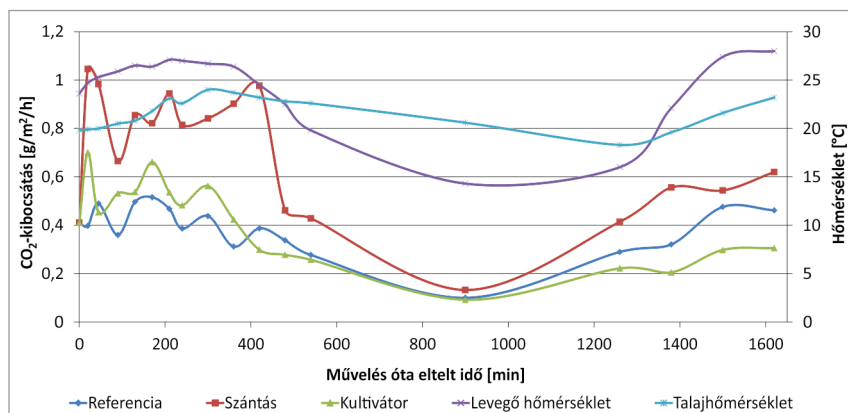
Eredmények

A mérési pontok a korábban említett okok miatt időben nem egyenletes eloszlású diszkrét értékek. A kibocsátott mennyiségek meghatározásához az adatok interpolálására van szükség, amelyet a kibocsátás jellegét jól leíró, harmadfokú Hermite-polinomok illesztésével, alaktartó, monoton szakaszos harmadfokú interpolációval végeztük. A CO₂-kibocsátás intenzitását az idő függvényében a 6-7. ábrákon mutatjuk be.

Az ábrázolt adatok alapján jól látható, hogy a művelés után közvetlenül a talajba kevert oxigéndús levegő hatására hullámzó jellegű, de intenzív kibocsátás tapasztalható, majd az intenzitás folyamatosan csökken a műveletlen talajhoz hasonló értékekre. Az in-



6. ábra A mért kibocsátási intenzitás és hőmérséklet az idő függvényében (1. mérés)



7. ábra A mért kibocsátási intenzitás és hőmérséklet az idő függvényében (2. mérés)

tenzitásértékek trendjei alapján megfigyelhető, hogy a vizsgált területek kibocsátásának intenzitása a hőmérsékletingadozásnak megfelelő jelleget mutat. A művelt és a műveletlen terület görbéinek együttfutása az 1. mérés esetében 11-15. óra után tapasztalható, míg a 2. mérés esetében a kibocsátási értékének együttfutása nem határozható meg olyan egyértelműen, mint a korábbi mérésnél, mivel ez az időszak valószínűleg az éjszakára esik, ahol a talajhőmérséklet jelentős csökkenése miatt jóval mérsékeltebb a kibocsátás, így nem észlelhető jelentős különbség a mérések között. A műveletlen talaj esetében megállapítható, hogy a kibocsátás intenzitásgörbéje egyértelműen hőmérsékletfüggő.

A kibocsátott mennyiségek meghatározása a műveletlen területen és az egyes műve-

lések esetében meghatározott interpolált kibocsátási intenzitás értékek numerikus integrálásával történt. Az eredményeket a 3. táblázatban mutatjuk be.

A mérések alapján megfigyelhető, hogy a legnagyobb intenzitású szántásos művelés a talaj forgatásával és ennek következtében a mikrobiológiai aktivitást intenzíven katalizáló, nagy mennyiségű oxigén bekeverésével jelentősen megnöveli a talaj CO₂-kibocsátását. A szántott területen keletkező rögök mérete és az egyenetlen talajfelszín jelentősen hozzájárul a nagy mértékű gázcserehez. A nagy méretű rögfrakció túlsúlya, illetve tömörítőeszköz hiánya esetén a morzsa és porfrakció nem tölti ki a rögök közti hézagokat (8-9. ábrák) így a jelentősen megnőtt póruster százalékos aránya mellett, a művelt talajban hori-

3. táblázat A vizsgálati területek által kibocsátott szén-dioxid mennyiségének összehasonlítása

Mérés száma	Művelés	A mérés időtartama alatt kibocsátott CO ₂ mennyisége [g/m ²]	A kibocsátott mennyiség eltérése a referencia területtől	
			[g/m ²]	[%]
1. mérés	Referencia	6,876	-	100
	Szántás	9,380	2,504	136
	Tárcsázás	8,162	1,286	118
2. mérés	Referencia	8,074	-	100
	Szántás	13,044	4,970	161
	Kultivátorozás	8,509	0,435	105



8. ábra A felszíni aggregátumok tárcsázás után vályogtalajon (1. mérés)



9. ábra A felszíni aggregátumok szántás után vályogtalajon (1. mérés)

zontálisan és vertikálisan is nagyobb lesz a légátjárhatóság, amely az enzimek reakciói folyamatos oxigénellátottságát is biztosíthatja, valamint megnehezíti a keletkező CO₂ talajban történő akkumulálódását.

Az adatok elemzése alapján megállapítható, hogy a műveletek lezárása – a talajnedveség megőrzés mellett – a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése miatt is szükséges. A megfelelő lezáróeszközzel felszerelt talajművelő gépekkel művelt területeken ugyanis a gázemisszió a talajlezáró eszköz nélküli területeken mérhető kibocsátás alatt maradt.

Összefoglalás

Az általunk vizsgált eljárások (szántás, tárcsázás, kultivátorozás) esetében meghatározott, emittált szén-dioxid mennyisége alapján a szántott területek kibocsátásának van a legkedvezőtlenebb hatása a klímaváltozásra. Az elvégzett mérések esetében – a mérés időtartama alatt – a szántott terület által kibocsátott CO₂ mennyisége 36 %-kal, illetve 61 %-kal haladta meg a műveletlen területét, míg ugyanez az érték a kompakt tárcsás boronával és a kultivátorral művelt terület esetében 18 % és 5 % volt.

Az különböző művelések után emittált mennyiség különbsége a szántás-tárcsázás esetében 14 %, míg a szántás-kultivátorozás esetében 53 %. Ez hektárra vetítve a művelés első 30, illetve 26 órák időszakában, a kibocsátott szén-dioxid mennyiségének tekintetében 12,18 kg, illetve 45,35 kg különbséget jelent a művelések között. Ez az eltérés a művelés intenzitására és a művelés utáni talajlezárás mértékére vezethető vissza.

Az Európai Unió jogrendjében terjedőben van a technológiai fenntarthatóság kritériuma, amely a talajművelés tekintetében két fontos feladatot vetít előre. Egyrészt a különböző mezőgazdasági művelésbe vont talajok művelés utáni CO₂-kibocsátásának kvantitatív meghatározásának igényét, mivel a talajtípustól, szervesanyag-ellátottságától jelentősen függ a mérhető gázemisszió nagysága. A kidolgozott modellezési módszer felhasználásával, hazai talajféléseket átfogó mérősorozatok elvégzésével egy „talaj emissziós

adatok bank” hozható létre, amely gyakorlati használhatóságot adhat a vizsgálatoknak.

Másrészt, mivel az emisszió művelés utáni intenzitásának mértéke jelentősen függ a művelési eljárástól, a talajművelő gép konstrukciójától, a kialakított talajfelszíntől és rögmérettől, ezért az új talajművelő eszközök alkalmazhatóságának elemzéséhez elengedhetetlen a tényleges hatásokra épülő, általánosítható módszer és modell megalkotása. Ez alapján új, alacsony kibocsátású eljárások és gépek fejleszthetők ki, amelyek hatása mérhetővé, alkalmazásuk támogathatóvá válik.

Summary

Human activity of the last century caused significant changes in Earth's atmosphere generated primarily by greenhouse gas emission of increased energy production, industrial activity, intensive agriculture and forestry. Important emitter of natural greenhouse gases is the cultivated soil. Our research of the last ten years pointed to the correlation of tillage intensity and short term CO₂ flux. We made intermediate-term studies on different fields and measured the emitted carbon-dioxide flux of tillage after moldboard ploughing, field cultivating and compact disc harrowing using portable chamber method.

Lektorálta: Dr. Farkas Zsolt

Hivatkozások

- [1] COX P.M., BETTS R.A., JONES C.D., SPALL S.A., TOTTERDELL I.J. (2000): Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408 (6809) 184–187 pp.
- [2] DAVIDSON E.A., TRUMBORE S.E. (1995): Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils of the eastern Amazon. *Tellus B*, 47 (5) 550–565 pp.
- [3] ELLERT B.H., JANZEN H.H. (1999): Short-term influence of tillage on CO₂ fluxes from a semi-arid soil on the Canadian Prairies. *Soil and Tillage Research*, 50 (1) 21–32 pp.

[4] HENDRIX P., HAN C., GROFFMAN P. (1988): Soil respiration in conventional and no-tillage agroecosystems under different winter cover crop rotations. *Soil and Tillage Research*, 12 (2) 135–148 pp.

[5] KOVÁCS Gy., ZSEMBELI J., SZÖLLŐSIN., JUHÁSZ Cs. (2008): Effect of reduced cultivation systems on the CO₂-emission of the soil. *Cereal Research Communications*, 36 1247–1250 pp.

[6] LA SCALAN., MARQUES J., PEREIRA G.T., CORA J.E. (2000): Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂-emissions from a Brazilian bare soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 32 (10) 1459–1462 pp.

[7] MEYER W.S., REICOSKY D.C., SHELL G.S. (1987): *Technical Report No. 5*. Griffith, Australia: Centre for Irrigation and Freshwater Research. 79. p.

[8] PACALA S. (2004): Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. *Science*, 305 (5686) 968–972 pp.

[9] PARKIN T.B., VENTER E.A. (2010): Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements. *Sampling Protocols. USDA-ARS, Fort Collins, CO*, 1–39 pp.

[10] REICOSKY D.C. (1990): Canopy gas exchange in the field: Closed chambers. *Remote Sensing Reviews*, 5 (1) 163–177 pp.

[11] REICOSKY D.C. (1995): Soil Variability and Carbon Dioxide Loss After Moldboard Plowing. In: ROBERT, P.C., RUST, R.H., LARSON, W.E. (Szerk.): *Site Specific Management for Agricultural Systems, Proceedings Second International Conference*, Minneapolis, MN, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 847–865 pp.

[12] REICOSKY D.C., LINDSTROM M.J. (1993): Fall tillage method: Effect on short-term carbon dioxide flux from soil. *Agronomy Journal*, 85 (6) 1237–1243 pp.

[13] ROCHETTE P., ELLERT B., GREGORICH E.G., DESJARDINS R.L., PATTEY E., LESSARD R., JOHNSON B.G. (1997): Description of a dynamic closed chamber for measuring soil respiration and its comparison with other techniques. *Canadian Journal of Soil Science*, 77 (2) 195–203 pp.

[14] SINGH J.S., GUPTA S.R. (1977): Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *Botanical Review*, 43 (4) 449–528 pp.

[15] STEFANOVITS P., FILEP Gy., FÜLEKY Gy. (Szerk.) (1999): *Talajtan*. Budapest: Mezőgazda Kiadó. 472. p.

[16] WIDÉN B., LINDROTH A. (2003): A calibration system for soil carbon dioxide-efflux measurement chambers. *Soil Science Society of America Journal*, 67 (1) 327–334 pp.

[17] ZSEMBELI J., TUBA G., JUHÁSZ Cs., NAGY I. (2005): CO₂-measurements in a soil tillage experiment. *Cereal Research Communications*, 33 (1) 137–140 pp.