

DEBRECENI EGYETEM

KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Dr. Holb Imre

az MTA doktora

Témavezető:

Dr. Harsányi Endre

egyetemi docens

**A KUKORICA TALAJMŰVELÉSI RENDSZEREINEK HATÁSA A TALAJ
CO₂-KIBOCSÁTÁSÁRA SZÁNTÓFÖLDI VIZSGÁLATOK ALAPJÁN**

Készítette:

Pappné Törő Ágnes

doktorjelölt

Debrecen

2022

**A KUKORICA TALAJMŰVELÉSI RENDSZEREINEK HATÁSA A TALAJ
CO₂-KIBOCSÁTÁSÁRA SZÁNTÓFÖLDI VIZSGÁLATOK ALAPJÁN**

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében

a növénytermesztési- és kertészeti tudományágban

Írta: Pappné Törő Ágnes okleveles biztonságpolitikai szakértő

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán doktori iskolája
(növénytermesztési és kertészeti tudományok programja) keretében

Témavezető: Dr. Harsányi Endre, PhD

Az értekezés bírálói:

Név	Tud. fokozat	Aláírás
.....
.....

A bírálóbizottság:

	Név	Tud. fokozat	Aláírás
Elnök:
Tagjai:

Titkár:

Az értekezés védésének időpontja: 20...

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	6
1.1. TÉMAFELVETÉS	6
1.2. CÉLKITŰZÉSEK	8
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	10
2.1. A SZÉN-DIOXID MINT KLÍMAFORMÁLÓ ERŐ	10
2.1.1. <i>A klímaváltozás mérséklését célzó lépések</i>	<i>12</i>
2.1.2. <i>Fenntartható Fejlődési Célok</i>	<i>14</i>
2.1.3. <i>Fenntartható mezőgazdaság</i>	<i>16</i>
2.2. A SZÉN KÖRFORGÁSA.....	17
2.3. A SZÉN-DIOXID KIBOCSÁTÁS NAGYSÁGA.....	19
2.4. TALAJ SZÉN-DIOXID KIBOCSÁTÁSÁNAK NAPI DINAMIKÁJA.....	20
2.5. A TALAJ SZÉN-DIOXID KIBOCSÁTÁSÁNAK ÉVES DINAMIKÁJA ...	23
2.6. A TALAJÉLET ÉS A TALAJLÉGZÉS	25
2.7. A TALAJMŰVELÉS HATÁSA A TALAJ NEDVESSÉG- ÉS HŐFORGALMÁRA VALAMINT A CO ₂ -KIBOCSÁTÁSÁRA	29
2.7.1. <i>A talajművelés szerepe.....</i>	<i>31</i>
2.7.2. <i>A talajművelés megreformálása.....</i>	<i>32</i>
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	35
3.1. A KÍSÉRLETI TERÜLET LEÍRÁSA	35
3.1.1. <i>A kísérleti terület klímája.....</i>	<i>40</i>
3.1.2. <i>A kísérleti terület talaja</i>	<i>41</i>
3.2. A KÍSÉRLETEK KEZELÉSEI.....	42
3.3. MÉRÉSI ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK.....	43
3.3.1. <i>A talaj CO₂-emissziójának a meghatározása.....</i>	<i>43</i>
3.3.2. <i>A talaj nedvességtartalmának meghatározása</i>	<i>46</i>
3.4. A STATISZTIKAI ELEMZÉS MÓDSZEREI	46
3.4.1. <i>A talaj szénmérlege.....</i>	<i>47</i>

4. EREDMÉNYEK	49
4.1. A KÍSÉRLETI ÉVEK IDŐJÁRÁSA.....	49
4.2. AZ ISMÉTELT MÉRÉSI MODELL EREDMÉNYE A NAPI DINAMIKÁBAN, 2018.....	50
4.3. NAPI SZÉN-DIOXID-DINAMIKA MÉRÉSEK, 2018.	60
4.3.1. Órás léghőmérsékletek és talajnedvesség alapján a becsült CO ₂ -emisszió.....	63
4.4. AZ ISMÉTELT MÉRÉSI MODELL EREDMÉNYE A NAPI DINAMIKÁBAN, 2019.....	66
4.5. NAPI SZÉN-DIOXID-DINAMIKA MÉRÉSEK, 2019.	77
4.5.1. Órás léghőmérsékletek és a talajnedvesség alapján becsült CO ₂ -emisszió.....	80
4.6. A TALAJMŰVELÉS ÉS AZ ÖNTÖZÉS HATÁSA A NAPI CO ₂ - DINAMIKA ALAKULÁSÁRA	83
4.6.1. Az öntözetlen területen mért eredmények	83
4.6.2. Az öntözött területen mért eredmények.....	85
4.7. A TALAJMŰVELÉS ÉS AZ ÖNTÖZÉS HATÁSA A TALAJ SZÉN- DIOXID KONCENTRÁCIÓJÁRA	87
4.7.1. 2018. évi ismételt mérési modell eredményei	88
4.7.2. 2019. évi ismételt mérési modell eredményei	90
4.7.3. Talajhőmérséklet.....	92
4.7.4. Talajnedvesség.....	95
4.8. A CO ₂ -EMISSZIÓ ÉVES DINAMIKÁJA	100
4.8.1. A CO ₂ -emisszió éves dinamikája 2018-ban	100
4.8.2. A CO ₂ -emisszió éves dinamikája 2019-ben	102
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	105
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	108
7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA	109
8. ÖSSZEFOGLALÁS	111
9. SUMMARY	115

10.	IRODALOMJEGYZÉK	119
11.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	140
12.	NYILATKOZATOK	141

1. BEVEZETÉS

1.1. TÉMAFELVETÉS

A szén-dioxid-kibocsátás kérdése régóta foglalkoztatja a tudományos élet több szegmensét, így a mezőgazdaság is kiemelten foglalkozik a talajból kiáramló szén-dioxid mennyiségével, mérésének módszerével, csökkentésének lehetőségével. Korunkban a legnagyobb kihívások közé tartozik a termőterületek nagyságának csökkenése, a termőtalajok minőségi romlása, a vízkészletek csökkenése, valamint a Föld lakosságának drasztikus növekedése, amelyek mind szervesen érintik a mezőgazdaságot. Az emelkedő CO₂-kibocsátás a klímaváltozás egyik kiváltó oka RASTOGI et al. (2002) szerint, mivel az ipari forradalom óta a földfelszín átlag hőmérséklete 0,6-0,7°C-al emelkedett (LAL, 1988; LÁNG, 2005, FARAGÓ, 2009) valamint a légkörben megtalálható szén-dioxid-tartalma is megemelkedett 280 ppm-ről 600 ppm-re (LAL, 1988, LÁNG, 2005).

Azokat a „lábnyomokat”, amiket a földi környezetünkön hagyunk, nevezzük ökológiai lábnyomnak. Az ökológiai lábnyom segítségével számokban is jól ki lehet fejezni azt, hogy életmódunk milyen hatással van a természetre (GILLY, 2001). E szerint az ökológiai lábnyom hat elemből áll össze:

- az a terület, ahol a táplálkozáshoz szükséges gabona megtermelhető;
- az a legelőnagyság, amely a hústermeléshez nélkülözhetetlen;
- a fa- és papírfogyasztásunkat fedező erdőterület;
- a hal, rák és más vízi állatok fogyasztásával arányos tenger;
- a lakáshoz szükséges földterület;
- az erdőterület, amely az energiafogyasztás során keletkező szén-dioxidot megköti.

A természeti erőforrások fenntartható hasznosításához hozzájárulnak a korszerű földhasználati és vízgazdálkodási technológiák. Ezek előnyben részesítik a forgatás nélküli talajművelési módokat, a természeti erőforrásokat jobban figyelembe veszik, és a jövőre nézve preferálják a rezisztensebb fajták kinemesítését és termesztését. Legnagyobb szerepük az erózió csökkentésében és a jövőben várható klimatikus

viszonyokhoz való hatékony alkalmazkodásban van (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 2015). Hosszú távon a maximális hozam elérése szempontjából a fenntarthatóság jegyében elengedhetetlen, hogy a technológiai megoldások harmonizáljanak a gazdasági, természeti környezettel (SZENDRŐ, 1993). Az erózió miatt a talajok kisebb víztartó képességgel rendelkeznek, a tápanyagtartalom csökken, a termőréteg pedig vékonyodik.

A fenntarthatóság jegyében született nemzetközi megegyezések, amelyek a klímaváltozás megfékezésére szolgálnak, a mezőgazdaságot is érintik. A termőföld szén-dioxid kibocsátásának csökkentését jelentősen befolyásolja a talajművelési mód megfelelő megválasztása. A kímélő művelési mód alkalmazása – többek közt – környezetvédelmi szempontokat tekintve is fontos szereppel bír (BIRKÁS, 2001). A talajművelési módok közül a kímélő talajművelési mód járul hozzá leginkább a szervesanyag-tartalom megőrzéséhez. A talaj folytonos bolygatása, ekével történő művelése a gázcseré-dinamizmusokat felgyorsítja azáltal, hogy a felső réteg lazábbá válik (GYURICZA et al., 2002). Az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontjának egy tanulmánya szerint a művelés alá vont talajban a szerves széntartalom növelésének leggyorsabb módja a szántó gyeppé történő átalakítása (ESDAC).

Mezőgazdasági területeink domináns részt foglalnak el, így szerepük az üvegházhatású gázok forgalmában jelentős (WATTENBACH et al., 2010). Kutatók becslései alapján a mezőgazdasági területeink kis mértékben nettó szén-dioxid-kibocsátók (SCHULZE et al., 2009; CIAIS et al., 2010a; GERVOIS et al.; 2008), míg van, aki úgy gondolja, hogy semlegesek (BONDEAU et al., 2007). Mindenesetre az intenzív művelés következményeként a szén-dioxid-kibocsátás nőhet, ami kifejezetten igaz Magyarországra is, hiszen a földterületünk 63%-a mezőgazdasági művelés alatt áll. A szántott területek az ország összes területének a felét teszik ki (Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium). Az élővilágunkban található szén 99%-a szárazföldi élőlények testében halmozódott fel, aminek a nagy része (3/4-e) erdőtalajokban van lekötve (FARAGÓ – KERÉNYI, 2003).

Az eddigi mérési módszerek bizonytalansága a globális szén ciklusban fennálló bizonytalansághoz vezet el (JENSES et al, 1996). Bár a talajlégzés mérését már évtizedek óta vizsgálják, egységes módszert mindeztáig nem sikerült találni. ANDERSON (1982), NAKAYAMA (1990), NORMANN et al. (1992) mind kutatták a

különböző módszereket, de nem sikerült standard mérési módszert kialakítani, mivel nincs lehetőség ismert nagyságú CO₂-kibocsátásokkal összehasonlítani.

A termelékenység érdekében fontos a megfelelő vízellátottság, hiánya a termés mennyiségét negatívan befolyásolja, megfelelő mennyiségű víz nélkül a növény tápanyagfelvevő képessége romlik. Számos hazai (NAGY, 2004) és külföldi (SPALDING et al., 2001; GEHL et al., 2005) szakirodalom foglalkozik a víz-, tápanyag-ellátottság és a növény növekedése, valamint a termés mennyisége közötti kapcsolattal. Azonban arra is van példa, hogy a túllöntözés is negatív irányba befolyásolhatja a termés mennyiséget (NAGY et al., 2004). NAGY (1996, 1998, 1999) multifaktoriális tartamkísérletben végzett kutatásai rámutatnak, hogy az öntözés 28%-ban befolyásolhatja a terméseredményeket, GYŐRFFY (1976) azonban a befolyásoló tényezők között nem említi az öntözés hatását.

A lehulló levelek valamint a gyökérmaradványok jelentős mértékű szerves anyagot juttatnak a talajba, ami a termés 50-70%-át is elérheti (BARCSÁK, 1999).

A FAO kutatásokat végzett a biogazdálkodást folytató gazdaságokban és megállapította, hogy a szén-dioxid-kibocsátás hektáronként 48–66%-kal alacsonyabb, mint a hagyományos gazdálkodást folytató gazdaságokban (HAAS – KÖPKE, 1994). Ugyanakkor a bioüzemanyagok növelhetik az üvegházhatású gázok kibocsátását, mivel a szervesanyag elég üzemanyagként ahelyett, hogy visszakerülne a talajba (LISKA et al., 2014).

Jelen körülmények között a klímaváltozás és annak egyik szeletét adó szén-dioxid-kibocsátás is az általános biztonságpolitika része lesz, vélekedik LÁNG (2005), mivel a növekvő népességgel egyenes arányban növekszik az igény is az ellátásukra, azonban ennek a többletnek az előállítását a szélsőséges időjárási körülmények nagyban veszélyeztetik.

1.2. CÉLKITŰZÉSEK

A fenntarthatóságot jelentősen befolyásolja a globális klímaváltozás. Kutatásomban a klímaváltozást befolyásoló tényezők közül egy kisebb szeletet választottam, a talaj szén-dioxid kibocsátásának vizsgálatát különböző talajművelési módok alkalmazása esetében. Vizsgálataim rávilágítanak arra, hogy hogyan tudunk egy fenntarthatóbb jövőt

létrehozni azáltal, hogy kevesebbet bolygatjuk a talajt, valamint kisebb energia-befektetéssel műveljük azt.

A kutatási célkitűzéseimet a következőképpen határoztam meg.

- A széndioxid kibocsátás napi dinamikájának megállapítása. Ennek ismeretében a napi mennyiség becslése.
- A különböző talajművelési módok hatásának vizsgálata a talaj CO₂-kibocsátására mészlepedékes csernozjom talajon.
- A talaj CO₂-emissziójára ható tényezők vizsgálata, kifejezetten a talajhőmérséklet és talajnedvesség vizsgálatok elvégzése.
- Az öntözés hatása a talaj CO₂-kibocsátására.
- A kibocsátás mértékének kvantifikálása, az éves mennyiség becslése modellezéssel.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A doktori értekezésemhez kapcsolódóan a hazai és nemzetközi szakirodalmat a következő alfejezetekben tekintetem át:

- A szén-dioxid mint klímaformáló erő
- A szén körforgása
- A szén-dioxid kibocsátás nagysága
- A talaj szén-dioxid kibocsátásának napi dinamikája
- A talaj szén-dioxid kibocsátásának éves dinamikája
- A talajélet és a talajlégzés
- A talajművelés hatása a talajnedvesség- és hőforgalmára valamint a CO₂-kibocsátására

2.1. A SZÉN-DIOXID MINT KLÍMAFORMÁLÓ ERŐ

JOLÁNKAI és BIRKÁS (2005) szerint a mai kor legnagyobb kihívása a globális klíma megváltozása, amely alapvetően befolyásolja a mezőgazdaságunkat. Az üvegházhatású gázok koncentrációjának emelkedésével megváltozott bolygónk klímája, ezáltal a légkör struktúrája is felborult. A szén-dioxid az üvegházhatású gázok (GHG) közül az egyik legfontosabbnak van számon tartva, ezáltal szoros kapcsolatban van a globális klímaváltozással. Az iparosodás előtti időktől kezdve, a szén-dioxid-kibocsátás 40%-al emelkedett meg (IPCC, 2013), az ipari forradalom előtti 280 ppm-es értékről napjainkra elérte a 387 ppm-es értéket. A metán arányának növekedése még erőteljesebb, az ipari forradalom előtti 0,8 ppm-ről 1,7 ppm-re emelkedett (IPCC, 2007). Azóta a szélsőséges időjárási körülmények és az egyre melegebb hőmérséklet sürgető megoldást kíván az emberiségtől, amely csak globálisan képzelhető el.

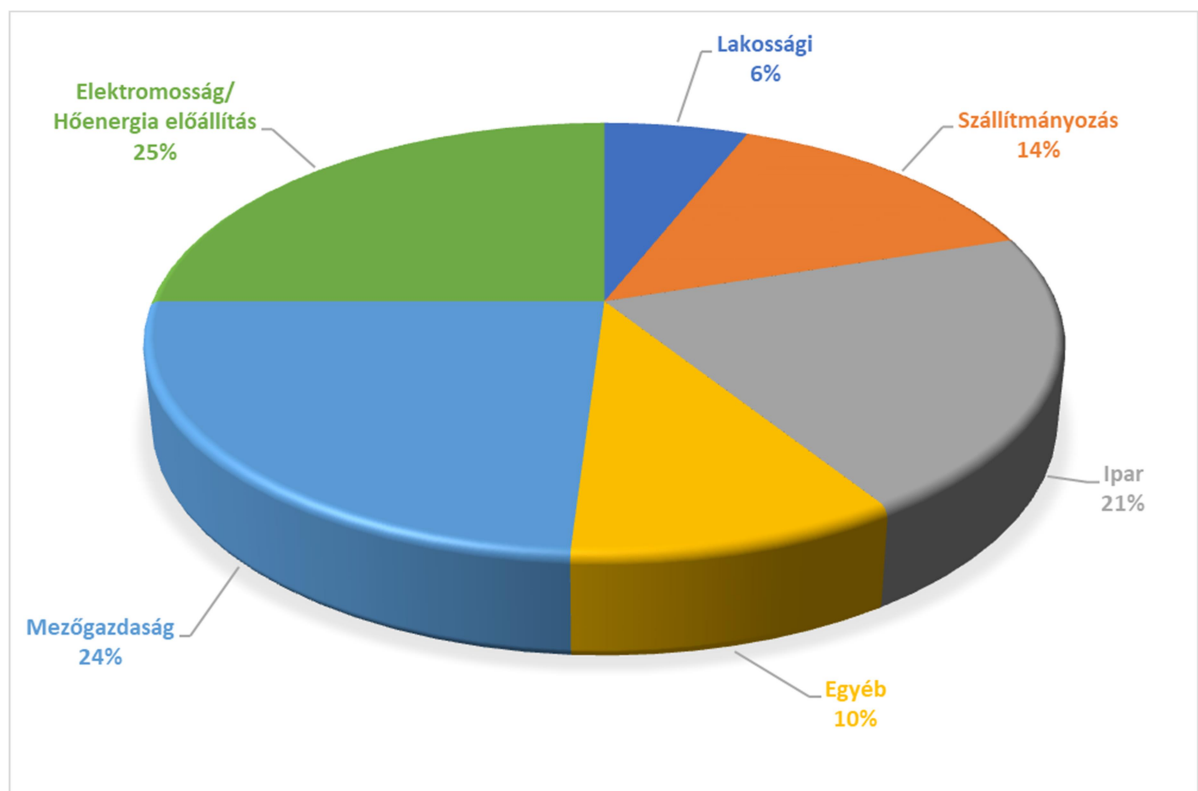
Bár a talajok szén-dioxid-kibocsátása igen jelentős, azonban a bioszféra fel is veszi ezt, így azt mondhatjuk, hogy a nettó fluxus (a talajkibocsátás és a bioszféra felvételének különbsége) globálisan negatív, a bioszféra nettó elnyelő. Globális szinten tehát a természetes szénforgalom mellett az emberi hatás elhanyagolható (IPCC, 2007). A probléma az, hogy a jelentős emberi beavatkozás miatt ez az egyensúly, amely az ipari forradalom előtt harmonikus volt, megbomlott. A növekvő energiaigények miatt az elégetett fosszilis tüzelőanyag mennyisége drasztikusan növekedett az elmúlt két

évszázadban, így az elégetett tüzelőanyagokból 5,5 Gt szén kerül a levegőbe szén-dioxidként, míg az egyéb okból kifolyó erdőirtások további 1,6 Gt szén-dioxid többlettel járulnak hozzá a globális szén körforgáshoz (HASZPRA – BARCZA, 2001). A légköri szén-dioxid-koncentráció várhatóan eléri az 550 ppm [ppm: milliommódmennyiség (mol)] koncentrációt a század közepére (CARTER et al., 2007).

Az elkövetkező ötven évben a klímaváltozás jelentősen befolyásolja majd a mezőgazdasági termelést, amelyhez hozzájárul a légköri szén-dioxid mennyiségének növekedése is (SCHNEIDER, 1975). Ezt a növekedést erősíti a fosszilis tüzelőanyagok elégetése, de a talajok felső rétegének szervesanyag-vesztesége is.

Az ipar, energia-előállítás és az intenzív mezőgazdaság nagymértékben felelőssé tehető a megnövekedett üvegházhatású gázok kibocsátásáért. A mezőgazdasági kibocsátás mérséklése érdekében kifejezetten fontos, hogy az új technológiákat szem előtt tartva, megpróbálják csökkenteni a kibocsátást (COX et al. 2000; PASCALA, 2004).

Az IPCC 2014-ben közölte azt a tanulmányát, amely iparágakra levezetve elemezte a szektoronkénti globális szén-dioxid-kibocsátást (**1. ábra**). Ebből jól látszik, hogy a legnagyobb kibocsátást a hőenergia-előállítás adja (25%), ezután közvetlenül a mezőgazdaság következik (24%).



1. ábra: Globális szén-dioxid-kibocsátás szektoronként (IPCC,2014)

A talajok szén-dioxid-kibocsátásával először az Egyesült Államokban kezdtek el foglalkozni (LAL et al., 1998a,1998b), bár a kibocsátási értékek nem olyan mértékűek voltak, mint az iparé, viszont a mezőgazdasági területek nagyságát tekintve, az összeadó értékek szükségessé tették, hogy a problémával foglalkozzanak. LAL (2004) szerint az ipari forradalom óta a fosszilis tüzelőanyagok elégetése 270 ± 30 Gt C, a földhasználatban bekövetkezett változások 136 ± 55 Gt C kibocsátást eredményeztek globálisan.

Az üvegházhatás fokozódásáért felelős gázok mintegy 20%-a a mezőgazdaság produktuma, összességében az antropogén eredetű metán 50–75%-a és a szén-dioxid 5%-a. Az erdőirtások, a biomassza elégetése és a földhasználatban előidézett egyéb változások további 14%-ot tesznek ki (COLE, 1996; SMITH et al., 1997).

Az ipari forradalom korszakától kezdve, az emberiség koncentráltan juttatja a levegőbe a szén-dioxidot. A kutatók már 400 ppm feletti CO_2 -értéket is mértek a levegőben. (DOBBINS, 2005). A megoldást sürgősen meg kell találni és visszaállítani a szén-dioxid koncentrációját az elfogadható és biztonságos 350 ppm-re. Erre gyakorlati lépések is történnek, hisz például a legnagyobb kibocsátók – Kína 2016. szeptember 3-án és az USA 2016. november 4-én írták alá a párizsi klímaegyezményt (*Internet 1*), ez utóbbi időközben bejelentette kilépését (2020. november 4-én).

2.1.1. A klímaváltozás mérséklését célzó lépések

Az első lépések a klímaváltozást illetően 1972-ben kezdődtek, amikor az ENSZ Konferenciát tartott az emberi környezetről. Érintőlegesen megemlézték a klímaváltozást mint fogalmat, és ajánlást tettek az ember által okozott légköri szennyezés megvizsgálására (BÁNDI et al., 1994). Az 1894 és 1897 között fennálló *Brundtland bizottság* a klímaváltozást reális veszélynek írta le, amelyben jelentős szerepet játszik a szén-dioxid-kibocsátás is. A szén-dioxid-kibocsátás csökkentését a véges fosszilis energiahordozók rohamos számú csökkenése miatt is fontosnak tartották mérsékelni (FARAGÓ – GYULAI, 1994). 1992-ben a Riói ENSZ Konferencián aláírták az első Éghajlatváltozási Keretegyezményt, amelyhez minden ENSZ tagállam csatlakozott, beleértve az USA-t is, mégsem bizonyult hatékonynak, mivel semmilyen kötelező érvényű határértéket vagy dátumot nem szabott meg a csatlakozó államoknak (KIYONO – ISHIKAWA, 2013).

Öt évvel később, 1997-ben született meg végül az a *Kiotói Egyezmény*, amely kézzel fogható szabályozást tűzött ki az aláíró 160 állam számára. A célja az volt, hogy az üvegházhatású gázok kibocsátását 5,2%-al csökkentsék az államok az 1990-es szinthez képest 2008 és 2012 között és ezen a szinten maximalizálják azt (BASSEWITZ, 2013). Ezek az üvegházhatású gázok a metán, a szén-dioxid, az ózont károsító anyagok (ODS), a nitrogén-oxidok, a hidrogénezett fluortartalmú műanyagok, a fluorozott szénhidrogének, és a kén-hexafluorid. Csökkentésüket nem egyes gázonként állapították meg, hanem a gázok összességét vizsgálva egy szénalapú bázist figyelembe véve. Ahhoz, hogy ez elérhetővé váljon, szükséges a hatékonyabb energiafelhasználás, – az energiaszükséglet visszaszorítása mellett – tovább kell fejleszteni a megújuló energiaforrásokat, valamint a kibocsájtott szén-dioxid leválasztását és elvezetését a föld alá (MANNE – RICHELIS, 1999).

A jegyzőkönyv elfogadása szükségessé tette annak a szabályrendszernek az elfogadását is, amely kiterjedt az emisszió kereskedelemre, a kibocsátás nyomon követésére, és a nem teljesítő államokkal szembeni szankciókra. Az *Egyezmény* legnagyobb gyengesége viszont abban rejlik, hogy viszonylag kis időszakot ölel fel, és a szabályozása csak 2012-ig tartott (HAJDÚ, 2005; TOL, 1999). A *Dohai Jegyzőkönyv* hivatott pótolni a szabályozásnak ezen hiátusát, és 2012 végén meghosszabbította a szabályozás időszakát 2020-ig, sőt, meg is szigorította az előzetesen elfogadott *Egyezményt* (FARAGÓ, 2013).

Az Európai Uniónak is nagyon fontos a klímaváltozás mérséklése, ezért a *Kiotói Jegyzőkönyv* fölé ígért, és 8%-os csökkentést irányzott elő a tagállamaiban, ezért is indult el 2005-ben a tagállamok közt az EU saját belső rendszere, amely lehetővé teszi a kibocsátási jogok kereskedelmét (LÁNG, 2003). A csökkentés megvalósíthatóságát igyekezett elősegíteni az első *Európai Éghajlatváltozási Program* is, amely vizsgálta a talaj szénmegkötési képességét is és évi 60-70 millió tonnára becsülte azt meg (EPCC, 2000).

A *Kiotói Jegyzőkönyv*, a 2020-ig történő meghosszabbítása mellett sem elegendő ahhoz, hogy a globális klímaváltozást kordában tartsa. Leginkább arra lenne szükség, hogy 15-30%-os csökkentést lehessen elérni 2020-ig az 1990-es évek átlagához képest, amihez elengedhetetlen, hogy a fejlődő államok is becsatlakozzanak (IEA, 2001).

2.1.2. Fenntartható Fejlődési Célok

A 2015 decemberében, Párizsban 21. alkalommal megtartott ENSZ klímakonferencia mérföldkőnek tekinthető. A konferencia az Éghajlatváltozási Keretegyezményt veszi alapul. A párizsi esemény volt az első, amely a nemzeteket egy közös cél érdekében össze tudta hívni és valós eredményeket sikerült elérnie a klímaváltozás, valamint az ahhoz való alkalmazkodás terén. Mindemellett a fejlődő országok támogatásáról is gondoskodott (*Internet 2*). Mint ilyen, a klíma-megállapodás egy új korszakot nyitott a globális klímaváltozás elleni erőfeszítések terén. A résztvevő 195 állam megállapodott abban, hogy a föld légkörének felmelegedését 2 Celsius fok alatt tartja az iparosodás előtti mértékhez képest, valamint a másfél fokos felmelegedés szinten tartására is erőfeszítéseket tesz, a megállapodást ötévente felül fogják vizsgálni (UNFCCC, 2016).

Az ENSZ munkáját az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) segíti 1988 óta (GENERAL ASSEMBLY, 1988). Az ENSZ által támogatott klímaváltozással foglalkozó kormányközi testület a tudományos információ objektív forrása. Feladata a föld éghajlati rendszerének vizsgálata, a globális változások elemzése, és a várható változások mérséklése. Ennek egyik komponense a szén-dioxid-kibocsátás mérséklése. AZ IPCC rendszeres tematikus jelentésekben tudósít az éghajlati változás kockázatairól, és annak lehetséges kezelési módjairól (ROSCOE, 2016).

Az ENSZ és különböző szervezetei kiemelt figyelmet fordítanak a klímaváltozás kérdésére. Lehetőséget biztosít az országoknak, hogy együttesen léphessenek fel a klímaváltozás ellen, ez az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményén (UNFCCC) keresztül. Továbbá gyakorlati lépései is vannak arra, hogy a klímaváltozás okozta károkat csökkentse, az alkalmazkodást pedig erősítse. AZ UNFCCC megalkotása az 1992-es Föld Csúcsához köthető. A keretegyezmény mára majdhogynem univerzális tagsággal rendelkezik (SARAN, 2009).

2019 decemberében tartották Madridban az ENSZ klímakonferenciát. A főtitkár, Antonio Guterres kiemelte, hogy a klímaválság hatásai nyilvánvalók, most a legmagasabb a tengerszint, a legmelegebb az időjárás és a legvékonyabbak a sarki jégtakarók. A szárazföldi és a tengeri biodiverzitás is veszélyben van, az időjárási extrémizmusok pedig egyre gyakoribbak. Guterres hangsúlyozta, a katasztrofális következmények elkerüléséhez nélkülözhetetlen, hogy a globális felmelegedés

növekedése ne haladja meg az 1,5 Celsius-fokot a 21. században (MCGRATH, 2019). A klímakonferencia fő célja, hogy 2050-re a globális karbonsemlegességet el tudjuk érni (UNFCCC, 2019). Sajnálatos tény, hogy a konferencia végül nagy eredmények nélkül zárult le

A jelenlegi helyzet egyelőre azt mutatja, hogy bár 1976 óta sok idő eltelt, mégsem változik a klímahelyzet pozitív irányba. A Meteorológiai Világszervezet (WMO) jelentése szerint az üvegházhatású gázok koncentrációja nagyban növekedett 2018-ban. Az előzetes vizsgálatok alapján 2020-tól 7,6%-al kellene csökkenteni az üvegházhatású gázokat, legalább 10 éven keresztül ahhoz, hogy a *Párizsi Megállapodásban* szereplő 1,5 fokos cél elérhető legyen, ez a mostani mértékhez képest ötszörös csökkenést kívánna meg (UNEP, 2019).

Az ENSZ 189 tagállama 2000 szeptemberében fogadta el a Millenniumi Nyilatkozatot, amely magába foglalta a tisztán és érthetően megfogalmazott Millenniumi Fejlesztési Célokat (UN, 2000). Az ENSZ ezzel elkötelezte magát a fenntartható fejlődés és együttműködés iránt (FARAGÓ, 2013).

A Fenntartható Fejlesztési Célok összességében egy jövőképet ígér az egyenlőbb, előnyösebb, békésebb és fenntarthatóbb világ irányában, ahol senkit sem hagynak hátra. Ahhoz, hogy ez a vízió elérhetővé váljon 2030-ra, gyors megoldásokra van szükség, kifejezetten a vidéki környezetben, ahol a világ éhezőinek és szegényeinek 80%-a él (FAO, 2015).

A Fejlesztési Célok mindegyike egy-egy nagy kihívást említ, összességében pedig az emberiség legnagyobb, globális kihívásait sorakoztatja fel. Az ENSZ- tagállamok állami vezetői a bevezető részben kinyilvánítják a Keretrendszer melletti politikai elköteleződésüket, valamint azon elhatározásukat, hogy az országuk számára a teljesítés módját meg fogják határozni, figyelembe véve a globális célokat és a hazai körülményeiket (*Internet 3*).

A 17 cél egy idilli, békés és fenntartható életet kíván teremteni, amely képes szembemenni az emberiséget jelenleg fenyegető globális kihívásokkal. Nagy hangsúlyt fektetnek a környezetvédelemre, a gazdasági fejlődést párhuzamba állítják a szegénység csökkentésével, hangsúlyozzák a társadalmi szükségleteket (egészség, oktatás, munkalehetőségek) (FAO, 2015). A végcél, hogy a jelenkorban zajló fenntarthatatlan folyamatok és egyenlőtlenségek megszűnjenek, vagy legalább is mérséklődjenek. Ez

több szektorra is feladatot ró, mint például a kormányokra, nemzetközi szervezetekre, de az egyénekre is. A legfőbb tulajdonságok, amelyeket az FFC lefed az egyetemesség (universality) és az oszthatatlanság (indivisibility) (UNESCO, 2017).

2.1.3. Fenntartható mezőgazdaság

A fenntarthatóság elvének érvényesülése a mezőgazdaságban is nagyon fontos, mivel az általa használt természeti erőforrások korlátozottan vagy egyáltalán nem megújíthatóak. A három pillér közül pedig mindegyik hasonló súllyal szerepel itt (gazdasági, környezeti, társadalmi) (OECD, 2001; BOODY et al., 2005; ROSSING et al., 2007; HUANG et al., 2015).

A fenntartható mezőgazdaság fogalma széles körben vitatott, *Láng István* így fogalmaz: a fenntartható agrárfejlődés egy olyan gazdasági növekedés, amely „harmonizál a természeti erőforrások regenerálódásával és a környezetterhelés asszimilációs képességével. Ezzel elérhető a folyamatos, mennyiségben korlátozott, de minőségben korlátlan gazdasági növekedés – amely alapja az érdekek, törekvések érvényesítésének –, a természeti erőforrások és a tágran értelmezett környezet óvása, végeredményben az egészségesebb emberi környezet és táplálkozás, az élet minőségének javulása” (LÁNG et al., 1995).

Az eddigi sémákat megvizsgálva, a jelenlegi lakosság száma 2050-re elérheti a 4 milliárd fős növekedést is (összesen 9.735.000.000 az ENSZ, World Population Prospects szerint), amelyhez jelentős mértékű mezőgazdasági termelésnövekedésre is van szükség, 50%-al többre, mint amely 2013-ban volt, feltéve, hogy a jelenlegi fogyasztási struktúra nem változik (FAO, 2013). Mindazonáltal az utóbbi időkben a hangsúly az élelmiszer mennyiségéről áttolódott annak minőségi elemére, amelyet a magasabb jövedelmekkel járó igények, valamint az egészségügyi megfontolások eredményeztek a fejlődő országokban (KOVÁCS, 2016).

A FAO szerint, az eltérő éghajlati és természeti adottságok miatt, valamint a Föld lakosságának aszimmetrikus eloszlásából kifolyólag, körülbelül 4 milliárd fővel fog növekedni 2050-ig azoknak a száma, akik nagyobb távolságban megtermelt élelmiszert fogyasztanak (FAO, 2013).

A fenntartható mezőgazdaság egy kulcseleme a második FFC-nek, az éhínség és az alultápláltság elleni küzdelemben elengedhetetlen szerepe van. Ezért is szükséges egy

olyan élelmiszert termelő rendszer, amely fenntartható mezőgazdasági gyakorlatokon és egy kielégítő élelmiszerellátó láncon alapul, amely a nemzeti és nemzetközi étrenddel kapcsolatos iránymutatásoknak is megfelel. Az egészséges és fenntartható élelmiszerlánc biztosítása most és hosszú távon is rendkívül fontos a klímaváltozás és a növekvő populáció miatt.

A mezőgazdaság komplex dolog, sok indikátora van, úgymint a társadalmi, ökonómiai, ökológiai, hogy csak egy párat említsünk, valamint nem szabad kihagyni a monetáris szempontokat (bevétel, támogatások, kiadások), és a gazdálkodási gyakorlatokat (tápanyag-gazdálkodás, organikus termelés). Az utóbbi időben, a biodiverzitás foka romlani látszott, míg más célok sikeresen megvalósultak (EUROSTAT, 2019).

Az Unióban 2010-ben 42% volt a mezőgazdaságban használt földterületek aránya (EUROSTAT 2014), mindazonáltal a mezőgazdaságban előállított hozzáadott érték aránylag kicsi, és csökkenő súlyt képvisel a nemzetgazdaságokban, viszont a vidék számára kiemelkedően fontos a szerepe a megtartó képességet tekintve (CSETE – LÁNG, 2009).

A fenntarthatóságra tekintettel a mezőgazdaságnak van a legnagyobb hatása. Mivel összességében az ezé az ágazaté a legnagyobb területi felhasználás, így a biodiverzitás megőrzésének a felelőssége is leginkább az agráriumra hárul. Ezzel együtt a legnagyobb felhasználója a természeti erőforrásoknak és jelentős a szennyezése is (szén-dioxid kibocsátás, műtrágyahasználat, metán, dinitrogén-oxid) (VALKÓ 2008).

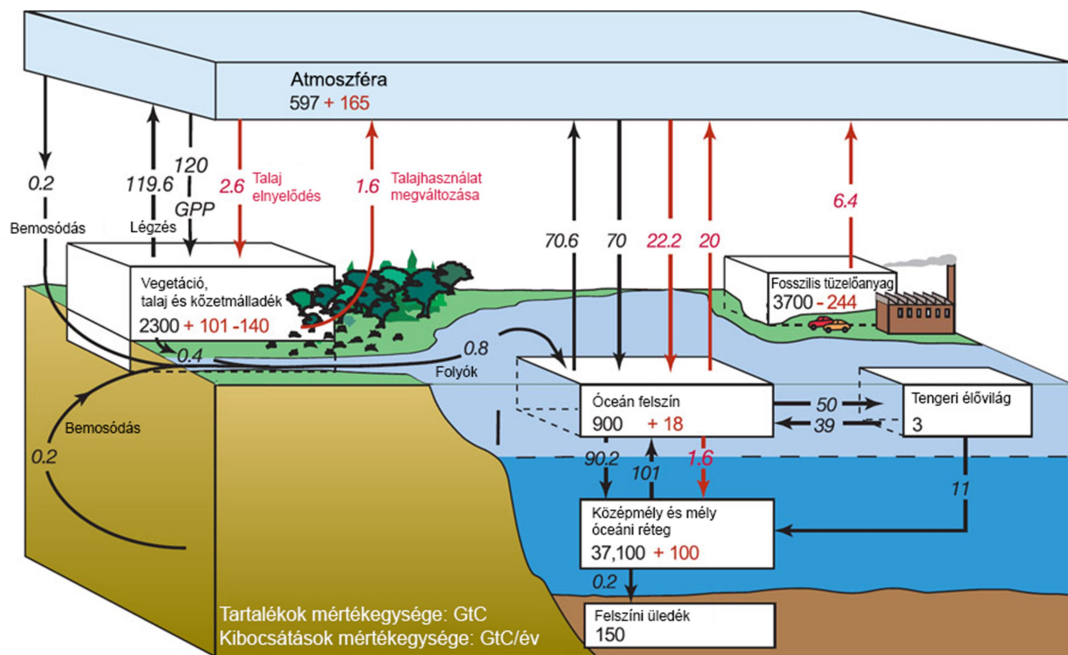
A jövőben a globális élelmiszer ára sokat változhat, a pár százaléktól egészen a nagymértékű emelkedésig. Ez azon is múlik, hogy hogy tud majd a mezőgazdaság alkalmazkodni és a megváltozott körülmények között milyen hatékonysággal működik majd a globális élelmiszerpiac. Az élelmiszer ára befolyásoló hatással van a gazdasági növekedésre, a közegészségügyre és a politikai stabilitásra is. Azok az országok, amelyek szervesen függenek a mezőgazdaságtól (legfőbb exportáru, monokulturás termelés), jobban kitettek ennek az árváltozásnak, számukra elengedhetetlen a megváltozott körülményekhez való alkalmazkodás (DOBINS et al., 2015).

2.2. A SZÉN KÖRFORGÁSA

A növények a fotoszintézis során a légkörből felvett szén-dioxidot hasznosítják, majd a növény – és talajlégzés során körülbelül ugyanekkora mennyiséget visszajuttatnak a

légkörbe. A szén-dioxid felvétel – és kibocsátási folyamata meghatározza, hogy az aktuális ökoszisztéma szénmegkötő-e avagy kibocsátó (REICH, 2010)

A szárazföldi rendszerek szén-anyagárama évente (GPP) BEER et al. (2010) kutatása szerint $120 \text{ Pg} \pm 8 \text{ Pg}$, amely az ökoszisztéma egyensúlyi állapotához szükséges. A talajoknak ebben nagy szerepe van, ugyanis a globális szárazföldi szén-ciklus legnagyobb kibocsátói és ezzel együtt a légköri szén-dioxid-koncentrációjára a legnagyobb hatással bírnak.



2. ábra: Globális szén-ciklus az 1990-es évek (feketével jelölve) és az iparosodás előtti időkben (piros színnel). Forrás: (SOLOMON et al., 2007)

Ökoszisztémánkban a légkör, az óceánok és a szárazföldi rendszerek (erdő, talaj, növényzet) között az elraktározott szén mennyisége állandó és természetes körforgásban van. Az óceánok raktározzák a legnagyobb arányban a szenet, míg a légkör a legkisebben (POST et al., 1990). Számokra lebontva a légkör körülbelül 760 Gt szenet tartalmaz, amely csupán 1-2%-a a teljes szénkészletnek. A szárazföldi ökoszisztémában további 2400-2600 Gt szén tárolódik, ennek 75%-át az erdők biomasszája adja (FONTAINE, 2007). Bár nem a talaj a legnagyobb szén tároló a Földön, de szerepe igen jelentős, ezért sem hagyhatjuk figyelmen kívül a talajban történő szén-megkötés jelentőségét (BIRKÁS, 2006). Az óceánok szénkészlete körülbelül 39 000 Gt, amelyek jelentős része a mély rétegekben halmozódott fel (JANZEN, 2006).

A talajlevegő alkotóelemei a szén-dioxid, a nitrogén, az oxigén és a vízgőz. Ezek közül az oxigén és a szén-dioxid mennyiségét a pórusr térben lejátszódó biológiai folyamatok befolyásolják. A talajban található gyökerek és talajlakó élő szervezetek a légzéshez oxigént használnak fel, amely során szén-dioxid keletkezik. Mivel oxigén csak a légkörből jut a talajba, így a különbség a szén-dioxid és az oxigén között egyre nagyobb (STEFANOVITS, 1999). A talajban évente $4\,000\text{ km}^3\text{ CO}_2$ keletkezik évente (KUZJAKOV, 2006).

2.3. A SZÉN-DIOXID KIBOCSÁTÁS NAGYSÁGA

A talajok szén-körforgásának, és ezzel együtt CO_2 kibocsátásának pontos mennyisége a földi szén ciklus egyik legnehezebben meghatározható eleme. A talajok szén-dioxid kibocsátásának meghatározására több módszert is alkottak már, amelyek alapvetően két irányba mutatnak. Az egyik irány a földhasználati változások mérlege alapján becsüli meg a talaj és növényzet együttes kibocsátását, valamint elnyelését. A másik irányzat a szárazföldi szén ciklusban résztvevő egyes elemek kibocsátását veszik alapul, ami szerint következtetnek a szén mérlegre (POST et al., 1990). az eredmények eltérőek, míg SCHLESINGER (1977) először 75 Pg C év^{-1} mértékűre becsülte a talajok CO_2 -kibocsátását, addig később RAICH és SCHLESINGER (1992) 68 Pg C év^{-1} mértékűre módosította. Később RAICH és POTTER (1995) ismét átszámították 77 Pg C év^{-1} -re. Jelenleg sincs egy egységes álláspont a kérdésben, mivel a légköri szén-dioxid koncentráció változása jelentősen befolyásolja a szén-körforgást (VAN VEEN et al., 1991).

A talaj szervesanyag-forgalma befolyásolja a talaj légzésének intenzitását, ezáltal a globális klímára is kihatással van. A talajlégzésből származó kibocsátás tízszer magasabb, mint a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó szén-dioxid-kibocsátása (MIELNICK –DOUGAS, 2000). Összességében a mezőgazdaság a kibocsátás 5%-át teszi ki, amely magába foglalja az erdőirtásokat, a biomassza elégetését és szántóföldi műveleteket is (LÁNG, 2003). Globálisan tekintve a mezőgazdasági művelés alatt álló talajokból $2,5\text{ Gt}$ szén áramlik a légkörbe, amely a globális klímaváltozás, a fenntarthatóság és a talaj termőképessége szempontjából is lényeges (BLOODWORTH – URI, 2002). SCHIMEL et al. (1996) $3,3\text{ Gt C év}^{-1}$ becsülték az ember által kibocsátott szén nagyságát, míg a szárazföldi bioszféra és a légkör közötti ingadozás $2-5\text{ Gt C év}^{-1}$ között változhat (KINDERMANN et al., 1996),

ebből az adódik, hogy a szárazföldi bioszféra teljesen kompenzálhatja, avagy közel megduplázza az emberi kibocsátást. DUXBURY et al. (1993) arra jutott, hogy a mezőgazdasági kibocsátás 1/3-a a teljes kibocsátásának. Összességében a szárazföldi biomassza széntartalmának közel négyszerese a talajokban van eltárolva (FARAGÓ – KERÉNYI, 2003).

LAL (2005) vizsgálta az erdők és a szén ciklus kapcsolatát. Összességében az erdőkben található meg a biomasszában elraktározott szén 75 – 90 %-a. Összességében az erdők a szárazföldi terület 30%-át fedik le, globálisan 4,1 billió hektárnyi területet jelent. RÁDICS et al. (2015) vizsgálta a különböző talajművelések utáni szén-dioxid-kibocsátás értékét. A szántás-tárcsázás utáni kibocsátás 14%, míg a szántás-kultivátorozás után 53% emelkedést tapasztalt. Egy hektárra megvizsgálva a művelés első 30 órájában, valamint 26 órájában a kibocsátott szén-dioxid mennyiségének tekintetében 12,18 kg, illetve 45,35 kg különbséget jelent a művelések között.

2.4. TALAJ SZÉN-DIOXID KIBOCSÁTÁSÁNAK NAPI DINAMIKÁJA

A talaj szén-dioxid kibocsátásának napi vizsgálatához állandó mintavételű kamrák használata a legoptimálisabb, mivel a mérés hosszú inkubációs idővel (1-24 óra) történik. Ez idő alatt a kamra nem kerül elmozdításra, így a mérés folyamatos (JANSSENS et al., 2000; PUMPANEN et al., 2004; XU et al., 2006). JANSSENS et al. (2000) méréseiben többfajta módszert is összehasonlított. Három hétig tartó folyamatos örvénykovariancia-mérések a helyszínen azt mutatták, hogy a nappali áramlások alacsonyabbak voltak, mint az éjszakaiak. Az éjszakai áramlásokban megfigyelt nagyfokú változékonyság a csökkent vagy a szórványos turbulenciájú időszakok alatti nem teljes keveredéssel függhet össze.

XU et al. (2006) a terepi tesztelését a nebraskai Lincoln közelében lévő folyóparti ökoszisztémában végezte 2004 nyarán és őszén. A talaj CO₂-áramlási (FCO₂) adatait 4 nap alatt mérte egy 10 cm-es mérőkamrával, a méréseket félóránként végezték, minden mérés 2 percig tartott. A becsült fluxus 9,4 μmol m⁻² s⁻¹ volt, míg a nyugodt körülmények között ugyanebben az időszakban csak 3,5-4,5 μmol m⁻² s⁻¹ volt.

KOVÁCS (2014) kísérletét 24 órás időintervallumban végezte, ezalatt két óránként mérte a talaj szén-dioxid-kibocsátását befüvesített és növényborítás nélküli területen,

öntözött és öntözetlen körülmények között. Legalacsonyabb értékeket délelőtt mért, amikor a határreteg jól átkevert, míg magasabb értékek a növényel borított területen délután és este adódtak. Kutatásában a szén-dioxid napi dinamikájával kapcsolatban megállapította, hogy a legnagyobb befolyással a kibocsátás változására a hőmérséklet van. A maximális kibocsátási értékeket 12 ($0.64 \text{ (g m}^{-2} \text{ h}^{-1})$) és 14 órakor kapta ($0,64 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) maximális talajhőmérséklet ($28,8 \text{ }^\circ\text{C}$) mellett.

RÁDICS (2014) kontroll területen kapott eredményei azt mutatják, hogy a kibocsátás maximuma leginkább a levegő hőmérséklet maximumával esik egybe, a kibocsátás a talajhőmérsékletéhez viszonyítva eltolt periódusú, de hasonló jellegű görbelefutást eredményez. A talajhőmérséklet változását a következő képlettel írja le:

$$(T = T_0 + A \sin(\frac{2\pi}{t_0} t + \beta))$$

ahol:

T: a talajhőmérséklet a t-edik időpontban ($^\circ\text{C}$);

T₀: a talaj közepes hőmérséklete ($^\circ\text{C}$);

A: a talajhőmérséklet változás amplitúdója ($^\circ\text{C}$);

t₀: a periódus hossza (h);

t: az idő (h);

β: a fáziseltolódás (h).

RÁDICS (2015) szén-dioxid-kibocsátással kapcsolatban végzett méréseket talajművelés után Enying térségében. Megállapítása szerint a 24-36 órás mérések alkalmával a legintenzívebb kibocsátási eredményeket a művelést követő 3-5 órában kapta.

SZÖLLŐSI (2010) kutatásaiban csupasz talajfelszínen a szén-dioxid-emisszió 22 és 6 óra között volt a legalacsonyabb (2009.08.28-29) ehhez hozzá tartozik, hogy a legalacsonyabb emissziós, levegő- és talajhőmérsékleti értékeket is reggel 6 órakor mértek. A fűvel borított területen hasonló eredményeket kaptak, maximális értékek 10, illetve 20 órakor voltak. A talajélet aktivitás az éjszaka folyamán csökken, de füvesített területen ez később következik be.

1. táblázat: Napi szén-dioxid-kibocsátások összesítő táblázata

Szerző	Hely	Idő	Mennyiség (g m ⁻²)
Rádics J.	Enying	2014.07.14.-15	Műveletlen:6,86 Szántott: 9,38 Lazított: 8,16
	Mesztegyő	2014.08.18.-19	Műveletlen: 8,07 Szántott: 13,04 Kultivátorozott:8,5
Szöllősi N.	Karcag	2009.08.28-29.	Műveletlen: 4,8–11,76
B. Ellert –H. Janzen	Alberta, Kanada	1994.07.13-14.	Kultivátorozott: 0,36 – 0,72
Gerosa G.; Finco A., Boschetti F.; Brenna S., Marzuoli R.	Pó völgy, Olaszország	2012.09.07..	No till: 2,76 Hagyományos: 0,043
Rulík, S:M:M:	Myanmar	2018. 04. 26-27.	Max: 30,096 Hagyományos:6,3±2,36 Talajkímélő: 6,17±1,76
Kovács Gy.	Karcag	2011.08.31- 09.01.	Befüvesített terület: 15,36

A szakirodalmi példákat áttekintve a kibocsátás mértéke eltérő a különböző kutatók méréseiben, amelyet az eltérő műszerhasználat, az eltérő talajadottságok és különböző mérési időszakok adnak. RÁDICS (2014) talajművelés után mérte a 24 órán belül történő változásokat, ahogy ELLERT és JANZEN (1994) is. SZÖLLŐSI (2009) és KOVÁCS (2011) Karcag térségében mértek műveletlen területeken. RULÍK egy Myanmari rizsföldön vette fel kísérleteit, míg GEROSA et al. (2012) az olaszországi Pó-folyó völgyében. RULÍK (2018) kapta a legmagasabb értéket, amely a maximális

mérése volt, 30,096 g m⁻²-t, míg a legalacsonyabb érték Kanadában volt 0,36-0,72 g m⁻², amelyet a hűvösebb talajhőmérsékleti értékek is okozhattak.

2.5. A TALAJ SZÉN-DIOXID KIBOCSÁTÁSÁNAK ÉVES DINAMIKÁJA

A szén-dioxid-kibocsátás évszakonkénti változásokra adott válaszai mértéküket és időléptéküket tekintve eltérőek lehetnek. Ez a későbbiekben a klímaváltozásra adott válaszokra is igaz lehet (SCHIMEL – GULLEDGE, 1998). RAICH és SCHLESINGER (1992) modellt állított fel a talajlégzés globális vizsgálatára, amely az éves csapadék és hőmérséklet adatok alapján követi le az éves szén-dioxid-kibocsátás változásait. Eredményeikben arra jutottak, hogy leginkább a hőmérséklet-változása befolyásolja a kibocsátást. Az éves szén-dioxid-kibocsátás eléri a körülbelüli 68 ± 4 Pg C év⁻¹-et kutatásaik szerint, ami globális szinten korrelál az éves levegő hőmérséklettel és az éves csapadékkal. Külön megvizsgálták az emberi hozzájárulást a kibocsátás mértékéhez a földhasználat a talaj trágyázása, öntözés és a klímaváltozás szempontjából. Az emberi beavatkozás következményei a kibocsátásra kevésbé dokumentáltak, ezért rosszul vizsgálhatóak. A főbb változókat a csapadék és a hőmérséklet adja. A megnövekedett talajlégzés a globális felmelegedéssel az üvegházhatású gázok kibocsátását növelik.

A folyamatos vonal a talajlégzés és az éves középhőmérséklet közötti lineáris összefüggést mutatja. A becslés Magyarországra (11°C) átlagosan 600 g C m⁻² év⁻¹ értéket ad. Ez CO₂-re átszámítva (44/12) 2 200 g C m⁻² év⁻¹ mennyiséget eredményez. Ez napi átlagban 6 g m⁻²-t jelent.

KOÓS (2012) szerint a szezonális változás jobban befolyásolja a talaj szén-dioxid-kibocsátását, mint a tápanyag-visszapótlás. Az egész éves vizsgálat azért is lehet fontos, mivel a komponensek abszolút mennyisége is változhat térben és időben, ami lehet a napi időjárás változás is, de az évszakok váltakozása is. Vizsgálata során az *Anagas CD98* típusú CO₂-koncentráció mérésére alkalmas kézi műszerrel mérte, majd a kapott adatokat m g m⁻² h⁻¹-ba számította át a következő képlettel:

$$F=(d*(V/A)*((C_2-C_1)*0,001)/t*273/(273+T))*1000*3600$$

ahol:

F: talaj szén-dioxid-kibocsátása [$\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$];

d: CO_2 -sűrűsége [kg m^{-3}];

V: a tenger térfogata [m^3];

A: a talajfelszín területe - a henger alapterülete [m^2];

C₁: a kezdeti CO_2 -koncentráció [ppm];

C₂: a végső CO_2 -koncentráció [ppm];

t: a mérés időtartama [s];

T: a levegő hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$]

KIMBALL et al. (2001) búzaföldön szén-dioxid hozzáadásos kísérletet (FACE) végzett, amely során télen egyáltalán nem tapasztalt gyökérlégzést, viszont a korai növekedési fázisban a talajlégzés 65%-át adta. A kísérlet alapját az adta, hogy a megemelt CO_2 -szintet 24 órán át, egész szezomban fenntartották négy ismétlésben a 25 m átmérőjű parcellában. Az első két FACE $\times \text{H}_2\text{O}$ kísérlet során $550 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{CO}_2$ -koncentrációt használtak, míg a későbbi FACE $\times \text{N}$ kísérletek során a környezeti szén-dioxidot $200 \mu\text{mol mol}^{-1}$ -el növelték. Az egész évszakra vonatkozó átlagos nappali CO_2 -koncentráció 550, 550, 548 és $559 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{CO}_2$ volt a FACE-parcellákon, illetve 370, 370, 363 és 370 a kontroll parcellákon 1992-1993, 1993-1994, 1995-1996 és 1996-1997-ben.

ZSEMBELI és NAGY (2004) szerint a szén-dioxid kibocsátás késő tavasszal és kora ősszel a legerőteljesebb, ami szoros összefüggésben áll a nedvesség és hőmérsékleti értékekkel, ugyanis a biológiai folyamatokra ekkor vannak a legjobb hatással. A szén-dioxid-kibocsátás mértéke és értéke egyenesen arányos a talaj szervesanyag-tartalmával és szerkezeti állapotával.

PANIKOV et al. (2006) Alaszkában (Barrow) folytattak kísérleteket, amelyeket 0 és -39°C között egy éven át inkubáltak. Az általuk mért CO_2 -termelés mértéke exponenciálisan csökkent a hőmérséklettel, de -39°C -on pozitív és mérhető maradt, ez alatt csökkent 0-ra. A barrowi tundratalaj magasabb értéken történő nulla alatti aktivitást mutatott, mint a nyugat-szibériai és svédországi boreális talajok. A permafroszt talajok (20-30 cm) aktívabbak voltak, mint a szezonálisan fagyott felső

talajból (0-10 cm, Barrow) származó minták. A -39 °C-ig mérhető CO₂-kibocsátás jelentős a légkörbe történő jelenlegi és jövőbeli emisszió meghatározása, megértése és előrejelzése, valamint a Földön és más bolygókon a mikrobiális aktivitás alacsony hőmérsékleti határainak megértése szempontjából (PANIKOV et al., 2006).

2.6. A TALAJÉLET ÉS A TALAJLÉGZÉS

Szénkészleteink a talajainkban szerves illetve szervetlen szén formájában vannak jelen. A szerves szén aktív humusz illetve semleges növényi szén alkotja. A szerves szénbe beletartozik a talajban található összes szerves anyag, növényi és állati maradványok, mikrobiológiailag és/vagy kémiailag szintetizált anyagok, illetve az élő mikroorganizmusok és állatok, valamint ezek bomlástermékei. A szervetlen szénkészleteket az elemi szén és a karbonát ásványok alkotják (SHNITZER, 1991). A talaj szervesanyag-összetétele folyamatosan változik. Ezen belül a humusztartalmat meghatározza, hogy a mineralizáció és a humifikáció milyen mértékben érvényesülhet, valamint a két folyamat között milyen az egyensúlyi állapot (FILEP, 1999). Az általam vizsgált kísérleti terület szerves szén tartalma átlagosan 2,7 % volt RÁTONYI (1999) vizsgálatainak alapján.

A talajban évente átlagosan 4 000 m³ szén-dioxid keletkezik egy hektárra lebontva, amelyet KUZJAKOV (2006) öt forrásból származtatja: 1. gyökérlégzés; 2. rhizomikrobiális légzés; 3. növényi maradványok lebontása; 4. növényi maradványok vagy gyökér exudátumok indukálta mikrobiális szerves anyag lebontás (SOM); 5. a talaj szerves anyag (SOM) mikrobiális lebontása növényi maradványoktól és gyökér exudátumoktól mentes talajban. Az összes kibocsátás $\frac{2}{3}$ -a a talajlélőlények tevékenységéből, míg a maradék $\frac{1}{3}$ -a a gyökérlégzésből származik.

A talajlégzésből származó szén-dioxid-koncentráció pontosabb elemzésére már több módszert is alkottak a kutatók az elmúlt időszakban (ANDERSON, 1982; PARKIN, 1996; FARKAS et al., 2011), de általános eljárást még nem sikerült alkotni a validációs rendszer hiánya miatt (TÓTH et al., 2011). A szántóföldi kísérletek felvételére leggyakrabban használt mérési módszer a kamrás módszer, amely által egy izolált terület jön létre és a talajból távozó CO₂-koncentráció a változás alapján meghatározható (SINGH - GUPTA, 1977; FANG – MONCRIEFF, 1998; ANGELL – SVEJCAR, 1999; ZSEMBELI, 2005). A két leginkább elterjedt kamra méret a nagy

térfogatú (3,25 m³), általában hasáb alakú kamrák, amelyek légkeveréssel ellátottak (REICOSKY, 1990), valamint a kisebb méretű, légkeverés nélküli kamrák (PARKIN – VENTEREA, 2010; ZSEMBELI et al., 2005). LELLEINÉ (2008) tudományos kutatásában elemzi a CO₂-kibocsátás mérési módszereit, amely alapján alkáli abszopciós módszert, gázkromatográf, infravörös gázanalizátor, légörvény-kovariáns, valamint termális távérzékelést különböztet meg

A talaj szén-dioxid-kibocsátás csökkentésének egyik módja a talajban található szén megkötése, amelyhez hozzájárulnak a baktériumok, gombák és giliszták, amelyek a szerves anyagot humusszá alakítva kötik meg a szenet a talajban. A talaj minőségét irányított módon is javíthatjuk azáltal, hogy szenet juttatunk bele. Ennek módja a szervesanyag (trágya, komposzt, különböző növényi maradványok) visszapótlása a talajba, így évente akár 2-20 millió tonna maradhat a mezőgazdaságban művelt szántóföldeket illetően, amely a minőségi javulás mellett a globális klímaváltozásra is hatással van (*Internet 4*).

A talaj szén-dioxid-kibocsátás mértékét számos tényező befolyásolja, ilyenek a talaj hőmérséklete, nedvességtartalma, valamint a talaj minősége. A kibocsátás a szervesanyag csökkenéséből származik (GOUDRIAAN – UNSWORTH, 1990; FOGARASSY et al., 2008), mértékét nagyban befolyásolja a talajművelés módja. A talaj nagymértékű bolygatása, a fizikai paramétereit megváltoztatásával járó műveletek hatására csökken a talajban található szén mennyisége, miszerint a C/N arány módosulását illetően érdemi változás történik.

Fontos, hogy olyan művelési módszert válasszunk, amely a legkisebb mértékben módosítja a talaj szerkezetét (BIRKÁS – GYURICZA, 2004). A talaj szénkészlete - a művelési formától függően - a talaj termőrétegét illetően az intenzív művelésnek köszönhetően csökken, ez a változás 30-50%-ot is elérhet (COLE, 1996). BIRKÁS (2008) vizsgálatait alapján egy hektáron akár 2 t C megtakarítás is elérhető, amely CO₂-egyenlegben (44/12-es konverziós szorzóval számolva) 7,33 t CO₂ ha⁻¹. A kutatás arra is rámutat, hogy a szén megtartás csak akkor lehetséges, ha a területről a növényi maradványokat nem szállítják el. A talaj élővilága egy térfogategységre jutóan 6%-os szén-dioxid mennyiséghez van hozzászokva, az e feletti koncentrációt csak korlátozott szintig képes elviselni (KÁTAI, 2008).

A hagyományos művelési rendszerek esetén a talaj átlevégőztetése megnő, a növényi maradványokat a talaj felszíne alá forgatják, valamint az aggregátumok aprításának következtében a szervesanyag lebomlása felgyorsul. Ezzel együtt a talaj szén-készlete fogyatkozik a nagyobb szén-dioxid-kibocsátás által. Ezen is segít a talajvédő művelési módszer, mivel ezek a káros hatások megszűnnek, valamint a talajélet javulása megkezdődhet (KASSAM et al., 2012). A hagyományos és a talajvédő talajművelések közti eltérés leginkább a makropórusok tartományában mutatható ki, tehát az összpórustér változását jórészt a makropórusok eredményezik. A makropórusok részaránya jól meghatározható, és nagy hatást gyakorol az aerob folyamatokra, a gyökérzetre, valamint a talajnedvesség forgalomra is (FARKAS, 2001). GYURICZA (2001) szerint a talajművelések során a lazítási folyamat éppen a makropórusokra van leginkább hatással, megnöveli azok számát. A makropórusok aránya befolyásolja az ún. elkerülő áramlást is. Ebben az esetben a víz a talajmátrixot megkerülve áramlik a talaj belsejében, így a talaj egyes részei szárazan maradnak (ŠIMUNEK et al., 2003).

A talaj kevesebb bolygatásával javulhat annak szerkezete, amely állapot (fizikai, biológiai) változása laboratóriumi és terepi vizsgálatokkal is kimutatható (ARSHAD et al., 1990). A szerkezetjavulással egy ütemben javul a biológiai aktivitás is, mivel a földgiliszták számára kedvezőbb talajéletet biztosít, elegendő élelemhez juthatnak. (LARINK – SCHRADER, 2000; BÁDONYI et al., 2008; CAPOWIEZ et al., 2009; ROGER – ESTRADÉ et al., 2010).

A világban, így Magyarországon is, a klímaváltozás hatással van a mezőgazdaságra. A klíma károk ellen hatásos megoldást jelenthetnek a környezetkímélő talajművelési rendszerek, amelyek elősegítik a talajban tárolt nedvességtartalom megőrzését (MADARÁSZ et al., 2011, BIRKÁS, 2010).

A talaj hőmérséklete is befolyásolja a szén-dioxid-kibocsátást, amelyet már ARRHENIUS (1889) egyenlete is leírt a 19. század végén:

$$k = Ae^{E_a/RT}$$

Az Arrhenius-egyenlet azt fejezi ki, hogy a reakciósebességi állandó (k) hogyan függ a hőmérséklettől (T) és az aktiválási energia (E_a) értékétől.

ahol:

A : a preexponenciális tényező ,

R: az egyetemes gázállandó

A mikroorganizmusok aktivitását is befolyásolja a hőmérséklet változása, tehát a műveletlen talajok szén-dioxid-kibocsátását magyarázó kapcsolati modellek alapja egyfajta exponenciális függvény az Arrhenius egyenlet alapján (LLOYD – TAYLOR, 1994), valamint fellelhetőek a mérési eredmények regresszió analízise alapján felírt empirikus összefüggések is (FANG – MONCRIEFF, 2001). Nagyméretű (31 cm átmérőjű és 45 cm mély) talajblokkokat vizsgáltak, amely során nem találtak optimális talajlégzést. A talaj hőmérséklet olyan módon növeli a szén-dioxid-kibocsátást, miszerint 65 Celsius-fokig növekszik, majd 90 foknál megáll, és 110 foktól emelkedik ismét (GYÓRI, 1984).

A hőmérséklet a növény növekedését közvetve befolyásolja a talaj mikrobiológiai tevékenységére gyakorolt hatásával. A mikroorganizmusok növekvő illetve csökkenő tevékenysége megváltoztatja a talajlevegő hőmérsékletét és összetételét. A talaj hőmérséklete befolyásolja a talaj tápanyag-forgalmát is, mivel ettől függ a magasabb rendű növények csírázása, növekedése. Továbbá a hőmérséklet befolyásolja a talaj ásványi részeinek mállását és a víz mozgását a talajban, mivel a talajhőmérséklet befolyásolja a tápanyagfelvételt valamint a tápanyagkolloidok összetételét (RÁTONYI, 2006).

A talaj minősége szintén összefügg a szén-dioxid-kibocsátásával; míg a rosszabb minőségű talajnak kisebb a szén-dioxid-kibocsátási koncentrációja, addig a jó minőségű, öntözött, műtrágyázott talaj nagyobb kibocsátási értékekkel rendelkezik (KÁTAI, 1992). KÁTAI (1992) továbbá azt is megfigyelte, hogy a monokultúrában termesztett kukorica talaja nagyobb kibocsátási értékekkel rendelkezik, mint a trikultúrában termelt.

Befolyásoló tényező a talajnedvesség tartalma is. A talaj szén-dioxid-kibocsátása benedvesítés hatására hirtelen megemelkedik, majd a nedves talaj kibocsátása stagnál. A kibocsátások közti változás akár 500% is lehet, amelyet a szárazságot követő időszakban lehet mérni. Ez a változás 2-6 napig tart, majd visszaáll a kiinduló szintre (FIERER – SCHIMMEL, 2003).

AZ OECD (Organisation of Economic Cooperation and Development) „Talajok Világévéhez” kapcsolódóan kijelentette, hogy a művelésben a hagyományostól eltérő módon kell a talajainkkal bánnunk a fenntarthatóság érdekében, amihez teljes szemléletváltozás szükséges (OECD, 2015). A talajunkra úgy kell tehát néznünk, mint

egy „feltételesen megújuló” erőforrás, amelyet védenünk kell, valamint kötelességünk gondoskodni róla (BÍRÓ, 2003; VÁRALLYAY, 2001).

2.7. A TALAJMŰVELÉS HATÁSA A TALAJ NEDVESSÉG- ÉS HŐFORGALMÁRA VALAMINT A CO₂-KIBOCSÁTÁSÁRA

A talajművelés célja a talajfelszín és a talajszerkezet megvédése, a biológiai tevékenységének, nedvesség, levegő- és hőforgalmának kedvező befolyásolása (BIRKÁS, 1993). Leginkább a laza szerkezetű felső takaróréteg van jó hatással a talajnedvesség-, hő- és levegőforgalmára ZSEMBELI et al. (2015) szerint.

Az utóbbi időben a szélsőséges időjárási körülmények miatt (száraz, aszályos időszakban csapadékhiánnyal, esős időszakban belvizes területekkel) a megfelelő talajművelés kiválasztása nehezebbé vált, ugyanakkor fontossága nagyban erősödött.

A talajművelés során megmunkált felső talajréteg a vízforgalma miatt is rendkívüli jelentőséggel bír, mivel az itt elnyelt és továbbított vízmennyiség mélyben történő megőrzése biztosítja a növény számára a zavartalan vízellátást a vegetációs időszak során (SZÁSZ, 2010). A csökkentett menetszámú művelés esetén a vízhasznosítás számos tényezőtől függ, ilyenek: a talaj típusa, a víztartó képessége, a növény igényei és a csapadék mennyisége (ZSEMBELI, 2003). Több kutató is végzett kísérleteket a csökkentett menetszámú talajművelés vízforgalma kapcsán. GYURICZA et al. (2004) megfigyelései alapján a csökkentett menetszámú talajművelési rendszerekben nagyobb talajnedvességi értékeket lehetett mérni, mint a hagyományos talajművelési eljárásoknál, de csupán a talaj felső (0-10 cm) rétegében volt szignifikáns a különbség. Más kutatás szerint a talajművelés a talaj felső 20 centiméterének a nedvességi értékeit befolyásolja (ERBACH et al., 1992). RÁTONYI et al. (2003) kutatásai szintén a forgatás nélküli talajművelési rendszerek nedvességmegőrző képességét támasztják alá a forgatásos talajműveléssel szemben. KARLEN et al. (1994) vizsgálatai azt igazolják, hogy a művelés nélküli direktvetés térfogatszázalékos nedvességtartalma jelentősen meghaladta a szántásos és kultivátoros művelési rendszerét.

Szántóföldi körülmények között GYŐRI (1984) megállapítása alapján a melegebb hőmérséklet magasabb szén-dioxid-kibocsátást eredményez. A talajművelés azonban a kibocsátás hőmérséklet-érzékenységét is képes megváltoztatni, így elmondható, hogy a talajművelés intenzitásával arányos a kibocsátás hőmérséklet-érzékenysége is

(LASCALA et al., 2005). Ebben az esetben a talajművelés – talajhőmérséklet - szén-dioxid-kibocsátás kölcsönhatásáról beszélhetünk, mint kapcsolt kölcsönhatás az eltérő talajművelési módok esetén.

A talaj művelése nagyban befolyásolja a szén-dioxid kibocsátásának mértékét. Az intenzív talajművelés fokozottan hozzájárul a szén-dioxid-emisszióhoz, ami leginkább a szántás következtében növekszik. A kímélő művelési mód alkalmazása – többek közt – környezetvédelmi szempontokat tekintve is fontos szereppel bír (BIRKÁS, 2001). A talajművelési módok közül a kímélő talajművelési mód járul hozzá leginkább a szervesanyag talajban tartásához. A talaj folytonos bolygatása, ekével való feltörése a gázcseré dinamikáit felgyorsítja azáltal, hogy a felső réteg lazábbá válik (GYURICZA et al., 2002). A legjobb talajművelési mód a fenti szempontokat figyelembe véve a lazító-porhanyító és tömörítő művelés, az átlegezés ekkor kisebb, a mikrobatevékenység is kisebb, ezáltal kevesebb a szén-dioxid-termelésük.

A talajművelés és a szén-dioxid-kibocsátása közti összefüggéseket GYURICZA (2000) is vizsgálta, és megállapította, hogy a különböző agrotechnikai műveletek után nő a szén-dioxid-koncentráció a légtérben: a direkt vetésnél 14,4%-al, a 16– 20 cm mély szántásban 45,8%-al, a 22– 25 cm mély szántás pedig a duplájára növelte a kibocsátott értéket. A legmagasabb értéket a lazítás (35– 40 cm) + szántás (16– 20 cm), valamint a lazítás (35– 40 cm) + tárcsázás (22– 25 cm) jelentette; az első esetben 90,5%-al, míg a másodikban 119,8%-al nőtt a légkör szén-dioxid-koncentrációja. RÁDICS (2015) kutatásában arra jutott, hogy a műveletlen területhez képest a szántott terület $2,392 \text{ g m}^{-2}$ eltérést mutat a művelést követően, ami 134%-os emelkedést jelent, míg a tárcsázott terület $1,008 \text{ g m}^{-2}$ -el tér el, ami 114%-os kibocsátási növekedés. A művelt és nem művelt területek közötti eltérést a művelést követő 11-15 órában tapasztalta.

BIRKÁS et al. (2007) publikált átfogó tanulmányt a talajművelés hatása a talaj fizikai állapotára és a szén-dioxid-fluxusára. A méréseik alapján meleg nyári napokon a bolygatatlan talajok szén-dioxid-kibocsátása $5-8 \text{ kg C ha nap}^{-1}$ ($2,4 \text{ t C ha év}^{-1}$)– ezt befolyásolja a talaj nedvességi állapota és hőmérséklete – valamint megfigyelték még, hogy a kibocsátási érték száraz, bolygatott talaj esetén ez az érték tovább növekszik a művelést követő napokban.

ZSEMBELI és NAGY (2004) is végeztek kutatásokat, amelyben a hagyományos, forgatásos talajművelést valamint a direktvetést hasonlították össze. Kutatási

eredményeik alapján a direktvetésben nagyobb szén-dioxid-koncentrációt mértek, mint a hagyományos talajművelési módnál, amit a gyomok erőteljes gyökérlégzése idézett elő. A kutatásukban a gyökérlégzés nagy szerepét állapították meg a szén-dioxid-emisszió kapcsán, amely 70-80%-ot is elérheti az aktív, fejlődő növényállományokban.

2.7.1. A talajművelés szerepe

A talajművelés termésre gyakorolt hatását több kutató is vizsgálta. Abban mindnyájan egyetértenek, hogy a talajművelésnek van hatása a termésre, azonban hogy milyen százalékban, abban eltérnek az eredmények. BERZSENYI és GYÖRFFY (1995) 3%-ban állapította meg, míg NAGY (1995) 17%-ban (FERENCSEK, 2015). GYURICZA (2014) a talaj vízháztartása miatt is nagyon fontosnak tartja a talajművelést és megjegyzi: „A legnagyobb odafigyelést és a legnagyobb lehetőségeket a talajtermékenység hosszútávú fenntartásához a talajművelés nyújtja, amely azonban kizárólag értő és megfontolt gazda munkája nyomán vezet eredményre.”

A téli időszakban a talaj – alkalmas esetben (enyhe és csapadékos tél) - vizet tud eltárolni, ezért szükséges, hogy a talajt olyan állapotba hozzuk erre az időszakra, amely segíti a víz akadálytalan beszívargását és a víz tárolását (BIRKÁS, 2008). SIPOS (1972) vizsgálatai alapján a téli csapadék befogadását leginkább az őszi szántás, mint alapművelő eljárás segíti elő.

Az enyhébb, csapadékosabb, szelesebb téli időszakban az alapművelés és az elmunkálás kombinálását, a rögképződés kerülését, hatékony rögaprító módszer használatát, valamint a szerkezetmegóvást célszerű alkalmazni (BIRKÁS 2009; BIRKÁS et al., 2010). Nyáron érdemes több figyelmet fordítani a víz megtartására a talajban, így a vízvesztő talajművelések elhagyása preferált, valamint fontos a szén megőrzése a talajban (KALMÁR et al., 2007, 2013).

Az előttünk álló időszakban, amikor a klímaváltozás így befolyásolja az agrárszektor, még inkább érdemes kerülni a tömör, vízbefogadásra képtelen talajokat. A víz tárolása szempontjából kedvező az aktív gyökérszóna mélység megtartása (40 cm), amely segíti a termésvesztés minimalizálását (BIRKÁS, 2007; BIRKÁS et al., 2010). A felszíni degradáció elkerülése végett, érdemes aratástól vetésig (ha lehetséges utána is) a felszíni takarást megvalósítani, a talaj szerkezetét kímélni, a rög- és porképző műveleteket elkerülni, mellyel a szél- és viharok mérsékelhetővé válnak (KALMÁR et al., 2013).

Hazánkban a talajok szénkészlete folyamatos változásban van, amelyet befolyásol a földművelésben bekövetkezett szemléletváltozás is. A növénytermesztés során a talaj állapota, szerkezete alapvetően befolyásolja a termés mennyiségét és minőségét, így elengedhetetlen, hogy a talaj és a növénytermesztés közötti kapcsolatokat jobban megvizsgáljuk. A talajművelés direkt módon és nagymértékben befolyásolja a talaj tulajdonságait. Az utóbbi évtizedekben a nem megfelelő talajhasználat következtében leromlott a talajok állapota, így a környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés nagyobb figyelmet kapott (BIRKÁS, 2002).

2.7.2. A talajművelés megreformálása

A XX. századtól egyre több kutató hívta fel hazánkban a figyelmet a talajművelés kapcsán a klímavédelem fontosságára, a fenntarthatóság kérdéseire és a környezetvédelemre. Az első ilyen megállapítást MANNINGER (1975) tette, aki a talajszerkezet megóvására hívta fel a figyelmet. ÁNGYÁN és MENYHÉRT (1997) is ebbe az irányban kutatott, a talaj védelmét és a nedvességveszteség csökkentését helyezték a növény igényei elé.

GYURICZA (2000) szerint ezekre a talajművelési módokra jellemző, hogy ahhoz, hogy a növény igényeinek megfelelő talajállapotot elérjék, sok menetszamos művelésre van szükség, valamint fokozott idő-, energia- és költség ráfordításra is. Bár a szántás a gyomszabályozásban az egyik leghatékonyabb módszer, azonban az energiaigénye szempontjából a leginkább energiaigényes talajművelési eljárás. MOITZI (2013) szerint 10 –50 %-kal növeli az energiaszükségletet a forgatás nélküli talajművelési módokhoz képest az azonos mélységű forgatásos talajművelési mód.

A csökkentett talajművelési eljárás a 70-es évektől vált egyre elterjedtebbé. Ezekben az időkben következett be az olajárrobbanás, így szükséges volt olyan agronómiai megoldást találni, amely a növénytermesztés költségeit, energiaigényét csökkenteni tudja. A kutatás-fejlesztések következtében képesek voltak olyan megoldásokat találni, amellyel a forgatásos műveléshez hasonló mértékű terméseredményeket produkáltak. Ekkortól az Egyesült Államokban ütemesen nőtt a forgatás nélküli talajművelési módszert használók száma, (SEMBERY, 1989) és ez azóta is növekszik (URI, 1999).

A csökkentett talajművelésnek elsősorban az a feladata, hogy a talajeróziót és a bevitt energia mennyiséget csökkentse (SPRAGUE – TRIPLETT, 1986). További előnyük a

nagyobb terület-teljesítmény, amely a kedvezőtlen időjárási körülmények kiküszöbölésében segít (BALL, 1989). A sok pozitívum mellett meg kell említeni, hogy a hatékonyságát számos körülmény befolyásolja; ilyenek a talajtípus, a természetű növény fajtája, az előzetesen használt talajművelési rendszer. Ezek mind befolyásolják a hatékonyságot, majd később a gazdálkodás jövedelmezőségét is (MORRIS et al., 2010). Az említett befolyásoló tényezők és egyéb klimatikus, hidrológiai és talajtani tényezők miatt sem általánosítható a csökkentett menetszámú művelés hatékonysága (BLEVINS et al., 1983).

A talajvédő művelési eljárást többen is definiálták már: BIRKÁS (2002) szerint a talajvédő művelési eljárás 30%-os tarlómaradványi fedettséget biztosít. LAL (1989) megfogalmazásában a hagyományos talajművelési módhoz képest csökkentett erózió és nedvességvesztés kapcsolódik hozzá. Összefoglalva, azok a rendszerek tartoznak bele, amelyek során alapműveléskor nem történik meg a forgatás, azaz a direktetés, sávos művelés a bakhátas művelés, a vetőkultivátoros vetés, a nehéz kultivátoros művelés, továbbá az egyéb forgatás nélküli talajművelési rendszerek (FERENCSEK, 2015).

A pozitív hatásai ellenére, a forgatás nélküli talajművelések továbbra is háttérbe szorúlnak (BIRKÁS, 2006a), amelyet leginkább a terméscsökkenéstől való félelem okoz (JONES et al., 2006). Ugyanakkor az intenzív talajművelésnek kitett területeken jobban érezhetőek az erózió hatásai (szél, csapadék) és a degradációs folyamatok. A taposási kár, amelyet az intenzív talajművelés során a nehéz gépek okoznak, tovább növeli a degradációt, romlik a talaj vízfelvevő képessége, míg a művelési eredetű tömörödés az azonos mélységű művelés több évig tartó azonos mélységben végzett művelés során alakul ki (RÁTONYI, 2006). Az így erodálódott talajok viszont nem képesek ellenállni a szélsőséges időjárási körülmények miatt kialakuló környezeti hatásoknak (LAL et al., 2007).

A sávos talajművelés a forgatás nélküli és a művelés nélküli rendszert ötvöző talajművelő rendszerek közé tartozik. Ebben az esetben csak a vetősáv kerül megművelésre, míg a sorközök műveletlenül maradnak. Hazánkban ez a művelési módszer nem megszokott, míg az USA-ban már 40 éve ismert módszer. A szántóföldi növények közül leginkább a kukoricatermesztésben alkalmazzák, de sikeres volt más kultúráknál is, mint a repce, a napraforgó vagy a búza, és más kertészeti kultúrákban is (CELIK et al., 2013). A művelés mellett szármaradvány-borítottságot biztosít a vetősáv

megművelésén túl a sávközök felszínén. Arányaiban ez a talajművelés jelentősen nagyobb szármadarvány borítottságot biztosít, mint a hagyományos művelés (VYN – RAIMBAULT, 1993).

A sávos talajművelés további előnye, hogy a talaj borítottsága miatt csökken az erózió mértéke, hatékonyabb a talajnedvesség megtartása és a biodiverzitás védelme is, valamint 80%-al csökken a felszíni elfolyás a talajvédő művelési módokhoz képest (MORRISON, 2002; FORTIN,1993). A sávos művelés megvalósításához speciális vetőgépre és alpművelő eszközre van szükség, kiegészítve nagy pontosságú helymeghatározó rendszerrel (GPS) (REEDER, 2000).

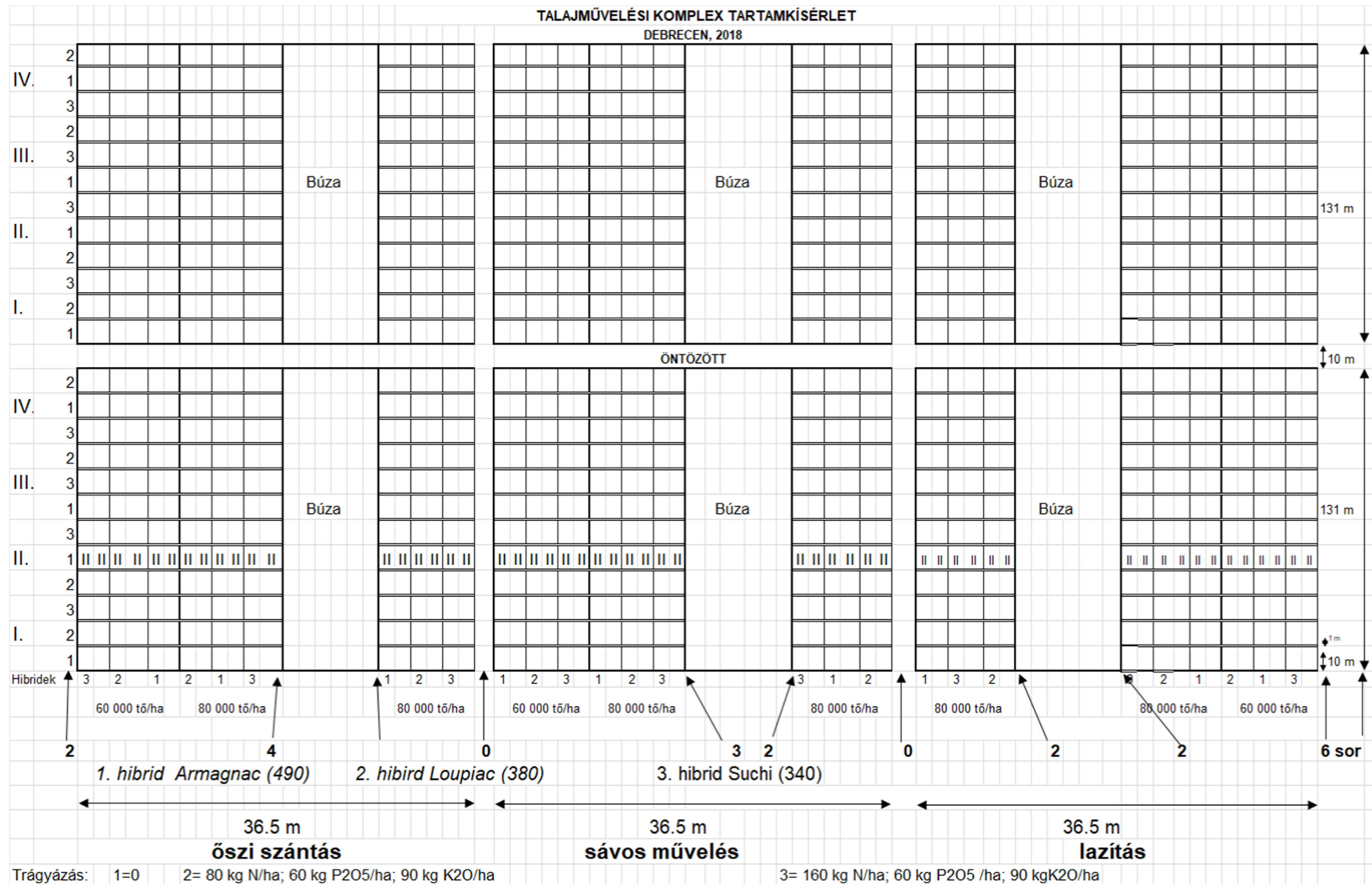
Mindezeket és számos hazai kutató (ÁNGYÁN, 1991; NYÍRI, 1997; BIRKÁS et al, 1999; RUZSÁNYI – PEPÓ, 1999; GYURICZA, 2000; BIRKÁS 2004) eredményeit összevetve elmondható, hogy a kímélő művelés hozzájárul a talajszerkezet romlásának megállításához, sőt alkalmazásával kedvező javulás érhető el.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A KÍSÉRLETI TERÜLET LEÍRÁSA

A vizsgálatokat a Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság (AKIT) Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet Látóképi Kísérleti Telepén (É.sz. 47°33' K.h. 21°27') középkötött, mészlepedékes csernozjom talajon végeztük. A Kísérleti Telep a Hajdúsági Lőszháton található, talaja löszön kialakult, mély humuszos rétegű alföldi mészlepedékes csernozjom. Fizikai talajfélesége középkötött vályog. A talaj 0-20 cm-es rétegének átlagos pH értéke 6,6 (gyengén savanyú), humusztartalma 2,7%.

A kísérletet 2018 májusában állítottam be abból a célból, hogy megvizsgáljam a tenyészidőszakban bekövetkező változásokat a talaj szén-dioxid-kibocsátásában az őszi szántott, sávos és lazított területeken öntözött és öntözetlen kezelésekből. A polifaktoriális tartamkísérlet kétszeresen osztott parcellás (split-split-plot) elrendezésű, a főparcellákon a talajművelési és az öntözési változatok szerepelnek ismétlés nélkül (**3-4. ábra**). Az elsőrendű alparcellákon a kukorica hibridek 50 – 70 ezres tőszámmal, a másodrendű alparcellákon a műtrágyakezelés négy ismétlésben randomizáltan helyezkedik el. Egy-egy talajművelési blokk 0,8 ha nagyságú, amelybe beletartozik egy öntözött és egy öntözetlen sáv is. A műtrágyával nem kezelt területek összes terület 0,98 ha, a kezelt terület 1,96 ha nagyságú. A vizsgált terület nagysága 2,59 ha, ezen belül egy parcella 30 m².



3. ábra: A polifaktoriális talajművelési tartamkísérlet elrendezése 2018-ban (Debrecen-Látókép)

A 2018-as tenyésztésben a komplex talajművelésben a kukorica vetése április 27-én történt meg, 2019-ben április 14-én. A sávos művelésben a konzorciumi partner KITE Zrt. által biztosított technológiával történt meg a kukorica vetése.

A polifaktoriális tartamkísérletben három különböző kukorica hibrid került elvetésre a vizsgálati években (**2. táblázat**):

2. táblázat: Kukorica hibridek 2018-ban és 2019-ben

Év	Kukorica hibrid		
	1	2	3
2018	Armagnac	Loupiac	Suchi
2019	Suchi	Armagnac	Fornad

A komplex tartamkísérletben a betakarítást követően mind a három művelési módban megtörtént a szárzúzás, majd az őszi szántott területen sor került a műtrágya kijuttatására. A sávos talajművelés esetén az alaptrágyázás az alpműveléssel egy menetben valósult meg. Az őszi folyamán az őszi szántás előtt megtörtént a területen a tarlóhántás és a tárcsázás. Az őszi szántás és a lazítás az alpművelés után külön menetben, a sávos művelés az alpműveléssel egy menetben lett elmunkálva. A vetés mind a három művelési módban áprilisban történt meg a két kísérleti évben, ezzel egy időben történt meg a starter műtrágya kijuttatása és a talajfertőtlenítés is (**3. táblázat**). A kémiai gyomirtás (2018-ban: Callisto 0,33l/ha, Basis 15g/ha, Trend 0,2l/ha 2019-ben: Butoxone M 3l/ha, Adengo 0,4 l/ha, Banvel 0,3 l/ha a vetést követően történt meg. A kukorica kelése után mechanikai növényápolás történt a kísérleti területen, amelyet fejtrágyázás egészített ki mind a három talajművelési módban. A kísérlet öntözött része 25 mm vízzel lett öntözve két alkalommal (07.04 és 07.16.) a vegetációs időszak alatt, mivel az adott évjáratnak megfelelően a kultúrnövény teljes fenológiai fázisának eléréséhez elegendőnek bizonyult ennyi pluszban kijuttatott víz.

3. táblázat: A tartamkísérlet agrotechnikai adatai

Őszi szántás	Sávós művelés	Lazítás
Szárzúzás		Szárzúzás
Műtrágyaszórás		
Tarlóhántás, tárcsázás	Szárzúzás	
Őszi szántás		Talajlazítás
Elmunkálás		Elmunkálás
Magágykészítés		Magágykészítés
Vetés	Sávós művelés, vetés	Vetés
Vegyszeres gyomirtás	Vegyszeres gyomirtás	Vegyszeres gyomirtás
Sorközművelés+	Sorközművelés+	Sorközművelés+
fejtrágyázás	fejtrágyázás	fejtrágyázás
Öntözés 25 mm	Öntözés 25 mm	Öntözés 25 mm
Öntözés 25 mm	Öntözés 25 mm	Öntözés 25 mm
Betakarítás	Betakarítás	Betakarítás

Az őszi szántás 3 fejes ekével (Radewerk) történt, amely átforgatja és mélyíti a megművelt talajréteget 28-30 cm mélyen. Ez a fajta forgatás biztosítja a tarlómaradványok és trágyaféleségek talajba juttatását. A sávművelő eszköz (Orthmann) talajművelő elemei közé tartozik a sávtisztító, a lazítókések, a tárcsás művelőelemek, valamint a sávhengerek. A vetőágy és a gyökérágy megfelelő lazultságáért felelősek ezek az elemek. A talaj bolygatása így csak a vetősorokat érinti 25-30 cm szélességben, a művelési mélység 30 cm. A lazításos talajművelés eszköze a hét késes lazító (Gaspardo) és az elmunkáló henger, amely hozzájárul a talaj kíméléséhez, a szervesanyag és a talajnedvesség megőrzéséhez, valamint a tarlómaradványokat részben a talajba juttatta (*1. kép*).



1. kép: Az őszi szántás, sávos művelés és lazítás eszközei és az elmunkálás utáni talajfelszín

Forrás: saját kép

3.1.1. A kísérleti terület klímája

Látókép a hajdúhát kistájegységhez tartozik, amely mérsékelten meleg és száraz kistáj Magyarországon. A napsütéses órák száma 1 850 és 1 980 óra között változik évente.

Az évi átlagos középhőmérséklet 9,7-10,0 °C, a legmelegebb nyári napok hőmérsékleti maximuma 34,0 °C fölött van, míg a téli minimumok átlaga -17,0 °C körüli. Április 2 és október 18-a között a napi középhőmérséklet meghaladja a 10 °C-ot. A lehulló csapadék mennyisége 520-550 mm átlagosan, a tenyészidőszakban 310-350 mm. A hóval borított napok száma 38-40 nap, a szélsébség 2,5-3 m/s átlagosan. A vidékre jellemző a szárazság és az egyenetlen eloszlású csapadék, ezért a szárazságtűrő növények termesztése leginkább gazdaságos. a vízháztartását is szárazság jellemzi gyér lefolyással. A mezőgazdaságát megvizsgálva elmondható, hogy a szél és a vízerózióra fokozottan szükséges figyelni, az öntözés hatékony használatával, valamint a talaj szerkezetét védő agrotechnika alkalmazásával a kistáj talaja jól hasznosítható (DÖVÉNYI, 2010).

3.1.2. A kísérleti terület talaja

A talaj összes nitrogén-tartalma 0,15%, ami közepes ellátottsági szintnek felel meg. A művelt réteg AL-oldható P₂O₅ tartalma a területen jelentős heterogenitást mutat, a 0–20 cm-es talajréteg átlagértéke (133 ppm) alapján közepesen ellátott, AL-oldható K₂O tartalma (240 ppm) alapján jó ellátottsági szintbe sorolható (RÁTONYI, 1999).

Kedvezőek a talaj vízgazdálkodási jellemzői is. A talaj térfogattömege a művelt rétegekben 1,40–1,45 g/cm³, az alsóbb rétegekben 1,25–1,29 g/cm³. A talajszelvényben a pórustérfogat 46–54% között változik. A kísérleti terület talaja kedvező víztartó és 26 % vízbefogadó képességgel rendelkezik. A növények vízellátása szempontjából fontos 0–200 cm talajrétegben a minimális vízkapacitásig (VK_{min}) telített talaj 600–650 mm vizet képes befogadni, aminek kb. 55–60%-át teszi ki a diszponibilis (hasznosítható) víz. A talajvíz átlagos mélysége 3–5 m, ami csapadékos évszám esetén sem emelkedik 2 m fölé.

A kísérleti terület talajának fontosabb fizikai tulajdonságait a **4. táblázatban**, kémiai tulajdonságait az **5. táblázatban** láthatjuk.

4. táblázat: A kísérleti terület talajának fizikai tulajdonságai

mélység	leiszapolható rész	Arany-féle kötöttségi	higroszkópos ág	térfogattömeg	pórustérfogat	minimális vízkapacitás	holtvíz
cm	Li%	szám K _A	hy	g/cm ³	P%	VK _{min} t ⁰ %	HV _{t⁰} %
0-20	56,8	42	2,25	1,41	46,7	33,7	12,69
20-40	58,6	43	2,25	1,43	46	31,1	12,87

40-60	57,1	43	2,13	1,31	50,5	29,1	11,16
60-80	57,5	44	2,51	1,29	51,3	28,6	12,51
80-100	58,6	48	2,07	1,30	50,9	29,1	10,76
100-120	54,1	47	2,18	1,24	53,3	27,4	10,81
120-140	55,3	46	1,91	1,24	53,3	27,8	9,47

Forrás: Rátonyi, 1999

5. táblázat: A kísérleti terület legfontosabb kémiai tulajdonságai

mélység cm	kémhatás		CaCO ₃	humusz	össz.N	AL-oldható	
	H ₂ O	KCl	%	%	%	P ₂ O ₅	K ₂ O
						ppm	
0-20	7,3	5,6	0	2,72	0,150	133,4	240
20-40	7,2	5,4	0	2,31	0,120	48,0	173,6
40-60	7,2	5,8	0	1,68	0,100	40,4	123,0
60-80	8,0	7,2	1,1	1,02	0,086	32,4	96,5
80-100	8,4	7,5	11,64	0,81	0,083	39,8	93,6
100-120	8,4	7,5	10,63			40,6	86,1
120-140	8,4	7,5	7,5			31,6	78,0

Forrás: Rátonyi, 1999

3.2. A KÍSÉRLETEK KEZELÉSEI

Talajművelés:

T₁: Őszi szántott

T₂: Sávos

T₃: Lazított

Idő:

I₁: Heti rendszerességű mérések délelőtt 10 órakor

I₂: napi dinamika: 6 óra, 9 óra, 13 óra és 18 óra

Mérések száma:

MSZ₁: heti mérések összesen 40 alkalommal

MSZ₂: napi dinamika felvétele 8 alkalommal

Öntözési változat:

Ö₁= öntözött

Ö₂= nem öntözött

Mútrágya dózisok:

1. N 0 kg/ha P₂O₅ 0 kg/ha K₂O 0 kg/ha
2. N 80 kg/ha P₂O₅ 60 kg/ha K₂O 90 kg/ha
3. N 160 kg/ha P₂O₅ 60 kg/ha K₂O 90 kg/ha

Típusa:

Nitrogén műtrágya: 27%-os MAS (Genezis Pétisó) és Nitrosol

Foszfor műtrágya: MAP 12:52 (N:P)

Kálium: KCl 60%

3.3. MÉRÉSI ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK

3.3.1. A talaj CO₂-emissziójának a meghatározása

A méréseket Testo 535 típusú mérőműszerrel végeztük el, amely egy infravörös abszorpciós elven működő, CO₂-koncentrációt mérő műszer, amely a mérési adatokat [ppm]-ben adja meg, mely SI mértékegységben értelmezve [$\mu\text{mol/mol}$], a pontossága ± 50 ppm. A talajra helyezett, belső ventilációval ellátott, egyedi mérőhengerek egyforma méretűek voltak, egyenként 11,88*25 cm (átmérő*magasság) nagyságúak, térfogatuk 2 771 cm³. A talajon egymás mellé helyezett 5 hengerben mértük a kezdeti szén-dioxid koncentráció értékét 1 percig és az 5 perc inkubációs idő elteltével megemelkedett szén-dioxid-koncentráció értékét (**2. kép**). A mintavételi időközöket 5 percben határoztam meg, a korábbi mintavételi tapasztalatokra alapozva, amely abból is származott, hogy a mérőeszköz 10 perc után kikapcsol. Nagyon fontos az inkubációs idő pontos meghatározása, mert a kamrában megnövekedett CO₂-koncentráció befolyásolja a talajból való kiáramlás sebességét.

A mintavételi pontokat minden parcellában véletlenszerűen helyeztük el, de csak a műtrágyázatlan parcellákban mértünk. A hengereket 5 cm mélyen süllyesztettük a talajba, ügyelve arra, hogy a legkevésbé legyen bolygatva a talaj az adott pontokon. Ezek a pontokat a sorközökben jelöltük ki, így a sávosan művelt terület mintavételi helyein egyáltalán nem történt talajművelés, így az eredmények szempontjából akár referencia területnek is lehet tekinteni ezt a sávot. A mérőhengereket a mintavétel után

az inkubációs idő alatt ledugaszoltuk, a belső ventilációt ez idő alatt bekapcsoltuk. A mérések végeztével, a mintavételi hengereket megtisztítottuk és szellőztettük, előkészítve azokat az újbóli mérésre.

A mérések heti szinten zajlottak, reggel 9 órától, valamint havonta egy nap vizsgáltuk a napi dinamika alakulását. A napi dinamika felvétele 24 órán belül négyszer történt: a kora reggeli órákban (6 és 7 óra között), délelőtt (9 és 10 óra között), a délutáni (12 és 13 óra között), esti órákban (19 és 20 óra között). Egy-egy mérés a hat különböző parcellában egy órát vett igénybe.





2. kép: Helyszíni fotó

A szén-dioxid-koncentráció értékeket ppm-ben (parts per million) adja meg a műszer, amelyekből a CO₂-emisszió értékeit g m⁻² h⁻¹-ba határoztuk meg.

Ehhez az egyesített gáztörvényt használtuk (Boyle – Mariotte, Gay – Lussac, Charles, Avogadro).

$$pV = nRT$$

ahol:

p: a nyomás [Pa]

V: térfogat [m³]

n: a gáz kémiai anyagmennyisége [mol]

R: az egyetemes gázállandó [8,314 J mol⁻¹ K⁻¹]

T: abszolút hőmérséklet [Kelvin]

Az egyesített gáztörvényt átalakítva kaptuk meg az egységnyi területre (m⁻²) és időre (h⁻¹) vetített szén-dioxid-kibocsátást grammal kifejezve.

$$F_{CO_2} = \frac{\Delta C \cdot l \cdot p \cdot M}{\Delta t \cdot R \cdot T}$$

ahol:

F_{CO_2} : a széndioxid-kibocsátás intenzitása [$g\ m^{-2}\ h^{-1}$]

ΔC : széndioxid koncentráció változása [$mol\ mol^{-1}$]

l : mérőhenger magassága [m]

p : a nyomás [Pa]

M : a széndioxid moláris tömege [$44,01\ g\ mol^{-1}$]

Δt : mérési idő [h]

R : az egyetemes gázállandó [$8,314\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$]

T : abszolút hőmérséklet [Kelvin]

Hasonló formulát használt kutatása során MEYER et al., 1987; WIDÉN & LINDROTH, 2003, RÁDICS et al., 2013 stb.

3.3.2. A talaj nedvességtartalmának meghatározása

A talaj nedvességtartalmának meghatározása FIELD SCOUT TDR 300 talajnedvességmérő szondát használtunk. A TDR (Time Domain Reflectometry) módszer a talajban a rádiófrekvenciás elektromágneses hullámok terjedési sebességét alapul véve meghatározza a talaj nedvesség-tartalmát. A műszer egy nedvességmérő fejből, két, 20-20 cm-es mérőszálból, valamint egy adatgyűjtő egységből áll. A méréseket a széndioxid-koncentráció mérésével egy időben hajtottuk végre.

3.4. A STATISZTIKAI ELEMZÉS MÓDSZEREI

A statisztikai elemzéseket az R statisztikai környezetben RStudio grafikus felülettel, {gplots}, {car} és {agricolae} csomagok segítségével végeztük el. A grafikonokat Ms Excel 2010 programmal készítettük el.

A mezőgazdaságban gyakran előforduló biológiai és környezeti változók miatt az elsőfajú hiba elkövetésének maximális valószínűségét 5%-nak ($\alpha = 0,05$) választottuk.

HUZSVAI és BALOGH példái alapján ismételt mérési modellt alkalmaztunk a széndioxid-kibocsátás, a talajhőmérséklet és talajnedvesség elemzésére. Ezzel a modellel az öntözés és talajművelés hatását lehet becsülni az időben megismételt adatok alapján. A szignifikáns tényezők szintjeit Duncan-tesztel hasonlítottuk össze. Ez egy valódi

többszörös középérték összehasonlító teszt, amely kiküszöböli a széles körben használt LSD teszt hibáját.

A talajhőmérséklet illetve léghőmérséklet és a talajnedvesség valamint a szén-dioxid emisszió közötti összefüggést a tenyészidőszakban többszörös lineáris regresszió-analízissel modelleztük. Az egész évre viszont az O'Connell modellt használtuk. Ez a modell nem lineáris, jobban használható szélsőségesen ingadozó léghőmérsékletek mellett. Az O'Connell modell segítségével megbecsültük a 2 méteres léghőmérséklet és az emisszió közötti összefüggést. A modell három paraméterét nemlineáris regresszió-analízissel határoztuk meg a legkisebb négyzetek módszerével. A becült napi adatok alapján meghatároztuk az éves kibocsátást is.

3.4.1. A talaj szénmérlege

A mezőgazdasági területek szerepe a szén-dioxid-körforgásban igen jelentős, ezért is érdemes meghatározni, hogy az adott terület kibocsátó, elnyelő, avagy semleges.

A biomasszamérés az ökoszisztémában található szénmennyiség mérésének egy általános módszere. Mezőgazdasági területek szénforgalmának vizsgálatához a termésből következtetnek (harvest index, HI), vagyis a hasznos termés és a teljes felszín feletti biomassza arányának számítása, melyek terület és gabonaszpecifikus egyenletekhez vezetnek (SMITH et al., 2010).

Legtöbb adat a termésről áll rendelkezésünkre a mérések és különböző becslések eredményeként, a gyökér és a levél mennyiségét gyakran a termés adott részének számítják. Az NPP (nettó elsődleges produkció) értékét a teljes száraz tömeg 0,45-0,5-szörösének veszik (SMITH et al., 2010).

AZ NPP másik kiszámítási útja a bruttó elsődleges produkció (GPP) és az autotróf respiráció (R_{auto}) különbsége

$$NPP = GPP - R_{\text{auto}}$$

Területi eloszlás alapon Magyarországon az alföldi régióban a legalacsonyabb a GPP érték, magasabb értékek az ország nyugati, észak-nyugati és észak-keleti részein fordulnak elő (DOBOR, 2016). Ennek lehetséges okai a talajtextúra, valamint a csapadékeloszlás lehet.

DOBOR (2016) kutatásai alapján a GPP országos átlaga a Biome-BGCMuSo szimulációi alapján az 1986-2013 időszakra kukorica esetén $953 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$. A jövőre

tekintettel megállapítja, hogy a szénfelvétel mértéke csökkenhet, azaz több szén-dioxid maradhat a légkörben.

GILMANOV et al. (2010) a mezőgazdasági-, gyeper-, és vizes területek felet végzett vizsgálataira arra a következtetésre jutottak, hogy a művelt gyeper és mezőgazdasági területek szénnyelők, viszont az elszállított biomassza mennyisége miatt ez a megállapítás nem jelenti azt, hogy az ökoszisztéma szénfelhalmozásához hozzájárulna.

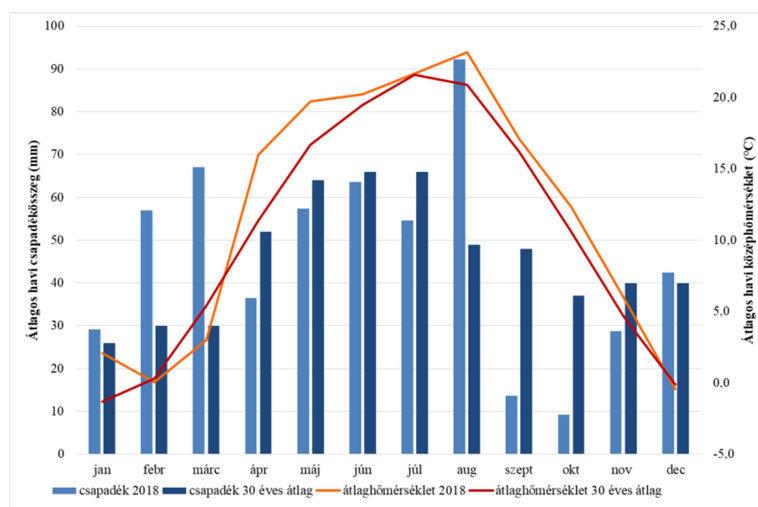
Méréseink a talajfelszíni szén-dioxid mennyiségre, a terméseredményekre, valamint az ebből meghatározható értékekre épültek, amely alapján szén-körforgalom-mérést végeztünk el. Az egyes művelési módokban külön vettük a vizsgálati évek termés eredményeit, így átfogó képet kaptunk az őszi szántott, sávos és lazított terület terméseredményeiről, amelyet össze is vetettünk egymással a talajművelés szempontjából is.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A KÍSÉRLETI ÉVEK IDŐJÁRÁSA

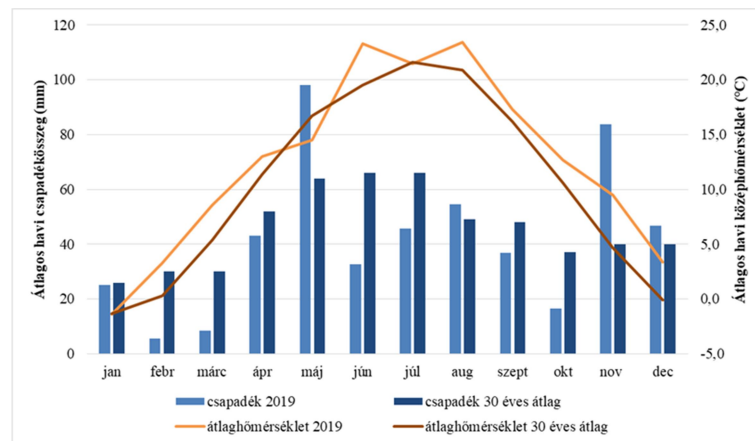
A kísérlet időjárási viszonyainak értékelését Gombos és Nagy (2019) a Debreceni Egyetem Agrometeorológiai és Agroökológiai Monitoring Központ által működtetett automata mérő- és adatgyűjtő állomás adatai alapján végeztük el. A sokévi átlagtól való eltérés vizsgálatához az Országos Meteorológiai Szolgálat Debrecen-Repülőtér állomásának 1981-2010-es (legújabb 30 éves) klímaadatait használtam fel (www.met.hu).

A 2018 évi vizsgálati időszak csapadékadatait kielemezve elmondható, hogy a 30 éves csapadékatlagnál magasabb értékeket mértek január, február, március, augusztus és december hónapokban, a sokévi átlagot meghaladta a közel 130 mm lehullott csapadék. Kifejezetten magasabbak voltak az értékek február, március és augusztus hónapokban. A téli hónapok az átlagosnál lényegesen enyhébbek voltak, február és március hónapokban volt igazán alacsony a hőmérséklet, amely alulmúlta a sokéves átlagot. Az áprilisi és májusi rendkívül meleg hónapok után a júliusi hőmérséklet megegyezett az átlag hőmérséklettel. A havi csapadék adatok az átlagoshoz közeliak voltak. Július végétől ismételen melegedés kezdődött, ebben az időszakban jelentős csapadék sem hullott, majd csak augusztus végén volt újra jelentős mennyiségű csapadék. Az őszi hónapok csapadékadatai jóval elmaradtak az átlagtól, azonban a hőmérsékleti adatok mind a három hónapban meghaladták azt (5. ábra).



5. ábra: Csapadék és hőmérséklet adatok (Látókép, 2018)

A 2019-es tenyészidőszakot megelőzően a téli hónapok során kevés csapadék hullott, amely az átlag alatt maradt. A látóképi csapadékatokat kielemezve és összevetve a 30 éves átlaggal azt állapítottuk meg, hogy a májusi és a novemberi adatok szignifikánsan különböznek a 30 éves átlagtól, a májusi hónap kifejezetten csapadékos és hűvös volt, ezt követően júniusban viszont az átlag alatt maradt a lehullott csapadék mennyisége. A júniusi középhőmérséklet is meghaladta az ekkor szokásosat, azonban a júliusi hónapban visszaesett a hőmérséklet az ilyenkor szokásos szintre, a lehullott csapadék mennyisége viszont meghaladta az átlagot. Augusztusban ismét átlagon felüli meleg és átlagot meghaladó csapadékmennyiség volt. Az év hátra lévő részében a hőmérsékleti adatok az átlag fölött voltak, míg a csapadékatok az ősz első két hónapjában elmaradtak az átlagtól, addig novemberben és decemberben meghaladták azt (**6. ábra**).



6. ábra: Csapadék és hőmérséklet adatok (Látókép, 2019)

4.2. AZ ISMÉTELT MÉRÉSI MODELL EREDMÉNYE A NAPI DINAMIKÁBAN, 2018

A vizsgálatokat ismételt anovával vizsgáltuk, amelyben összevetettük a mérések időpontját, a talajművelés módját és az öntözést, valamint ezek kölcsönhatásait (**6. táblázat**).

Kísérletemben külön vizsgáltuk a napi dinamika talajhőmérséklet változását is. Ismételt mérési modellel vizsgáltuk meg a talaj hőmérsékleti eredményeit befolyásoló tényezőket; az öntözés, a mérési időpont és a talajművelés függvényében. A

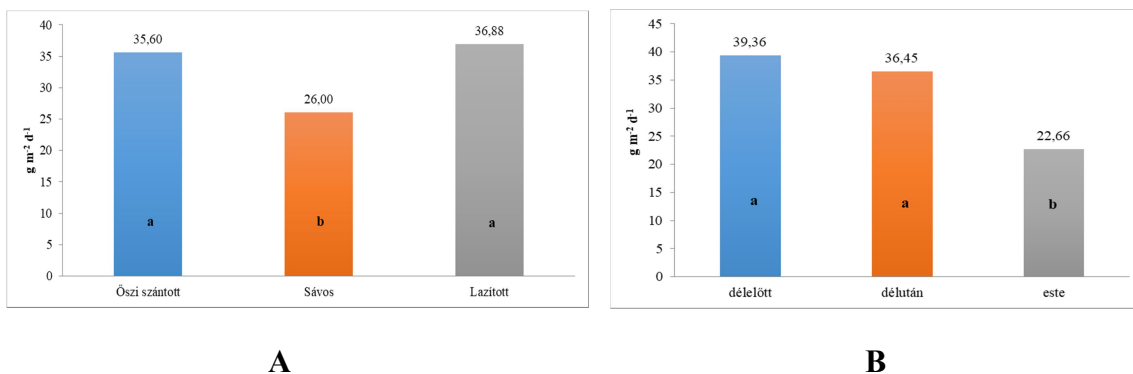
talajhőmérséklet méréseinket a szén-dioxid-koncentráció méréssel párhuzamosan végeztük el.

6. táblázat: Napi CO₂-dinamika alakulása 2018. június 12-én ismételt mérési modell alapján

	Szabadságfok	Eltérés_négyzetösszege	Variancia	F_érték	Szignifikancia
Talajművelés	2	2123	1061,7	6,388	0,00597
Öntözés	1	530	530,3	3,19	0,08671
Talajművelés:Öntözés	2	121	60,4	0,364	0,69898
Maradék	24	3989	166,2		
Mérési_időpont	2	4776	2388	13,671	2,00E-05
Talajművelés*Mérési_időpont	4	2654	663,5	3,799	0,00921
Öntözés*Mérési_időpont	2	658	328,9	1,883	0,16318
Talajművelés:Öntözés*Mérési_időpont	4	1739	434,6	2,488	0,05564
Maradék	48	8384	174,7		
Szignifikancia_kód: 0 '****' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

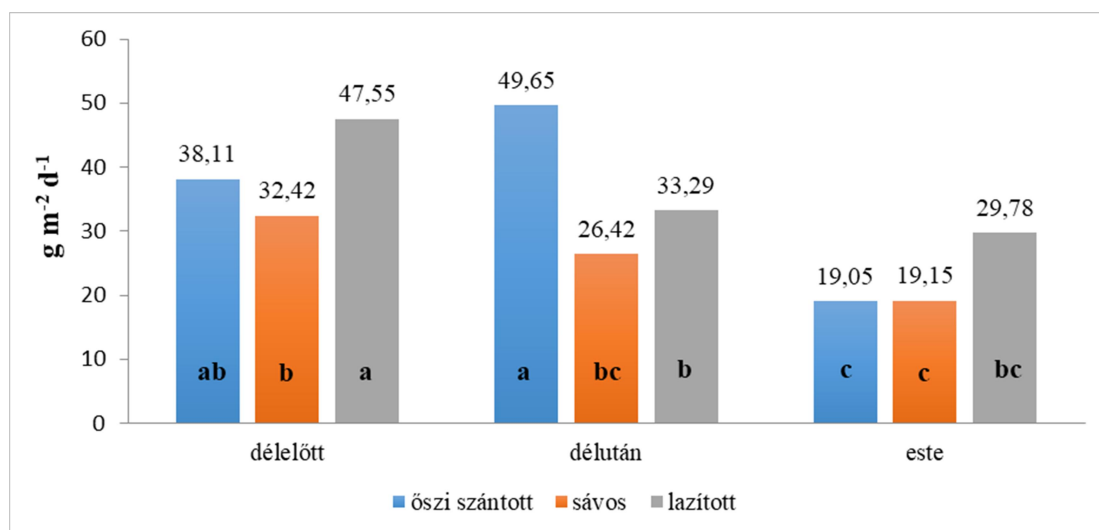
Az első vizsgálatunk 2018. június 12-én volt, akkor 3 alkalommal végeztük el a szén-dioxid-koncentráció mérését, a délelőtti órákban, délután, és este 19 órakor. A talajművelésnek szignifikáns hatása volt a mérési időpontokban a szén-dioxid-koncentrációra. A legnagyobb kibocsátási értéke a lazított területnek volt, 36,88 g m⁻² d⁻¹, amelytől szignifikánsan nem tért el a szántott terület értéke (35,6 g m⁻² d⁻¹). A sávos terület értéke szignifikánsan eltért a másik két terület értékeitől, itt 26 g m⁻² d⁻¹-t mértük. (7. ábra, A).

A napszakokat megvizsgálva a legmagasabb kibocsátási értékeket délelőtt mértük (9. ábra, B). A délutáni érték (36,45 g m⁻² nap⁻¹) szignifikánsan nem tért el a délelőttitől, az esti érték viszont jelentősen visszaesett, 22,66 g m⁻² d⁻¹.



7 ábra: A CO₂-koncentráció napi dinamikája a talajművelés (A) és a mérési időpont (B) függvényében (Látókép, 2018.06.12)

A napszakok és a talajművelési módok hatását megvizsgálva a kibocsátási értékekre, a legmagasabb értéket az őszi szántott területen kaptuk, délutáni mérési időpontban (49,65 g m⁻² d⁻¹), amelytől a lazított terület délelőtti mérése (47,55 g m⁻² d⁻¹) nem tér el szignifikánsan (**8. ábra**). A sávós délelőtti mérés (32 g m⁻² d⁻¹) és a lazított terület délutáni mérése (33,29 g m⁻² d⁻¹) nem tért el jelentősen egymástól, valamint az őszi szántott terület (19,05 g m⁻² d⁻¹) és a sávós terület (19,15 g m⁻² d⁻¹) esti eredményei is közel azonosak voltak. Az őszi szántott terület esetében volt a legnagyobb a változás, itt mértük a legmagasabb és a legalacsonyabb értéket is a nap folyamán.



8. ábra: A napszakok és a talajművelés hatása a CO₂-koncentráció mérés eredményére (Látókép, 2018.06.12)

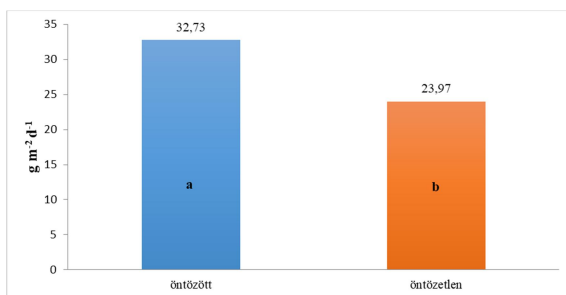
A júliusi napi dinamika mérés eredményit ismételt mérési modellel vizsgáltuk meg, ahol a talajművelés és az öntözést hatását vetettük össze a mérési időpontok függvényében (7. táblázat).

7. táblázat: Napi CO₂-dinamika alakulása 2018. július 10-én ismételt mérési modell alapján

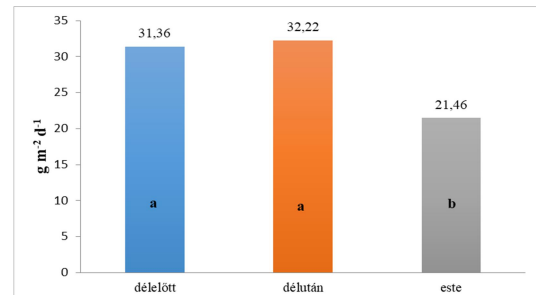
	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszege	Variancia	F érték	Szignifikancia
Talajművelés	2	2123	1061,7	6,388	0,00597
Öntözés	1	530	530,3	3,19	0,08671
Talajművelés×Öntözés	2	121	60,4	0,364	0,69898
Maradék	24	3989	166,2		
Mérési időpont	2	4776	2388	13,671	2,00E-05
Talajművelés×Mérési	4	2654	663,5	3,799	0,00921
Öntözés×Mérési időpont	2	658	328,9	1,883	0,16318
Talajművelés×Öntözés×Mérési időpont	4	1739	434,6	2,488	0,05564
Maradék	48	8384	174,7		
Szignifikancia kód: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

A 2018. július 10-i napi dinamika vizsgálatokor az öntözésnek is volt szignifikáns hatása, az öntözött terület szén-dioxid koncentrációja magasabb volt (32,73 g m⁻² d⁻¹), mint az öntözetlené (23,97 g m⁻² d⁻¹) (9. ábra, A).

Napszakokra lebontva a délelőtti (31,36 g m⁻² d⁻¹) és a délutáni (32,22 g m⁻² d⁻¹) időpontok vizsgálati eredményei nem különböztek egymástól szignifikánsan, az esti érték ellenben szignifikánsan alacsonyabb volt, 21,46 g m⁻² d⁻¹ (9. ábra, B).



A

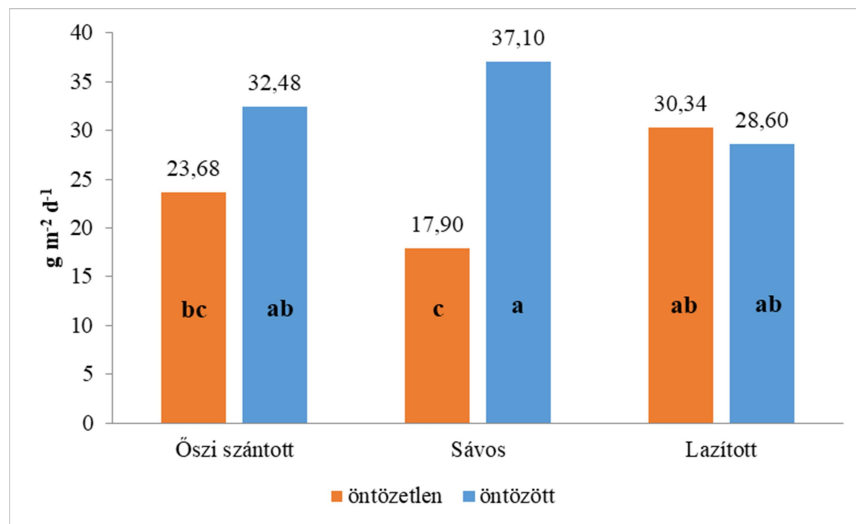


B

9. ábra: A CO₂-koncentráció napi dinamikája a talajművelés (A) és a mérési időpont (B) függvényében (Látókép, 2018.07.10.)

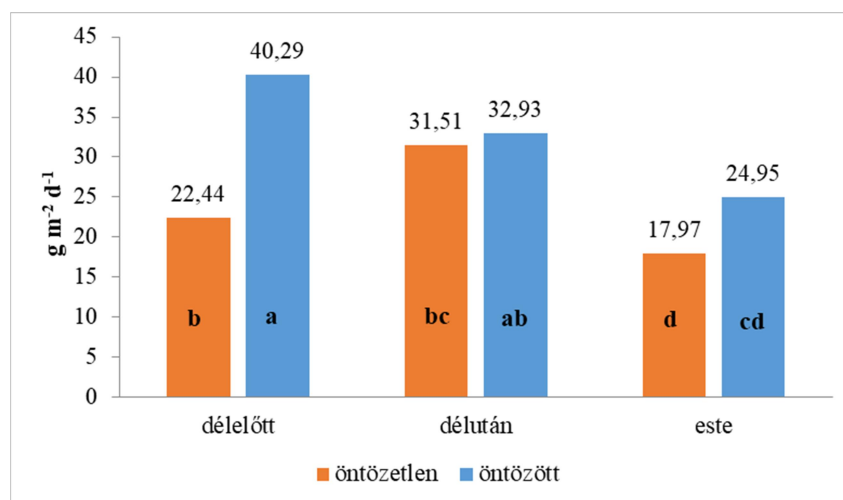
Az öntözés és a talajművelés hatását nézve a szén-dioxid-koncentrációra, a legnagyobb értéket a sávos területen mértük, öntözött területen (37,10 g m⁻² d⁻¹) (10. ábra). A

lazított terület értékei nem tértek el egymástól szignifikánsan ($30,34 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ öntözetlen és $28,60 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ öntözött területen), valamint az őszi szántott, öntözött terület értékétől ($32,48 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) sem. Az őszi szántott és a sávos területen is az öntözött terület értékei voltak magasabbak, a lazított területen pedig nem tértek el egymástól szignifikánsan.



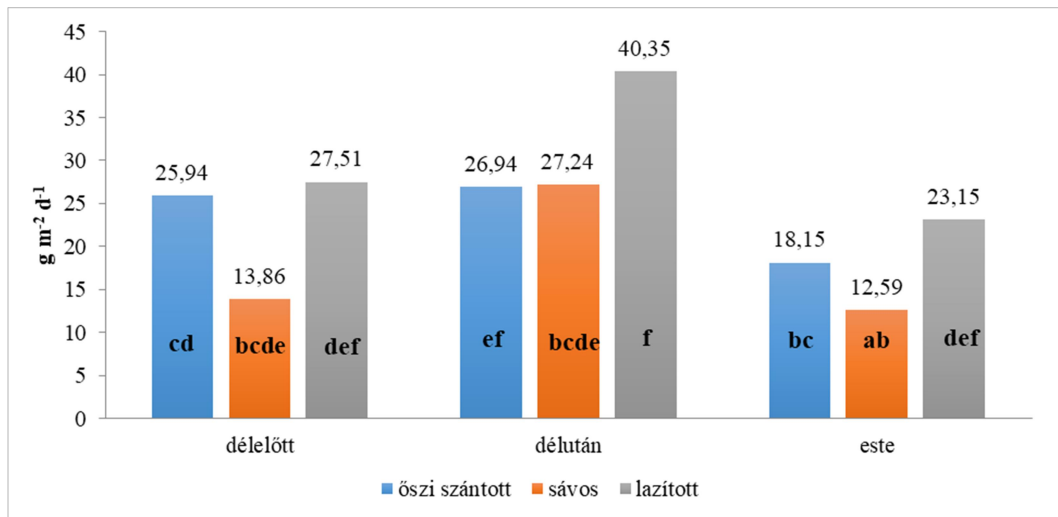
10. ábra: Az öntözés és a talajművelés hatása a CO₂-koncentráció eredményére (Látókép, 2018.07.10.)

A mérési időpont és az öntözés hatása kapcsán a legmagasabb kibocsátási értékeket öntözött területen kaptuk, mind a három napszakban (**11. ábra**). Az öntözetlen terület délelőtti ($22,44 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és az esti ($17,97 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) értékei szignifikánsan nem tértek el egymástól. A legmagasabb értéket a délelőtti, öntözött területen kaptuk ($40,29 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), amely a délutáni és az esti eredményektől is szignifikánsan különbözik öntözött és öntözetlen területen is.



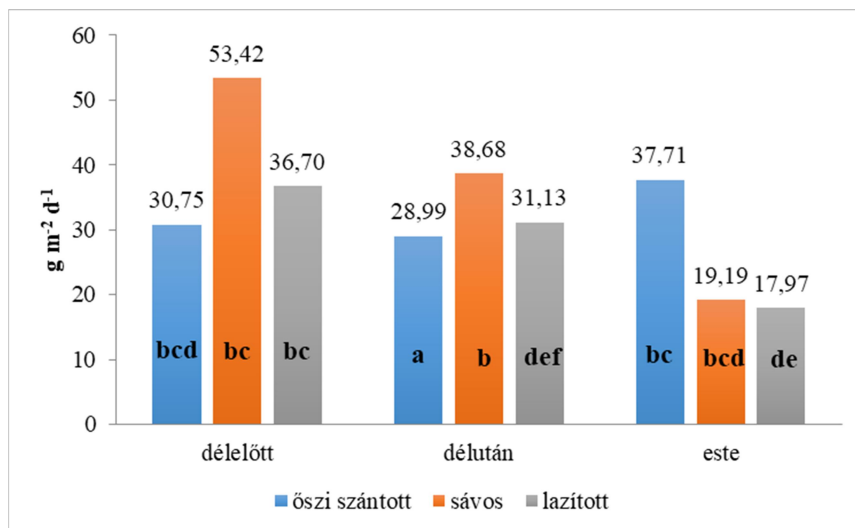
11. ábra: Az öntözés hatása a CO₂-koncentráció eredményeire (Látókép, 2018.07.10.)

Öntözetlen területen a mérési időpont és a talajművelés hatása a legnagyobb értékeket a délutáni órákban kaptuk lazított területen (**12. ábra**). A déli időpontban az őszi szántott terület ($26,94 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és a sávos terület ($27,24 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) értékei, valamint a lazított terület értéke ($27,51 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) nem különböztek egymástól szignifikánsan. A sávos területen délelőtt ($13,86 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és este ($12,59 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) is a legalacsonyabb értékeket mértük.



12. ábra: A talajművelés hatása öntözetlen területen CO₂-koncentráció eredményére (Látókép 2018.07.10.)

Öntözött területen délelőtti órákban a sávos területen kaptuk a legmagasabb CO₂-kibocsátási értéket ($53,42 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), amely művelési módnál a délutáni órában is a legmagasabb volt a kibocsátás értéke ($38,86 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a három talajművelési mód közül (**13. ábra**). Az őszi szántott terület délelőtti ($30,75 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és délutáni ($28,99 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) mérései nem különböztek egymástól szignifikánsan, ahogy a lazított terület délelőtti ($36,70 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), a sávos terület délutáni ($38,68 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és az őszi szántott esti ($37,71 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) értékei sem. A legalacsonyabb értéket a lazított területen mértük este, $17,97 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ -ot.



13. ábra: A talajművelés hatása a CO₂-koncentráció eredményeire öntözött területen (Látókép 2018.07.10.)

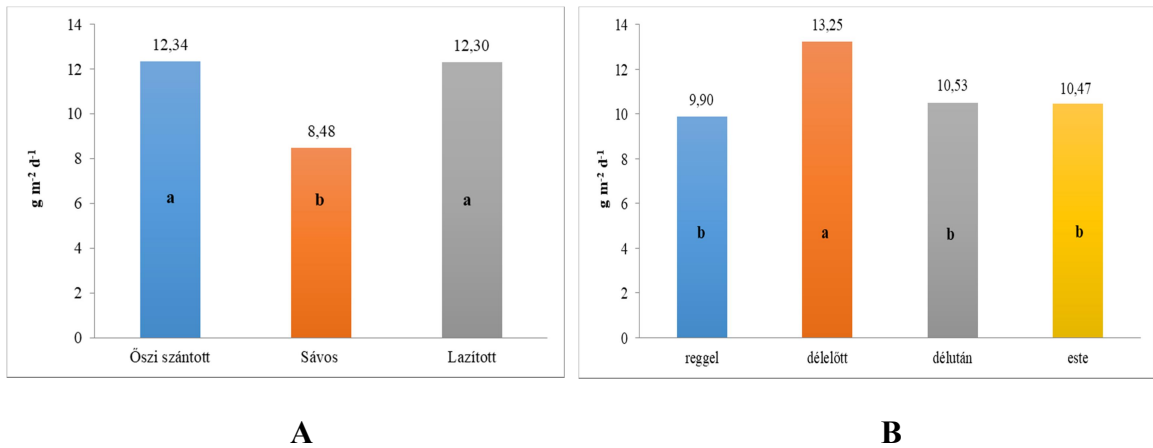
Az augusztusi napi dinamika eredményeit ismételt anovával elemeztük, amelyben összevetettük a talajművelés és az öntözés hatását a mérési időpontok függvényében (**8. táblázat**).

8. táblázat: Napi CO₂-dinamika alakulása 2018. augusztus 14-én ismételt mérési modell alapján

	Szabadságfok	Eltérés	Variancia	F	Szignifikancia
Talajművelés	2	392,9	196,45	12,296	0,000211
Öntözés	1	0,9	0,91	0,057	0,813069
Talajművelés×Öntözés	2	166,9	83,46	5,224	0,013082
Maradék	24	383,5	15,98		
Mérési időpont	3	203,5	67,84	4,27	0,00784
Talajművelés×Mérési időpont	6	211,2	35,19	2,215	0,051173
Öntözés×Mérési időpont	3	307,6	102,54	6,454	0,000623
Talajművelés×Öntözés×Mérési	6	177,1	29,51	1,858	0,100015
Maradék	72	1143,9	15,89		
Szignifikancia_kód: 0 '****' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

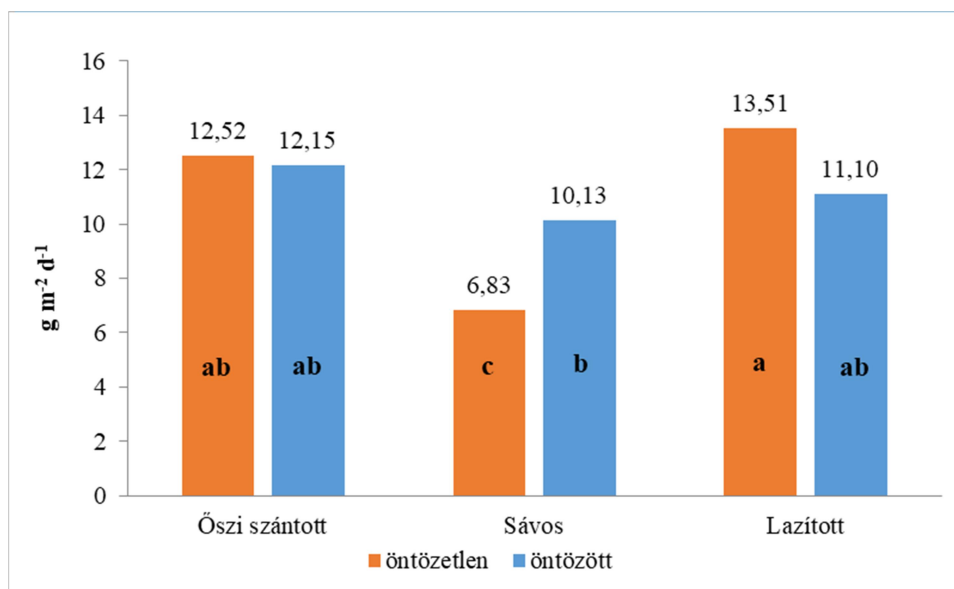
A talajművelés hatása a 2018. augusztus 14-i mérés alkalmával szignifikáns volt a kibocsátási értékekre (**14. ábra, A**). A legnagyobb CO₂-emisszió értéket az őszi szántott területen mértük (12,34 g m⁻² d⁻¹), ami nem tért el szignifikánsan a lazított terület értékétől (12,30 g m⁻² d⁻¹). A legalacsonyabb kibocsátási értéket a sávós művelésben mértük, 8,48 g m⁻² d⁻¹ volt. A kibocsátás kisebb volt, mint a júniusi mérés alkalmával, de a tendenciában nem tért el, mind a két méréskor a sávós művelés értéke volt a legalacsonyabb.

Napszakokra lebontva a délelőtti méréskor kaptuk a legmagasabb értéket ($13,25 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), a reggeli ($9,9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), a délutáni órákban mért ($10,53 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és esti $10,47 \text{ (g m}^{-2} \text{ d}^{-1})$ értékek nem különböztek egymástól szignifikánsan (**14. ábra, B**)



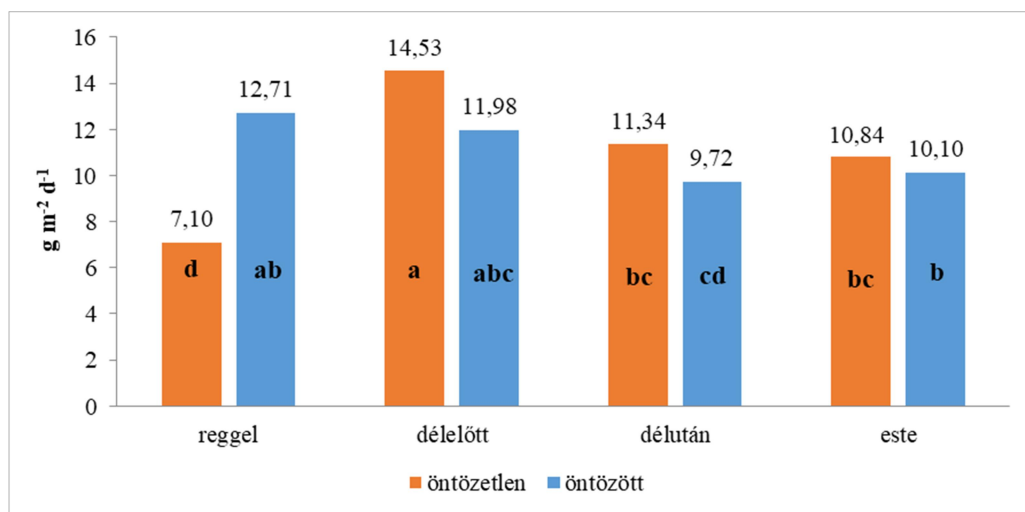
14. ábra: A CO₂-koncentráció napi dinamikája a talajművelés (A) és a mérési időpont (B) függvényében (Látókép, 2018.08.14.)

A talajművelés és az öntözés hatását vizsgálva a legnagyobb értéket az öntözetlen területen kaptuk a lazított talajművelésben ($13,51 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (**15. ábra**). Az őszi szántott értékek nem különböztek egymástól szignifikánsan ($12,52 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ és $12,15 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), valamint a lazított terület öntözött értéke ($11,10 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) sem. A legalacsonyabb értéket a sávós területen mértük, öntözetlen körülmények között ($6,83 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).



15. ábra: A talajművelés és az öntözés hatása a CO₂-koncentráció eredményére (Látókép, 2018.08.14.)

Mérési időpontok és az öntözés hatását megvizsgálva, a délelőtti órában, öntözetlen körülmények között kaptuk a legmagasabb értéket ($14,53 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (16. ábra). Öntözetlen körülmények között a délutáni ($11,34 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és az esti ($10,84 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) érték között nem volt szignifikáns különbség, öntözött területen pedig az esti érték ($10,10 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) nem tért el. Legalacsonyabb értéket reggel kaptuk öntözetlen területen ($7,1 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).



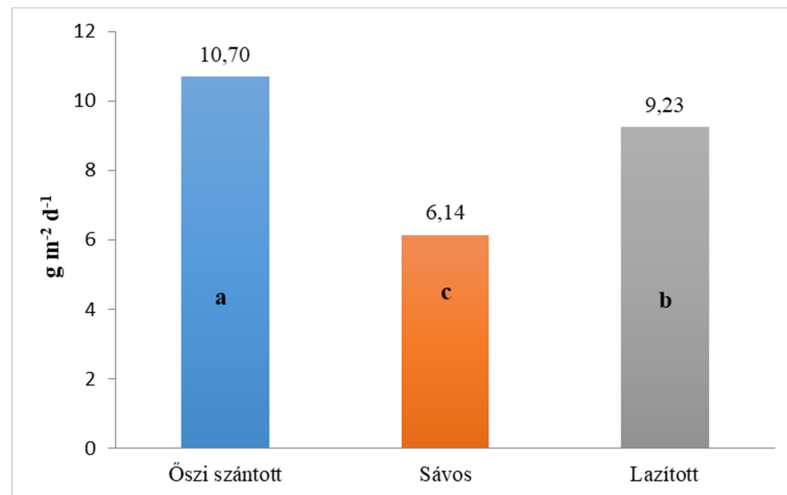
16. ábra: Az öntözés hatása CO₂-koncentráció eredményére (Látókép, 2018.08.14.)

A szeptemberi napi dinamika eredményeit ismételt anovával elemeztük, amelyben összevetettük a talajművelés és az öntözés hatását a mérési időpontok függvényében (9. táblázat).

9. táblázat: Napi CO₂-dinamika alakulása 2018. szeptember 13-án ismételt mérési modell alapján

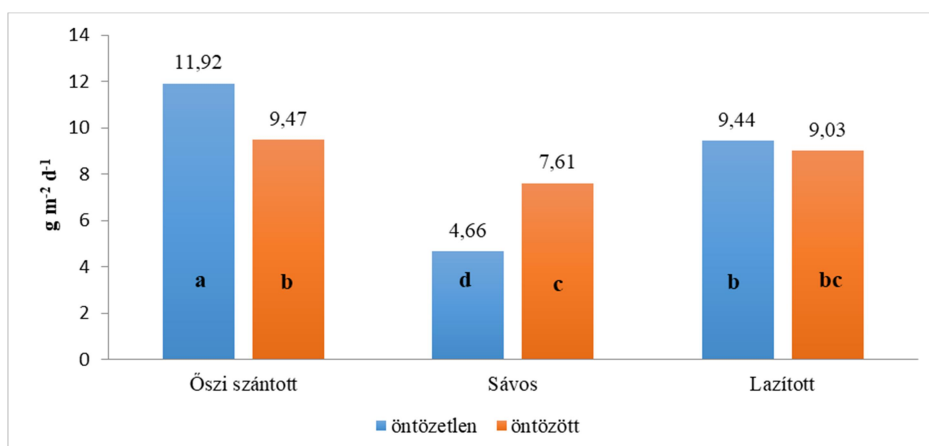
	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszege	Variancia	F érték	Szignifikancia
Talajművelés	2	434	216,99	31,136	2,15E-07
Öntözés	1	0	0,02	0,003	0,95377
Talajművelés×Öntözés	2	148,4	74,2	10,648	0,00049
Maradék	24	167,3	6,97		
Mérési időpont	3	67,8	22,597	2,149	0,102
Talajművelés×Mérési időpont	6	71,3	11,882	1,13	0,354
Öntözés×Mérési időpont	3	12,4	4,137	0,393	0,758
Talajművelés×Öntözés×Mérési időpont	6	114,8	19,136	1,82	0,107
Maradék	72	757,1	10,515		
Szignifikancia_kód: 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 * , 0,1 ' 1					

Szeptemberben szintén a sávos területen kaptuk a legalacsonyabb kibocsátási értéket ($6,14 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (17. ábra). Összességében az értékek kisebbek voltak, mint az előző havi napi dinamika alkalmával. A legnagyobb értéket az őszi szántott területen kaptuk ($10,70 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), amely szignifikánsan különbözött a lazított terület értékétől ($9,23 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).



17. ábra: A CO₂-koncentráció napi dinamikája a talajművelés függvényében (Látókép 2018.09.13.)

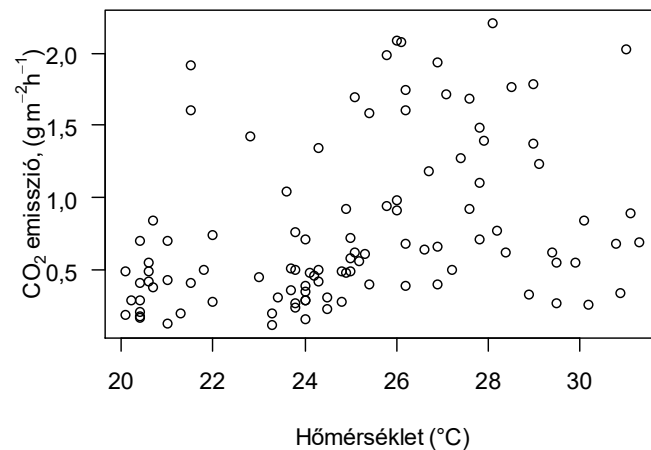
A talajművelés és az öntözés hatása a szeptemberi napi dinamikára alacsonyabb kibocsátási értékeket mutatott, mint az előző hónap (18. ábra). A legmagasabb értéket az őszi szántott területen kaptuk öntözetlen körülmények között ($11,92 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Az őszi szántott öntözött ($9,47 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és a lazított öntözetlen ($9,44 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) terület eredményei nem különböztek egymástól szignifikánsan. A legalacsonyabb értéket a sávos, öntözetlen területen kaptuk ($4,66 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).



18. ábra: A talajművelés és öntözés hatása a CO₂-koncentráció eredményére (Látókép, 2018.09.13.)

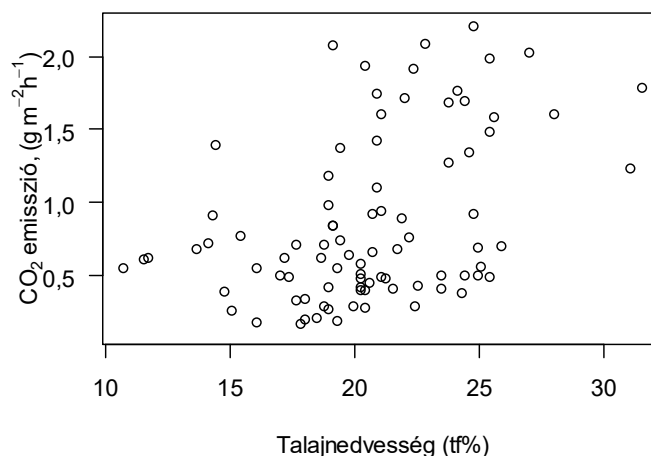
4.3. NAPI SZÉN-DIOXID-DINAMIKA MÉRÉSEK, 2018.

A 2018. évi napi dinamika eredményeinket átlagolva összevetettük a Debreceni Egyetem MÉK Precíziós Növénytermesztési Kutatás-Fejlesztési Szolgáltató Központjától kapott órás lebontású adatokkal, amelyből kiderült, hogy szignifikáns összefüggés nem volt köztük, a hőmérséklet befolyásoló jellege a szén-dioxid-kibocsátásra alacsony volt. Az **19. ábra** is jól szemlélteti, hogy a szórás igen nagy a mért értékek között, egységes összefüggést nem lehet belőle levonni.



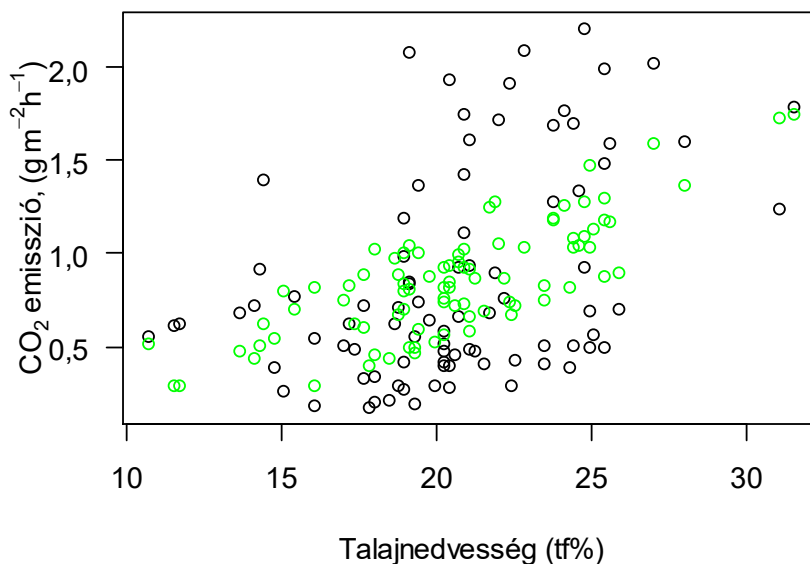
19. ábra: A hőmérséklet hatása a szén-dioxid-emisszióra (Látókép, 2018)

A talajnedvesség és a szén-dioxid-emisszió közti kölcsönhatás megvizsgálására O'Connell modellt használtunk. A modell értelmében az összefüggés gyenge eredményt mutatott, az értékek szórása nagy (**20. ábra**).



20. ábra: A talajnedvesség hatása a szén-dioxid-emisszióra (Látókép, 2018)

A hőmérsékletnek és a talajnedvességnek külön-külön nem volt szignifikáns hatása a szén-dioxid-kibocsátásra, azonban a két tényezőt együttesen figyelembe véve már kaptuk szignifikáns eredményt, e tényezők figyelembevételével a szén-dioxid-emisszió megfelelő pontossággal megbecsülhető. A lenti ábrán (**21. ábra**) a fekete körök a mért, a zöld körök a becült értékek a modell alapján.



21. ábra: A talajnedvesség és a hőmérséklet hatása a CO₂-emisszióra (Látókép, 2018)

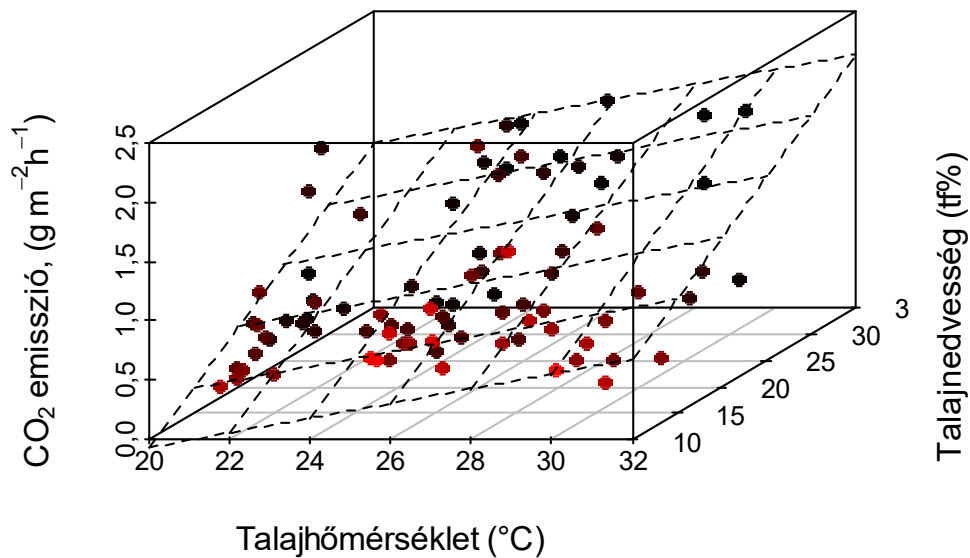
Többszörös lineáris regresszió analízist végeztünk a talajhőmérséklet és a talajnedvesség hatásának megvizsgálására (**10. táblázat**), arra voltunk kíváncsiak, hogy a szén-dioxid-kibocsátást mennyiben befolyásolják a változók. Az eredményeink alapján a talajhőmérsékletnek és a talajnedvességnek szignifikáns hatása volt a szén-dioxid-kibocsátásra.

10. táblázat: Lineáris regressziós analízis eredménye a becült CO₂-emisszióra, 2018

	Becsült érték	Standard hiba	t érték	Szignifikancia	
Metszéspont	-1.89745	0.49490	-3.834	0.000243 ***	
Talajnedvesség	0.06203	0.01303	4.760	7.99e-06 ***	
Talajhő	0.05837	0.1590	3.670	0.000424***	
Szignifikancia kód: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Maradék	Szabadságfok	Többszörös R-négyzet	Korrigált R-négyzet	F érték	Szignifikancia
0,4769	84	0,2935	0,2767	17,45	4.596e-07

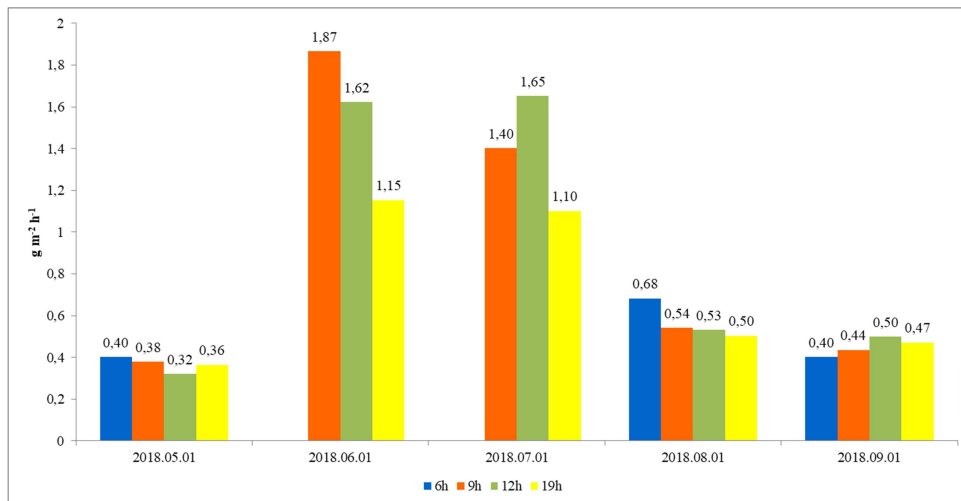
A szén-dioxid-emissziót befolyásoló talajhőmérséklet és talajnedvesség adatokat egy három dimenziós ábrán ábrázoltuk (**22. ábra**), ami jól mutatja a két magyarázó változó hatását. Külön-külön ilyen kimutatható eredménye nem volt a talajhőmérséklet és talajnedvesség befolyásoló szerepének, de együttesen a széndioxid-emisszió a

talajnedvesség és talajhőmérséklet növekedésével kimutathatóan növekszik. Mivel a változók egy szűk tartományban mozognak, ezért a regressziós sík megfelelő becslést ad a szén-dioxid-emisszió várható nagyságára.



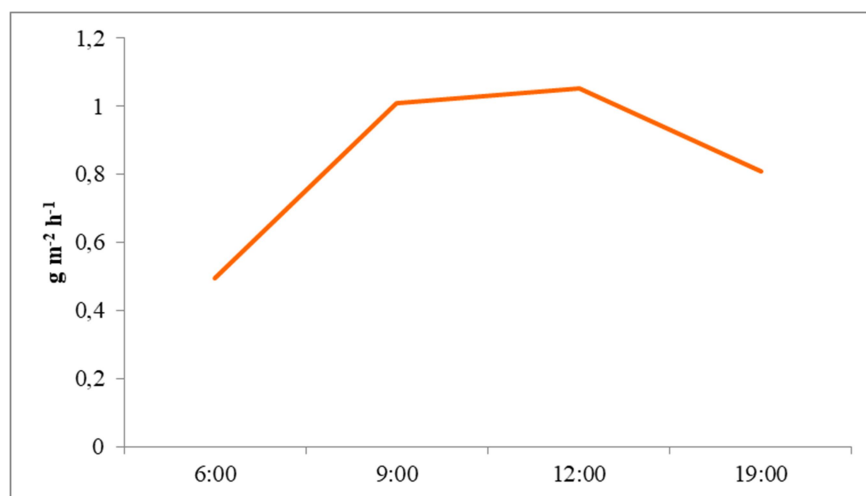
22. ábra: A talajhőmérséklet és talajnedvesség hatása a szén-dioxid-emisszióra
(Látókép, 2018)

Az óras kibocsátást jelentősen befolyásolta, hogy pontosan melyik napon melyik órában történt a kísérlet felvétele (**23. ábra**). A 2018-as évben június július hónapokban, délelőtt és délben kaptunk kimagasló értékeket. Június július hónapokban alapvetően magasabb volt minden napszaki mérés, mint a másik vizsgált hónapban a különböző napszakokban. A legmagasabb mindezek közül a júniusi mérés délelőtti időpontja, $1,87 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ értéket kaptuk. A júliusi mérés alkalmával a 12 órai mérés ($1,65 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) szignifikánsan meghaladta a többi napszak mért értékét. A májusi értékek alatta maradnak a többi hónap értékeinek, a legmagasabb értéket a reggeli mérés alkalmával kaptuk ($0,4 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), amely megegyezik az augusztusi mérés eredményével, amikor szintén a reggeli mérés volt a legmagasabb ($0,68 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).



23. ábra: A mérési időpontok hatása a talaj szén-dioxid-kibocsátására (Látókép, 2018)

Órás lebontásban megvizsgálva, a déli mérés volt a legmagasabb értékű ($1,05 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), míg a legalacsonyabb értékeket reggel mértük ($0,49 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (**24. ábra**). Ez összefüggésben áll a talaj felmelegedésével is, hiszen a reggeli órákban a talaj hőmérséklete alacsonyabb volt, a felmelegedés hatását már a délelőtti mérés alkalmával meg lehetett figyelni ($1,008 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), majd az esti mérés idejére a csökkenő talajhőmérséklettel együtt a talaj szén-dioxid kibocsátása is csökkent.



24. ábra: Az órás szén-dioxid-kibocsátás (Látókép, 2018)

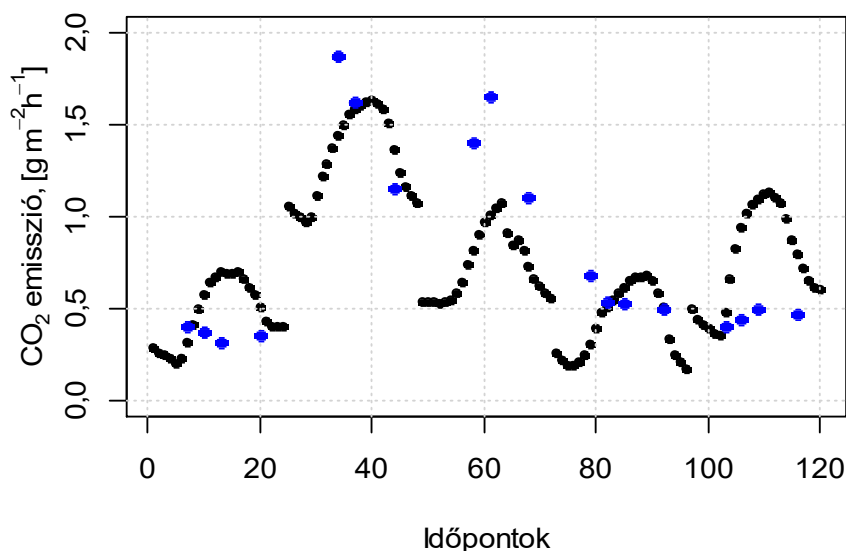
4.3.1. Órás léghőmérsékletek és talajnedvesség alapján a becsült CO_2 -emisszió.

A Központtól kapott órás 2 méteres léghőmérséklet adataink alapján regressziós modellel megbecsültük a szén-dioxid emissziót. A modell alapján a léghőmérséklet és talajnedvesség szignifikáns hatást gyakorolt a kibocsátásra. A többszörös R-négyzet értéke 0,52, szignifikáns érték volt, a becslés átlagos hibája $0,38 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (**11. táblázat**).

11. táblázat: A regressziós modell eredménye a becsült CO₂-emisszióra, 2018

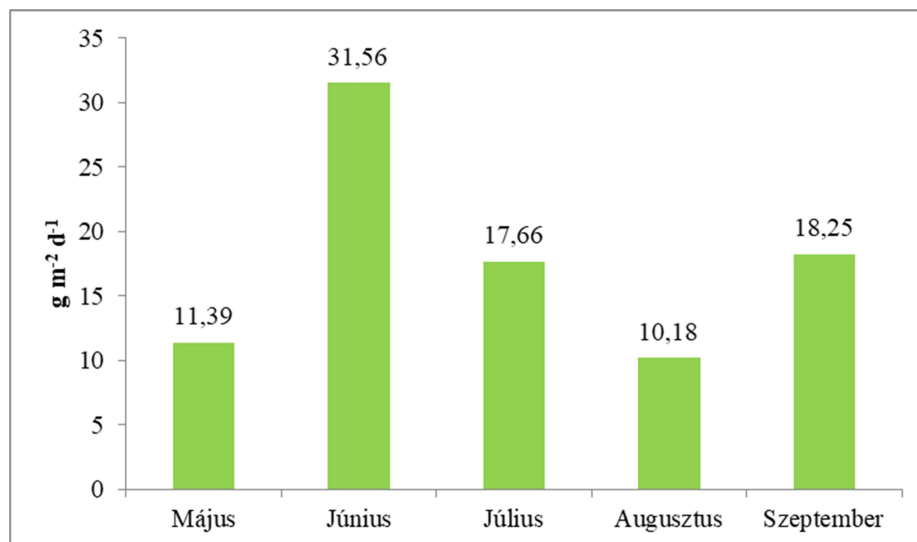
	Becsült érték	Standard hiba	t érték	Szignifikancia	
Metszéspon t	-3.03668	0.94908	-3.200	0.00597 **	
Levegő	0,04596	0.01970	2.334	0.03394 *	
Talajnedvesség	0.13366	0.03805	3.513	0.00314 **	
Szignifikancia kód: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Maradék	Szabadságfok	Többszörös R-négyzet	Korrigált R-	F érték	Szignifikancia
0.3827	15	0.5231	0.4595	8.225	0.003877

Az **25. ábrán** látható fekete pontok jelölik a modell alapján becsült értékeket, míg a kék pontok az általunk mért értékek. Látható, hogy sok az egybeesés a mért és a becsült értékek között, július hónapban a legszembetűnőbb az eltérés, viszont a többi hónapokban – május, augusztus hónapokban főleg – illeszkednek a mért értékek az általunk előre jelzett értékekre.



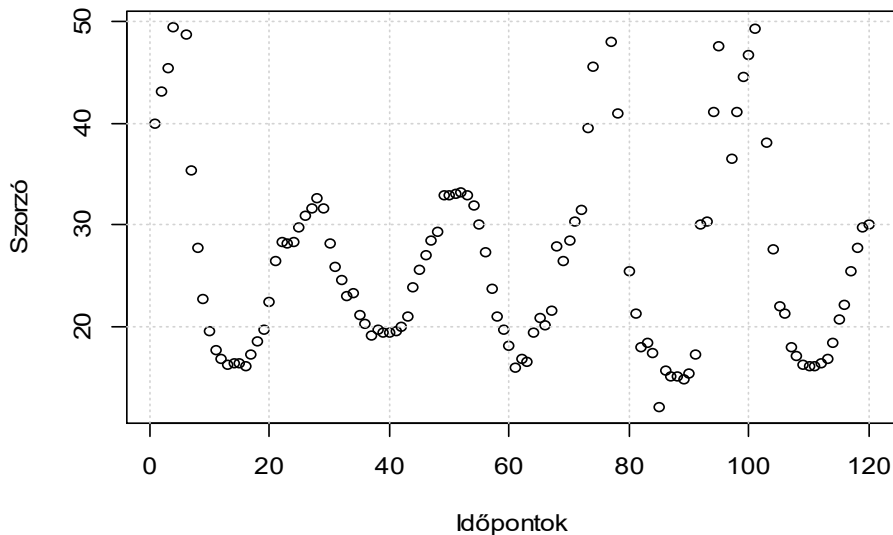
25. ábra: A becsült és a mért emissziós értékek az óras léghőmérséklet és talajnedvesség értékek alapján (Látókép, 2018)

A modell által becsült napi értékeket a **26. ábra** szemlélteti. A júniusi érték volt a legmagasabbra becsült ($31,56 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), amely egybe esik RULÍK (2018) méréseivel ($30,096 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). A többi hónap értékei elmaradnak ettől, leginkább az augusztusi hónap, amely $10,18 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ -ra becsült a modell által.



26. ábra: A vizsgált hónapok becsült napi kibocsátási értékei (Látókép, 2018)

Mivel ilyen eltérők lehetnek az eredmények a léghőmérséklet és a talajnedvesség alapján, felmerült bennünk a kérdés, hogy mennyivel kell megszorozni az óras aktuális mérés eredményét, hogy megbecsüljük a napi CO₂-emissziót? A modell által becsült napi emisszió értékeket elosztottuk az óras értékekkel, így kaptuk meg a szorzószámokat. A **27. ábra** mutatja az öt mért időpont 24 órás szorzószámait.



27. ábra: Az időpontok és a szorzótényezők összevetése

Az öt nap átlagai alapján meghatározott szorzószámokat mutatja az **12. táblázat**.

12. táblázat: Szorzószámok (K) a napi CO₂-emisszió becsléséhez, 2018

Óra	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
K	36	39	39	40	40	37	32	27	23	21	19	18	16	17	17	17	18	19	20	25	27	31	33	30

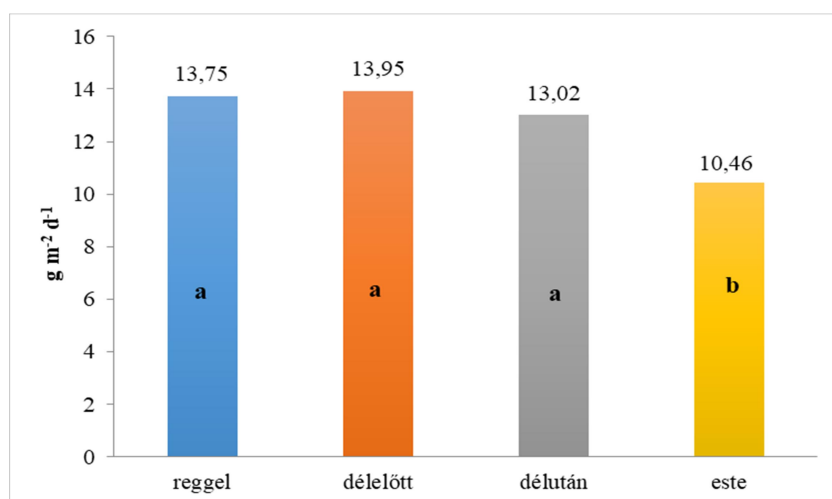
4.4. AZ ISMÉTELT MÉRÉSI MODELL EREDMÉNYE A NAPI DINAMIKÁBAN, 2019

A 2019-es évben a júniusi vizsgálat napi dinamika eredményeit ismételt mérési modellel elemeztük, amelyben összevetettük a talajművelés és az öntözés hatását a mérési időpontok függvényében (13. táblázat).

13. táblázat: Napi CO₂-dinamika alakulása 2019. június 12-én ismételt mérési modell alapján

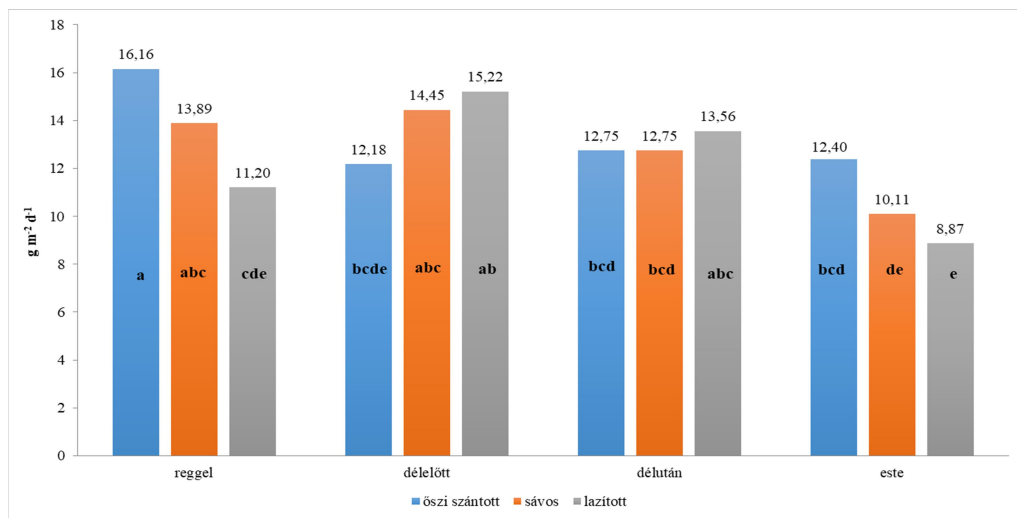
	Szabadságfok	Eltérés	Variancia	F	Szignifikancia
Talajművelés	2	26,75	13,38	1,047	0,3666
Öntözés	1	0,1	0,1	0,008	0,9303
Talajművelés×Öntözés	2	69,15	34,57	2,705	0,0872
Maradék	24	306,76	12,78		
Mérési időpont	3	232,5	77,51	5,407	0,002064
Talajművelés×Mérési időpont	6	214,5	35,76	2,494	0,03003
Öntözés×Mérési időpont	3	315,3	105,09	7,331	0,000235
Talajművelés×Öntözés×Mérési	6	344,2	57,37	4,002	0,001634
Maradék	72	1032,2	14,34		
Szignifikancia_kód: 0 '****' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

A június 12-i eredmények közül csak az este mért érték (10,46 g m⁻² d⁻¹) tért el szignifikánsan a többi eredménytől, ekkor mértük a legalacsonyabb értéket (28. ábra). A legmagasabb eredményt (13,95 g m⁻² d⁻¹) délelőtt kaptuk. Az előző évhez képest az értékek alacsonyabbak, de a tendencia hasonló volt.



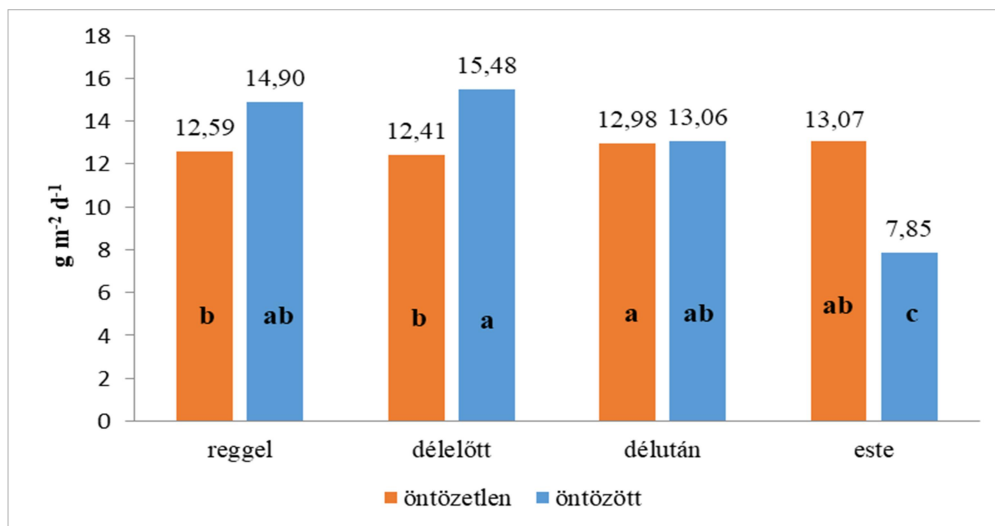
28. ábra: CO₂-koncentráció mérés eredménye a mérési időpontok függvényében (Látókép 2019.06.12.)

A művelési módok és mérési időpontok hatását megvizsgálva a CO₂-kibocsátásra a mért időpontban a sávos művelés reggeli (13,89 g m⁻² d⁻¹) és délelőtti (14,45 g m⁻² d⁻¹) értékei, valamint a lazított terület délelőtti eredményei (13,56 g m⁻² d⁻¹) szignifikánsan nem különböztek egymástól (**29. ábra**). A legmagasabb értéket reggel kaptuk az őszi szántott területen (16,16 g m⁻² d⁻¹), a legalacsonyabb érték a lazított területen volt az esti órákban (8,87 g m⁻² d⁻¹). Az őszi szántott terület délelőtti (12,75 g m⁻² d⁻¹) és esti (12,40 g m⁻² d⁻¹) eredményei, valamint a sávos terület déli eredménye (12,75 g m⁻² d⁻¹) szignifikánsan nem térnek el egymástól.



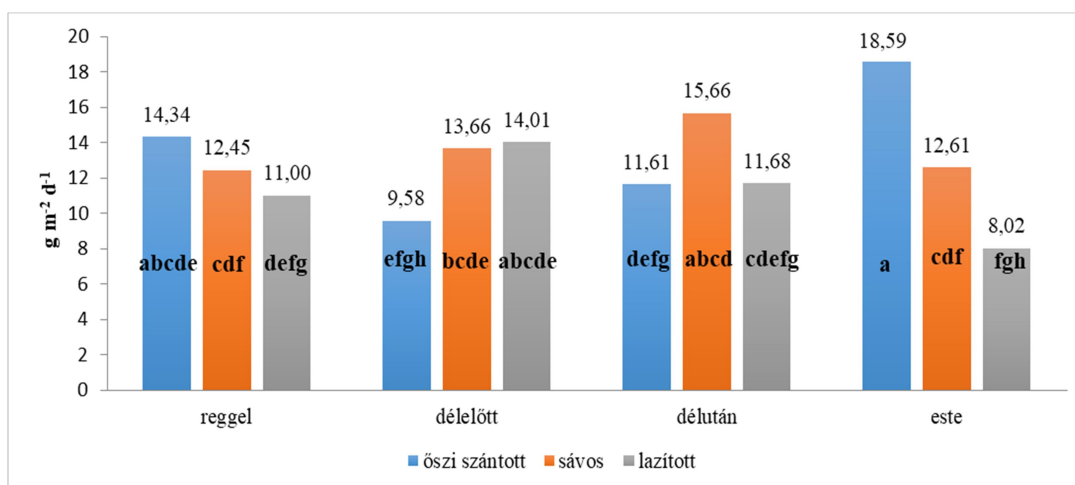
29. ábra: A talajművelés hatása a CO₂-koncentráció mérés eredményeire (Látókép 2019.06.12.)

A mérési időpontok és az öntözés hatását vizsgálva a legnagyobb kibocsátási értéket júniusban a délelőtti órákban kaptuk öntözött területen (15,48 g m⁻² d⁻¹) (**30. ábra**). A reggeli időpontban az öntözött (14,9 g m⁻² d⁻¹), a délutáni öntözetlen (12,98 g m⁻² nap⁻¹), a délutáni öntözött (13,06 g m⁻² d⁻¹) és az esti öntözetlen (13,07 g m⁻² d⁻¹) terület szignifikánsan nem különböztek egymástól. A reggeli (12,59 g m⁻² d⁻¹) és a délelőtti (12,40 g m⁻² d⁻¹) öntözetlen terület értékei is hasonlóak, szignifikánsan nem térnek el. A legkisebb értéket este az öntözött területen mértük (7,85 g m⁻² d⁻¹).



30. ábra: Az öntözés hatása a CO₂-koncentráció eredményeire (Látókép, 2019.06.12.)

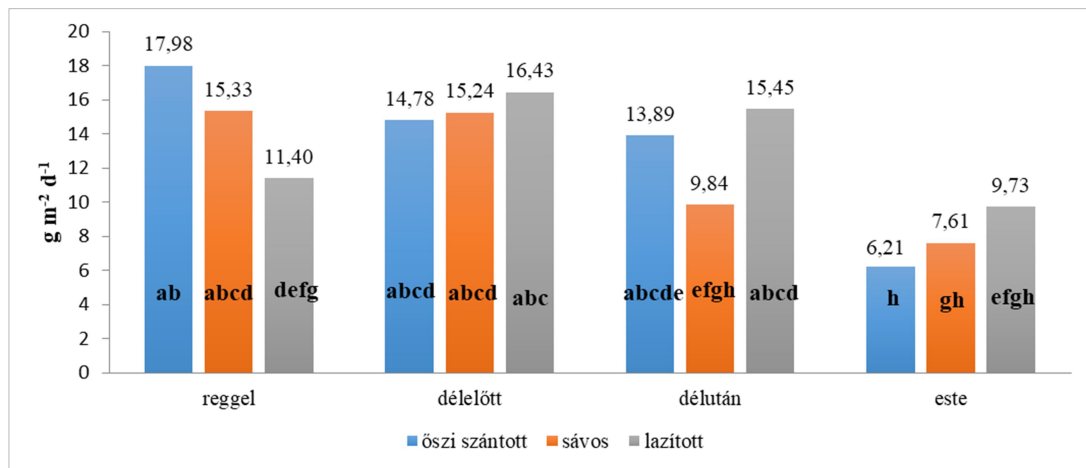
Öntözetlen területen a mérési időpontok és a talajművelések hatását vizsgálva a legmagasabb kibocsátási értéket este kaptuk az őszi szántott területen (18,59 g m⁻² d⁻¹) (31. ábra). A reggeli időpontban mért őszi szántott terület értéke (14,34 g m⁻² d⁻¹) és a délelőtt mért lazított terület értéke (14,01 g m⁻² d⁻¹) nem tért el szignifikánsan egymástól. A sávos művelésben a reggeli (12,45 g m⁻² d⁻¹) és az esti (12,61 g m⁻² d⁻¹) értékek estek egyben, valamint az őszi szántott délutáni (11,61 g m⁻² d⁻¹) és a lazított terület reggeli értékei (12,45 g m⁻² d⁻¹) is. A legalacsonyabb értéket a lazított területen kaptuk az esti órákban (8,02 g m⁻² d⁻¹).



31. ábra: A talajművelés hatása CO₂-koncentráció eredményeire az öntözetlen területen (Látókép, 2019.06.12.)

Öntözött területen a mérési időpont és a művelési mód hatása kapcsán a legmagasabb értéket a reggeli órákban kaptuk az őszi szántott területen (17,98 g m⁻² d⁻¹) (32. ábra).

Az őszi szántott délelőtti ($15,24 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), a sávos terület reggeli ($15,33 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és délelőtti ($15,24 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) értékei, valamint a lazított terület délutáni ($15,45 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) eredményei ezek egybe, nem különböztek egymástól szignifikánsan. A legalacsonyabb értéket is az őszi szántott területen mértük az esti órákban ($6,21 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).



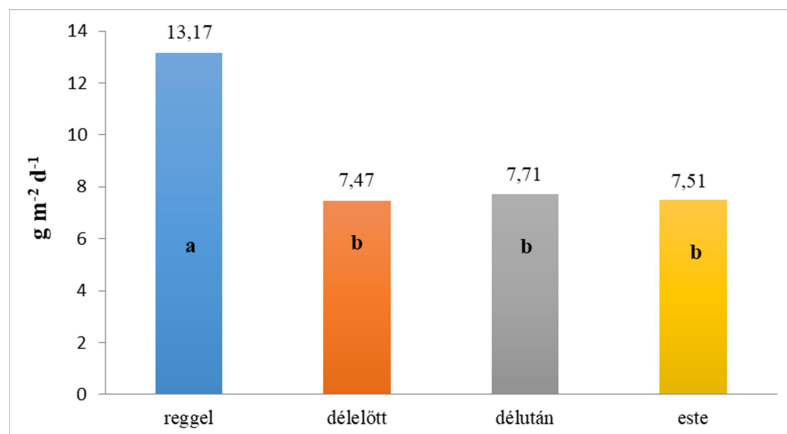
32. ábra: A talajművelés hatása a CO₂-koncentráció eredményeire öntözött területen (Látókép, 2019.06.12.)

A júliusi vizsgálat napi dinamika eredményeit ismételt mérési modellel elemeztük, amelyben összevetettük a talajművelés és az öntözés hatását a mérési időpontok függvényében (**14. táblázat**).

14. táblázat: Napi CO₂-dinamika alakulása 2019. július 15-én ismételt mérési modell alapján

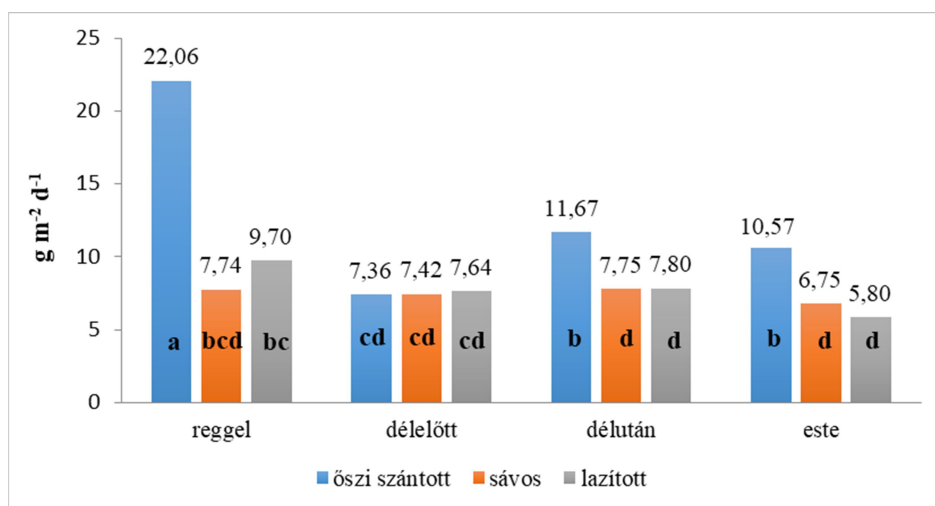
	Szabadságfok	Eltérés	Variancia	F	Szignifikancia
Talajművelés	2	789,4	394,7	21,23	4,91E-06
Öntözés	1	769,4	769,4	41,39	1,19E-06
Talajművelés×Öntözés	2	1212,6	606,3	32,62	1,43E-07
Maradék	24	446,2	18,6		
Mérési időpont	3	691,3	230,43	22,026	3,17E-10
Talajművelés×Mérési időpont	6	671,6	111,94	10,699	1,80E-08
Öntözés×Mérési időpont	3	420,2	140,07	13,388	4,91E-07
Talajművelés×Öntözés×Mérési	6	430,3	71,72	6,856	8,79E-06
Maradék	72	753,3	10,46		
Szignifikancia_kód: 0 '****' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

Júliusban megvizsgálva a mérési időpontok hatása a kibocsátásra szignifikáns volt (**33. ábra**). A reggeli érték volt a legmagasabb ($13,17 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), míg a másik három napszakban nem volt szignifikáns eltérés.



33. ábra: CO₂-koncentráció mérés eredménye a mérési időpontok függvényében
(Látókép, 2019.07.15.)

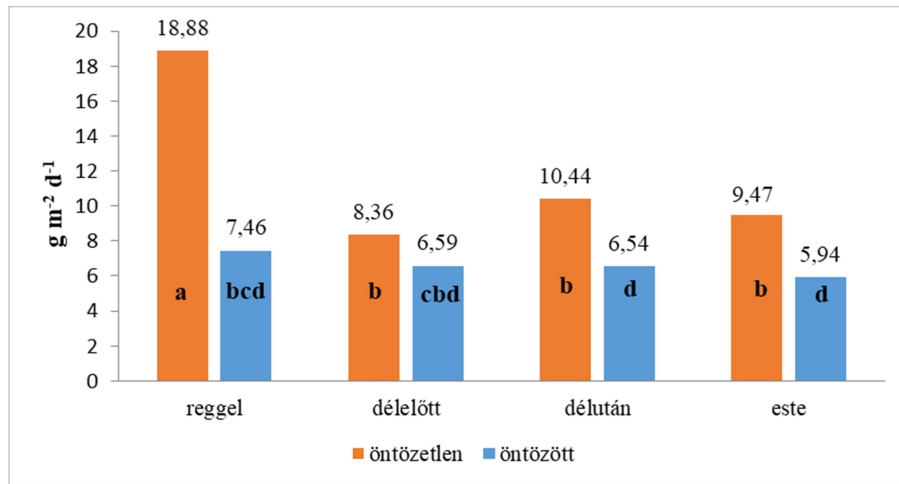
A mérési időpont és a talajművelés hatása is kiemelkedően magas volt a reggeli mérés eredményeire az őszi szántott területen (22,06 g m⁻² d⁻¹) (**34. ábra**). A délelőtti mérések eredménye nem különbözött egyik talajművelési módban sem szignifikánsan egymástól (7,36 g m⁻² d⁻¹, 7,42 g m⁻² d⁻¹, 7,64 g m⁻² d⁻¹). A reggeli (7,74 g m⁻² d⁻¹) és délutáni (7,75 g m⁻² nap⁻¹) sávos terület értéke nem tért el szignifikánsan, és a lazított területen kapott délutáni érték (7,8 g m⁻² d⁻¹) sem. A legalacsonyabb értéket (5,8 g m⁻² d⁻¹) az esti méréskor kaptuk a lazított területen.



34. ábra: A talajművelési mód hatása a CO₂-koncentráció mérés eredményeire
(Látókép, 2019.07.15).

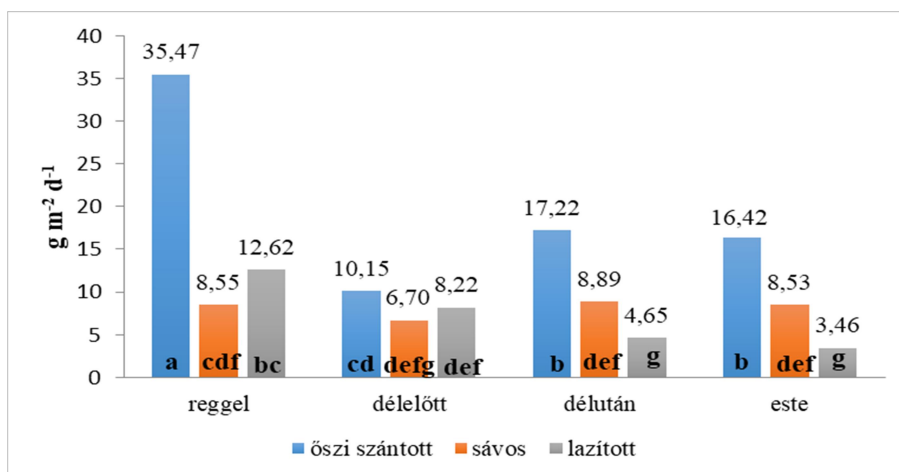
A mérési időpont és öntözés szintén a reggeli mérés (18,88 g m⁻² d⁻¹) kibocsátási eredményeire volt a legnagyobb hatással öntöztelen körülmények között (**35. ábra**). Az öntöztelen terület eredményei mind a négy napszakban - különböző mértékben -

magasabbak voltak az öntözött területénél. A délelőtti ($6,59 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és a délutáni ($6,54 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) öntözött terület értékei nem tértek el egymástól szignifikánsan.



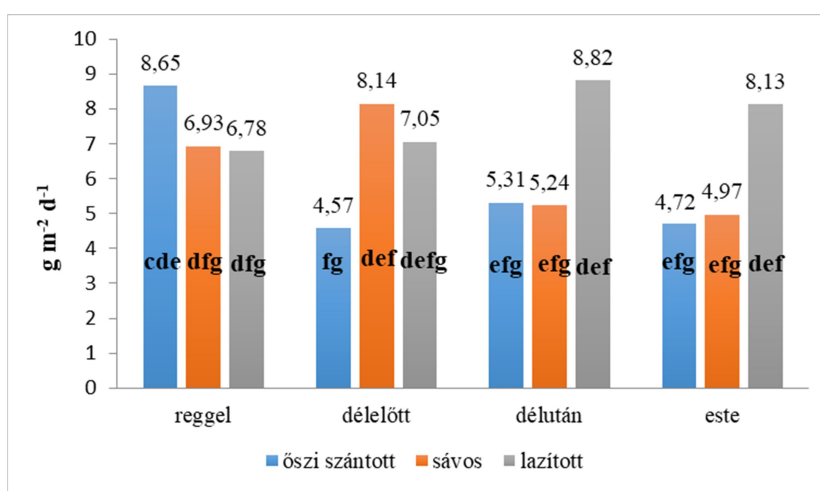
35. ábra: Az öntözés hatása a CO_2 -koncentráció eredményeire (Látókép 2019.07.15.)

A mérési időpontok és talajművelési módok hatását összegezve öntözetlen területen, a kapott értékeken egyértelműen látszik, hogy az őszi szántott területen voltak a legnagyobb értékek a reggeli órákban ($35,47 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (**36. ábra**). A sávosan művelt terület értékei kiegyensúlyozott eredményeket mutattak, szignifikánsan a délelőtti mérés ($6,7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) különbözött a reggeli ($8,55 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), a délutáni ($8,89 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és az esti ($8,53 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) mérésektől. Az őszi szántott terület értékei mind a négy napszakban magasabbak voltak, mint a másik két talajművelési mód eredményei. A legalacsonyabb eredményt a lazított területen mértük ($3,46 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) az esti órákban.



36. ábra: A talajművelés hatása a CO_2 -koncentráció eredményeire öntözetlen területen (Látókép, 2019.07.15.)

Öntözött területen a mérési időpont és a művelési mód hatása a délutáni, lazított terület értékét befolyásolta leginkább, a legmagasabb érték $8,82 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ volt (37. ábra). Ettől a reggel mért őszi szántott ($8,65 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és az este mért lazított terület értéke ($8,13 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) nem tér el szignifikánsan. A reggeli sávós ($6,93 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és lazított terület ($6,78 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) értékei szintén hasonlóak, a délutáni őszi szántott ($5,31 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és sávós terület értékei ($5,24 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) is, valamint a délelőtti őszi szántott ($4,57 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és az esti őszi szántott ($4,72 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és sávósan művelt terület ($4,97 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) értékei sem különböznek szignifikánsan.



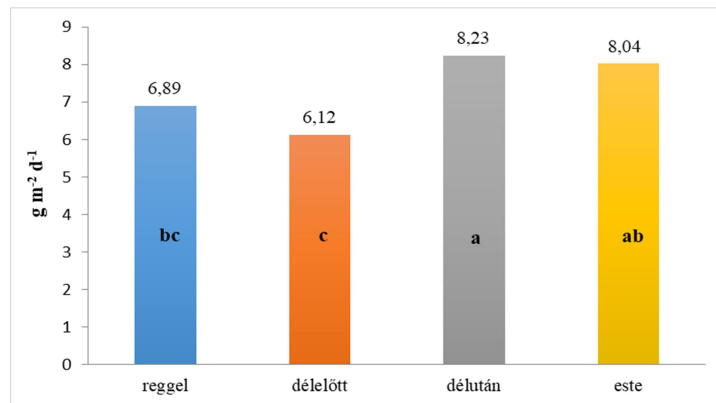
37. ábra: A talajművelés hatása a CO₂-koncentráció eredményeire öntözött területen (Látókép, 2019.07.15.)

Az augusztusi vizsgálat napi dinamika eredményeit ismételt anovával elemeztük, amelyben összevetettük a talajművelés és az öntözés hatását a mérési időpontok függvényében (15. táblázat).

15. táblázat: Napi CO₂-dinamika alakulása 2019. augusztus 12-én ismételt mérési modell alapján

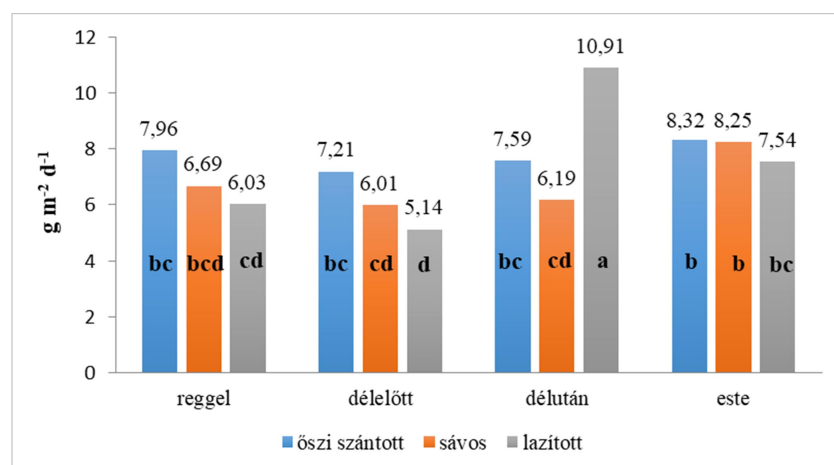
	Szabadságfok	Eltérés	Variancia	F	Szignifikancia
Talajművelés	2	19,84	9,92	1,212	0,315
Öntözés	1	5,89	5,887	0,719	0,405
Talajművelés×Öntözés	2	19,66	9,828	1,201	0,318
Maradék	24	196,46	8,186		
Mérési időpont	3	89,3	29,767	5,902	0,001168
Talajművelés×Mérési időpont	6	142,2	23,695	4,698	0,000436
Öntözés×Mérési időpont	3	24,1	8,023	1,591	0,199102
Talajművelés×Öntözés×Mérési	6	60,8	10,134	2,009	0,075446
Maradék	72	363,1	5,044		
Szignifikancia_kód: 0 '****' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

Augusztusban a mérési időpontok alapján a legmagasabb értéket a délutáni mérések idején kaptuk, ($8,23 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (38. ábra). A reggeli ($6,89 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és a délelőtti ($6,12 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) mérés szignifikánsan eltér a délutáni és esti mérésektől. A nap második felében elvégzett méréseink szignifikánsan nem térnek el egymástól ($8,23 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ és $8,04 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)



38. ábra: A CO₂-koncentráció napi dinamikája a mérési időpontok függvényében (Látókép, 2019.08.12.)

A mérési időpontok és a talajművelési módok hatása a legmagasabb CO₂-kibocsátási értéket a délutáni órákban, a lazított területen ($10,91 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) eredményezte (39. ábra). Az őszi szántott terület értékei az első három mérési időpontban nem különböztek egymástól szignifikánsan, ahogy a sávos terület értékei sem. Az esti mérés alkalmával az őszi szántott ($8,32 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és sávos terület értéke ($8,25 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) szintén hasonlóak voltak, szignifikánsan nem különböztek.



39. ábra: A talajművelés hatása a CO₂-koncentráció eredményeire (Látókép, 2019.08.15.)

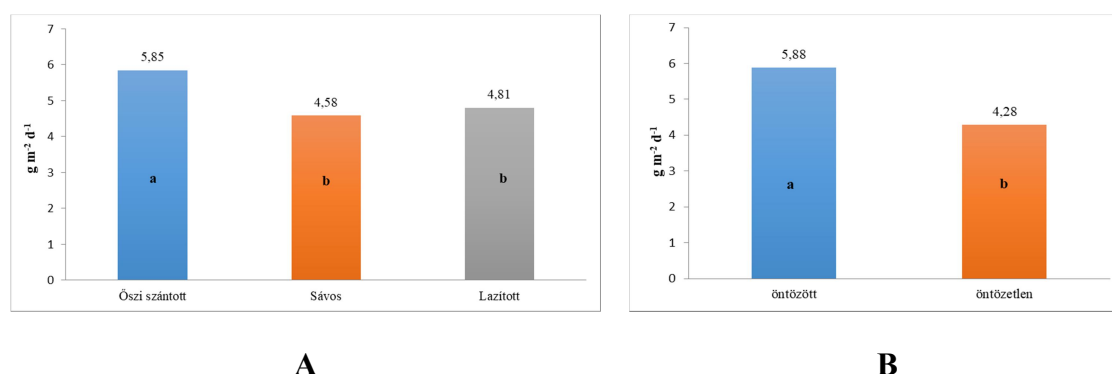
A szeptemberi vizsgálat napi dinamika eredményeit ismételt mérési modellel elemeztük, amelyben összevetettük a talajművelés és az öntözés hatását a mérési időpontok függvényében (**16. táblázat**).

16. táblázat: Napi CO₂-dinamika alakulása 2019 szeptember 12-én ismételt mérési modell alapján

	Szabadságfok	Eltérés	Variancia	F	Szignifikancia
Talajművelés	2	36,67	18,34	3,637	0,041722
Öntözés	1	76,78	76,78	15,229	0,000674
Talajművelés×Öntözés	2	23,71	11,86	2,351	0,116796
Maradék	24	121	5,04		
Mérési időpont	3	352,3	117,45	24,024	7,01E-11
Talajművelés×Mérési időpont	6	54,1	9,02	1,846	0,1022
Öntözés×Mérési időpont	3	389,2	129,74	26,539	1,14E-11
Talajművelés×Öntözés×Mérési	6	67	11,17	2,284	0,0449
Maradék	72	352	4,89		
Szignifikancia_kód: 0 '****' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

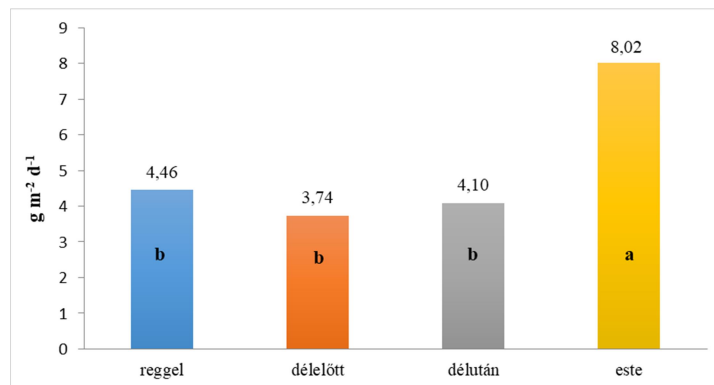
A szeptemberi napi dinamika talajművelés szerinti legmagasabb kibocsátási értékét az őszi szántott területen kaptuk ($5,85 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (**40. ábra, A**). A sávos terület ($4,58 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és a lazított terület ($4,81 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) értékei nem tértek el egymástól szignifikánsan.

Az öntözés hatása is szignifikáns volt az adott időpontban a napi dinamikára (**40. ábra, B**). Öntözött területen $5,88 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ volt a vizsgálat eredménye, míg öntözetlen területen $4,28 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Előző év szeptemberében az öntözésnek nem volt szignifikáns hatása.



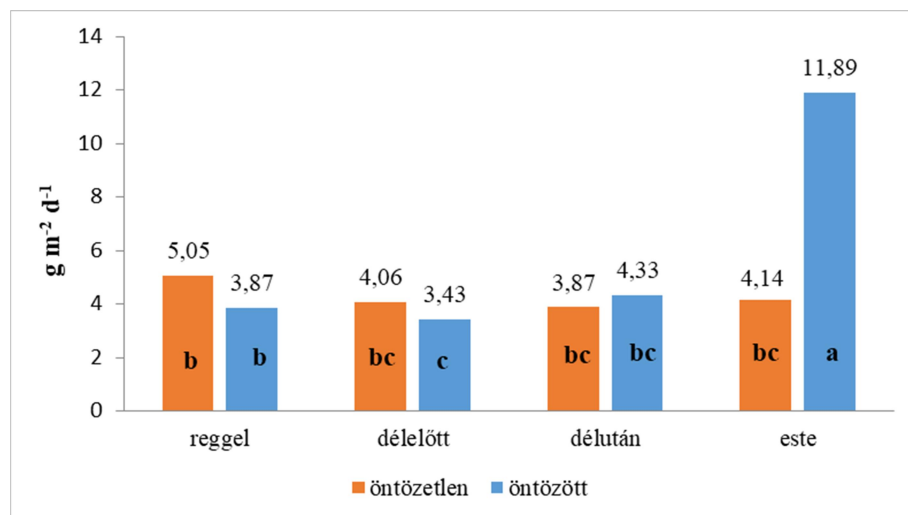
40. ábra: A CO₂-koncentráció napi dinamikája a talajművelés (A) és a mérési időpont (B) függvényében (Látókép, 2019.09.12.)

A mérési időpontok szerint az esti órákban kaptuk a legmagasabb értéket ($8,02 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (41. ábra). A reggeli ($4,46 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), délelőtti ($3,74 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és a délutáni ($4,10 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) eredmények szignifikánsan nem különböznek egymástól.



41. ábra: CO₂-koncentráció mérés eredménye a mérési időpontok függvényében (Látókép, 2019.09.12.)

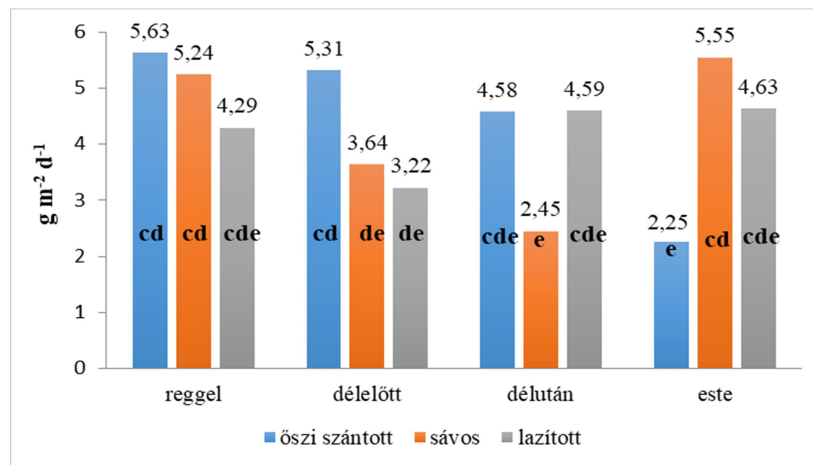
A mérési időpontok és az öntözés hatása a szeptemberi mérésnél egyértelműen az öntözött esti eredményt ($11,89 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) mutatta a legmagasabb értéknek (42. ábra). A reggeli öntözött terület értéke ($3,87 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), a délelőtti öntözetlen ($4,06 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), a délutáni öntözetlen ($3,87 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és öntözött ($4,33 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és az esti öntözetlen terület értéke ($4,14 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) nem különböznek egymástól szignifikánsan. Alapvetően a mérési időpontokban hasonló eredményeket kaptuk.



42. ábra: Az öntözés hatása a CO₂-koncentráció nagyságára (Látókép, 2019.09.12.)

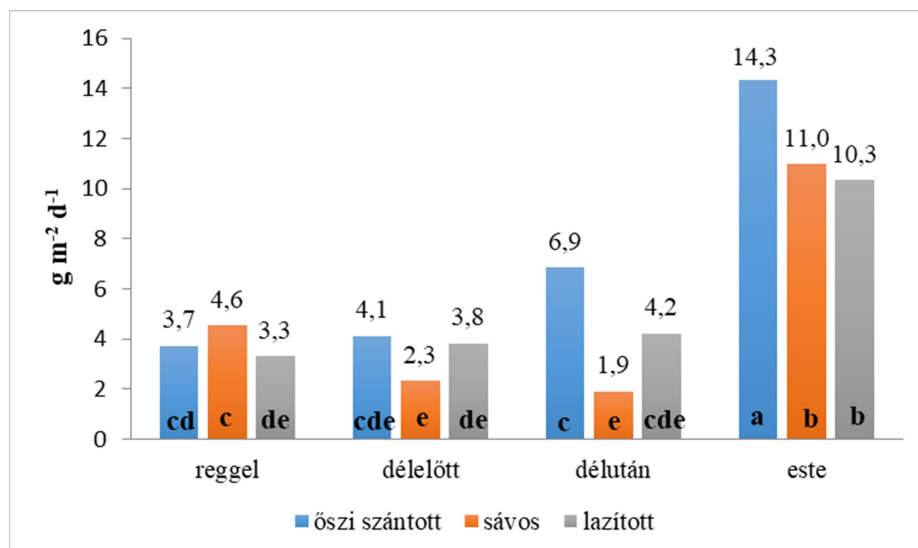
Öntözetlen területen a szeptemberi napi dinamika eredménye a napszakokat és a talajművelési módokat megvizsgálva az őszi szántott területet kibocsátási értékeit mutatja a legmagasabbnak a reggeli ($5,63 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és a délelőtti ($5,31 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

mérések alkalmával. Magas ($5,55 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) értéket kaptuk az esti mérés alkalmával a sávos területen (43. ábra). A legalacsonyabb értéket is az őszi szántott területen mértük az esti órákban ($2,25 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).



43. ábra: A mérési időpont és a talajművelés hatása a CO_2 -koncentráció mérés eredményeire öntözetlen területen (Látókép, 2019.09.12.)

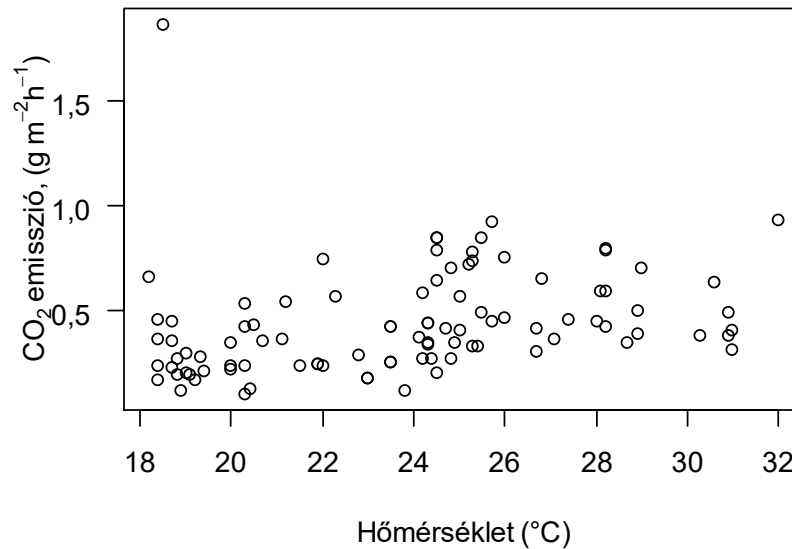
Az öntözött területen megvizsgáltuk a talajművelés és a mérési időpontok hatását (44. ábra). Az őszi szántott területen a reggeli mérést kivéve mindenhol magasabbak voltak a kibocsátási értékek, mint a másik két talajművelésénél. A legmagasabb értéket az esti mérésnél kaptuk ($14,33 \text{ g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$), a legalacsonyabbat pedig sávos művelésnél a délutáni mérés idején ($1,91 \text{ g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$).



44. ábra: A mérési időpont és a talajművelés hatása a CO_2 -koncentráció mérés eredményeire öntözött területen (Látókép, 2019.09.12.)

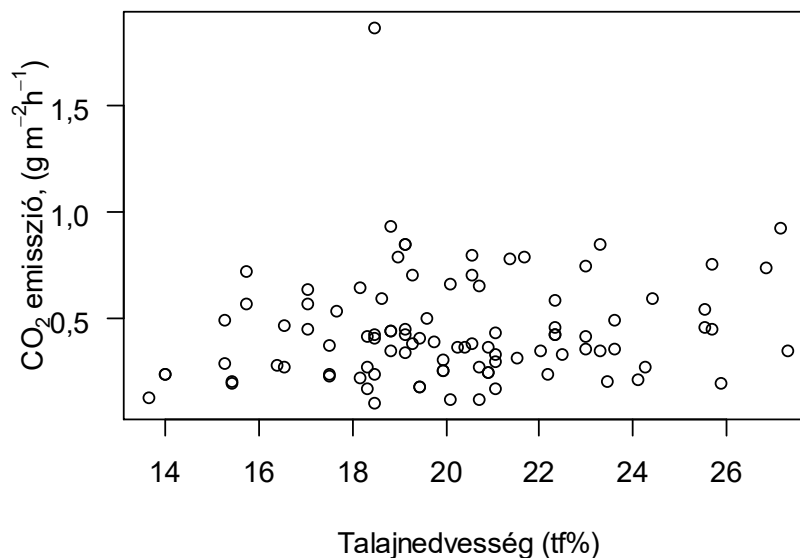
4.5. NAPI SZÉN-DIOXID-DINAMIKA MÉRÉSEK, 2019.

2019-ben a napi dinamika kapcsán kapott hőmérséklet adatok befolyásoló szerepét megvizsgálva az emisszió hatására megállapítható, hogy a 2018-as évhez hasonlóan szignifikáns összefüggést nem találtunk, az adatok szórása túl nagy (**45. ábra**).



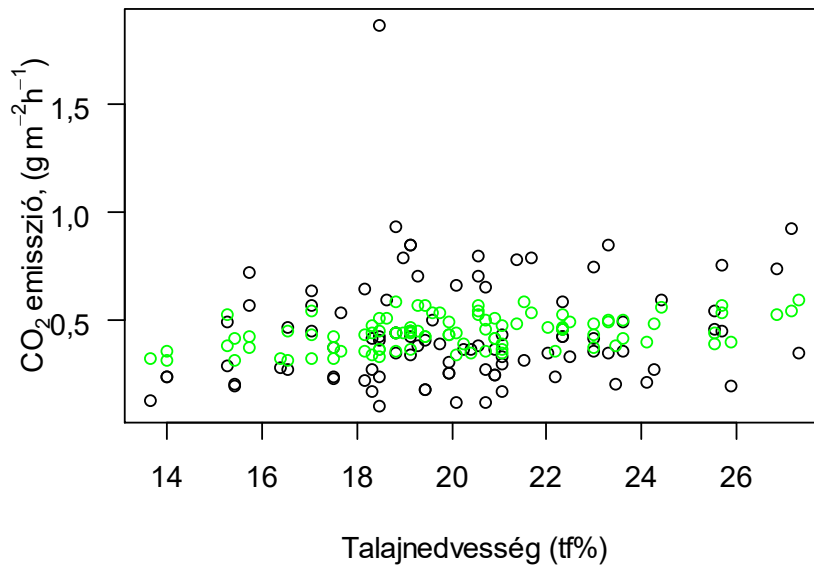
45. ábra: A hőmérséklet hatása a szén-dioxid-emisszióra (Látókép, 2019)

A talajnedvesség szén-dioxid kibocsátásra gyakorolt hatását is külön vizsgáltuk 2019-ben, a felállított modell nem mutatott ki összefüggést ebben az évben sem, a talajnedvességnek önmagában nem volt befolyásoló szerepe (**46. ábra**).



46. ábra: A talajnedvesség hatása a szén-dioxid-emisszióra (Látókép, 2018)

A szén-dioxid-kibocsátásra a talajhőmérséklet és talajnedvesség együttes hatása 2019-ben is erősebb, mint a külön-külön modellezett hatásuk, de elmarad az előző évitől. Ahogy azt a zöld körök mutatják, a becült értékek keskenyebb tartományban mozognak, ahogy a fekete körökkel jelzett mért értékek is (47. ábra).



47. ábra: A talajnedvesség és a hőmérséklet hatása a CO₂-emisszióra (Látókép, 2019)

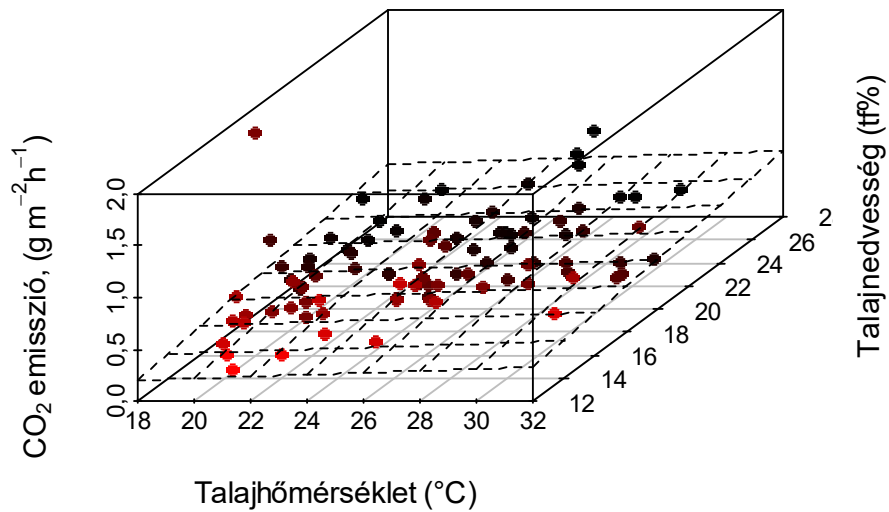
A talajnedvesség és talajhőmérséklet együttes hatása a széndioxid-emisszióra már szignifikáns kapcsolatot mutat. Az összefüggés létezik, de nagyon gyenge a kapcsolat, összességében 9 %-ban befolyásolja a kibocsátást a talajhőmérséklet és a talajnedvesség (17. táblázat).

17. táblázat: Lineáris regresszió analízis eredménye a szén-dioxid-emisszióra, 2018

	Becsült érték	Standard hiba	t érték	Szignifikancia	
Metszéspont	-0.181243	0.224259	-0.808	0.42104	
Talajnedvesség	0.009009	0.008290	1.087	0.27998	
Talajhőmérséklet	0.018567	0.006817	2.724	0.00771 **	
Szignifikancia kód: 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 * 0.1 ' ' 1					
Maradék	Szabadságfok	Többszörös R-négyzet	Korrigált R-négyzet	F érték	Szignifikancia
0.2441	93	0.08965	0.07007	4.579	0.01268

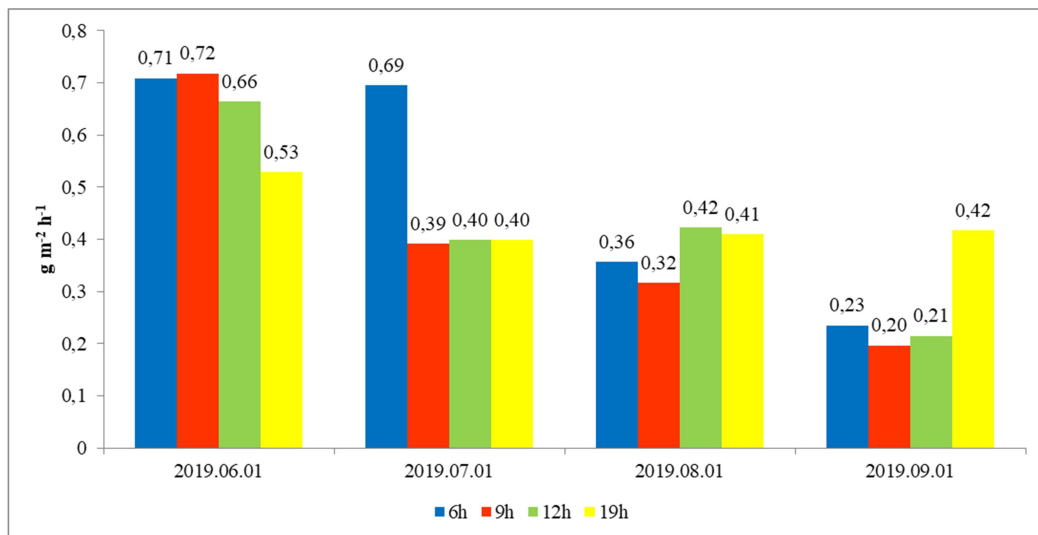
A két magyarázó változó közül csak a talajhőmérséklet volt szignifikáns. Ennek az a magyarázata, hogy a talajnedvesség csak szűk tartományban változott. A többi mért adat terjedelme is szűkebb volt, mint előző évben, de a regressziós sík itt is illeszkedik, segítségével becsülhető a szén-dioxid-emisszió várható nagysága, az átlagos hiba 0,244

$\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$. A mért értékek a rácshálózat közelében helyezkednek el, kiugró eredményeket elvértve kaptunk (48. ábra).



48. ábra: A talajhőmérséklet és talajnedvesség hatása a szén-dioxid-emisszióra

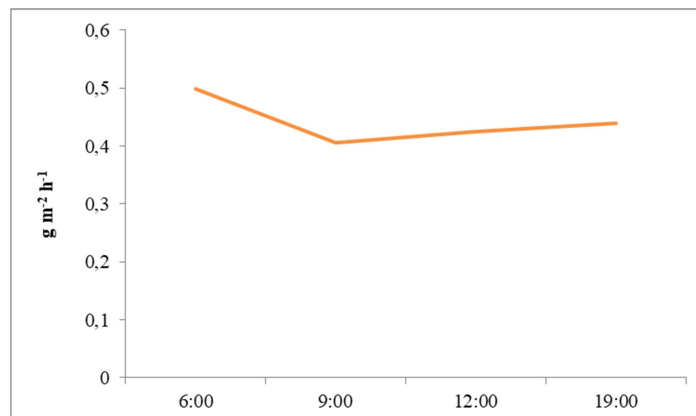
A 2019-es vizsgálati évben a kibocsátási értékek jellemzően a júniusi mérés alkalmával voltak a legmagasabbak, mind a négy napszakban (49. ábra). A reggeli mérés alkalmával volt a legmagasabb a kibocsátási érték ($0,72 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) júliusban, míg a szeptemberi értékek voltak összességében a legalacsonyabbak, amelyek közül a délelőtti mérés érte el a minimum értéket, $0,2 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ -t.



49. ábra: A mérési időpontok hatása a talaj szén-dioxid-kibocsátására (Látókép, 2019)

A napok összesített ábráját elemezve elmondható, hogy a napszakok értékei között gyakorlatilag nem volt különbség (50. ábra). A reggeli értékek csak kissé voltak magasabbak, amely értékek a délelőtti mérés idejére enyhén visszaestek, majd az esti

mérések idejéig szinte azonosak maradtak. Az értékek $0,49 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ és $0,41 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ között mozogtak.



50. ábra: Az óras szén-dioxid-kibocsátás (Látókép, 2018)

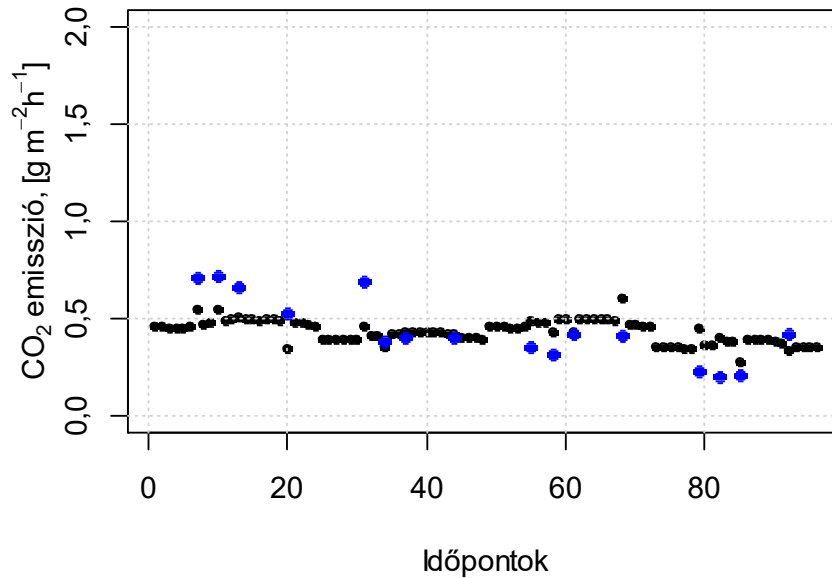
4.5.1. Óras léghőmérsékletek és a talajnedvesség alapján becsült CO_2 -emisszió

Az óras 2 méteres léghőmérséklet és a talajnedvesség adatok alapján a szén-dioxid-emisszió elfogadható mértékben becsülhető. A regressziós modell eredménye a **18. táblázatban** látható. Egyedül a talajnedvesség hatása volt szignifikáns 10%-os szinten,

18. táblázat: Óras léghőmérséklet eredmények regresszió analízis szerint, 2019

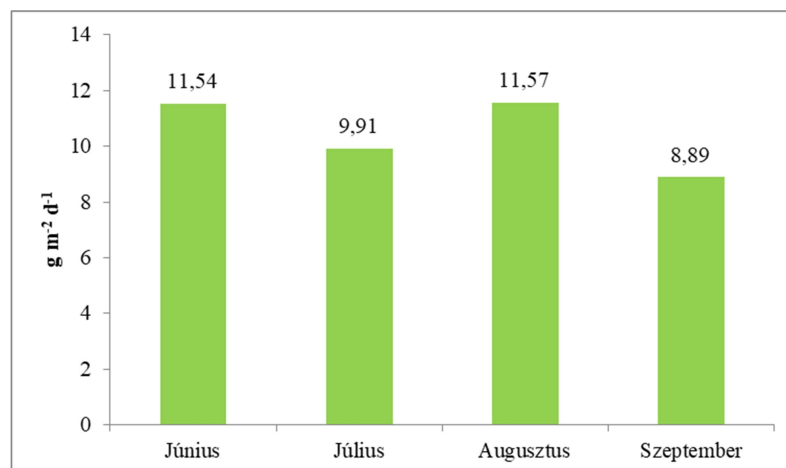
	Becsült érték	Standard hiba	T érték	Szignifikancia	
Metszéspont	-1.001363	0.706976	-1.416	0.1802	
Levegő hőmérséklet	0.003200	0.007768	0.412	0.6871	
Talajnedvesség	0.067821	0.033551	2.021	0.0643	
Szignifikancia kód: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Maradék	Szabadságfok	Többszörös R-	Korrigált R-négyzet	F érték	Szignifikancia
0.1622	13	0.2448	0.1286	2.107	0.1612

A regressziós modell alapján a 2019-es értékek görbéi jóval laposabbak, az általunk mért értékek (kék pontok) kevésbé illeszkednek a modellre, leginkább a júliusi hónapban esnek egybe a modell értékei az általunk mért értékekkel (**51. ábra**). Június hónapban magasabb eredményeket kaptunk, míg augusztus és szeptember hónapokban a modell alatt voltak az értékek. A becslés átlagos hibája $0,162 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ volt.



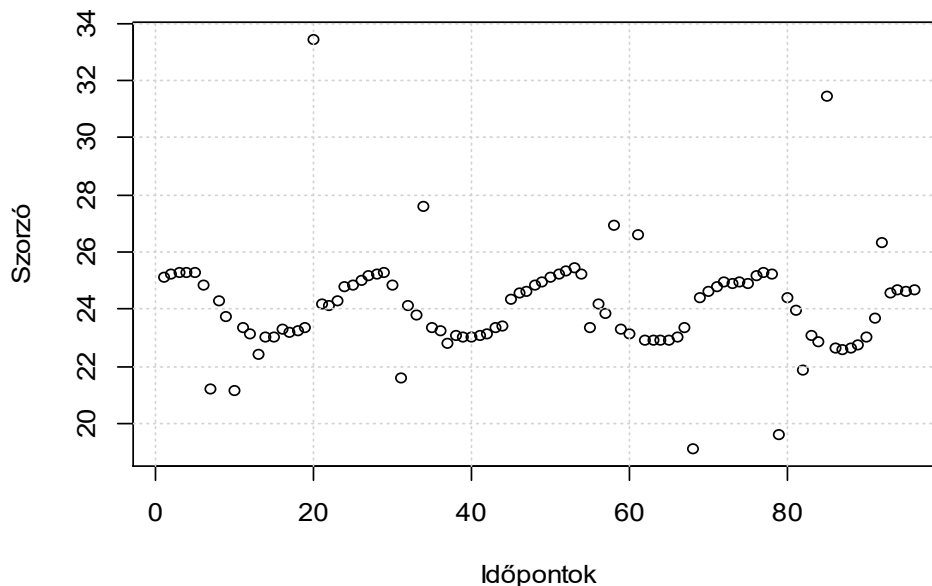
51. ábra: A becsült (fekete) és a mért (kék) emissziós értékek órás léghőmérséklet és talajnedvesség alapján (Látókép, 2019)

2019-ben az összesített szén-dioxid-kibocsátásokat megvizsgálva a legmagasabb értékeket augusztus hónapban kaptuk ($11,57 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) amelytől szignifikánsan nem különbözik a júniusi érték ($11,54 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Szeptemberben volt a mért érték a legalacsonyabb, $8,89 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (52. ábra). A két évet összevetve a 2019-es év napi dinamika eredményei alatta maradtak a 2018-as és adatainak. RÁDICS 2014-ben mért hasonló értékeket Enying és Mesztegyő térségében. Enying térségében szántott területen $9,38 \text{ g m}^{-2}$, míg Mesztegyőn kultivátorozott területen $8,5 \text{ g m}^{-2}$ -et mért.



52. ábra: A vizsgált hónapok becsült kibocsátási értékei (Látókép, 2019)

A szorzótényezőt ebben az évben is igyekeztünk meghatározni, hogy megkapjuk a reális számot, amellyel meghatározható a napi szén-dioxid-emisszió. A szorzószámok alacsonyabb amplitúdóval mozogtak, mint előző évben, a két szélsőérték 21 és 26 volt (53. ábra).



53. ábra: Az időpontok és a szorzótényezők összevetése

19. táblázat: Szorzószámok (K) a napi CO₂-emisszió becsléséhez, 2019

Óra	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
K	25	25	25	25	25	25	21	24	24	24	23	23	26	23	23	23	23	23	23	26	24	24	25	25

A napi dinamika adatainak külön-külön összevetettük a talajhőmérséklet és a talajnedvesség értékeivel. A többszörös lineáris regressziós analízis eredménye alapján elmondható, hogy az említett két tényező együttesen gyakorol hatást a kibocsátásra. 2018-ban közel 30%-ban, míg 2019-ben 9%-ban volt befolyásoló szerepük. A két magyarázó változós modell 2018-ban minden paraméterében igazolható volt, 2019-ben csak a talajhőmérsékleti értékek határozták meg a regressziós síkot.

Az óras 2 méteres léghőmérséklet és talajnedvesség szignifikánsan befolyásolta az óras emissziós értékeket. 2018-ban a determinációs együttható 0,52 volt, azaz 52%-ban befolyásolta a két tényező a széndioxid emissziót. A becslés átlagos hibája 0,383 g m⁻² h⁻¹ volt. A becsült napi emissziós értékek a szakirodalmi adatokhoz nagyon közel estek (RULÍK,2018; KOVÁCS,2011). 2019-ben csak a talajnedvesség volt szignifikáns, a léghőmérséklet befolyásoló hatását nem sikerült kimutatni. A modell magyarázó ereje

24,48%, átlagos becslési hibája $0,162 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ volt. A kisebb becslési hiba, kisebb mért értékekhez társult.

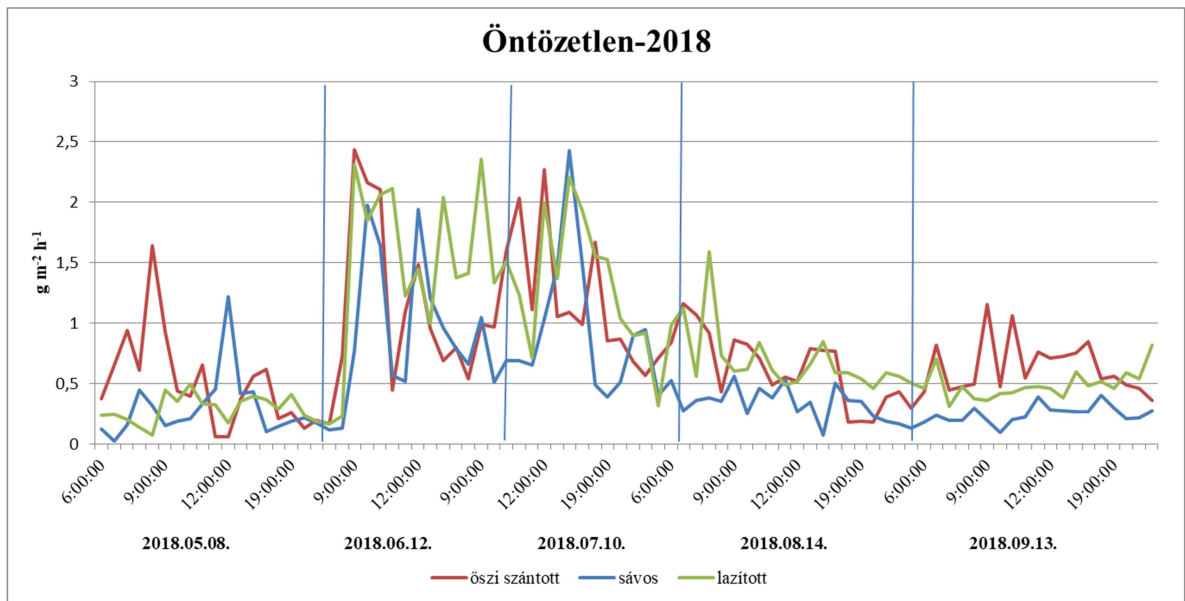
4.6. A TALAJMŰVELÉS ÉS AZ ÖNTÖZÉS HATÁSA A NAPI CO₂-DINAMIKA ALAKULÁSÁRA

Napi dinamika vizsgálataim során 2018 és 2019 évben az egész tenyészidőszakot lefedően vizsgáltuk a napi emisszió alakulását. 2018-ban öt napot tudtam megvizsgálni, míg 2019-ben négy alkalommal vettem fel a vizsgálatokat.

4.6.1. Az öntözetlen területen mért eredmények

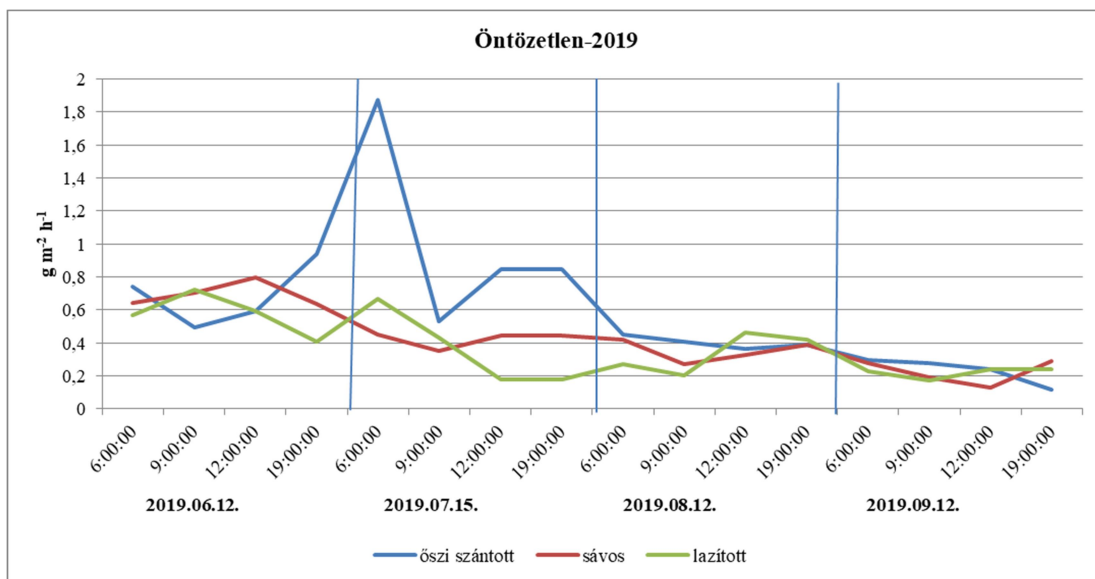
A 2018-as tenyészévben május, június, július, augusztus és szeptember hónapokban mértük a szén-dioxid-koncentráció napi dinamikájának alakulását komplex talajművelési kísérletben. A kísérleteket 3-4 alkalommal végeztük a vizsgált napokon, időjárástól függően, reggel, délelőtt, délután és este.

2018-ban öntözetlen területen a sávos művelés értékei szignifikánsan alatta maradtak a másik két művelési mód értékeinek (**54. ábra**). A júniusi délelőtti mérés valamint a júliusi délutáni mérés meghaladta ugyan a szakirodalomban mért értékek maximumát, azonban ettől a két kiugró ponttól eltekintve a maximum alatt maradt a kibocsátás a tenyészidőszakban. A májusi értékek a délutáni mérési időszakban meghaladta az őszi szántott és a lazított terület értékeit, de a későbbi mérési napokon nem tapasztaltunk ilyen mérési eredményt. Az őszi szántott terület eredményei magasabb értékeket mutattak a másik két művelési módnál. Kiugróan magas értéket mértük a júniusi mérési időpontban délelőtt ($2,2 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), amely érték az esti méréskor $0,7 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ -ra csökkent, így a legalacsonyabb mért érték volt. A lazított területen július hónapban magasabb értékeket mértük, mint a másik két művelési módban. A legmagasabb értéket a délutáni vizsgálat során mértük ($2,1 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). A tenyészidőszak végéhez közeledve, augusztus-szeptember hónapokban az értékek csökkenő tendenciát mutattak.



54. ábra: A CO₂-koncentráció napi dinamikája öntözetlen területen 2018-ban (Látókép, 2018)

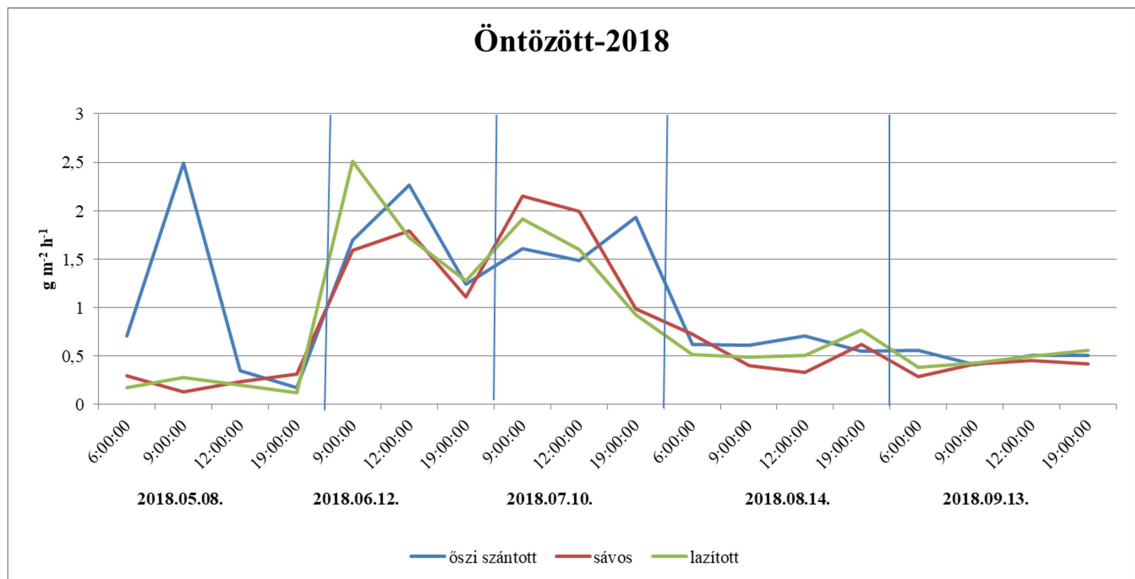
2019-ben is volt a szakirodalomban szereplő maximumtól eltérő adat, de a kibocsátás sokkal egyenletesebb képet adott (**55. ábra**). A sávós művelés kibocsátási eredményei az első mérési hónapban magasabb ($0,8 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) értékeket mutattak a másik két művelési módnál, de a többi mérési napokon ilyen eltérést nem tapasztaltunk, a sávós művelés értékei alacsonyabbak voltak. Június-július hónapokban a délutáni mérés alkalmával mértük magasabb értékeket ennél a művelési módnál, míg augusztusban és szeptemberben az esti mérés alkalmával kaptunk magasabb értékeket. Őszi szántott területen a júliusi mérés alkalmával a különböző napszakokban mért értékek mindegyike meghaladta a másik két művelési mód kibocsátási értékeit. A délutáni és az esti mérés eredményei megegyeztek egymással, $0,8 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ felett volt mind a két mérési időpontban. Az átlagostól kevesebb csapadék és a viszonylag magas hőmérsékleti értékek a szántott területen magasabb kibocsátási értékeket eredményeztek. Augusztusban és szeptemberben is mértük magasabb értékeket a szántott területen viszont nem kaptunk kiugró adatokat. Augusztusban a reggeli mérés alkalmával, míg szeptemberben a délelőtti mérési időpontban volt a legmagasabb a kibocsátás értéke. A lazított terület értékei a júliusi délutáni és esti mérések alkalmával a másik két művelési módnál szignifikánsan alacsonyabb volt és ez látszik az augusztusi mérés alkalmával reggel és délelőtt is.



55. ábra: A CO₂-koncentráció napi dinamikája öntözetlen területen 2019-ben (Látókép, 2019)

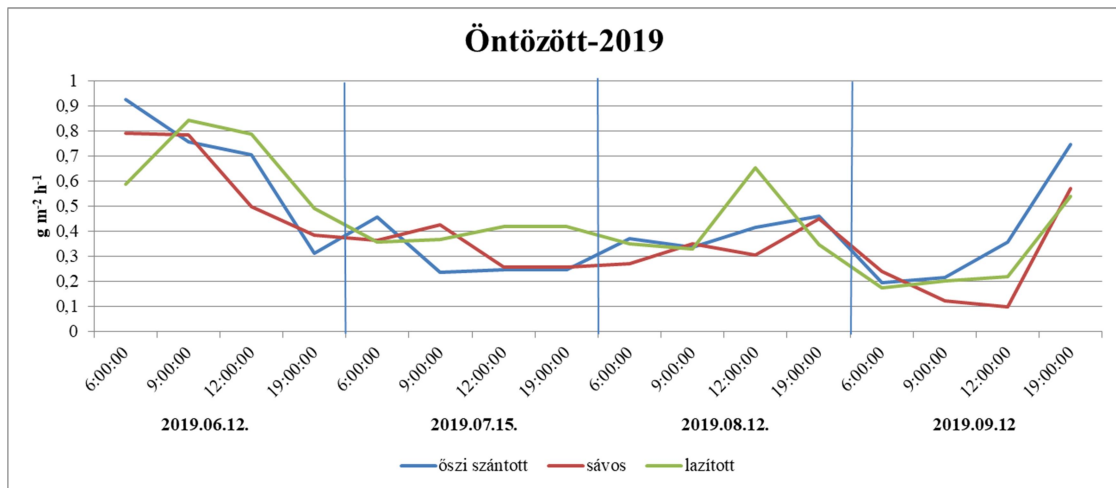
4.6.2. Az öntözött területen mért eredmények

A 2018-as évben öntözött körülmények között a sávos terület értékei magasabb eredményeket mutattak, mint az ugyan abban az évben mért öntözetlen területen (**56. ábra**). A júliusi hónapban, amikor az átlaghőmérséklet magasabb volt az átlagosnál és a mért csapadék is kevesebb volt, az általam mért értékek meghaladták a délelőtti mérés alkalmával a másik két talajművelési mód kibocsátási értékeit. Az ezt megelőző és júliust követő hónapokban a kibocsátás értékei a másik két művelési módnál alacsonyabbak voltak a mért napszakokban. A szántott terület értékei között több kiugró adat is szerepelt: május hónapban a délelőtti mérés volt magasabb ($2,5 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), júniusban a délutáni mérés ($1,9 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), valamint a júliusban mért esti eredmény ($1,9 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) is magasabb lett a más hónapokban mért mérésektől és a szakirodalmi átlagoktól is. Lazított területen szintén a júniusi és júliusi mérések idejével mértük a legmagasabb eredményeket, mind a két hónapban a délelőtti mérések voltak a legmagasabbak ($2,5 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, $1,8 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Augusztus hónapban az értékek jóval a júliusi értékek alatt maradtak, este mértük magasabb kibocsátást, a lazított területen volt a legmagasabb ($0,7 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) a talajművelési módok közül.



56. ábra: A CO₂-koncentráció napi dinamikája öntözött területen 2018-ban (Látókép, 2018)

2019-ben az értékek alapvetően alacsonyabbak voltak, mint az előző évben mért értékek (57. ábra). A vizsgált időszakot tekintve a júniusi hónapban kaptuk a legmagasabb értékeket, majd szeptemberben az esti mérés alkalmával mind a három talajművelési mód értékei növekedtek. A sávós talajművelésben a júniusi délelőtti mérést ($0,8 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) követően egészen estig fokozatosan csökkentek az értékek, amelyek a júliusi délelőtti mérés ($0,42 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) alkalmával meghaladták a másik két talajművelési mód értékeit. Augusztus hónapban az esti mérés alkalmával mértük a legmagasabb értéket ($0,48 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), ahogy a szeptemberi mérés alkalmával is este ($0,59 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) emelkedett meg leginkább a kibocsátás értéke. Szántott területen júniusban a reggeli mérés alkalmával ($0,92 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) és szeptemberben az esti mérés alkalmával ($0,75 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) mértük a legmagasabb értékeket, amelyek meghaladták a többi talajművelési mód emissziós értékeit. Júliusban szintén reggel volt a legmagasabb a kibocsátás értéke ($0,38 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), augusztusban pedig este mértük a legmagasabb értéket ($0,48 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). A lazított terület értékei június, július és augusztus hónapokban meghaladta a szántott és a sávós terület értékeit. Júniusban a délelőtti méréstől az esti mérésig volt magasabb, mint a másik két talajművelési mód értékei, júliusban a délutáni és esti mérések, míg augusztusban itt mértük a legmagasabb értéket délután ($0,65 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).



57. ábra: A CO₂-koncentráció napi dinamikája öntözött területen 2019-ben (Látókép, 2019)

A tábla két részét (öntözött, öntözetlen) és a két vizsgálati évet megvizsgálva elmondható, hogy a 2018-as év adatai meghaladták a 2019-es év értékeit. A vizsgálati évekre jellemző volt, hogy június-július hónapokban kiugró, a szakirodalmi átlagoktól eltérő eredményeket kaptunk öntözött és öntözetlen területen egyaránt, míg az augusztusi, szeptemberi vizsgálati időszakban ez nem volt megfigyelhető. Mind a két évben a nyári hónapok magasabb hőmérsékleti adatokkal rendelkeztek, míg a csapadék értéke elmaradt a 30 éves átlagtól. A 2019-ben öntözött területen felvett kísérlet megfelelt a szakirodalmi átlagoknak. A sávos területen a kiugró értékek ritkábbak voltak, a kibocsátás alapvetően alatta maradt a másik két művelési mód kibocsátási értékeinek. A szakirodalmi áttekintés szerint a napi kibocsátás $0,043-1,25 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ között van. A legalacsonyabb értékeket GEROSA et al. (2012) mérte a Pó völgyében, míg a legmagasabb értékek Myanmarban születtek RULÍK (2018) mérései alapján.

4.7. A TALAJMŰVELÉS ÉS AZ ÖNTÖZÉS HATÁSA A TALAJ SZÉN-DIOXID KONCENTRÁCIÓJÁRA

Az öntözés hatását talaj szén-dioxid-koncentrációjára vizsgáltuk a talajművelési módokban. Az öntözött és öntözetlen területek értékét külön összevetettük talajművelésenként. A talajművelés és a szén-dioxid-kibocsátása közti összefüggéseket. BIRKÁS et al. (2007) a talajok szén-dioxid kibocsátását annak nedvességi állapotától és hőmérsékletétől teszi függővé a talajművelési módja mellett. Kutatásaik alapján a száraz, bolygatott talajon a kibocsátási érték magasabb. A talajnedvesség befolyásoló szerepét már STEFANOVITS (1999) is megállapította, valamint FIERER – SCHIMEL

(2003) szerint a talaj szén-dioxid-kibocsátása benedvesítés hatására hirtelen megemelkedik, a nedves talaj kibocsátása stagnál. A kibocsátások közti változás akár 500% is lehet.

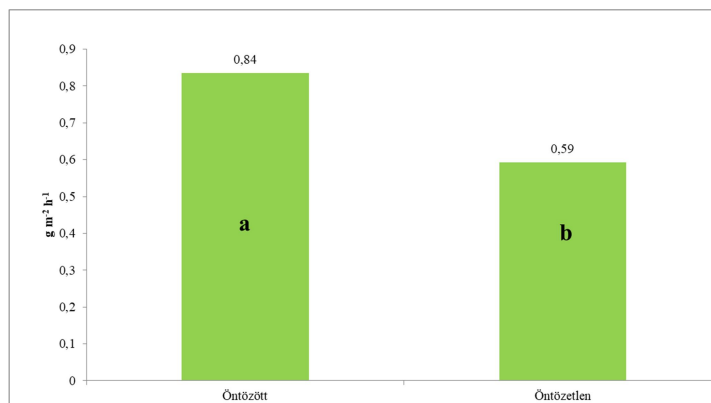
4.7.1.2018. évi ismételt mérési modell eredményei

Az adatok elemzését ismételt méréses ANOVA-val végeztünk, amelyben összevetettük a talajművelés, öntözés és a mérési időpontok hatását és ezek kölcsönhatásait a szén-dioxid-kibocsátásra (**20. táblázat**). A szignifikáns tényezők szintjeit Duncan-tesztel hasonlítottuk össze, a szignifikancia szintet 5%-ra választottuk. Az elvégzett elemzés eredményeképp elmondható, hogy mind a három tényezőnek volt szignifikáns hatása a kibocsátásra.

20. táblázat: Az emissziós értékek ismételt mérési modell szerint, 2018

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszege	Variancia	F érték	Szignifikancia
Öntözés	1	8.822	8.822	52.785	1.66e-07 ***
Talajművelés	2	1.795	0.897	5.369	0.0118 *
Öntözés×Talajművelés	2	1.700	0.850	5.085	0.0144 *
Maradék	24	4.011	0.167		
Mérési időpont	19	115.69	6.089	61.599	< 2e-16 ***
Öntözés×Mérési időpont	19	19.76	1.040	10.520	< 2e-16 ***
Talajművelés×Mérési időpont	38	11.10	0.292	2.956	4.33e-08 ***
Öntözés×Talajművelés×Mérési időpont	38	10.92	0.287	2.907	7.22e-08 ***
Maradék	456	45.07	0.099		
Szignifikancia_kód: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

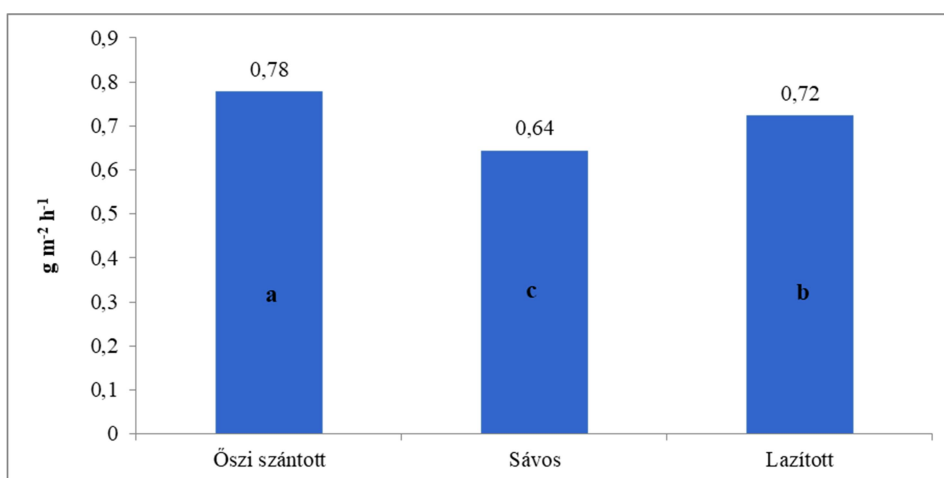
Duncan-teszt segítségével megvizsgáltuk az öntözés hatását a szén-dioxid-kibocsátásra. Az általunk kapott eredmények azt mutatják, hogy öntözött területen szignifikánsan magasabb ($0,84 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) kibocsátási értékeket kaptunk, mint öntözetlen területen ($0,59 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) 29,8% különbség volt a két kibocsátási érték között (**58. ábra**).



58. ábra: Az öntözés hatása a szén-dioxid-kibocsátásra (Látókép, 2018)

A különböző betűk szignifikáns különbségeket jelentenek. Amennyiben két kezelési szintnél azonos betűk találhatók, azok statisztikai értelemben egyformák.

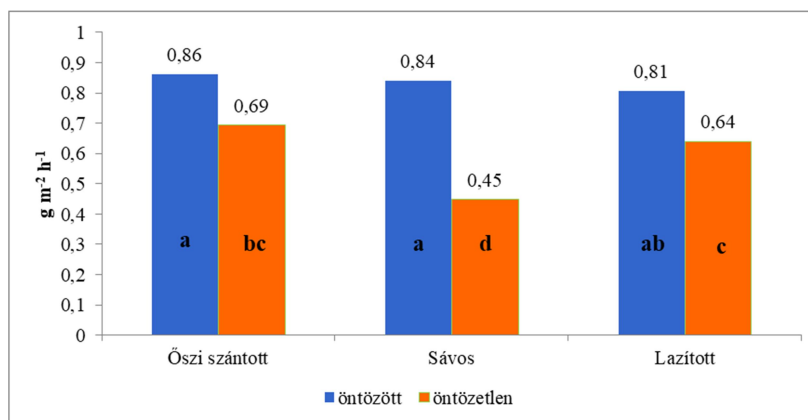
A talajművelés hatása a Duncan-teszt szerint szignifikáns eredményt hozott, a különböző talajművelési módok szignifikánsan eltértek egymástól. A legmagasabb kibocsátási értéket az őszi szántott területen kaptuk ($0,78 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), míg a legalacsonyabbat a sávossal művelt területen ($0,64 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (**59. ábra**).



59. ábra: A talajművelés hatása az emisszióra (Látókép, 2018)

Az öntözés és a talajművelés kölcsönhatását megvizsgálva a kibocsátásra az öntözött területen a különböző talajművelési változatok között nem volt szignifikáns különbség, de az öntözetlen területek szignifikánsan különböztek az öntözött területektől és az őszi szántott terület is a sávossal művelt területtől (**60. ábra**). Öntözött területen kaptuk a legmagasabb értékeket, $0,86 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ volt az őszi szántott területen. Öntözött területen a

lazított terület kibocsátási értéke volt a legalacsonyabb ($0,81 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), míg öntözetlen területen a sávos terület értéke ($0,45 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).



60. ábra: A talajművelés és öntözés kölcsönhatás az emisszióra (Látókép, 2018)

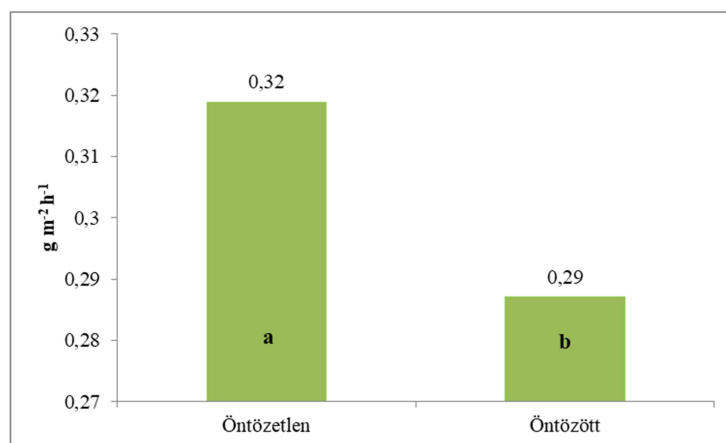
4.7.2. 2019. évi ismételt mérési modell eredményei

Ugyanazokat a módszereket használtuk, mint 2018-ban. Ebben az évben is az volt kimutatható, hogy a három tényező külön-külön és kölcsönhatásban is szignifikánsan hatott a kibocsátásra (21. táblázat).

21. táblázat: Az emissziós értékek ismételt mérési modell szerint, 2019

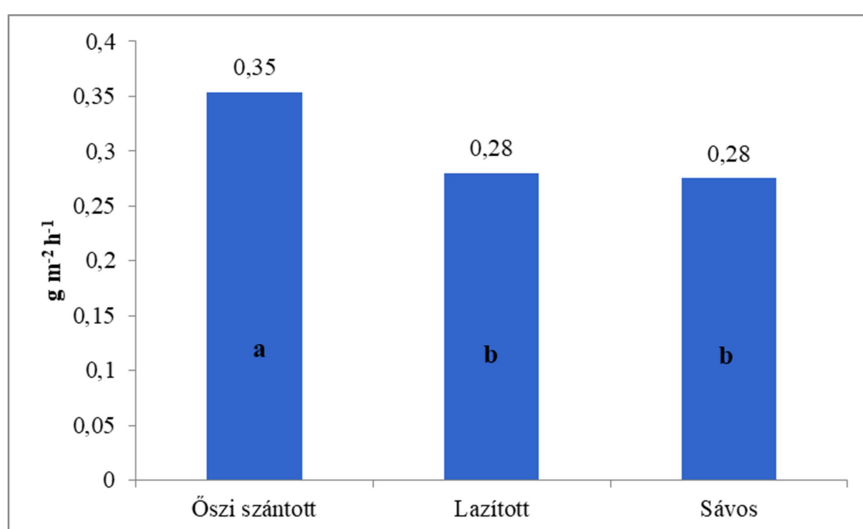
	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszege	Variancia	F érték	Szignifikancia
Öntözés	1	0.1441	0.1441	11.095	0.00279 **
Talajművelés	2	0.7325	0.3663	28.198	5.01e-07 ***
Öntözés×Talajművelés	2	0.2253	0.1126	8.673	0.00146 **
Maradék	24	0.3117	0.0130		
Mérési időpont	18	12.203	0.6779	55.346	< 2e-16 ***
Öntözés×Mérési időpont	18	1.234	0.0685	5.596	5.86e-12 ***
Talajművelés×Mérési időpont	36	1.618	0.0450	3.670	6.47e-11 ***
Öntözés×Talajművelés×Mérési időpont	36	2.835	0.0788	6.430	< 2e-16 ***
Maradék	432	5.291	0.0122		
Szignifikancia_kód: 0 '***' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

Duncan-teszt segítségével megvizsgáltuk az öntözés hatását 2019-ben. A teszt eredménye – eltérően az előző évhez képest – az öntözetlen területen ($0,32 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) szignifikánsan magasabb kibocsátási értéket mutatott, mint öntözött területen ($0,29 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (61. ábra). Az eltérés azonban nagyon kicsi volt, $0,03 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, szakmai szempontból a két öntözési változat között nem volt különbség.



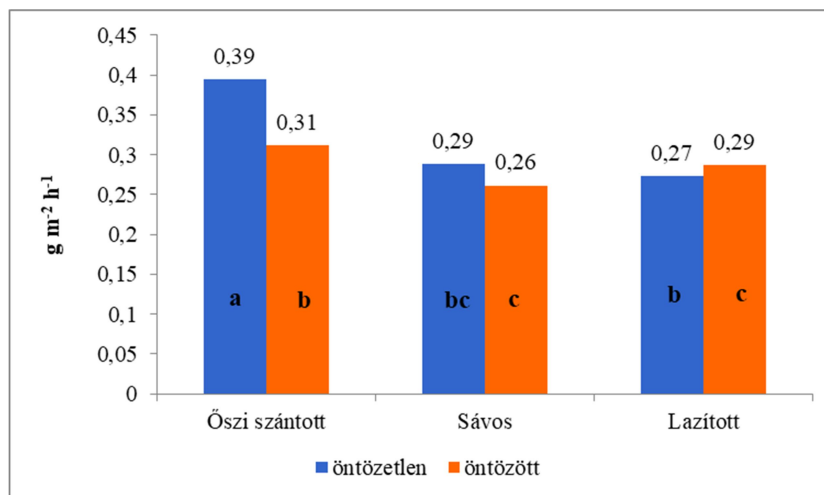
61. ábra: Az öntözés hatása az emisszióra (Látókép, 2019)

2019-ben a Duncan-teszten összevetve a három vizsgált talajművelési módot, nem mutatott minden talajművelés között szignifikáns különbséget, ahogy azt 2018-ban tapasztaltuk. Az őszi szántott terület értéke volt a legmagasabb és ez a talajművelés különbözött a másik kettőtől szignifikánsan. A lazított és sávosan művelt terület értékei megegyeztek egymással ($0,28 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (**62. ábra**).



62. ábra: A talajművelés hatása az emisszióra (Látókép, 2019)

Az öntözés és a talajművelés kölcsönhatása szignifikáns eltéréseket mutatott 2019-ben. A legmagasabb kibocsátási értéket az öntözetlen őszi szántott területen kaptuk $0,39 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Öntözetlen területen a sávosan művelt és az őszi szántott területek értékei is meghaladták az öntözött terület értékeit (**63. ábra**). A lazított területen az öntözött terület értéke volt a magasabb ($0,29 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), de szignifikánsan nem különbözött az öntözetlen terület értékétől ($0,27 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).



63. ábra: A talajművelés és öntözés kölcsönhatás az emisszióra (Látókép, 2019)

Ismételt mérési modell segítségével vetettük össze a talajművelés, öntözés és a mérési időpontok hatásai a kibocsátásra. A modell szignifikáns eredményeket mutatott a talajművelés a talajhőmérséklet és a talajnedvesség kapcsán. A szén-dioxid-emisszióra az öntözés a vizsgált két évben ellentétesen hatott, 2018. évben növelte, 2019-ben csökkentette azt. A talajművelés kapcsán a hagyományos talajművelésben (őszi szántás) mértük a legnagyobb emissziós értékeket mind a két évben, amelyet a lazított és a sávós terület kibocsátási értékei követtek. 2019-ben a sávós és lazított területek között nem volt szignifikáns a különbség. ZSEMBELI és NAGY (2004) is végeztek kutatásokat a talajművelés és a szén-dioxid-kibocsátás kapcsán, amelyben a hagyományos és a csökkentett menetszámú művelést hasonlították össze, ahol arra a következtetésre jutottak, hogy a direktvetésben nagyobb a szén-dioxid-koncentráció, amit a gyomok erőteljes gyökérlégzése idézett elő.

4.7.3. Talajhőmérséklet

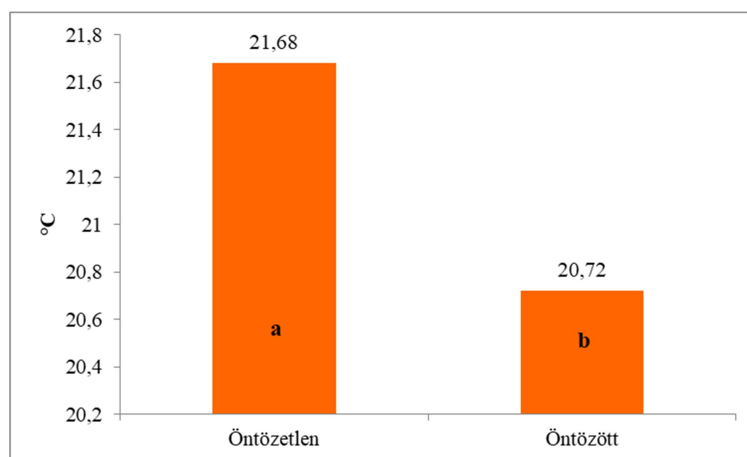
A talaj hőmérséklete kifejezetten fontos paraméter, hiszen befolyásolja a növény növekedését, a befolyásolja a talaj tápanyag-forgalmát is, továbbá a talaj ásványi részeinek mállását és a víz mozgását a talajban (RÁTONYI, 2006). A szén-dioxid-kibocsátásban is nagy szerepet játszik a talaj hőmérséklete, ezért is elengedhetetlen annak vizsgálata.

Az ismételt mérési modell (ANOVA) szignifikáns hatást mutatott a talajhőmérséklet alakulására az öntözés és a talajművelés és a mérési időpontok kölcsönhatásában. Az öntözés x talajművelés kölcsönhatás nem volt szignifikáns (**22. táblázat**)

22. táblázat: A talajhőmérséklet eredménye ismételt mérési modell szerint, 2018

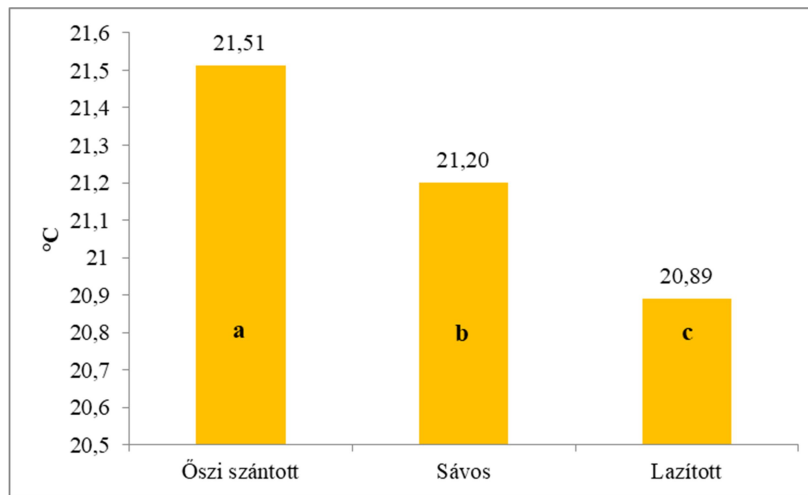
	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszege	Variancia	F érték	Szignifikancia
Öntözés	1	138.24	138.24	711.203	< 2e-16 ***
Talajművelés	2	38.56	19.28	99.201	2.49e-12 ***
Öntözés×Talajművelés	2	0.01	0.01	0.026	0.975
Maradék	24	4.66	0.19		
Mérési időpont	19	10431	549.0	1532.16	< 2e-16 ***
Öntözés×Mérési időpont	19	863	45.4	126.79	<2e-16 ***
Talajművelés×Mérési időpont	38	218	5.7	15.99	<2e-16 ***
Öntözés×Talajművelés×Mérési időpont	38	169	4.4	12.38	< 2e-16 ***
Maradék	456	163	0.4		
Szignifikancia kód: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

A talajhőmérséklet az öntözetlen területen szignifikánsan magasabb volt (21,68 °C), mint az öntözött területen (20,72 °C). Az öntözés következtében a talaj kevésbé melegszik fel, ami az **64. ábrán** is kimutatható.



64 ábra: Az öntözés hatása a talajhőre (Látókép, 2018)

A mért talajhőmérsékletet befolyásolták a különböző talajművelési módok is. Az őszi szántott területen a talaj jobban felmelegedett (21,51 °C), míg sávos területen kevésbé (21,2 °C), a legkevésbé pedig a lazított területen (20,89 °C). A talajművelések közti különbség minden esetben szignifikáns volt (**65. ábra**).



65. ábra: A talajművelés hatása a talajhőmérsékletére (Látókép, 2018)

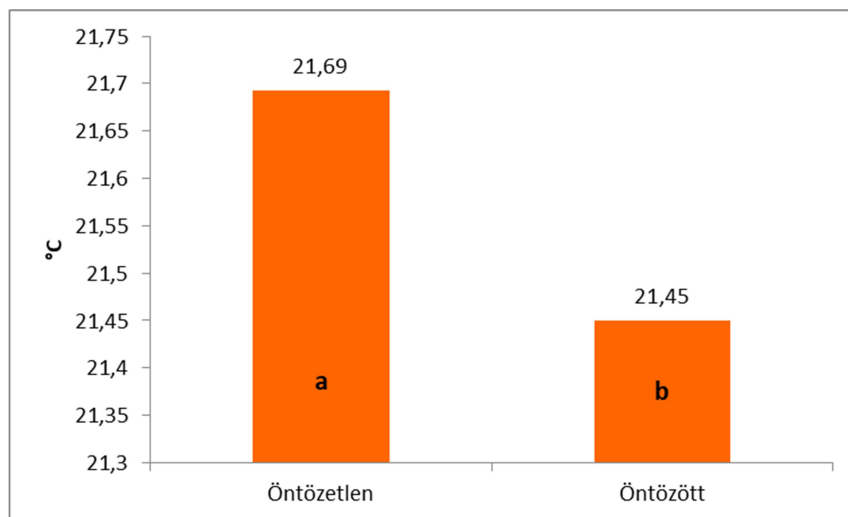
Mivel az öntözés és talajművelés kölcsönhatása nem volt szignifikáns, ezért ezt nem ábrázoltuk külön. Az öntözés és talajművelés hatásai ebben az esetben összeadódnak. Az öntözés mindhárom talajművelési változatban egyforma mértékben csökkentette a talajhőmérsékletét. A csökkenés mértéke átlagosan közel 1°C volt.

Ismételt mérési modellt alkalmazva a talajhőmérsékletre szignifikáns hatást gyakorolt az öntözés, a mérési időpont, és ezek kölcsönhatása 2019-ben (**23. táblázat**).

23. táblázat: A talajhőmérséklet eredménye ismételt mérési modell szerint, 2019

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszege	Variancia	F érték	Szignifikancia
Öntözés	1	6.654	6.654	32.040	9.21e-06 ***
Talajművelés	2	1.017	0.508	2.448	0.10872
Mérési időpont	1	2.067	2.067	9.954	0.00443 **
Öntözés×Talajművelés	2	0.365	0.183	0.880	0.42848
Maradék	23	4.777	0.208		
Mérési időpont	15	5241	349.4	824.879	< 2e-16 ***
Öntözés×Mérési időpont	14	216	15.4	36.400	<2e-16 ***
Talajművelés×Mérési időpont	28	67	2.4	5.668	6.12e-16 ***
Öntözés×Talajművelés×Mérési időpont	28	35	1.3	2.993	1.49e-06 ***
Maradék	337	143	0.4		
Szignifikancia_kód: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

2019-ben is hasonló volt a tendencia, mint 2018-ban, szintén az öntözetlen területen volt magasabb (21,69 °C) a talajhőmérséklet, mint az öntözött területen (21,45 °C), az öntözés itt is szignifikánsan befolyásolta a talajhőmérsékletet. Ennek a mértéke viszont igen csekély volt, 0,24°C (**66. ábra**).



66. ábra: Az öntözés hatása a talajhőre (Látókép, 2019)

A talajművelési módok hatását ebben az évben nem sikerült kimutatni. Mindhárom változatban azonosak voltak a talajhőmérsékletek.

A két vizsgálati év alapján öntöztelen körülmények között a talajhőmérséklet szignifikánsan magasabb volt. GYŐRI (1984) kutatásaiban arra jutott, hogy a magasabb hőmérséklet nagyobb szén-dioxid-kibocsátást eredményez, amelyet a mi kutatásunk is alátámaszt, hiszen a szántott területen kaptuk a legmagasabb kibocsátási értékeket és a talaj is itt melegedett föl leginkább 2018-ban. LASCALA et al., (2005) szerint ebben az esetben a talajművelés – talajhőmérséklet - szén-dioxid-kibocsátás kölcsönhatásáról beszélhetünk, mint kapcsolt kölcsönhatás.

4.7.4. Talajnedvesség

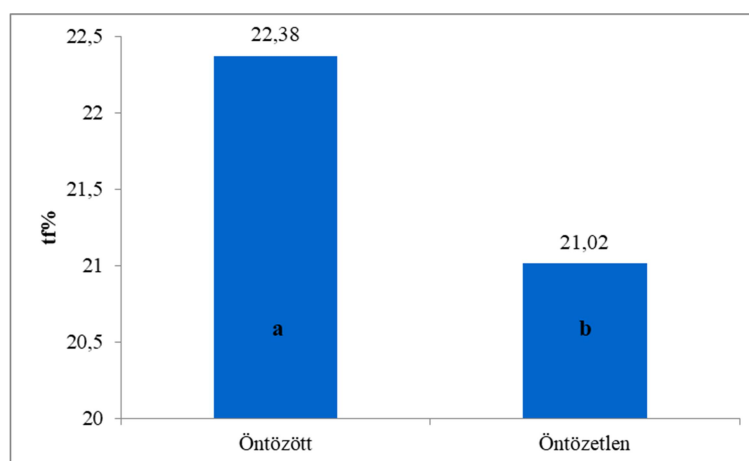
A talajművelés szerepe a vízhasznosítás kapcsán megkérdőjelezhetetlen. Több kutató is bizonyította, hogy a forgatás nélküli talajművelésekben a vízhasznosítás sokkal eredményesebb, mint a hagyományos talajművelési módoknál. GYURICZA (2004) a talaj felső 10 cm-es rétegében mért pozitív értékeket, míg ERBACH et al. (1992) szerint a talaj felső 20 cm-es rétegében számottevő a különbség. RÁTONYI (2003) is a forgatás nélküli talajművelési rendszerek nedvességmegőrző képességét támasztja alá.

Ismételt mérési modellel vizsgáltuk meg a talajnedvességre kifejtett hatását az öntözésnek, a talajművelésnek, a mérési időpontoknak és ezek kölcsönhatásainak. Minden faktornak szignifikáns befolyásoló szerepe volt (**24. táblázat**).

24. táblázat: A talajnedvesség eredménye ismételt mérési modell szerint, 2018

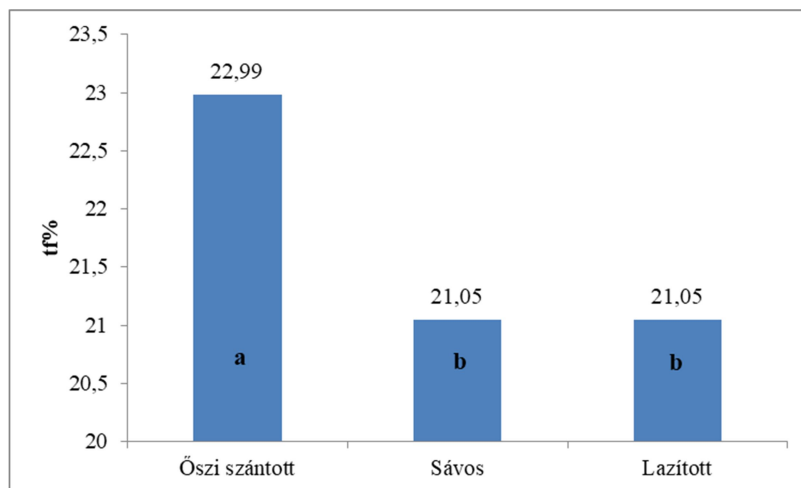
	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszege	Variancia	F érték	Szignifikancia
Öntözés	1	263.6	263.6	1.233e+31	<2e-16 ***
Talajművelés	2	473.3	236.7	1.107e+31	<2e-16 ***
Öntözés×Talajművelés	2	142.8	71.4	3.341e+30	<2e-16 ***
Maradék	24	0.0	0.0		
Mérési időpont	18	6067	337.0	1.230e+30	< 2e-16 ***
Öntözés×Mérési időpont	18	1357	75.4	2.752e+29	<2e-16 ***
Talajművelés×Mérési időpont	36	1874	52.1	1.900e+29	<2e-16 ***
Öntözés×Talajművelés×Mérési időpont	36	2506	69.6	2.541e+29	<2e-16 ***
Maradék	432	0	0.0		
Szignifikancia_kód: 0 '****' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

Az öntözés hatására a talajnedvesség szignifikánsan megemelkedett (22,38 tf%), öntözetlen területen az érték szignifikánsan alacsonyabb volt (21,02 tf%). Ez a várt eredményt igazolta (**67. ábra**).



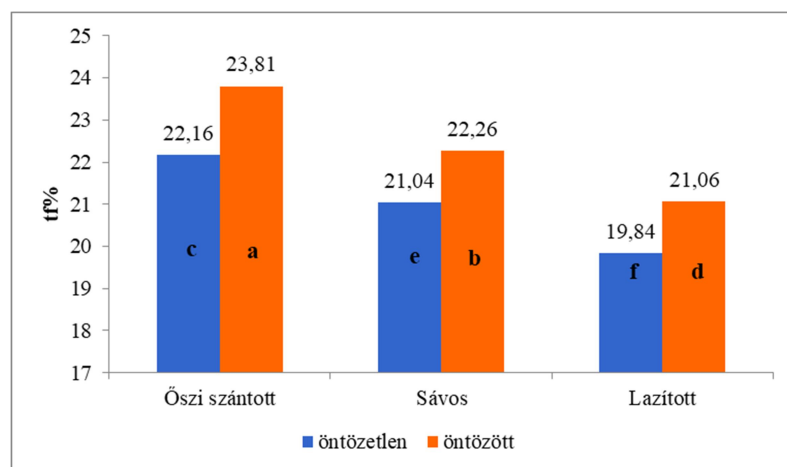
67. ábra: Az öntözés hatása a talajnedvességre (Látókép, 2018)

A talajnedvességre a talajművelési módok szignifikánsan hatottak. A legnagyobb talajnedvességi értékek az őszi szántott területen voltak (22,99 tf%), a sávos és lazított területek nem különböztek egymástól, az értékek egybe estek (21,05tf%) (**68. ábra**).



68. ábra: A talajművelés hatása a talajnedvességre (Látókép, 2018)

Öntözött területeken mind a három talajművelési módban nagyobb értékeket kaptunk, mint öntözetlen területeken. A legmagasabb értéket az őszi szántott öntözött területen kaptuk (23,81 tf%). Öntözetlen területeken is hasonló volt a tendencia, mint az öntözött területeken, az őszi szántott területen volt a legmagasabb (22,16tf%) a talajnedvesség és a lazított területen a legalacsonyabb (21,06 tf%). Az értékek szignifikánsan különböznek egymástól (**69. ábra**).



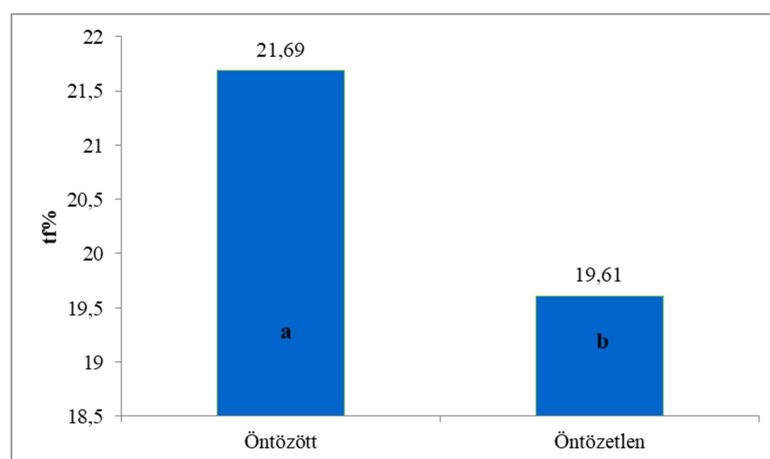
69. ábra: A talajművelés és az öntözés hatása a talajnedvességre (Látókép, 2018)

2019-ben az ismételt mérési modell eredményei szignifikáns hatást igazoltak az összes főhatás és kölcsönhatás tekintetében (**25. táblázat**). Szakmailag ezekből a legfontosabb az öntözés, talajművelés és e kettő kölcsönhatása.

25. táblázat: A talajnedvesség eredménye ismételt mérési modell szerint, 2019

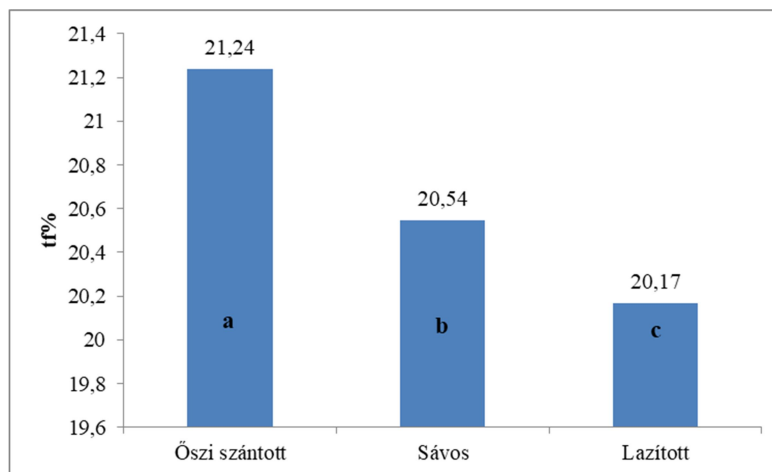
	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszege	Variancia	F érték	Szignifikancia
Öntözés	1	614.2	614.2	2.883e+31	<2e-16 ***
Talajművelés	2	112.4	56.2	2.637e+30	<2e-16 ***
Öntözés×Talajművelés	2	62.3	31.1	1.461e+30	<2e-16 ***
Maradék	24	0.0	0.0		
Mérési időpont	18	5652	314.02	4.652e+30	< 2e-16 ***
Öntözés×Mérési időpont	18	1386	77.03	1.141e+30	<2e-16 ***
Talajművelés×Mérési időpont	36	1326	36.84	5.457e+29	<2e-16 ***
Öntözés×Talajművelés×Mérési időpont	36	980	27.22	4.033e+29	<2e-16 ***
Maradék	432	0	0.0		
Szignifikancia kód: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 ',' 0,1 ' ' 1					

A 2018-as évhez hasonlóan 2019-ben is nagyobb talajnedvességi értékeket mértük az öntözött területen, mint az öntözetlenben, az eltérés a két terület között szignifikáns volt (70. ábra).



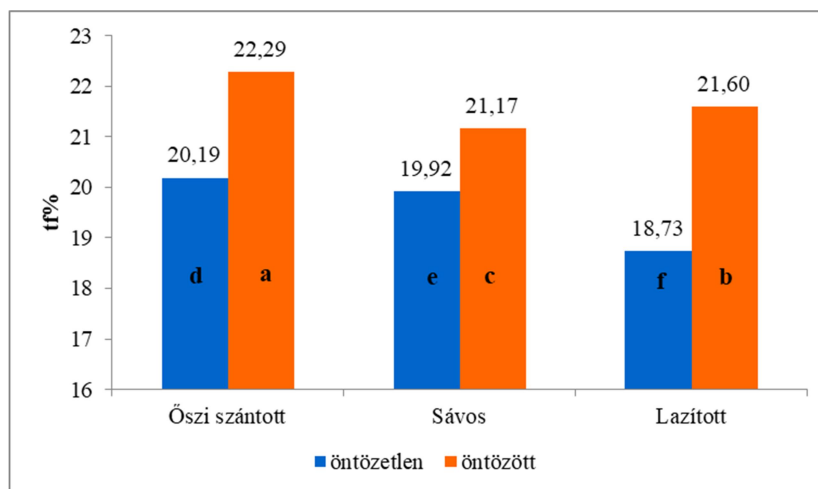
70. ábra: Az öntözés hatása a talajnedvességre (Látókép, 2019)

A talajművelési módokban a legnagyobb talajnedvességi értéket a szántott talajművelési módban kaptuk (21,24 tf%), míg a lazított terület értékei voltak a legalacsonyabbak (20,17 tf%) (71. ábra).



71. ábra: A talajművelés hatása a talajnedvességre (Látókép, 2019)

2019-ben, hasonlóan az előző évhez, az őszi szántott öntözött terület értékei voltak a legmagasabbak (22,29 tf%), de a lazított terület értékei (21,6 tf%) megelőzték a sávosan művelt terület értékeit (21,17 tf%), eltérően az előző évhez. Öntözetlen területen az előző évhez hasonlóan alakultak az eltérő talajművelésben az értékek, a legmagasabb az őszi szántott területen volt (20,19tf%), a legalacsonyabb a lazított területen (18,73 tf%) (72. ábra).



72. ábra: A talajművelés és az öntözés hatása a talajnedvességre (Látókép, 2019)

A talajnedvességi értékeket egyértelműen, mind a két évben befolyásolta az öntözés, az öntözött területen szignifikánsan magasabb talajnedvességi értékeket kaptunk. A talajművelés hatását a nedvességmegőrző képességre RÁTONYI (2003) és GYURICZA (2004) is vizsgálata. Kutatásaikban arra jutottak, hogy a forgatás nélküli talajművelési rendszerek nedvességmegőrző képessége nagyobb, mint a forgatásos talajművelési rendszereké. Kutatásaiban KARLEN et al. (1994) vizsgálatai is azt igazolták, hogy a művelés nélküli direktvetés térfogatszázalékos nedvességtartalma

jelentősen meghaladta a szántásos és kultivátoros művelési rendszerét. A mi vizsgálataink viszont azt az eredményt hozták, hogy az őszi szántott területen, öntözött körülmények között a legnagyobb a talajnedvesség értéke. A nem öntözött kezelésekben is az őszi szántásos területnek volt a magasabb nedvességi értéke. A két vizsgálati évben a sávos és a lazított területek értéke csak egy évben különbözött szignifikánsan egymástól. E két talajművelési változat nedvességtartalma gyakorlatilag azonosnak tekinthető.

4.8. A CO₂-EMISSZIÓ ÉVES DINAMIKÁJA

4.8.1. A CO₂-emisszió éves dinamikája 2018-ban

A mért CO₂-emisszió adatait felhasználva megbecsültük a 2 méteres léghőmérséklet és az emisszió közötti összefüggést, amihez az O'Connell modellt használtuk. A modell három paraméterét nemlineáris regresszió-analízissel határoztuk meg. A végső modell az alábbi volt:

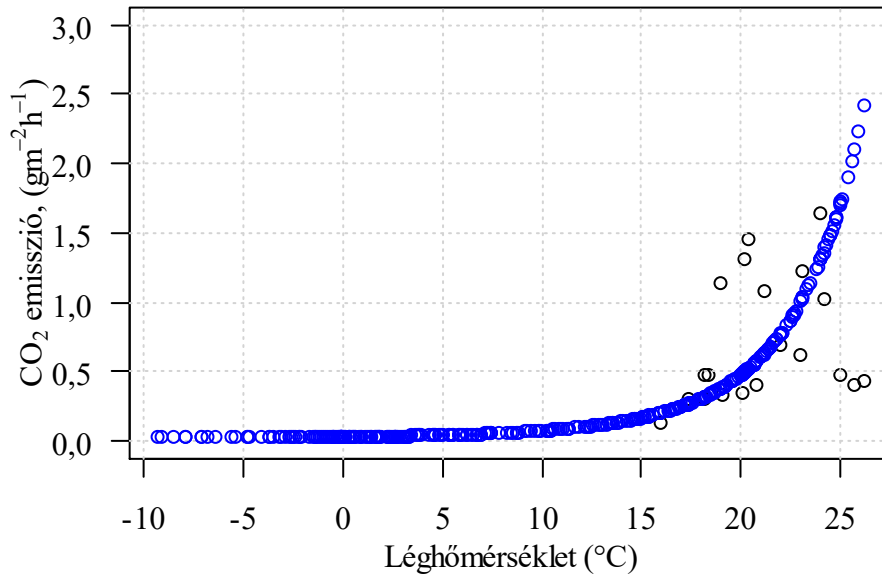
$$CO_2 = 0,03282e^{0,0364T} - 0,004885T^2$$

ahol:

CO₂: emisszió egy négyzetméteren egy óra alatt

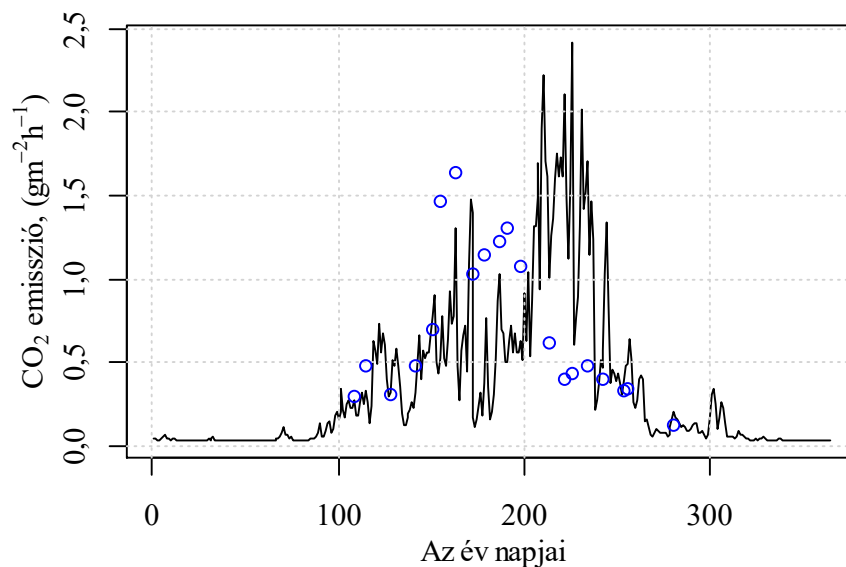
T: 2 méteres léghőmérséklet óras adatai

Ez a modell csak a hőmérsékletet veszi figyelembe. A **73. ábra** a léghőmérséklet és az emisszió közötti összefüggést mutatja, ahol a kék pontok a becsült értékek, az üres karikák a mért értékeket mutatják. A modell jól illeszkedik minden tartományban, az általunk használt modell megfelelően mutatja be a 2 méteres léghőmérséklet és az emisszió közötti összefüggést.



73. ábra: A becstlt és a mrt emisszi3s rtrtek és l3gh3m3rs3klet adatok (2018)

A k3s3rleti hely napi h3m3rs3kletei alapján megbecstlt3k az 3v minden napj3ra a CO₂-emisszi3t. A 74. *3bra* az O'Connell modell 3ltal becstlt 3ves emisszi3 menet3t mutatja, amely becsl3s az 3v 180 napj3ig j3 egyez3st mutat a mrt emisszi3s rtrtekkel. Ezut3n viszont er3s fel3lbecsl3s l3that3. Ennek az az oka, hogy haz3nkban a veget3ci3s id3 m3sodik fel3ben a talaj nedvess3gtartalma annyira lecs3kken, hogy limit3lja a sz3n-dioxid-emisszi3t. Ebben az id3szakban a talaj term3szetes visszat3m3r3d3se, 3s a lehull3 csapad3kok hatás3ra fokozatosan lez3rul a talaj felsz3ne, az aerodinamikai ellen3ll3s t3l nagy lesz, 3gy a l3gcsere nagym3rt3kben lecs3kken.

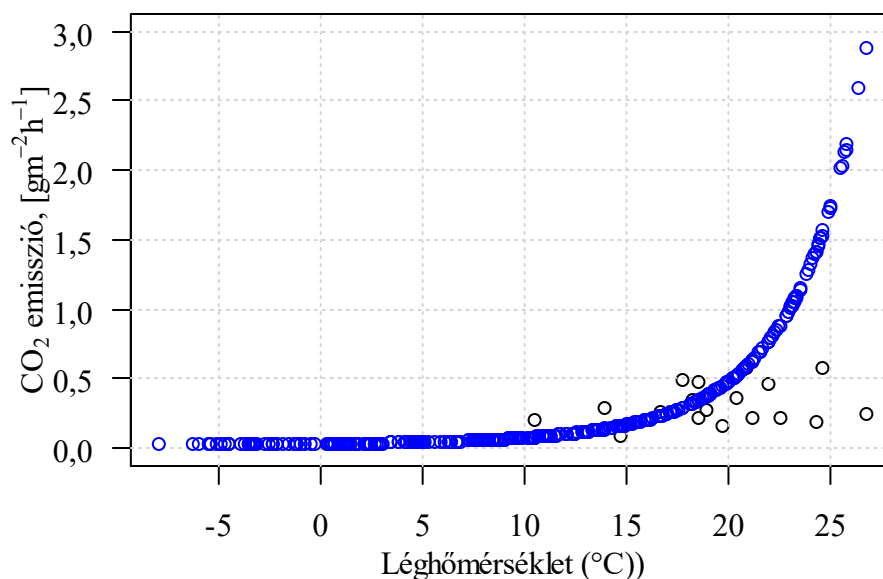


74. 3bra: A becstlt 3s a mrt sz3n-dioxid rtrtek, 3sszevetve az 3v napjaival (2018)

Az éves mennyiség előre jelzéséhez az órás értékeket a korábban már megbecsült szorzótényezővel szoroztuk meg. A mérések délelőtt történtek, ezért a 2018-ban megállapított 18-as szorzót alkalmaztam. Ez jó becslést biztosít a napi mennyiség közelítésére. Az általunk számolt éves becsült mennyiség $2\,274\text{ g m}^{-2}$ volt, ami egy elméleti érték, amely akkor fordulna elő, ha a nedvesség és a talajfelszín záródása nem korlátozná az emissziót, de gyakorlatban, ebben az évben ennek körülbelül a fele a reális érték $1\,137\text{ g m}^{-2}$. Ez az érték közel másfélszerese a KUZJAKOV (2006) által becsült értéknek, aki $4\,000\text{ m}^3$ szén-dioxidot becsült egy hektárra. Ezt átszámolva 765 g m^{-2} adódik az éves értékre. Az ő becslése azonban hűvösebb körülményekre vonatkozik. Látóképen az éves CO_2 -emisszió egy hektárra körülbelül $11\,370\text{ kg}$.

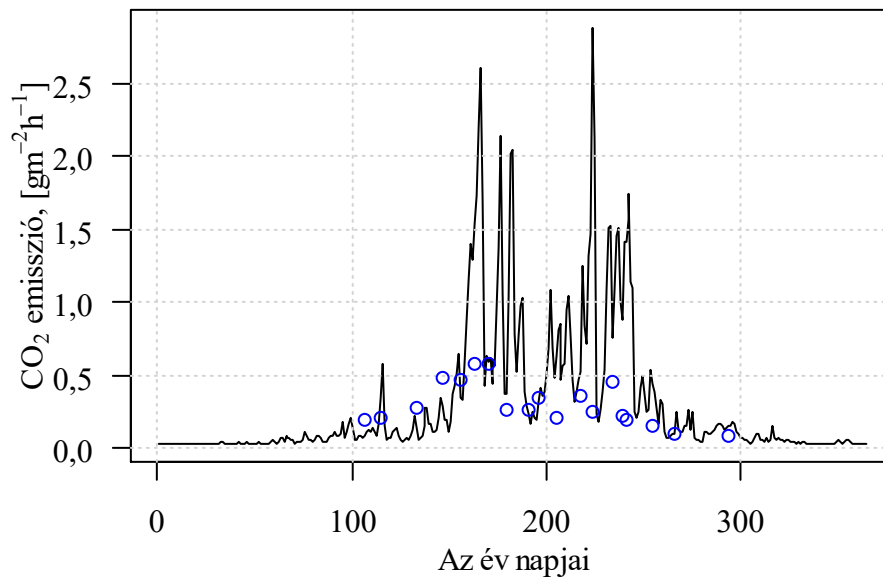
4.8.2. A CO_2 -emisszió éves dinamikája 2019-ben

A 2018-as adatok alapján előállított O’Connell modellt használtuk 2019-ben a léghőmérséklet és az emisszió közti összefüggés elemzésére (75. ábra). A modell illeszkedése természetesen nem volt olyan pontos, mint az előző évben, hiszen „idegen” adatokon teszteltük. A becsült értéknek többször alatta maradt a mért érték, a hőmérséklet emelkedésével a modell pontossága romlott. A magasabb hőmérséklethez a gyakorlatban alacsonyabb talajnedvesség társul. Az alacsony nedvesség korlátozza ilyenkor a CO_2 -emissziót. A modell egyik továbbfejlesztési lehetősége, hogy bele kellene építeni a nedvesség hatását is. Ehhez viszont folyamatos talajnedvességi értékekre lenne szükség, amely nem állt rendelkezésünkre.



75. ábra: A becsült és a mért emissziós értékek és léghőmérséklet adatok (2019)

Az O'Connell modell által becsült éves emissziós értékeket bemutató **76. ábrán** azt láthatjuk, hogy a modell erősen fölé becsüli az emissziós értékeket a valóban mért értékekhez képest. A 2019-es évre is megbecsültük az éves mennyiséget a 2018-as szorzószám segítségével. Az éves teljes kibocsátás $1\,978\text{ g m}^{-2}\text{ év}^{-1}$ -re becsülhető a modell segítségével. Ennek a fele $989\text{ g m}^{-2}\text{ év}^{-1}$. Ez némileg alacsonyabb, mint a 2018-as érték, de közelebb van a mások által mért értékekhez. Látóképen az éves CO_2 -emisszió 2019-ben egy hektárra körülbelül $9\,890\text{ kg}$.



76. ábra: A becsült és a mért szén-dioxid értékek, összevetve az év napjaival (2019)

Az éves dinamika megállapítása kapcsán a léghőmérsékleti adatokat és az emissziós értékeket vetettük egybe az O'Connell modell segítségével. 2018-ban a felállított modell jól illeszkedett a mért értékekre, 2019-ben a 20 °C feletti hőmérsékleti értékek fölött volt nagyobb eltérés.

BIRKÁS et al. (2007) a méréseik alapján meleg nyári napokon a bolygatatlan talajok szén-dioxid-kibocsátása $5\text{-}8\text{ kg C ha nap}^{-1}$ ($2,4\text{ t C ha év}^{-1}$), amit erősen befolyásolt a talaj nedvességi állapota és hőmérséklete. RAICH és SCHLESINGER (1992) modelljükben a talajlégzést globálisan vizsgálták, ami során arra jutottak, hogy leginkább a hőmérséklet-változása befolyásolja a kibocsátást. Az éves szén-dioxid-kibocsátás eléri a körülbelüli $68 \pm 4\text{ Pg C év}^{-1}$ -et kutatásaik szerint, ami globális szinten korrelál az éves levegő hőmérséklettel és az éves csapadékkal. A becslés Magyarországra (11 °C) átlagosan $600\text{ g C m}^{-2}\text{ év}^{-1}$ értéket ad. Ez CO_2 -re átszámítva ($44/12$) $2\,200\text{ g CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ év}^{-1}$ mennyiséget eredményez. Ez nagyon közel van az általunk 2018-ban becsült elméleti értékhez ($2\,274\text{ g m}^{-2}$). Még a 2019-es elméleti érték is

hasznló, $1\,978\text{ g m}^{-2}$. Ezek alapján a modellezett eredményeink összhangban vannak RAICH és SCHLESINGER (1992) által becsült értékekkel. Az O'Connell modell felhívta a figyelmet arra, hogy a kísérleti helyszínen feltétlenül számításba kell venni a nedvesség erősen befolyásoló szerepét.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A méréseink alapján megállapítható, hogy a talajhőmérséklet illetve léghőmérséklet valamint a talajnedvesség pozitív kapcsolatban van a szén-dioxid-emisszióval. Az összefüggés nem lineáris, viszont a kukorica rövid vegetációs idejében az összefüggés jól modellezhető többszörös lineáris regresszióval. A becsült regressziós sík jól közelíti a mért értékeket. A becslés pontossága 2018-ban jobb volt, mint 2019-ben. A talajhőmérséklet-adatok jól helyettesíthetők a 2 méteres léghőmérséklet-adatokkal. Esetenként még jobb eredményt is adhatnak. Ennek az lehet az oka, hogy a hőmérséklet csak hosszabb távon, lassan emeli az emisszió értékét, van egy késleltetés a rendszerben. Mivel a levegő a talajfelszínétől melegszik fel, ezért a 2 méteres hőmérséklet órákkal később éri el a maximumát, mint a felszín. Ez a késleltetés már elegendő időt ad az intenzívebb mikrobiológia tevékenység kialakulásához, és ezzel összefüggésben a magasabb emisszióhoz. Egy pontosabb modell megalkotásához a rendszer tehetetlenségét is figyelembe kellene venni.

Az öntözés hatása a talaj szén-dioxid koncentrációjára nem volt egyértelmű a vizsgált időszakban. 2018-ban az öntözött parcellák kibocsátása volt magasabb (átlagos értéke $0,84 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), ez közel 30%-kal haladta meg az öntözetlen területekét. 2019-ben viszont gyakorlatilag a két öntözési változatban egyforma volt a kibocsátás értéke ($0,3 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

Az öntözetlen kezeléseknél a talajhőmérséklet szignifikánsan magasabb volt, mint az öntözötteknél. Átlagos értéke $21,68 \text{ °C}$ volt 2018-ban, ez közel 1 °C -kal haladta meg az öntözöttét. 2019-ben a tendencia megmaradt, viszont a két öntözési változat talajhőmérséklete között alig volt különbség, $21,69 \text{ °C}$ és $21,45 \text{ °C}$.

2018-ban az öntözés hatására a talajnedvesség szignifikánsan megemelkedett ($22,38 \text{ tf}\%$), öntözetlen területen az érték szignifikánsan alacsonyabb volt ($21,02 \text{ tf}\%$). A 2018-as évhez hasonlóan 2019-ben is nagyobb talajnedvességi értékeket mértük az öntözött területen, mint az öntözetlenben, az eltérés a két terület között szignifikáns volt, több mint $2 \text{ tf}\%$.

A talajművelési módok közül az őszi szántás eredményezte a legmagasabb kibocsátást, 2018-ban átlagosan $0,78 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 2019-ben $0,35 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. 2018-ban a legalacsonyabbat a sávos területen ($0,64 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) mértük. 2019-ben a lazított és sávos

művelésben egyforma volt a mért emisszió értéke ($0,28 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). A két év mérései alapján egyértelműen az őszi szántás okozza a legnagyobb kibocsátási értékeket. A sávos és lazított művelések között gyakorlatilag nem sikerül kimutatni egyértelmű különbséget.

Az őszi szántott területeket hőmérséklete volt a legmagasabb ($21,51 \text{ }^\circ\text{C}$), míg sávos területen ($21,2 \text{ }^\circ\text{C}$), a lazított területen ($20,89 \text{ }^\circ\text{C}$) 2018-ban. 2019-ben a talajművelési módok hatását nem sikerült kimutatni. Mindhárom változatban a hőmérsékletek közötti különbségek hibahatáron belül voltak.

2018-ban a legnagyobb talajnedvességi értékek az őszi szántott területen voltak ($22,99 \text{ tf}\%$), a sávos és lazított területek nem különböztek egymástól, az értékek azonosak voltak ($21,05 \text{ tf}\%$). 2019-ben a talajművelési módokban a legnagyobb talajnedvességi értéket szintén a szántott talajművelési módban kaptuk ($21,24 \text{ tf}\%$), míg a lazított terület értékei voltak a legalacsonyabbak ($20,17 \text{ tf}\%$).

A tenyészidőszak alatt a legmagasabb napi szén-dioxid kibocsátást a júniusi napokban mértük, a maximális érték $31,56 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ volt. Ebben az időszakban már magas a talajhőmérséklet, de még van elegendő nedvesség a talaj felső rétegében a talajlégzés magas szinten tartásához. A nyár elején még a talajfelszín sem zárul le olyan mértékben, ami korlátozná a magas emissziós értékek kialakulását.

A mért CO_2 -emisszió adatait felhasználva megbecsültük a 2 méteres léghőmérséklet és az emisszió közötti összefüggést, amihez az O'Connell modellt használtuk. A modell három paraméterét nemlineáris regresszió-analízissel határoztuk meg. 2018-ban a modell jól illeszkedett minden hőmérsékleti tartományban. A kísérleti hely napi átlaghőmérsékletei alapján megbecsültük az év minden napjára a CO_2 -emissziót. Az O'Connell modell által becsült éves emisszió az év 180. napjáig jó egyezést mutat a mért emissziós értékekkel, ezután viszont erős felülbecslés látható. Ennek az az oka, hogy ez a modell csak a hőmérsékletet veszi figyelembe, és hazánkban a vegetációs idő második felében a talaj nedvességtartalma annyira lecsökken, hogy limitálja a szén-dioxid-emissziót. Ebben az időszakban a talaj természetes visszatömörödése, és a lehulló csapadékok hatására fokozatosan lezárul a talaj felszíne, az aerodinamikai ellenállás túl nagy lesz, így a légcseré nagymértékben lecsökken. Az emisszió pontosabb becsléséhez a jövőben feltétlenül be kell építeni a talajnedvesség és az aerodinamikai ellenállás hatását az O'Connell típusú modellekbe.

Amennyiben a mérések délelőtt, 11 óra körül történnek, a napi becsléshez az aktuális órai értéket 18-cal érdemes szorozni. Ezt felhasználva 2018-ban a becsült mennyiség $2\,274\text{ g m}^{-2}$ volt, ami egy elméleti érték, amely akkor fordulna elő, ha a nedvesség és a talajfelszín záródása nem korlátozná az emissziót, de a valóságban, ebben az évben ennek körülbelül a fele a reális érték $1\,137\text{ g m}^{-2}$. Ezek a becslések összhangban vannak más kutatók mérési eredményeivel. 2019-ben az éves teljes kibocsátás $1\,978\text{ g m}^{-2}$ -re becsülhető a modell segítségével. Ennek a fele $989\text{ g m}^{-2}\text{ év}^{-1}$. Ez némileg alacsonyabb, mint a 2018-as érték, de közelebb van a mások által mért értékekhez.

A talajművelési rendszerek statisztikailag igazolható módon befolyásolják a talaj széndioxid kibocsátását. A legnagyobb kibocsátást az őszi szántott parcellákon mértük. Ennek az az oka, hogy itt a legmagasabb a talajnedvesség és talajhőmérséklet. A sávos és lazításos kezelések közötti különbség csekély. A forgatás nélküli talajművelési rendszerekben ezért a szervesanyag-csökkenés kisebb, az alacsonyabb emisszió miatt. Ebből a szempontból ezek a rendszerek talajkímélőnek minősíthetők.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A talajnedvesség és talajhőmérséklet pozitívan befolyásolja a szén-dioxid emissziót. A vegetációs időszakban a többszörös lineáris regresszió-analízissel meghatározott modell magyarázó ereje 30% volt. A talajhőmérsékletet a 2 méteres léghőmérséklettel helyettesítve a modell magyarázó ereje 52%-ra nőtt.
2. A talajművelési módok közül az őszi szántás eredményezte a legmagasabb kibocsátást, 2018-ban átlagosan $0,78 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 2019-ben $0,35 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. 2018-ban a legalacsonyabbat a sávos területen ($0,64 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) mértünk. 2019-ben a lazított és sávos művelésben egyforma volt a mért emisszió értéke ($0,28 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). A két év mérései alapján egyértelműen az őszi szántás okozza a legnagyobb kibocsátási értékeket. A sávos és lazított művelések között gyakorlatilag nem sikerül kimutatni egyértelmű különbséget. A magasabb emissziót az őszi szántott parcellák magasabb talajnedvessége és hőmérséklete okozta.
3. Az öntözés emisszióra gyakorolt hatása kettős. Egyrészt növeli a talaj nedvességekészletét, másrészt csökkenti a talajhőmérsékletét. E két hatás ellentétesen befolyásolja az emissziót, a magasabb nedvesség növeli, az alacsonyabb hőmérséklet csökkenti a kibocsátást. A két hatás eredője évenként különböző módon befolyásolhatja az emissziót.
4. A CO_2 -emisszió folyamatosan változik, ezért a napi értékek becsléséhez az aktuális mérési eredményt kell szorozni a mérési órától függő szorzószámmal. Amennyiben a mérések délelőtt 11 órakor történnek a 18-as szorzószám a legalkalmasabb.
5. Mészlepedékes csernozjom talajon a kukorica tenyészidőszakában a legmagasabb napi szén-dioxid kibocsátást a júniusi napokban becsültük, a maximális érték $31,56 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ volt. Ebben az időszakban már magas a talajhőmérséklet, de még van elegendő nedvesség a talaj felső rétegében a talajlégzés magas szinten tartásához. A nyár elején még a talajfelszín sem zárul le olyan mértékben, ami korlátozná a magas emissziós értékek kialakulását.
6. Az O'Connell modellel megbecsültük az egész éves szén-dioxid kibocsátást. Korlátlan csapadékelátottság mellett a maximális érték $19\,780\text{—}22\,740 \text{ kg ha}^{-1}$ volt. Átlagos csapadékú években $9\,890\text{—}11\,370 \text{ kg ha}^{-1}$ várható.

7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

Kutatásaink rámutattak arra, hogy a szén-dioxid-kibocsátás vizsgálata - bár régóta vizsgált terület – sok kihívást rejt magában. A környezeti tényezők változékonysága, mint a talajnedvesség és a talajhőmérséklet, és az általunk eddig még nem vizsgált egyéb tényezők az értékeket nagymértékben befolyásolhatják, ezért szükséges olyan elméleti modell felállítása, amely a mért környezeti paraméterek alapján megbízhatóan meg tudja becsülni a kibocsátás mértékét.

A tudományos színvonalú mérésekhez a jövőben érdemes a TESTO 535 készüléknél pontosabb berendezést használni.

Az O'Connell modell a hőmérséklet és az emisszió közötti összefüggést jól leírja. Érdemes tovább fejleszteni, és a döntő mértékben ható környezeti tényezőket beépíteni a modellbe. Feltétlenül figyelembe kell venni a talajnedvesség, a talaj lazultsági állapotát, a légnyomás és szélesebesség értékeit. A talaj lazultsági állapotát illetve a felszíni lezáródást jellemezni lehetne az aerodinamikus ellenállás értékével ($s\ m^{-1}$). A javasolt modell nagyon hasonlítana a referencia párolgás becslésére használt Penman – Monteith algoritmusra. Ez a modell lehetővé teszi a különböző helyek összehasonlítását, mivel egy hipotetikus 12 cm-es fűvet, 0,23 albedót és $70\ s\ m^{-1}$ aerodinamikai ellenállást használ a becsléshez. A szén-dioxid emissziós modellbe be kell építeni a talaj szerves széntartalmát és a mikrobiológia aktivitást. Ezekhez a korábbi inkubációs kísérletek adhatnak segítséget.

A szántóföldi kísérletek megerősítették a hőmérséklet és a talajnedvesség szén-dioxid-emissziót növelő hatását. A forgatásos művelésben magasabb nedvességet és hőmérsékletet mértünk, ezért a kibocsátási értékek is magasabbak voltak a sávos és lazításos talajműveléshez képest. A csökkentett menetszámú rendszerek így a talaj szervesanyag-készletét szignifikánsan lassabban oxidálják, kevesebb szén-dioxidot juttatnak a légkörbe. Ilyen szempontból környezetkímélő talajművelési rendszernek minősíthetők.

Az öntözés a terméshozás és terméshozás mellett a szén-dioxid-kibocsátást is befolyásolja. Hatása kettős. Egyrészt növeli a talaj nedvességtartalmát, másrészt csökkenti a talajhőmérsékletét. E két hatás ellentétesen befolyásolja az emissziót, a

magasabb nedvesség növeli, az alacsonyabb hőmérséklet csökkenti a kibocsátást. A két hatás eredője évenként különböző módon befolyásolhatja az emissziót. Ezt a kísérleti eredményeink is megerősítik. 2018-ban szignifikánsan magasabb volt a kibocsátás az öntözött parcellákon. 2019-ben viszont megfordult a tendencia. Az öntözés környezetre gyakorolt hatásának megítélésakor a jövőben érdemes figyelembe venni ezt a szempontot is.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Doktori dolgozatom kiinduló pontja a talaj szén-dioxid-koncentrációjának vizsgálatára irányult, amelyen keresztül megvizsgáltuk a különböző talajművelési módok és az öntözés hatását a szén-dioxid-kibocsátásra a tenyészidőszakban.

Kutatásomat a Debreceni Egyetem, Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság (AKIT) Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet Látóképi Kísérleti Telepén végeztem el 2018-2019 között.

A vizsgálataimhoz a TESTO 535-ös gáz analizátoros szén-dioxid mérő eszközt használtuk, amelyhez egyedi mérőedényeket fejlesztettünk ki és belső ventillációval láttuk el. A méréseink hosszát és gyakoriságát erre alapuló tanulmányok alapján határoztuk meg, a kísérleti helyszíneket pedig randomizáltan helyeztük el, ügyelve arra, hogy a különböző műtrágya lépcsők ne zavarják a mérés eredményét.

A napi dinamika méréseinket leginkább az időjárási körülmények befolyásolták, a 2019. évben bekövetkezett májusi csapadékos időjárás miatt a májusi napi dinamika felvételét nem tudtuk elvégezni, ezáltal nem nyújtott összehasonlítási alapot a 2018-as évhez képest, így kivettük a mérési eredményeink közül. A továbbiakban a napi dinamika mérését addig tartottuk célszerűnek véghezvinni, amíg a növénykultúra betakarítása meg nem valósult.

A talaj hőmérsékletének és nedvességtartalmának mérése elengedhetetlen volt az adatok megbízható elemzéséhez, így a szén-dioxid-koncentráció méréssel párhuzamosan minden alkalommal elvégeztük a talajnedvesség és talajhőmérséklet vizsgálatokat is. Kifejezetten a napi dinamika mérésénél volt szembeötlő a talaj hőmérsékleti adatok változásával bekövetkező szén-dioxid-koncentráció változása, amelyet a tenyészidőszak alatt végigkövettünk. A talajnedvesség-adatait a programszerű öntözés és a változó csapadékadatok befolyásolták. A tábla két részre osztottsága (öntözött és öntözetlen területek) megfelelő lehetőséget biztosítottak arra, hogy a talajnedvességi adatokat összevegyük és meghatározzuk az öntözés előnyeit és hátrányait a talajra és ezen belül a kibocsátásra nézve.

A heti méréseinket minden vizsgálat alkalmával a délelőtti órákban, 9 óra után vettük fel, így viszonylagos kontinuitásban tudtuk összevetni a kapott értékeket, ebben az időpontban a talaj hőmérsékleti eredményei folyamatosan emelkedtek, a szántott

területen pedig ekkor mértünk a legmagasabb kibocsátási értékeket a napi dinamika és a heti mérések alkalmával is.

A statisztikai számításainkat az R programmal végeztük, amelyben a {gplots}, {car} és {agricolae} csomagokat használtuk. A grafikonokat az Ms Excel 2010 programmal készítettük el. Az elsőfajú hiba elkövetésének maximális valószínűségét 5%-on ($\alpha = 0,05$) rögzítettük, ez a leggyakrabban használt érték, ez biztosította, hogy eredményünket össze tudjuk hasonlítani a korábban születettekkel. HUZSVAI és BALOGH példái alapján ismételt mérési modellt alkalmaztunk a szén-dioxid-kibocsátás, a talajhőmérséklet és talajnedvesség elemzésére. Ezzel a modellel az öntözés és talajművelés hatását lehet becsülni az időben megismételt adatok alapján. A talajhőmérséklet illetve léghőmérséklet és a talajnedvesség valamint a szén-dioxid-emisszió közötti összefüggést a tenyésztési időszakban többszörös lineáris regresszióanalízissel modelleztük. Az egész évre viszont az O'Connell modellt használtuk. Ez a modell nem lineáris, jobban használható szélsőségesen ingadozó léghőmérsékletek mellett. Az O'Connell modell segítségével megbecsültük a 2 méteres léghőmérséklet és az emisszió közötti összefüggést. A modell három paraméterét nemlineáris regresszióanalízissel határoztuk meg a legkisebb négyzetek módszerével. A becsült napi adatok alapján meghatároztuk az éves kibocsátást is.

A mérések alapján az alábbi következtetésekre jutottunk. Az öntözés hatása a talaj szén-dioxid-koncentrációjára nem volt egyértelmű az vizsgált időszakban. 2018-ban az öntözött parcellák kibocsátása volt magasabb (átlagos értéke $0,84 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), ez közel 30%-kal haladta meg az öntöztelen területekét. 2019-ben viszont gyakorlatilag a két öntözési változatban egyforma volt a kibocsátás értéke ($0,3 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

Az öntöztelen kezelésekben a talajhőmérséklet szignifikánsan magasabb volt, mint az öntözöttekben. Átlagos értéke $21,68 \text{ }^\circ\text{C}$ volt 2018-ban, ez közel 1°C -kal haladta meg az öntözöttét. 2019-ben a tendencia megmaradt, viszont a két öntözési változat talajhőmérséklete között alig volt különbség, $21,69 \text{ }^\circ\text{C}$ és $21,45 \text{ }^\circ\text{C}$.

2018-ban az öntözés hatására a talajnedvesség szignifikánsan megemelkedett ($22,38 \text{ tf}\%$), öntöztelen területen az érték szignifikánsan alacsonyabb volt ($21,02 \text{ tf}\%$). A 2018-as évhez hasonlóan 2019-ben is nagyobb talajnedvességi értékeket mértünk az öntözött területen, mint az öntöztelenben, az eltérés a két terület között szignifikáns volt, több mint $2 \text{ tf}\%$.

A talajművelési módok közül az őszi szántás eredményezte a legmagasabb kibocsátást, 2018-ban átlagosan $0,78 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 2019-ben $0,35 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. 2018-ban a legalacsonyabbat a sávos területen ($0,64 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) mértünk. 2019-ben a lazított és sávos művelésben egyforma volt a mért emisszió értéke ($0,28 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). A két év mérései alapján egyértelműen az őszi szántás okozza a legnagyobb kibocsátási értékeket. A sávos és lazított művelések között gyakorlatilag nem sikerül kimutatni egyértelmű különbséget.

Az őszi szántott területeket hőmérséklete volt a legmagasabb ($21,51 \text{ }^\circ\text{C}$), míg sávos területen ($21,2 \text{ }^\circ\text{C}$), a lazított területen ($20,89 \text{ }^\circ\text{C}$) 2018-ban. 2019-ben a talajművelési módok hatását nem sikerült kimutatni. Mindhárom változatban a hőmérsékletek közötti különbségek hibahatáron belül voltak.

2018-ban a legnagyobb talajnedvességi értékek az őszi szántott területen voltak ($22,99 \text{ tf}\%$), a sávos és lazított területek nem különböztek egymástól, az értékek azonosak voltak ($21,05 \text{ tf}\%$). 2019-ben a talajművelési módokban a legnagyobb talajnedvességi értéket szintén a szántott talajművelési módban kaptuk ($21,24 \text{ tf}\%$), míg a lazított terület értékei voltak a legalacsonyabbak ($20,17 \text{ tf}\%$).

A mérések alapján megállapítható, hogy a talajhőmérséklet illetve léghőmérséklet valamint a talajnedvesség pozitív kapcsolatban van a szén-dioxid-emisszióval. Az összefüggés nem lineáris, viszont a kukorica rövid vegetációs idejében az összefüggés jól modellezhető többszörös lineáris regresszióval. A becsült regressziós sík jól közelíti a mért értékeket. A becslés pontossága 2018-ban jobb volt, mint 2019-ben. A talajhőmérséklet-adatok jól helyettesíthetők a 2 méteres léghőmérséklet-adatokkal. Esetenként még jobb eredményt is adhatnak. Ennek az lehet az oka, hogy a hőmérséklet csak hosszabb távon, lassan emeli az emisszió értékét, van egy késleltetés a rendszerben. Mivel a levegő a talajfelszínétől melegszik fel, ezért a 2 méteres hőmérséklet órákkal később éri el a maximumát, mint a felszín. Ez a késleltetés már elegendő időt ad az intenzívebb mikrobiológia tevékenység kialakulásához, és ezzel összefüggésben a magasabb emisszióhoz. Egy pontosabb modell megalkotásához a rendszer tehetetlenségét is figyelembe kellene venni.

A tenyészidőszak alatt a legmagasabb napi szén-dioxid-kibocsátást a júniusi napokban mértük, a maximális érték $31,56 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ volt. Ebben az időszakban már magas a talajhőmérséklet, de még van elegendő nedvesség a talaj felső rétegében a talajlégzés

magas szinten tartásához. A nyár elején még a talajfelszín sem zárul le olyan mértékben, ami korlátozná a magas emissziós értékek kialakulását.

A mért CO₂-emisszió adatait felhasználva megbecsültük a 2 méteres léghőmérséklet és az emisszió közötti összefüggést, amihez az O'Connell modellt használtuk. 2018-ban a modell jól illeszkedett minden hőmérsékleti tartományban. A kísérleti hely napi átlaghőmérsékletei alapján megbecsültük az év minden napjára a CO₂-emissziót. Az O'Connell modell által becsült éves emisszió az év 180. napjáig jó egyezést mutat a mért emissziós értékekkel. Ezután viszont erős felülbecslés látható. Ennek az az oka, hogy ez a modell csak a hőmérsékletet veszi figyelembe, és hazánkban a vegetációs idő második felében a talaj nedvességtartalma annyira lecsökken, hogy limitálja a széndioxid-emissziót. Ebben az időszakban a talaj természetes visszatömörödése, és a lehulló csapadékok hatására fokozatosan lezárul a talaj felszíne, az aerodinamikai ellenállás túl nagy lesz, így a légcsere nagymértékben lecsökken. Az emisszió pontosabb becsléséhez a jövőben feltétlenül be kell építeni a talajnedvesség az aerodinamikai ellenállás hatását az O'Connell modellbe.

Amennyiben a mérések délelőtt, 11 óra körül történnek, a napi becsléshez az aktuális órai értéket 18-cal érdemes szorozni. Ezt felhasználva 2018-ban a becsült mennyiség 2 274 g m⁻² volt, ami egy elméleti érték, amely akkor fordulna elő, ha a nedvesség és a talajfelszín záródása nem korlátozná az emissziót, de a valóságban, ebben az évben ennek körülbelül a fele a reális érték 1 137 g m⁻². Ezek a becslések összhangban vannak más kutatók mérési eredményeivel. 2019-ben az éves teljes kibocsátás 1 978 g m⁻²-re becsülhető a modell segítségével. Ennek a fele 989 g m⁻² év⁻¹. Ez némileg alacsonyabb, mint a 2018-as érték, de közelebb van a mások által mért értékekhez.

9. SUMMARY

The starting point of my doctoral dissertation was to study the carbon dioxide concentration of the soil, through which I examined the effect of different tillage methods on carbon dioxide emission during the crop year, as well as the yield data measured in different tillage methods. Through the obtained results, as well as with the help of the scientific literature review, attention was drawn to food security issues, the solution of which requires more and more urgent answers.

My research was carried out at the Látókép Experimental Plant of the University of Debrecen, Institutes for Agricultural Research and Educational Farm (AKIT) between 2018-2019. My research focused on the effect of different tillage methods on carbon dioxide concentration, which was placed in the context of major food security issues.

For my tests I used the TESTO 535 gas analyzer carbon dioxide measuring device, for which unique measuring vessels were developed and they were provided with internal ventilation. The length and frequency of my measurements were determined based on relevant studies, and the experimental sites were randomly placed, keeping in mind that the different fertilizer steps do not interfere with the measurement.

My daily dynamics measurement was mostly influenced by weather conditions, due to the rainy weather in May 2019, I could not record the daily dynamics in May, thus it did not provide a basis for comparison to 2018, thus it was removed from my measurement results. Subsequently, I considered it expedient to measure the daily dynamics until the crop is harvested.

Measurement of soil temperature and moisture content was essential to obtain more accurate data, so in parallel with the measurement of carbon dioxide concentration, I also performed soil moisture and soil heat tests every time. The change in carbon dioxide concentration due to changes in soil temperature data was striking especially when measuring the daily dynamics, which I followed throughout the growing season. Soil moisture data were influenced by programmed irrigation and variable precipitation data. The division of the field into two parts (irrigated and non-irrigated areas) provided an adequate opportunity to compare soil moisture data and determine the advantages and disadvantages of irrigation for the soil and for emissions.

I took my weekly measurements in the morning after 9 a.m. for each test, so I was able to compare the obtained values in relative continuity. At this time the soil temperature results increased continuously, and the highest emission values were measured in the ploughed area for both daily dynamics and also during weekly measurements.

My statistical calculations were supported by the RStudio graphical interface, in which my calculations were performed using the “gplots”, “car” and “agricolae” packages, and then the graphs were created with Ms Excel 2010. I chose the first type error as 5% ($\alpha = 0.05$) to reduce the first type error. Based on the examples of Huzsvai and Balogh, I used a repeated measurement model for the relationship between carbon dioxide emissions, irrigation, tillage and soil temperature values, and irrigation and temperature values.

Based on the measurements, the following conclusions were reached. The effect of irrigation on soil carbon dioxide concentration was not clear during the period studied. In 2018, the emissions from irrigated plots were higher (average $0.84 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), almost 30% higher than those from non-irrigated plots. In 2019, however, the emissions were practically the same for the two irrigation options ($0.3 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

Soil temperatures in the non-irrigated treatments were significantly higher than in the irrigated treatments. The average value was 21.68°C in 2018, almost 1°C higher than the irrigated treatment. In 2019, the trend remained, but there was little difference between the soil temperatures of the two irrigation variants, 21.69°C and 21.45°C .

In 2018, irrigation significantly increased the soil moisture ($22.38 \text{ v/v}\%$), while in the non-irrigated area the value was significantly lower ($21.02 \text{ v/v}\%$). As in 2018, soil moisture values were higher in the irrigated area than in the non-irrigated area in 2019, with a significant difference of more than $2 \text{ v/v}\%$ between the two areas.

Among the tillage methods, winter ploughing resulted in the highest emissions, with an average of $0.78 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ in 2018 and $0.35 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ in 2019. The lowest emissions were measured in 2018 on the striped field ($0.64 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). In 2019, the measured emissions were the same in the relaxed and strip tillage ($0.28 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Based on the measurements of the two years, autumn ploughing is clearly responsible for the highest emission values. Practically no clear difference between strip and fallow cultivation can be detected.

Temperatures were highest in winter ploughed areas (21.51°C), while in striped areas (21.2°C) and in fallow areas (20.89°C) in 2018. In 2019, the effect of tillage was not detected. In all three variants, the differences between temperatures were within the margin of error.

In 2018, the highest soil moisture values were obtained in the winter ploughed area (22.99 v/v%), while the strip and ripped areas did not differ, with the same values (21.05 v/v%). In 2019, the highest soil moisture values in the tillage methods were also obtained in the ploughed tillage method (21.24 v/v%), while the values in the loosened area were the lowest (20.17 v/v%).

The measurements show that soil and air temperature and soil moisture are positively related to carbon dioxide emissions. The relationship is not linear, but in the short growing season of maize the relationship can be well modelled by multiple linear regression. The estimated regression plane is a good approximation of the measured values. The accuracy of the estimation was better in 2018 than in 2019. The soil temperature data are well substituted by the 2 m air temperature data. Occasionally they can provide even better results. This may be because temperature only increases the emission value slowly over a longer time scale, there is a lag in the system. As the air heats up from the ground surface, the temperature at 2 metres reaches its maximum hours later than the surface. This delay already gives enough time for more intense microbial activity to develop, and hence higher emissions. To build a more accurate model, the inertia of the system should also be taken into account.

During the growing season, the highest daily carbon dioxide emissions were measured in June, with a maximum of 31.56 g m⁻²d⁻¹. During this period the soil temperature is already high, but there is still sufficient moisture in the upper soil layer to maintain high soil respiration. In the early summer, the soil surface is not yet closed to a degree that would limit the development of high emissivity values.

Using the measured CO₂ emission data, we estimated the relationship between 2 m air temperature and emissions using the O'Connell model. In 2018, the model fitted well in all temperature ranges. Based on the daily average temperatures at the experimental site, we estimated CO emissions₂ for each day of the year. The annual emissions estimated by the O'Connell model up to day 180 of the year show good agreement with the measured emission values. After that, however, a strong overestimation is observed.

This is because this model only takes temperature into account, and in our country the soil moisture content in the second half of the growing season is so low that it limits carbon dioxide emissions. During this period, natural soil re-compaction and precipitation gradually seal the soil surface, aerodynamic resistance becomes too high and air exchange is greatly reduced. To estimate emissions more accurately in the future, it is imperative to incorporate the effect of soil moisture on aerodynamic drag into the O'Connell model.

If the measurements are taken around 11 am, the daily estimate should be obtained by multiplying the current hourly value by 18. Using this, the estimate for 2018 was $2\,274\text{ g m}^{-2}$, which is a theoretical value that would occur if moisture and soil sealing did not limit emissions, but in reality, this year, about half of this is a realistic value of $1\,137\text{ g m}^{-2}$. These estimates are in line with measurements by other researchers. In 2019, the total annual emissions are estimated to be $1\,978\text{ g m}^{-2}$ using the model. Half of this is $989\text{ g m}^{-2}\text{ year}^{-1}$. This is slightly lower than the 2018 value, but closer to the values measured by others.

10. IRODALOMJEGYZÉK

1. 70th General Assembly, 1988. december 6. Letöltve: 2020.01.31. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/02/UNGA43-53.pdf>
2. *Anderson, J.P.E.*: 1982. Soil Respiration. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of soil analysis Part 2., Chemical and Microbiological Properties*, Madison, Wisconsin, USA. American Society Of Agronomy. Soil Science Society Of America, 831–871.
3. *Angell, R., – Svejcar, T.*: 1999. A Chamber Design for Measuring Net CO₂ Exchange on Rangeland. *Journal of Range Management* Allen Press, Vol. 52, No. 1 (Jan., 1999), pp. 27-31
4. *Ángyán J – Menyhért Z*: 1997. Alkalmazkodó növénytermesztés, ésszerű környezetgazdálkodás. Budapest, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Ház. 414 p.
5. *Ángyán J.*: 1991. A növénytermesztés agroökológiai tényezőinek elemzése (gazdálkodási stratégiák, termőhelyi alkalmazkodás). Kandidátusi értekezés. Gödöllő, 111.
6. *Kimball, B. A. – Morris C. F. – Pinter P. J. Jr – Wall G. – Hunsaker W. D. J. – Adamsen F. J. – Lamorte R. L. – Leavitt S. W. – Thompson T. L. – Matthias A. D. – Brooks T. J.*: 2001. Elevated CO₂, drought and soil nitrogen effects on wheat grain quality. New Phytologist Foundation.
7. *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*. Volume 50, Issue 1, 15 February 1999, 21-32
8. *Bádonyi K. – Madarász B. – Kertész Á. – Csepinszky B.*: 2008. Talajművelési módok és a talajerózió kapcsolatának vizsgálata zalai mintaterületen. *Földrajzi Értesítő*. 57. 147–167.
9. *Ball, B.*: 1989. Reduced Tillage in Great Britain: Practical Research Experience. [In: Bäumer, K., Ehlers, W. (Eds.) *EC Workshop: Agriculture: Energy Saving by Reduced Soil Tillage*]. Luxembourg. Commission of the European Communities, 10 - 11: 29-40.
10. *Bándi Gy. – Faragó T. – Lakatosné Horváth A.*: 1994. Nemzetközi környezetvédelmi és természetvédelmi egyezmények. Budapest, KVTVM. 80.

11. *Barcsák Z.*: 1999. A gyepek tápanyagellátása. [In.: Füleky Gy. (szerk) Tápanyag-gazdálkodás.] Mezőgazda Kiadó. Budapest. 522-535..
12. *Berzsenyi Z. – Györffy B.*: 1995. Különböző növénytermesztési tényezők hatása a kukorica termésére és termésstabilitására. *Növénytermelés*. 44. 507-517.
13. *Birkás M – Szemők A. – Mesić, M.*: 2010. A Klímaváltozás Talajművelési, Talajállapot Tanulságai. „*Klíma-21*” Füzetek. 61. 144–152.
14. *Birkás M. – Bencsik K. – Stingli A.*: 2007. A Talajminőség Jelentősége A Klímaváltozásokkal Összefüggésben. *Acta Agr. Ovariensis*. 49. 135–140.
15. *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. 10-47.
16. *Birkás M. – Jolánkai M. – Stingli A. – Bottlik L.*: 2007. Az alkalmazkodó művelés jelentősége a talaj- és klímavédelemben. „*Klíma-21*” füzetek. 51, 34-47.
17. *Birkás M.*: 1993. Talajművelés. [In.: Földműveléstan. Szerk.: Nyíri László] Mezőgazda Kiadó. Budapest 96-194.
18. *Birkás M., Krisztián J., Nagy J.*, 1999. Talajhasználat és talajvédelem. Növénytermesztési Tudományos Napok, MTA 1999. január 26. „Magyarország az ezredfordulón” Stratégiai Kutatás az MTA-n. Növénytermesztés és környezetvédelem [Ruzsányi L. – Pepó P.]szerk MTA AGR.tud.Oszt.] Budapest. 19-29.
19. *Birkás M.*: 2001. A talajhasználat. A talajhasználati módok értékelése. [In: Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban. (Szerk.: Birkás M.)] Akaprint Kiadó. Budapest. 99-120.
20. *Birkás M.*: 2002. Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Akaprint Kiadó és Nyomda. Budapest.
21. *Birkás M.*: 2002. Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Akaprint Nyomdaipari Kft., Szent István Egyetem. Gödöllő.
22. *Birkás M.*: 2006. Talajművelés. [In: Birkás M. (szerk.) Földművelés és földhasználat]. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
23. *Birkás M.*: 2008. A Növénytermesztés És A Klímaváltozás Összefüggése. [In: Harnos Zs. & Csete L. Klímaváltozás: Környezet – Kockázat – Társadalom, Kutatási Eredmények] Szaktudás Kiadó Ház. Budapest. 131-135.

24. *Birkás M.*: 2009. A Klasszikus Talajművelési Elvárások És A Klímakár Csökkentés kényszere. *Növénytermelés*. 58. 123–134.
25. *Birkás M.*: 2010. Talajművelők zsebkönyve. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
26. *Birkás, M.*: 2010. Long-Term Experiments Aimed At Improving Tillage Practices. *Acta Agr. Hung.* 58. 75–81.
27. *Bíró B.*: 2003. Talaj- és rhizobiológiai eszközökkel a fenntartható növénytermesztés és a környezetminőség szolgálatában. *Acta Agronomica Hungarica*. 50. 77–85
28. *Blevins, R. L. – Thomas, G. W. – Smith, M. S. – Frye, W. W. – Cornelius, P. L.*: 1983. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil and Tillage Research*. 3. 135-146.
29. *Bloodworth, H. – Uri, N.D.*: 2002. Trend in use of conservation practices in U.S. agriculture and its implication for global climate change. 13-20. [In: Kimble, J.M., Lal, R., Foller, R.F. (Eds). *Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soils*] Lewis Publishers, USA. 512.
30. *Bondeau, A. – Smith, P.C. – Zaehle, S. – Schaphoff, S. – Lucht, W. – Cramer, W. – Gerten, D. – Lotze-Campen, H. – Müller, C. – Reichstein, M. – Smith, B.*: 2007. Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance. *Global Change Biology*, 13(3). 679–706.
31. *Boody, G. – Vondracek, V. – Andow, D. A. – Krinke, M. – Westra, J. – Zimmerman, J. – Welle, P.*: 2005. Multifunctional agriculture in the United States. *BioScience*. Vol. 55. Issue 1. 27–38. [http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055%5B0027:MAITUS%5D2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055%5B0027:MAITUS%5D2.0.CO;2) Accessed 25/07/2017
32. *Capowiez, Y. – Cadoux, S. – Bouchand, P. – Roger-Estrade, J. – Richard, G. – Boizard, H.*: 2009. Experimental evidence for the role of earthworms in compacted soil regeneration based on field observations and results from a semi-field experiment. *Soil Biology and Biochemistry*. 41/4. 711–717.
33. *Celik, A. – Altikat, S. – Way, T. R.*: 2013. Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield. *Soil and Tillage Research*. 131. 20.
34. *Christensen, J.H. – Carter, T.R. – Rummukainen, M. – Amanatidis, G.*: 2007. Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. *Climatic Change*, 81, 1–6.
35. *Ciais, P. – Wattenbach, M. – Vuichard, N. – Smith, P. – Piao, S. L. – Don, A. – Luysaert, S. – Janssens, I. A. – Bondeau, A. – Dechow, R. – Leip, A. – Smith, P.*

- C. – Beer, C. – Van Der Werf, G. R. – Gervois, S. – Van Oost, K. – Tomelleri, E. – Freibauer, A. – Schulze, E. D.: 2010a. The European carbon balance. Part 2: croplands. *Global Change Biology*, 16(5): 1409–1428.
36. Cole, C.V.: 1996a. Agricultural Options For Mitigation Of Greenhouse Gas Emissions. [In: *Climate Change 1995*. Cambridge Univ.] Press. New York. 745–771.
37. Cole, C.V.: 1996b. Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emission IPCC Working Group 11, Chapter 23, Washington. D.C.
38. Commission Of The European Communities (EPCC) (2000): Communication From The Commission To The Council And The European Parliament. Letöltés ideje: 2020. 01. 30. Elérhető: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52000DC0088&from=EN>
39. Commonwealth Of Australia: 2015. Agricultural Competitiveness White Paper, Canberra.
40. 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. pp.:184–187.
41. Csete L. – Láng I.: 2009. A vidék fenntartható fejlődése: a vidék fejlődésének fenntarthatósága – hétköznapi megközelítésben. MTA Történettudományi Intézet, MTA Társadalomkutató Központ, Budapest. 171.
42. Dobbins, J. – Solomon, R. H. – Chase, M.S. – Henry, R. – Larrabee, S. F. – Lempert, R.J. – Liepman, A.M. – Martini, J. – Ochmanek, D. – Shatz, H. J.: 2005. Climate Change. [In: *Choices for America in a Turbulent World: Strategic Rethink*] Rand Corporation. 69-84.
43. Dóbor L.: 2016. Az éghajlatváltozás lehetséges hatásai a mezőgazdasági szénmérlegre és produktivitásra Magyarországon. Doktori értekezés, Gödöllő.
44. Dövényi Z.: 2010. Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. 242-243.
45. Duxbury, J.M. – Harper, L.A. – Moiser, A.R.: 1993. Contributions of agroecosystem to global climate change. 1-18 p. [In: Harper, L.A., Moiser, A.R., Duxbury, J.M. Rolston, D.E. (Eds): *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*] ASA Special Publication Number 55. *American Society of Agronomy*, Madison WI. 206.

46. *Erbach, D. C. – Benjamin, J. G. – Cruse, R. M. – Elamin, M. A. – Mukhtur, S. – Choi, C. H.*: 1992. Soil and corn response to tillage with paraplow. *Trans. ASAE*. 35. 1347- 1354.
47. *Eurostat*: 2014. Eurostat database. <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database> Letöltve: 2018.12.02.
48. *Eurostat*: 2019. Sustainable development in the European Union Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context 2019 edition Letöltve: 2019.11.02 <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/9940483/KS-02-19-165-EN-N.pdf/1965d8f5-4532-49f9-98ca-5334b0652820>
49. *Fang, C. – Moncrieff, J. B.*: 1998. An Open-Top Chamber for Measuring Soil Respiration and the Influence of Pressure Difference on CO₂ Efflux Measurement. *Functional Ecology, British Ecological Society*, Vol. 12, No. 2, 319-325
50. *Fang, C. – Moncrieff, J. B.*: 2001. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry*. 33. 155–165.
51. *FAO (Food And Agriculture Organization of the United Nations)*: 2015. FAO and the 17 Sustainable Development Goals. Letöltve: 2020.01.27. <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=2205&menu=1515>
52. *FAO (Food And Agriculture Organization of the United Nations)*: 2013. Statistical Yearbook, Rome. <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm> Letöltve:2018.05.10.
53. *FAO.*: 2015. FAOSTAT database. <http://faostat.fao.org/> Letöltve:2019.04.19.
54. *Faragó T. – Kerényi A.*: 2003. Nemzetközi együttműködés az éghajlatváltozás veszélyének, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium és Debreceni Egyetem, Budapest-Debrecen. 70.
55. *Faragó T.*: 2013. A nemzetközi fejlesztési együttműködés céljai és a fenntartható fejlődési célok. *Statisztikai Szemle*, 91(8-9): 823–841.
56. *Faragó, T. – Gyulai, I.*: 1994. Környezet és Társadalom közös jövője: Az ENSZ Környezet és Társadalom Konferenciáján elfogadott „Feladatok a XXI. századra” cím program áttekintése és megvalósításának első eredményei. Budapest. FFB. 121.

57. *Farkas Cs.*: 2001. A talajnedvesség-forgalom modellezése a talajfizikai tulajdonságok területi inhomogenitásának és szezonális dinamikájának tükrében. Ph.D. dolgozat. ELTE TTK. Budapest.
58. *Farkas, Cs. – Giorgio, A. – Balogh, J. – Barcza, Z. – Birkás, M. – Czóbel, S. – Davis, K. J. – Führer, E. – Gelybó, G. – Grosz, B. – Kljun, N. – Koós, S. – Machon, A. – Marjanovic, H. – Nagy, Z. – Peressotti, A. – Pintér, K. – Tóth, E. – Horváth, L.*: 2011. *Methodologies*. [In: Haszpra, L. (Szerk.): Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective] Dordrecht: Springer Netherlands. 65–90.
59. *Ferencsik S.*: 2015. A kukorica hagyományos és csökkentett menetszámú talajművelési rendszereinek komplex elemzése. Doktori értekezés, Debrecen.
60. *Fierer, N. – Schimel, J.*: 2003. A proposed mechanism for the pulse in carbone dioxide production commonly observed following the rapid rewetting of a dry soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 798-805
61. *Fogarassy, Cs. – Lukács, Á. – Böröcz, M.*: 2008. Basic structure of CO₂ emission management practice in agricultural land use. *Cereal Research Communications* Vol. 36. 327-330.
62. *Fontaine S. – Barot S. – Barré P. – Bdioui N. – Mary B. – Rumpel C.*: 2007. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature*, 277-280.
63. *Fortin, M. C.*: 1993. Soil temperature, soil water, and no-till corn development following in-row residue removal. *Agronomy Journal*. 85. 571-576.
64. *Gehl, R. J. – Schmidt, J.P. – Maddux, L.D. – Gordon, W. B.*: 2005. Corn yield response to nitrogen rate and timing in sandy irrigated soils. *Agron. J.*, 97: 1230-1238.
65. *Gerosa, G. – Finco, A. – Boschetti, F. – Brenna, S. – Marzuoli R.*: 2014. Measurements of Soil Carbon Dioxide Emissions from Two Maize Agroecosystems at Harvest under Different Tillage Conditions. *Scientific World Journal*, 2014:141345. doi: 10.1155/2014/141345.
66. *Gervois, S. – Ciais, P. – de Noblet-Ducoudré, N. – Brisson, N. – Vuichard, N. – Viovy, N.*: 2008. Carbon and water balance of European croplands throughout the 20th century. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(2): GB2022.
67. *Gilmanov, T. – Aires, L. M. – Barcza, Z. – Zhou, G.*: 2010. Productivity, Respiration, and Light-Response Parameters of World Grassland and

- Agroecosystems Derived From Flux-Tower Measurements. *Rangeland Ecology & Management*.
68. Gilly Zs.: 2001. Ökológiai lábnyom. Dél-Dunántúli Kooperációs Kutatási Központ.
69. Goudriaan, J. – Unsworth, M.H.: 1990. [In: Laegreid, M. – Bockman, O.C. – Kaarstad, O.: Agriculture, Fertilizers and the Environment. (1999)] CABI Publishing. University Press, Cambridge, UK, 67.
70. Győrffy B.: 1976. A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők értékelése. *Agrártudományi Közlemények*. 35:239-266.
71. Győri, D.: 1984. A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 254.
72. Gyuricza Cs. – Birkás M. – Jóri J. I.: 2002. Művelési rendszerek hatása a talaj CO₂ kibocsátására (Tillage-induced CO₂ emission from soil). [In: Innováció, a tudomány és a gyakorlat egysége az ezredforduló agráriumban. 2002 április 11-12. (Szerk. Jávora A. & Pépó P.)] SZIE-DE ATC KIADVÁNY, Debrecen. 57-62.
73. Gyuricza Cs. – Liebhard P. – Rosner J.: 2004. Talajökológiai tényezők vizsgálata talajművelési tartamkísérletekben. [In.: Birkás M., Gyuricza Cs.(szerk.) Talajhasználat. Műveléshatás. Talajnedvesség.] SZIE, Gödöllő.
74. Gyuricza Cs.: 2000. Az értékmegőrző és a hagyományos talajművelés egyes fizikai és biológiai hatásának értékelése. Doktori értekezés, Gödöllő.
75. Gyuricza Cs.: 2001. A fenntartható talajművelés talajfizikai és biológiai alapjai. [In: Birkás M., Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban] 2001. 3:82.
76. Gyuricza Cs.: 2014. A talajművelés hatása a talaj termékenységére és a biológiai tevékenységre. *Agro Napló*. 2004/9.:35.
77. Haas, G. – Köpke, U.: 1994. Vergleich der Klimarelevanz ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung. [In: Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" Dt. Bundestag (Hrsg.)] Landwirtschaft, Teilband 2, Studie H, *Economica-Verlag*, Bonn, Germany.
78. Hajdú V.: 2005. Kibocsátási jogok és emisszió kereskedelem. *Gazdasági statisztika*. 17.2.:18-31.
79. Haszpra L. – Barcza, Z.: 2001. A magyarországi légkör/bioszféra szén-dioxid fluxus mérések eredményei. *Fizikai Szemle* 2001/2.: 50.
80. Huang, J.: 2015. Comparative review of multifunctionality and ecosystem services in sustainable agriculture. *Journal of Environmental Management*, 149

(1) 138–147

81. *Huzsvai L. – Balogh P.*: 2015. Lineáris modellek az R-ben, Seneca Books
http://seneca-books.hu/doc/Linearis_modellek.pdf
82. *International Energy Agency*: 2001. The road from Kyoto: Current CO₂ and transport policies in the IEA. OECD. 2001. 169.
83. *Internet 1*: Fenntartható Fejlődési Célok Letöltve: 2019.05.02. http://www.unis.unvienna.org/unis/hu/topics/sustainable_development_goals.html
84. *Internet 2*: A Fenntartható Fejlődési Keretrendszer 2030 – Agenda 2030 Letöltve: 2019.05.02. <https://ensz.kormany.hu/a-2030-fenntarthato-fejlodesi-keretrendszer-agenda-2030->
85. *Internet 3*: The Sustainable Development Agenda Letöltve: 2019.11.02. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/>
86. *Internet 4*: Global Trends 2030: Alternative Worlds A Publication Of The National Intelligence Council. Letöltve: 2020.01.10. <https://Globaltrends2030.Files.Wordpress.Com/2012/11/Global-Trends-2030-November2012.Pdf>
87. *IPCC*: 2007. IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report.
88. *IPCC*: 2007. The physical science basis – Contribution of Working Group I. to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. New York
89. *IPCC*: 2007. Climate change. Synthesis report. An assessment of Intergovernmental Panel on Climate Change, Valencia, Spain. 2007. . Accessed 24 Apr 2004 http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf
90. *IPCC*: 2013. Summary for Policymakers. In: Climate Change: 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Firth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.E, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J.Boschung, A. Nauels, Y.xia, V.Bex and P.M. Midgley (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, U.S.A. 2013. Letöltve: 2019.10.21.: http://www.climate2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf

91. Janssens I.A. – Kowalski A.S. – Longdoz B. – Ceulemans R.: 2000. Assessing forest soil CO₂ efflux: an in situ comparison of four techniques. *Tree Physiology*, 20 (1) 23–32.
92. Janzen, H. H.: 2006. The soil carbon dilemma. Shall we hoard it or use it? *Soil Biol Biochem*, 38 (3) 419–424.
93. Jensen L. S. – Mueller T. – Tate K. R. – Ross D. J. – Magid J. – Nielsen N. E.: 1996. Soil surface CO₂ flux as an index of soil respiration in situ: a comparison of two chamber methods. *Soil Biol Biochem*, 28 1297–1306.
94. Jolánkai, M. – Birkás, M.: 2005. Carbon Sequestration of Crops Influenced by Nitrogen Fertilization. [In: Proceedings. 43rd Croatian and 3rd International Symposium on Agriculture] Opatija. Croatia [online], 540–543. URL: http://sa.agr.hr/pdf/2008/sa2008_0503.pdf?origin=publication_detail.
95. Jones, C. A. – Basch, G. – Baylis, A. D. – Bazzoni, D. – Bigs, J. – Bradbury, R. B. – Chaney, K. – Deeks, L. K. – Field, R. – Gomez, J. A. – Jones, R. J. A. – Jordan, V. – Lane, M. C. G. – Leake, A. – Livermore, M. – Owens, P. N. – Ritz, K. – Sturny, W. G. – Thomas, F.: 2006. Conservation Agriculture in Europe: An Approach to Sustainable Crop Production by Protecting Soil and Water? SOWAP, Jealott's Hill, Bracknell. UK.
96. Kalmár T. – Birkás M. – Stingli A. – Bencsik K.: 2007. Tarlóművelési módszerek hatása szélsőséges művelési idényekben. *Növénytermelés*. 56. 263–279.
97. Kalmár, T. – Bottlik, L. – Kisić, I. – Gyuricza, C. – Birkás, M.: 2013. Soil protecting effect of the surface cover in extreme summer periods. *Plant, Soil and Env*. 59. 404–409.
98. Karlen, D. L. – Wollenhaupt, N. C. – Erbach, D. C. – Berry, E. C. – Swan, J. B. – Eash, N. S. – Jordahl, J. L.: 1994. Long-term tillage effects on soil quality. *Soil and Tillage Research*. 32. 313–327.
99. Kassam, A. – Friedrich, T. – Derpsch, R. – Lahmar, R. – Mrabet, R. – Basch, G. – González-Sánchez, E. J. – Serraj, R.: 2012. Conservation Agriculture [In The Dry Mediterranean Climate] *Field Crops Research*, 132. 7–17.
100. Kátai J.: 1992. Kölcsönhatások a talajtulajdonságok, néhány agrotechnikai eljárás és mikrobiológiai aktivitás között. Kandidátusi értekezés. Debrecen.
101. Kátai J.: 1999. Talajmikrobiológiai jellemzők változása trágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 48. 348–360.

102. *Káta J.*: 2008. Talajtan, talajökológia. Az Észak-alföldi Régióért Kht., Debrecen. 148-163.
103. *Kindermann, J. – Würth, G. – Kohlmaier, G.H. – Badeck, F.W.*: 1996. Interannual variation of carbon exchange fluxes in terrestrial ecosystems. *Global Biogeochemical Cycles* 10(4):737-755.
104. *Kiyono, K. – Ishikawa, J.*: 2013. Environmental Management Policy under International Carbon Leakage, *International Economic Review* 54, 1057-1083.
105. *Koós S.*: 2012. Szenzodinamikai és összefüggés vizsgálatok egy 30 éves tartamkísérlet gyep szakszában. Doktori disszertáció. Keszthely, 2012.
106. *Kovács Gy.* (2014): Mezőgazdasági hasznosítású talajok szén-dioxid-emissziójának vizsgálata Karcag térségében. Doktori Disszertáció, Debrecen.
107. *Kuzyakov, Y.* (2006): Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biol Biochem*, 38 (3) 425–448.
108. *Lal R.*: 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123 1–22.
109. *Lal, R. – Kimble, J. – Follett, R. – Steward, B.A.*: 1998a. Soil Processes And The C Cycle. Boca Raton, Fl. Crc Press.
110. *Lal, R. – Kimble, J. – Follett, R. – Steward, B.A.*: 1998b. Management Of Carbon Sequestration In Soil. Boca Raton, Fl. Crc Press.
111. *Lal, R. – Reicosky, D. C. – Hanson, J. D.*: 2007. Evolution of the plough over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research*. 93.:1-12.
112. *Lal, R. – Griffin, M. – Apt, J. – Lave, L. – Morgan, M.G.*: 2004. Managing Soil Carbon. Policy Forum. VOL 305.
113. *Lal, R.*: 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropic versus temperate environments. *Advances in Agronomy*. 42.:85-197.
114. *Lal, R.*: 2001. Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the green house effect. *Climate Change* 2001, 51: 35–72. 10.1023/A:1017529816140
115. *Lal, R.*: 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degrad Dev* 17:197–209
116. *Láng I.*: 1995. Az agrárgazdaság fenntartható fejlődésének tudományos megalapozása. [In: „AGRO-21” Füzetek – Az agrárgazdaság jövőképe] 1995/12.

- Budapest, Akaprint Kft. 5–124.
117. *Láng I.*: 2003. A fenntartható fejlődés Johannesburg után. Agroinform Kiadóház, Budapest, 147.
118. *Láng I.*: 2003. Agrártermelés és globális környezetterhelés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 215.
119. *Láng I.*: 2005. Időjárás – éghajlat – biztonság Változás – Hatás – Válaszadás – a VaHaVa projekt – Bevezető gondolatok a klímaváltozás kockázatához. *A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata*. 166. 2005/7.
120. *Larink, O. – Schrader, S.*: 2000. Rehabilitation Of Degraded Compacted Soils By Earthworms. *Advances In Geocology*. 32. pp.:284–294.
121. *Lascała, Jr. N. – Lopes A. – Panosso A.R. – Camara F.T. – Pereira G.T.*: 2005. Soil CO₂ Efflux Following Rotary Tillage Of A Tropical Soil. *Soil And Tillage Research*. 84.:222–225p.
122. *Lelleiné Kovács E.*: 2008. Főbb kérdések és megoldások a talajlégzés vizsgálatának témakörében. [In: Talaj-vegetáció-klíma kölcsönhatások. Köszöntjük a 70 éves Láng Editet (szerk. Kröel-Dulay Gy., Kalapos T. and Mojzes A.)] MTA ÖBKI, Vácrátót. 135-146.
123. *Liska, A.J. – Yang, H. – Milner, M. – Goddard, S. – Blanco-Canqui, H. – Pelton, M.P. – Fang, X.X. – Zhu, H. – Suyker, A.E.*: 2014. Biofuels from crop residue can reduce soil carbon and increase CO₂ emissions. *Nature Science*. 4, 398–401.
124. *Lloyd, J. – Taylor, J.A.*: 1994. On The Temperature Dependence Of Soil Respiration. *Functional Ecology*. 8.: 315–323.
125. *Madarász, B., – Bádonyi, K. – Csepinszky, B. – Mika, J. – Kertész Á.*: 2011. Conservation tillage for rational water management and soil conservation. *Hungarian Geographical Bulletin*. 60. 117–133.
126. *Manne, A. S. – Richels, R. G.*: 1999. The Kyoto Protocol: A Cost-Effective Strategy for Meeting Environmental Objectives? *The Energy Journal*. - Special Issue - The Cost of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation of the bi-monthly journal of the IAEE's Energy Economics Education Foundation. 20.:1-23
127. *Manninger, G. A.*: 1957. A talaj sekély művelése. Budapest. Mezőgazdasági Kiadó.

128. *Mcgrath, M.*:2019. Climate change: COP25 island nation in 'fight to death. Science & Environment in BBC news. Letöltve: 2020.02.03. <https://www.bbc.com/news/science-environment-50614518>
129. *Meyer, W.S. – Reicosky, D.C. – Shell, G.S.*: 1987. Technical Report No. 5. Centre for Irrigation and Freshwater Research. Griffith, Australia
130. *Mielnick, P.C. – Douglas W. A.*: 2000. Soil CO₂ Flux In A Tallgrass prairie. *Soil biology and biochemistry*, 32.: 221-228
131. *Moitzi, G – Haas, M. – Wagentristl, H. – Boxberger, J. – Gronauer, A.*: 2013. Energy consumption in cultivating and ploughing with traction improvement system and consideration of the rear furrow wheel-load in ploughing. *Soil and Tillage Research*. 134. 56-60.
132. *Morris, N. L. – Miller, P. C. H. – Orson, J. H. – Froud-Williams, R. J.*: 2010. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment - A review. *Soil and Tillage Research*. 108.:1-15.
133. *Morrison, J. E.*: 2002. Strip tillage for “no-till” row crop production. *Applied Engineering Agriculture*. 18.:277-284.
134. *Panikov, N.S. – Flanagan, P.W. – Oechel, W.C. – Mastepanov, M – Christensen, T. R.*: 2014. Microbial activity in soils frozen to below – 39 *Scientific World Journal*; 2014:141345. doi: 10.1155/2014/141345.
135. *Nagy J.*: 1995. A műtrágyázás hatásának értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termésére eltérő évjáratokban. *Növénytermelés*. 44.:493-506.
136. *Nagy J.*: 1996. Az öntözés és a talajművelés kölcsönhatása a kukoricatermesztésben. *Növénytermelés*. 45: 389-398.
137. *Nagy, J. – Rátonyi, T. – Sulyok, D. – Huzsvai, L.*: 2004. Effect of fertilization on the yield of maize (*Zea mays* L) in different years. [In: George J. Halasi-Kun ed. Pollution and Water Resources Vol.: XXXV. Global Warming and other Central European Issues in Environmental Protection. 2003-2004]. 93-103.
138. *Nagy, J.*: 1998. Interaction between fertilization and soil cultivation in maize production. *Acta Agron. Hung.*46. 4: 698-705.
139. *Nagy, J.*: 1999. Evaluation of interaction between irrigation and soil cultivation in maize production. *Acta Agron. Hung.* 47. 2:181-190.
140. *Nakayama, F. S.*: 1990. Soil respiration. *Remote Sensing Review*, 5 311-321.

141. Normann, J.M. – Garcia, R. – Verma, S.B.:1992. Soil surface CO₂ fluxes and the carbon budget of grassland. *Journal of Geophysical Research*. 97 18845-18853.
142. *OECD*: 2001. Environmental Indicators for Agriculture – Volume 3 – Methods and Results. OECD Publications, Paris, 409 p.
143. *OECD*: 2015. Save our soil! Letöltve: 2018.02.11. <http://www.oecd.org/environment/save-our-soil.htm>
144. *Parkin, T.B. – Venterea, R.T.*: 2010. Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements. Sampling Protocols. USDA-ARS, Fort Collins, CO. 1–39.
145. *Parkin, T.B.*: 1996. Field And Laboratory Tests Of Soil Respiration. In: Doran, J.W., Franco-Vizcaíno, E. (Eds.). Methods For Assessing Soil Quality. Soil Science Society Of America. Madison. Wisconsin. 231–245.
146. *Pascala, S.*: 2004. Stabilization Wedges: Solving The Climate Problem For The Next 50 Years With Current Technologies. *Science*. 305.: 968–972.
147. *Post W.M. – Peng T. – Emanuel W.R. – King A.W. – Dale V.H. – Deangelis D.L.*:1990. The global carbon cycle. *American Scientist*. Volume 78 (July-August) 310–326.
148. *Pumpanen, J. – Kolari, P. – Ilvesniemi, H. – Minkkinen, K. – Vesala, T. – Niinistö, S. – Lohila, A. – Larmola, T. – Morero, M. – Pihlatie, M. – Janssens, I. – Yuste, J.C. – Grünzweig, J.M. – Reth, S. – Subke, J.-A. – Savage, K. – Kutsch, W. – Østreg, G. – Ziegler, W. – Anthoni, P. – Lindroth, A. – Hari, P.*: 2004. Comparison of different chamber techniques for measuring soil CO₂ efflux. *Agricultural and Forest Meteorology*. 123 (3-4) 159–176.
149. *Rádics J. P. – Jóri J. I. – Fenyvesi L.*: 2015. Talajművelő gépek hatása a talaj szén-dioxid-kibocsátására. *Mezőgazdasági Technika*, 2015. február. 2-5.
150. *Rádics J.P. – Jóri J.I. – Fenyvesi L.* (2015): A talajművelés hatása a talaj CO₂-kibocsátására. [In.:Madarász B. (szerk.) Környezetkímélő talajművelési rendszerek Magyarországon] MTA CSFK FTI, Budapest. 86-103.
151. *Raich, J.W. – Potter, C.S.*:1995. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. *Global Biogeochemical Cycles*. 9 (1) 23–36.
152. *Raich, J.W. – Schlesinger, W.H.*: 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B*. 44 (2) 81–99.
153. *Rastogi, M. – Singh, S. – Pathak, H.*: 2002. Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science*. 82: 510-517.p.

154. *Rátonyi T. – Huzsvai L. – Nagy J. – Megyes A.*: 2003. Talajvédő termesztéstechnológiai rendszerek értékelése. [In.: Nagy J. (szerk.) Kukorica hibridek adaptációs képességének és termésbiztonságának javítása] DE ATC, Debrecen. 141-148.
155. *Rátonyi T.*: 1999. A talaj fizikai állapotának penetrométeres vizsgálata talajművelési tartamkísérletben. Doktori PhD értekezés. Debrecen.
156. *Rátonyi T.*: 2006. Termőhelyi tényezők szerepe a szántóföldi növénytermesztésben. [In: Földművelés és földhasználat. (szerk.: Birkás M.)] Mezőgazda Kiadó, Budapest. ISBN:963 286 238 4.
157. *Reeder, R.*: 2000. Conservation Tillage Systems and Management. MidWest Plan Service. Ames.
158. *Reicosky, D.C.*:1990. Canopy Gas Exchange [In The Field: Closed Chambers] *Remote Sensing Reviews*. 5. 163–177
159. *Roger-Estrade, J. – Anger, C., –Bertrand, M. – Richard, G.*: 2010. Tillage and soil ecology: partners for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research*. 111/2. 33–40.
160. *Roscoe, P.*: 2016. Method, Measurement, and Management. IPCC Climate Modeling. [In.: *Human Ecology*. 44, No. 6] Special Theme: Accounting For Climate Change. 655-664
161. *Rossing, W. A. H. –Zander, P. – Josien, E. – Groot, J. C. J. – Meyer, B. C. – Knierim, A.*: 2007. Integrative modelling approaches for analysis of impact of multifunctional agriculture: A review for France, Germany and The Netherlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120 (1).41–57.
162. *Saran S.*: 2009. Global Governance and Climate Change. *Global Governance*. Vol. 15, 4.:457-460.
163. *Min, S. – Rulik, M.*: (2020): Comparison of Carbon Dioxide (CO₂) Fluxes between Conventional and Conserved Irrigated Rice Paddy Fields. *Myanmar. Sustainability* 2020, 12, 5798; doi:10.3390/su12145798.
164. *Schimel, D. – Alves, D. – Enting, I. – Heimann, M. – Joos, F. – Raynaud, D. – Wigley, T. – Prather, M. – Dewent, R. – Ehhalt, D. – Fraser, P. – Sanhueza, E. – Zhou, X. – Jonas, P. – Charlson, R. – Rodhe, H. – Sadasivan, S. – Shine, K.P. – Fouquart, Y. – Ramaswamy, V. – Solomon, S. – Srinivasan, J. – Albritton, D. – Isaksen, I. – Lal, M. – Wuebbles, D.*: 1996. Radiative forcing of climate change. 65-131. p. [In.: Houghton, J.T. – Meira Filho L.G. – Callander, B.A. – Harris, A.

- Kattenberg, A. – Maskell, K.: (Eds.) Climate change 1995.] The science of climate change. Contribution of working group I. to the second assesment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge UK& New York Ny, USA. 572.
165. Schimel, J.P., Gullledge, J.: 1998. Microbial community structure and global trace gases. *Global Change Biol.* 4: 745-758
166. Schlesinger, W.H.:1977. Carbon balance in terrestrial detritus. *Annual Review of Ecology and Systematics.* 8 (1) 51–81.
167. Schlesinger, W.H.: 1999. Carbon and agriculture:carbon sequestration in soils. *Science.* 284 (5423) 2095–2106.
168. Schneider, S. H.: 1975. *J. Atmos. Sci.* 32., 2060.
169. Schnitzer M.: 1991. Soil organic matter – the next 75 years. *Soil Sci*, 151 41-58.
170. Schulze, E. D. – Luyssaert, S. – Ciais, P. – Freibauer, A. – Janssens, I. A. – Soussana, J. F. – Smith, P. – Grace, J. – Levin, I. – Thiruchittampalam, B. – Heimann, M. – Dolman, A. J. – Valentini, R. – Bousquet, P. – Peylin, P. – Peters, W. – Rödenbeck, C. – Etiope, G., – Vuichard, N. – Wattenbach, M. – Nabuurs, G. J. – Poussi, Z. – Nieschulze, J. – Gash, J. H.: 2009. Importance of methane and nitrous oxide for Europe’s terrestrial greenhouse-gas balance. *Nature Geoscience*, 2(12): 842–850.
171. Sembery P.: 1989. Energiatakarékosság a mezőgazdaságban. Műszaki Kiadó, Budapest.
172. Simunek, J. – Jarvis, N. – Van Genuchten, M.T. – Gardenas, A.: 2003. Review and comparison of models for describing non-equilibrium and preferential flow and transport in the vadose zone. *Journal of Hydrology* 272.:14–35.
173. Singh, J.S. – Gupta, S.R.: 1977. Plant Decomposition And Soil Respiration. *Terrestrial Ecosystems. Botanical Review.* 43. 449–528.
174. Sipos G.: 1972. Földműveléstan. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
175. Smith, P. – Powlson, D. – Glendining, M. –Smith, J.: 1997. Potential For Carbon Sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. *Global Change Biology.* 3. 67–79.
176. Solomon S. – Qin D. – Manning M. – Chen Z. – Marquis M. – Avery K.B. – Tignor M. – Miller H.L.: (Szerk.) (2007): IPCC Climate change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. 499-587.

177. *Spalding, R. F. – Watts, D. G. – Schepers, J. S. – Burbach, M. E. – Exner, M. E. – Poreda, R. J. – Martin, G. E.*: 2001. Controlling nitrate leaching in irrigated agriculture. *J. Environ. Qual.* 30: 1184-1194.
178. *Sprague, M. – Triplett, G.*: 1986. No-tillage and Surface-tillage Agriculture: The Tillage Revolution. John Wiley & Sons, New York.
179. *Stefanovits P. – Filep G. – Füleky G.* (Szerk.): 1999. Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Budapest.472.
180. *Szász G.*: 2010 A kukorica vízforgalmát szabályozó tényezők szerepe az öntözésben. [In Nagy J. (szerk.) az öntözés vállalati szintű elemzése] Debreceni Egyetem agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma Debrecen. 48.
181. *Szendró P.*: 1993. Mezőgazdasági Géptan. Budapest. 169-181.
182. *Szöllősi N.*: Környezeti teljesítményértékelés talajindikátorok alapján. Doktori Disszertáció, Debrecen.
183. *Szöllősi N. – Kovács Gy. – Zsembeli J.*: 2009. A talaj szén-dioxid-emissziója árpa tarlón. *Agrártudományi Közlemények*, 2009/35:95-102
184. *Tol, R. S. J.*: 1999. Kyoto, Efficiency, and Cost-Effectiveness: Applications of FUND. *The Energy Journal* Vol. 20, Special Issue: The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation. 31-156.
185. *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.*: 2011. *Arable Lands*. In: *Haszpra, L.* (Szerk.): Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective, Dordrecht: Springer Netherlands, 157–197.
186. *UNEP*: 2019. Emissions Gap Report 2019
<https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2019>
187. *UNESCO*: 2017. Fenntartható fejlődési célok oktatása Letöltve: 2019.10.21.
http://ofi.hu/sites/default/files/attachments/fenntarthato_fejlodesi_celok_oktatasa_unesco_2017.pdf
188. *UNFCCC*: 2016. What is the Paris Agreement? Letöltve: 2020.01.31.
<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement>
189. *UNFCCC*: 2019. UN Climate Change Conference - December 2019. Letöltve: 2020.02.03. Elérhető: <https://unfccc.int/cop25>.

190. *United Nations, General Assembly*: 2000. United Nations Millennium Declaration. A/res/55/2, 18 September Letöltve: 2019.05.12. https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_55_2.pdf
191. *Uri, N.*: 1999. Energy and the use of conservation tillage in US agriculture. *Journal of Energy Policy*. 27.: 299-306.
192. *Valkó, G. – Fekete-Farkas, M. – Szűcs, I. – Mohamed, Zs.*: 2008. The Measurement of Sustainability in Agriculture. 295–316. [In: SZÚCS, I. et al. (Szerk.): *Economics of Sustainable Agriculture I-II.*] Szent István University, Scientific Book Series, Gödöllő, 316.
193. *Van Veen, J.A. – Liljeroth, E. – Lekkerkerk, L.J.A., Van De Geijn S.C.*: 1991. Carbon Fluxes in Plant-Soil Systems at Elevated Atmospheric CO₂ Levels. *Ecological Applications*. 1 (2).175–181.
194. *Várallyay Gy.*: 2001. Szemléletváltozások A Magyarországi Talajjavítás történetében. *Agrokémia és Talajtan*. 50. : 119–135.
195. *Vyn, T. J – Raimbault, B. A.*: 1993. Long-term effect of five tillage systems on corn response and soil structure. *Agronomy Journal*. 85.:1074-1079.
196. *Wattenbach, M. – Sus, O. – Vuichard, N. – Lehuger, S. – Gottschalk, P. – Li, L. – Leip, A. – Williams, M. – Tomelleri, E. – Kutsch, W. L. – Buchmann, N. – Eugster, W. – Dietiker, D. – Aubinet, M. – Ceschia, E. – Béziat, P. – Guenwald, T. – Hastings, A. – Osborne, B. – Ciais, P. – Cellier, P. – Smith, P.*: 2010. The carbon balance of European croplands: A cross-site comparison of simulation models. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 139(3): 419–453.
197. *Widén, B. – Lindroth, A.*: 2003. A calibration system for soil carbon dioxide-efflux measurement chambers. *Soil Science Society of America Journal*. 67. 327–334.
198. *Xu L. – Furtaw M.D. – Madsen R.A. – Garcia R.L. – Anderson D.J. – Mcdermitt D.K.*: 2006. On maintaining pressure equilibrium between a soil CO₂ flux chamber and the ambient air. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 111 (D8) 20.
199. *Zsembeli J – Nagy I.*: 2004. Talajművelési technológiák hatása a szén-dioxid emisszióra. 4. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok. Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Főiskolai Kar. 2004.(ISBN: 963 217 059, 8. 41)

200. Zsembeli J. – Szűcs L. – Tuba G. – Czimbalmos R.: 2015. Nedvességtakarékos talajművelési rendszer fejlesztése Karcagon. [In.: Madarász B. (szerk) 2015. Környezetkímélő talajművelési rendszerek Magyarországon]. MTA CSFK FTI, Bp. 122–133.
201. Zsembeli J.: 2003. A súlyliziométeres vízmérleg vizsgálatok a nedvességtakarékos és talajvédő talajművelés tudományos megalapozására. [In. Pepó P. – Jávor A. (szerk.) Talajjavítás-Talajvédelem] DE ATC, Debrecen. 85-90.
202. Zsembeli, J. – Tuba, G. – Juhász, C. – Nagy, I.: 2005. CO₂-Measurements in a soil tillage experiment. *Cereal Research Communications*. 33. 137–140.



Nyilvántartási szám: DEENK/369/2020.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Pappné Törő Ágnes
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10067003

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

1. **Törő, Á.**, Ragán, P., Harsányi, E.: A szántás és a lazítás hatása a CO₂ emisszióra kukorica talajon.
Növénytermelés. 69 (4), 1-15, 2020. ISSN: 0546-8191.
2. **Törő, Á.**, Tamás, A., Vántus, A., Rátonyi, T., Harsányi, E.: Az emelkedő szén-dioxid kibocsátás és annak összefüggései a mezőgazdasággal.
Agrártud. Közl. 72, 197-201, 2017. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

3. **Törő, Á.**, Ragán, P., Rátonyi, T., Harsányi, E.: Examinations of the carbon dioxide emission of the soil in the case of different tillage methods in a field experiment.
Agrártud. Közl. 74, 209-2012, 2018. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/74/1693>
4. **Törő, Á.**, Tamás, A., Rátonyi, T., Harsányi, E.: Effects of soil tillage systems and fertilization on the CO₂ emission of chernozem soil.
Columella. 4 (1), 65-68, 2017. ISSN: 2064-7816.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2017.4.1.suppl>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

5. **Törő, Á.**, Harsányi, E.: What is the Connection between Soil Carbon Dioxide Emission, Global Warming and Food Security?
Eur. J. Sustain. Develop. 8 (5), 21-28, 2019. ISSN: 2239-5938.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14207/ejsd.2019.v8n5p21>

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (2)

6. Mohammed, S., Mirzaei, M., **Törő, Á.**, Manouchehr, G. A., Harsányi, E.: Tracking CO₂ Emission from Tow Agricultural Lands under Maize cultivation in Two Different Climate Regions.
In: ICOS Belgium Science Conference : Book of abstracts, Antwerp University, Antwerp, 30-31, 2019.





7. Rátonyi, T., Ragán, P., Duzs, L., Nagy, J., Sulyok, D., Vántus, A., **Törő, Á.**, Fejér, P., Vasvári, G., Harsányi, E.: The Effect of Conventional and Conservation Tillage Systems on Maize Yield. In: XV European Society for Agronomy Congress; ESA2018. Ed.: Christoph Carlen, MDPI AG, Geneva, 128, 2018.

További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

8. Tamás, A., **Törő, Á.**, Balla, Z., Rátonyi, T., Harsányi, E.: Effects of carbon dioxide concentration on chlorophyll fluorescence of peas "Pisum sativum L.". *Columella*. 4 (1), 149-152, 2017. ISSN: 2064-7816.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2017.4.1.suppl>

Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

9. Ragán, P., Harsányi, E., Nagy, J., **Törő, Á.**, Vántus, A., Csatári, N., Rátonyi, T.: Examining the relationship between SPAD, LAI and NDVI values in a maize long-term experiment. In: Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture, The International Society of Precision Agriculture, Montreal, Quebec, Canada, 1-4, 2018.

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

10. **Törő, Á.**, Harsányi, E.: The effect of soil carbon dioxide emission on the food security - practical aspects of soil cultivation methods.
In: Abstract book of the 18th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: Zoltán Kende, Csaba Bálint, Viola Kunos, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 162-163, 2019.
ISBN: 9789632698182
11. Ragán, P., Duzs, L., Dorogi, Z., **Törő, Á.**, Rátonyi, T.: The effects of the soil tillage and the fertilization on the NDVI values of the maize plant.
In: Abstract book of the 18th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: Zoltán Kende, Csaba Bálint, Viola Kunos, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 132-133, 2019.
ISBN: 9789632698182





12. **Törő, Á.**, Balla, Z., Harsányi, E., Rátonyi, T.: Analysis of maize hybrid yields in a long-term field experiment.

In: Abstract book : 17th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: by Kende Zoltán, Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., Gödöllő, 64-65, 2018. ISBN: 9789632697345

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2020.12.03.



11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet szeretnék mondani témavezetőmnek, Dr. Harsányi Endrének, hogy több éves közös munkánk során végig hitt bennem és támogatót a kutatásomban, valamint teret és eszközöket biztosított számomra a szellemi fejlődésemhez és értekezésem megalkotásához.

Hálával tartozom a DE-MÉK-FMTI összes munkatársának, akik közvetetten vagy közvetlenül elősegítették munkásságomat. Köszönöm a kollégáimnak, PhD-s társaimnak az adminisztratív, fizikai és egyéb segítségüket, amelyet az elmúlt időszakban nyújtottak számomra. Külön köszönettel tartozom Dr. Rátonyi Tamásnak és Dr. Ragán Péternek, valamint Dr. Huzsvai Lászlónak akik szakmai segítségükkel előbbre vitték a kutatásaim sikerességét valamint értekezésem elkészültét.

Köszönettel tartozom a családomnak és barátaimnak, hogy minden nehezebb periódus során mellettem álltak és segítettek a továbbhaladásban.

12. NYILATKOZATOK

Ezen Értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem el és a Debreceni Egyetem doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2022

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy **Pappné Törő Ágnes** doktorjelölt **2016. szeptember 01. - 2020. augusztus 31.** 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, 2022

.....
a témavezető aláírása