

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

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

Pappné Törő Ágnes

Témavezető: Dr. Harsányi Endre



DEBRECENI EGYETEM

Kerpely Kálmán Doktori Iskola

Debrecen, 2022.

1. A DOKTORI DOLGOZAT ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

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, 1989; LÁNG, 2005, FARAGÓ, 2013) valamint a légkörben megtalálható szén-dioxid-tartalma is megemelkedett 280 ppm-ről 600 ppm-re (LAL, 1989, LÁNG, 2005).

A jelenlegi körülmények között az agrárszektor nehézségekkel küzd, mivel a termőföldek jelentős része eltűnőben van a nem megfelelő gazdálkodás, az urbanizáció és az ipar térhódítása miatt.

A jövő mezőgazdaságának a kulcsát a kommunikációs infrastruktúra fejlesztése is adja. A precíziós mezőgazdaság egyik alapja a telekommunikációs rendszer, amelynek kiépítése így elsődlegessé vált. Az agrárinformatikai rendszerek kiépítésével a termelésen túl az irányítási, szervezési feladatok is könnyebbé válnak, amely nagyban csökkenti a termelők vállán lévő terhet, elősegíti a vidék fejlődését és fennmaradását a foglalkoztatottság növelésével és a helyben maradás lehetőségének elérésével.

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 talajban tartásához. A talaj folytonos bolygatása, ekével való feltörése a gázcsere dinamizmusokat felgyorsítja azáltal, hogy a felső réteg lazábbá válik (GYURICZA et al., 2002). A hazai gyakorlat továbbra is leginkább a hagyományos, ekével való művelést preferálja, amely a szén-dioxid kibocsátást kedvezőtlenül befolyásolja, de nemzetközi szinten egyre inkább terjednek az új és korszerű

talajkímélő művelési módokra, melyek alkalmazásával a talajokban jobban meg lehet kötni a szenet.

A termelékenység érdekében fontos a megfelelő víz ellátottság is. Magyarországon a vízellátottság hiánya a termés mennyiségét negatívan befolyásolja. A megfelelő mennyiségű víz nélkül a növény tápanyag felvevő képessége romlik. Számos hazai (NAGY, 2004) és külföldi (SPALDING et al., 2001, GEHL et al., 2005) szakirodalom foglalkozik a víz-, tápanyagellátottság és a növény növekedése, valamint 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, GYÖRFFY (1976) a befolyásoló tényezők között nem említi az öntözés hatását.

A mezőgazdasági és élelmiszerpiacok nagymértékben megváltoztak az elmúlt időkben. Az ellátási láncok megnyúltak, erősen integrált és koordináltakká váltak, de mindemellett a helyi piacok szerepe is megmaradt. Az új ellátási láncokra jellemző a magas szintű koordináltság, míg a hagyományos piacok megmaradtak egy bizonyos koordinátlanságban (WIGGINS, 2016). Az ellátási láncok változását a kínálat növekedése is okozta, valamint az infokommunikációs rendszerek elterjedése és a mezőgazdasági termelés globalizálódása (IFPRI, 2013).

Az oktatás szerepe nem csak az új technológiákra nézve kifejezetten fontos, hanem a változó klimatikus viszonyokra való felkészülésben is. A gazdálkodók új technológiák, új fajok és új módszerek alkalmazására lesznek kénytelenek, így a kommunikációs és az ismeret átadás kiemelt szerepet kap majd.

A természeti erőforrások fenntartható használatához hozzásegíteni az ún. föld- és vízmenedzsment technikák. Ezek előnyben részesítik a forgatás nélküli talajművelési módokat, a természeti erőforrásokat jobban figyelembe veszik, és a jövőre nézve preferálják a rezisztensebb fajták kifejlesztését és alkalmazását. Legnagyobb szerepük az erózió csökkentésében és a jövőben várható klimatikus viszonyokhoz való hatékony alkalmazkodásban van (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, 2015).

1.1. CÉLKITŰZÉSEK

Az 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.

Az általam felvetett téma fontossága, az eddigi látott rossz gyakorlatok tükrében nem kétséges, ezért kutatási célkitűzéseimet a következőképpen határoztam meg.

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

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

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') középkött, mészlepedékes csernozjom talajon végeztem. A Kísérleti Telep a Hajdúsági Lössháton található, talaja löszön kialakult, mély humuszos rétegű alföldi mészlepedékes csernozjom. Fizikai talajfélesége középkött vályog. A talaj 0-20 cm-es rétegének átlagos pH értéke 6,6 (gyengén savanyú), humusztartalma 2,7%. 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 megfelelő ellátottsági szintbe sorolható.

A kísérletet 2018 májusában állítottam be abból a célból, hogy megvizsgáljam a tenyészidőszakban bekövetkező változásokat 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. 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.

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

Műtrágya 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%

A 2018-as tenyészévben a komplex talajművelésben a kukorica vetése április 27-én történt történt a konzorciumi partner KITE ZRT. által biztosított technológiával

A polifaktoriális tartamkísérlet kétszeresen osztott parcellás (split-split-plot) elrendezésű, a főparcellákon a talajművelési és az öntözési változatok szerepelnek ismétlés nélkül. Az elsőrendű alparcellákon a kukorica hibridek 60-80 ezres tőszámmal, a másodrendű alparcellákon a műtrágyakezelés négy ismétlésben randomizáltan foglal helyet.

2.1. STATISZTIKAI ELEMZÉS

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

2.2. A KÍSÉRLET FELVÉTELI FOLYAMATA

Méréseim arra irányultak, hogy megvizsgáljam a kevesebb talajbolygatással járó munkálatok esetében a talajból származó szén-dioxid-emisszióját-

A méréseket TESTO 535 típusú mérőműszerrel végeztem el, amely egy infravörös abszorpciós elven működő, CO₂-koncentrációt mérő műszer. A talajra helyezett, belső ventilációval ellátott, egyedi mérőhengerek egyforma méretűek voltak, egyenként 11,88*25 cm (átmérő*magasság) nagyságúak voltak, 2734 cm³ volt a térfogatuk egyenként. A talajon egymás mellé helyezett 5 hengerben mértem a kezdeti szén-dioxid koncentráció értékét 1 percre és az 5 perc inkubációs idő elteltével megemelkedett szén-dioxid mennyiségének értékét (*1. kép*).

A mérések heti szinten zajlottak, a kora délelőtti órákban, valamint havonta egy nap vizsgáltam a napi dinamika alakulását. A napi dinamika felvétele 24 órán belül négyszer történt, a kora reggeli órákban (6-7 óra), majd délelőtt (9-10 óra), a délutáni (12-13 óra), és az esti órákban (19-20 óra).



1. kép: Helyszíni fotó

A mintavételi időközöket 5 percen határoztam meg, a korábbi mintavételi tapasztalatokra alapozva. A mintavételi pontokat minden parcellában véletlenszerűen helyeztem el, és süllyesztettem a hengereket a talajba 5 cm mélyen, ügyelve arra, hogy a legkevésbé legyen bolygatva a talaj az adott pontokon. Ezek a pontokat a sorközökben jelöltem ki, így a sávosan művelt terület mintavételi helyein egyáltalán nem történt talajművelés. A mérések végeztével,

a mintavételi hengereket megtisztítottam és szellőztettem, előkészítve azokat az újbóli mérésre.

Az szén-dioxid koncentráció értékeket ppm-ben (parts per million) adja meg a műszer. Az RStudio statisztikai rendszerben vizsgáltam/kerestem a szignifikáns különbségeket. Ehhez az egyesített gáztörvényt használtuk (Boyle – Mariotte, Gay – Lussac, Charles, Avogadro).

$$pV = nRT$$

ahol:

p a nyomás [Pa]

V térfogat [m^3]

n a gáz kémiai anyagmennyisége [mol]

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

T abszolút hőmérséklet [Kelvin]

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

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

ahol:

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

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

l mérőhenger magassága [m]

p a nyomás [Pa]

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

Δt mérési idő [h]

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

T abszolút hőmérséklet [Kelvin]

Hasonló formulát használt kutatása során MEYER et al., 1987; WIDÉN – LINDROTH, 2003, RÁDICS et al., 2015 stb.

2.2.1. 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

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

2.2.2. A talaj hőmérsékletének és nedvességtartalmának meghatározása

A talaj hőmérséklet mérése a TFA LT-101-es beszűrős laborhőmérővel történt. A műszer egy másodperc elteltével pontos értéket szolgáltat a talaj hőmérsékletéről -40 és +200 Celsius fok között, az alappontossága 0,5 °C.

A talaj nedvességtartalmának meghatározása FIELD SCOUT TDR 300 talajnedvesség-mérő szondát használtam. 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 szén-dioxid-koncentráció mérésével egy időben hajtottam végre.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A NAPI CO₂-DINAMIKA ALAKULÁSA 2018-2019- BEN

A két tenyészévben június, július, augusztus és szeptember hónapokban mértem szén-dioxidkoncentráció a napi dinamikájának alakulását komplex talajművelési kísérletben. A kísérleteket 3-4 alkalommal végeztem a vizsgált napokon, időjárástól függően.

A vizsgálatokat háromtényezős varianciaanalízissel vizsgáltam, amelyben összevettem a mérések időpontját, a talajművelés módját és az öntözést, valamint ezek kölcsönhatásait.

Kísérletemben külön vizsgáltam a napi dinamika talajhőmérséklet változását is. Ismételt mérési modellel vizsgáltam meg a talaj hőmérsékleti eredményeit befolyásoló tényezőket; három tényező az öntözés, a mérési időpont és a talajművelés módja volt. A méréseimet a szén-dioxid-koncentráció méréssel párhuzamosan végeztem el.

3.2. A NAPI CO₂-DINAMIKA STATISZTIKAI ELEMZÉSE

A napi dinamikák kibocsátási értékeit ismételt mérési modell segítségével megvizsgálva a talajművelés és a mérési időpontot összevetve kaptam szignifikáns eredményt.

1. táblázat: A talajművelés és a mérési időpontok hatásának elemzése a napi dinamikára kéttényezős varianciaanalízis használatával (Debrecen, 2018-2019)

	Szabadságfok	Eltérés négyzetösszege	Variancia	F érték	Szignifikancia
Mérési időpont	3	573,8	191,27	2,856	0,0506
Talajművelés× mérési időpont	6	1028,8	171,46	2,560	0,0361 *
Maradék	36	2410,84	66,97		
Szignifikancia kód: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 '·' 1					

A napi dinamikát SNK (Student Newman Keuls) teszttel megvizsgálva az öntözött terület eredményei különböztek szignifikánsan. Az őszi szántott terület eredményei szignifikánsan ($P < 0,001$) nagyobbak voltak a délutáni órákat kivéve, mint a másik két talajművelés eredményei. A legmagasabb értéket az esti órákban mértem ($20,21 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), míg az őszi szántott terület legalacsonyabb értéke a délutáni órákban volt ($3,66 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). A sávos művelés esetén reggel ($5,58 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és este ($6,05 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) mértem magasabb értékeket, a délelőtti mérés volt a legalacsonyabb ($2,51 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). A lazított területen reggel ($3,28 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és este ($2,3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) is a legalacsonyabb értékeket mértem, a délelőtti ($5,36 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) és a

délutáni ($3,92 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) mérés meghaladta a sávos művelés értékeit, a délutáni mérés ($3,92 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a lazított területen volt a legmagasabb.

Lazított területen öntözött és öntözetlen körülmények közt szignifikáns különbség volt. Öntözetlen területen ($5,46 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a kibocsátás szignifikánsan nagyobb volt, mint öntözött területen ($3,72 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Lazított területen az SNK tesztet elvégezve a napszakok közt is szignifikáns különbség volt. A legnagyobb kibocsátást délelőtt mértem ($6,45 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), míg a legalacsonyabbat reggel ($3,36 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), amely nem különbözött az esti méréstől ($3,53 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) szignifikánsan. A délelőtti és a déli mérés közt sem volt szignifikáns különbség.

A napi dinamika eredményeket hőmérsékleti szempontból összefoglalva elmondható, hogy az értékek a legtöbb esetben a reggeli óráktól az esti órákig folyamatosan emelkedtek az öntözött és öntözetlen területeken is, a legmagasabb értékeket este mértem, legtöbbször az őszi szántott területen. Összességében az őszi szántott terület értékei voltak a legmagasabbak, míg a lazított terület értékei a legalacsonyabbak. A sávos terület értékei a kettő közt helyezkedtek el, ritkán haladta meg a sávos terület értéke az őszi szántott terület maximumát. Az öntözetlen terület jobban felmelegedett az öntözött terület értékeinél.

3.3. TALAJMŰVELÉS ÉS AZ ÖNTÖZÉS HATÁSA A TALAJNEDVESSÉGRE

A talajművelés szerepe a vízhasznosítás kapcsán megkérdőjelezhetetlen. Több kutató is bizonyította, hogy ezekben a talajművelésekben a vízhasznosítás sokkal eredményesebb, mint a hagyományos talajművelési módoknál. GYURICZA et al. (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.

A posthoc teszt eredménye az őszi szántott terület nedvességértékeit mutatta a legmagasabbnak mind a két vizsgálati évben, öntözött és öntözetlen körülmények között is. A sávosan művelt és a lazításos talajművelésekben a talaj nedvességtartalma változó volt, azonos tendencia a két évben nem volt megfigyelhető.

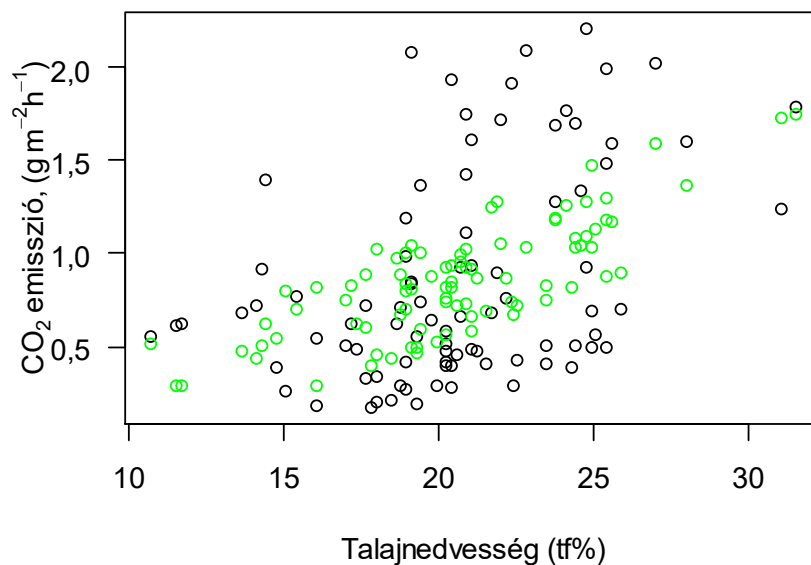
Az öntözés statisztikai értékelése alátámasztotta, hogy az általam vizsgált területen a kutatók megállapításaival ellentétben a legnagyobb talajnedvességi értékeket a konvencionális talajművelési módban mértem, mind az öntözött, mind az öntözetlen kezelésekben az őszi

szántott terület értékei voltak a legmagasabbak. A sávosan művelt és a lazításos területek csak alkalmanként haladták meg a szántásos terület értékeit.

3.4. 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.

A hőmérsékleti változónak 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 (*1. ábra*) a fekete körök a mért, a zöld körök a becsült értékek a modell alapján.



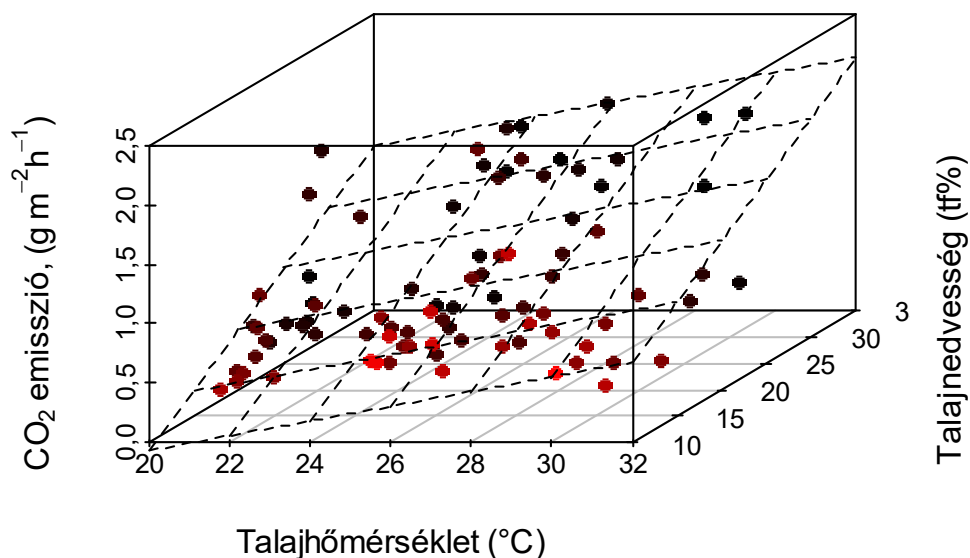
1. ábra: A talajnedvesség és a hőmérséklet hatása a CO₂-emisszióra (Látókép, 2018)

Többszörös lineáris regresszió analízist végeztünk a talajhőmérséklet és a talajnedvesség hatásának megvizsgálására (*2. 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.

2. táblázat: Lineáris regressziós analízis eredménye a becsült 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	Igazított R-négyzet	F érték	Szignifikancia
0,4769	84	0,2935	0.2767	17,45	4.596e-07

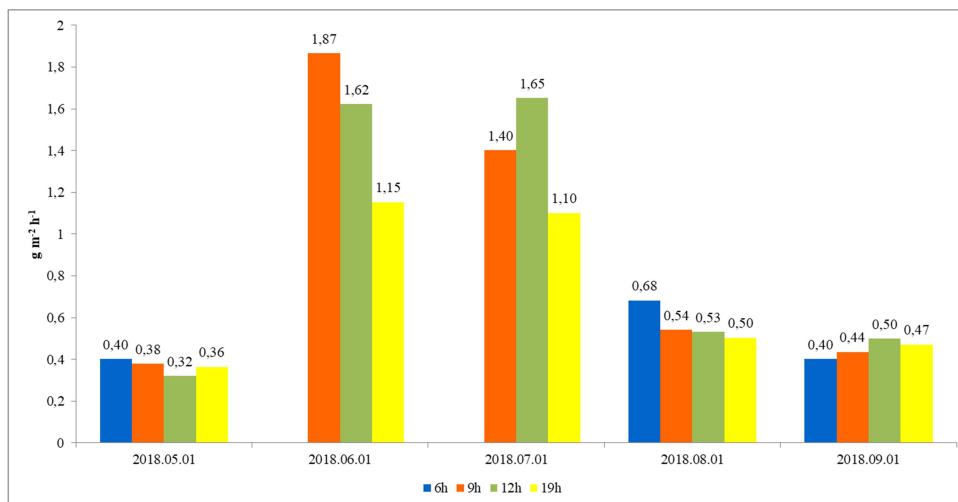
A szén-dioxid emissziót befolyásoló talajhőmérséklet és talajnedvesség adatokat egy három dimenziós ábrán ábrázoltuk (**2. ábra**), ami jól mutatja a két magyarázó változó hatását. Különkülön ilyen kimutatható eredménye nem volt a talajhőmérséklet és talajnedvesség befolyásoló szerepének, de együttesen 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 széndioxid-emisszió várható nagyságára.



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

A napi kibocsátást jelentősen befolyásolta, hogy pontosan melyik napon melyik órában történt a kísérlet felvétele (**3. ábra**). A 2018-as évben június július hónapokban, délelőtt és délben kaptuk 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 g m⁻² h⁻¹ értéket kaptuk. A júliusi

mérés alkalmával a 12 órás 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 ($0,68 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).



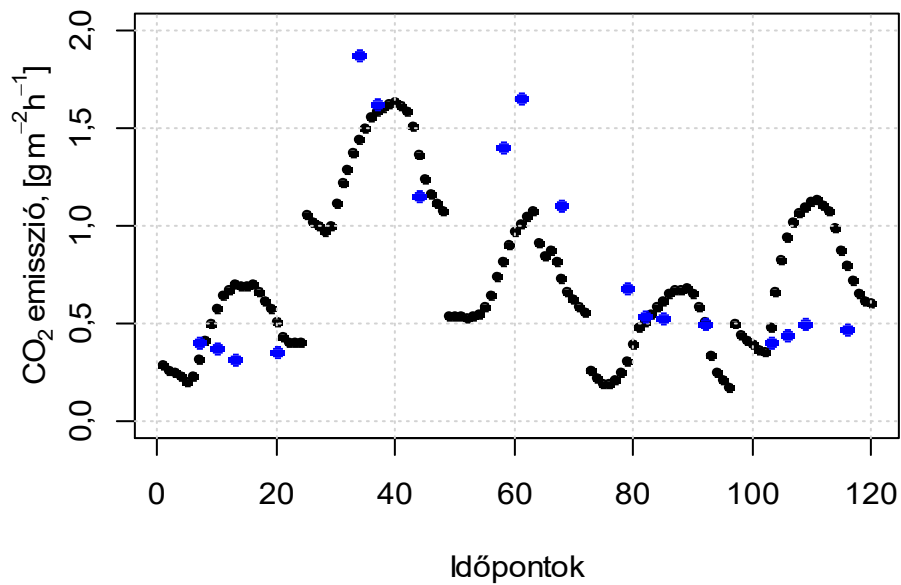
3. ábra: A mérési időpontok hatása a talaj szén-dioxid-kibocsátására (Látókép, 2018)

A Központtól kapott órás 2 méteres léghőmérséklet adataink alapján regressziós modellel megbecsültük a szén-dioxid emissziót. A modell alapján a talajhőmérséklet és talajnedvesség szignifikáns hatást gyakorolt a kibocsátásra (**3. táblázat**).

3. táblázat: A regressziós modell eredménye a becült CO₂-emisszióra, 2018

	Becsült érték	Standard hiba	T érték	Szignifikancia	
Metszéspon	-3.03668	0.94908	-3.200	0.00597 **	
Levegő hőmérséklet	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	Igazított R-négyzet	F érték	Szignifikancia
0.3827	15	0.5231	0.4595	8.225	0.003877

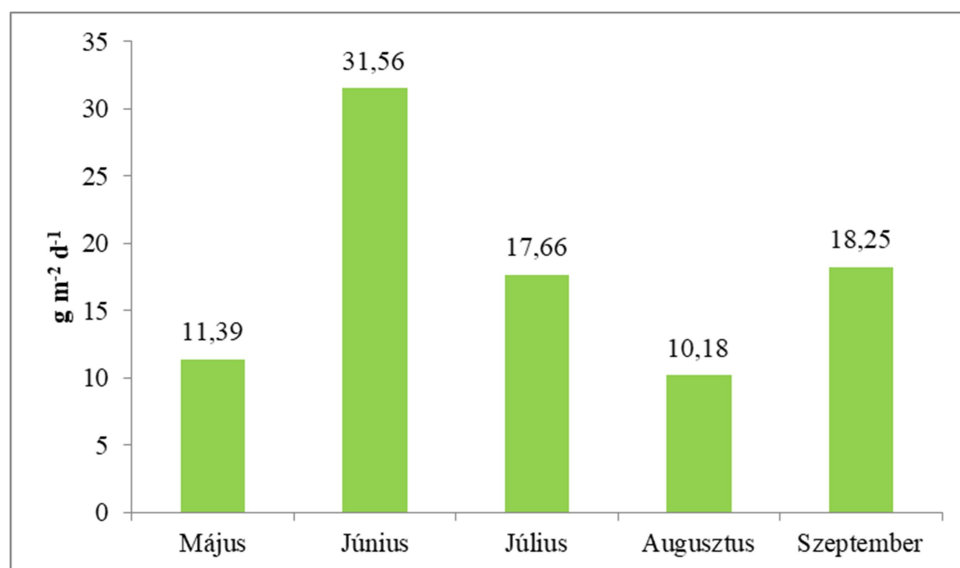
Az **4. ábrán** látható fekete pontok jelölik a modell alapján becült értékeket, míg a kék pontok az általunk mért értékek. Látható, hogy sok az egybeesés a mért és a becült értékek között, július hónapban a legszembetűnőbb az eltérés, viszont a többi hónapokban – május, augusztus hónapokban főleg – illeszkednek a mért értékek az általunk előre jelzett értékekre.



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

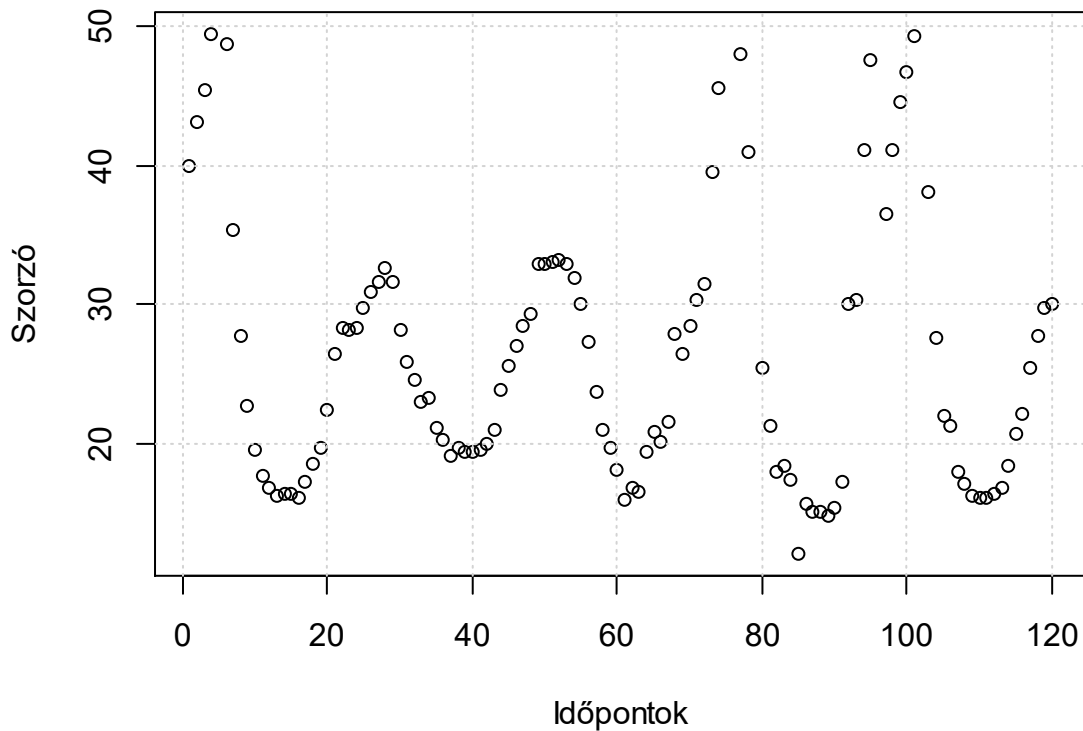
3.4.1. Napi szén-dioxid-emisszió becsült értéke, 2018

A modell által becsült értékeket az **5. ábra** szemlélteti. A júniusi mért 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 $10,17 \text{ (g m}^{-2} \text{ d}^{-1})$ -ra becsült a modell által.



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

Mivel ilyen eltérők lehetnek az eredmények a talajhőmérséklet és a talajnedvesség alapján, felmerült bennünk a kérdés, hogy mennyivel kell megszorozni az óras aktuális mérés eredményét, hogy megkapjuk a napi CO₂-emissziót? A modell által becsült napi emisszió értékeket elosztottuk az óras értékekkel, így kaptuk meg a szorzószámokat. A **6. ábra** mutatja az öt mért időpont 24 órás szorzószámait.



6. ábra: Az időpontok és a szorzótényezők összevetése

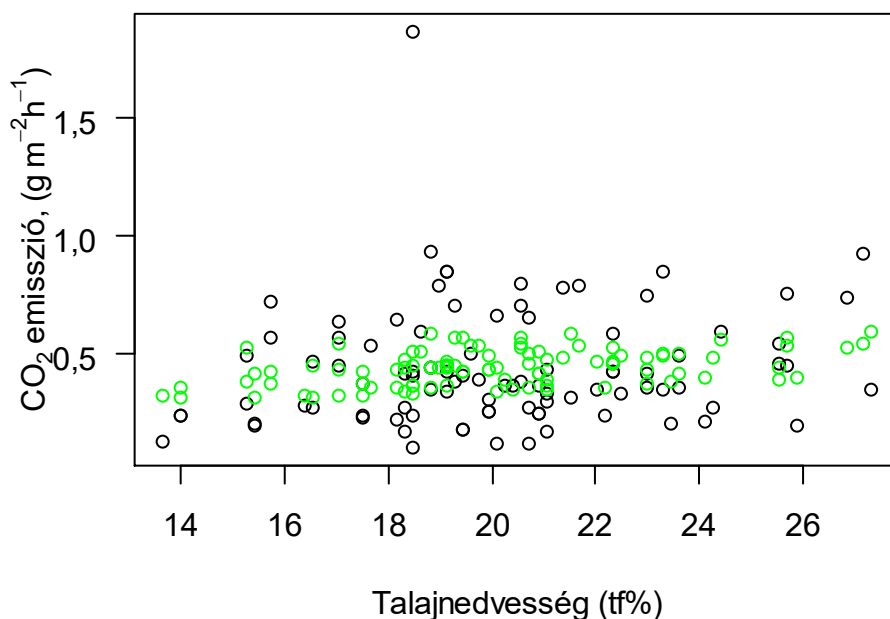
Az öt nap átlagai alapján meghatározott szorzószámokat mutatja az **4. táblázat**.

4. 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

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

A szén-dioxid-kibocsátásra a talajhőmérséklet és talajnedvesség együttes hatása 2019-ben is erősebb, mint a külön-külön modellezett hatások, de együttes hatásuk elmarad az előző évitől. Ahogy azt a zöld körök mutatják, a becült értékek keskenyebb tartományban mozognak, ahogy a fekete körökkel jelzett mért értékek is (7. ábra).



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

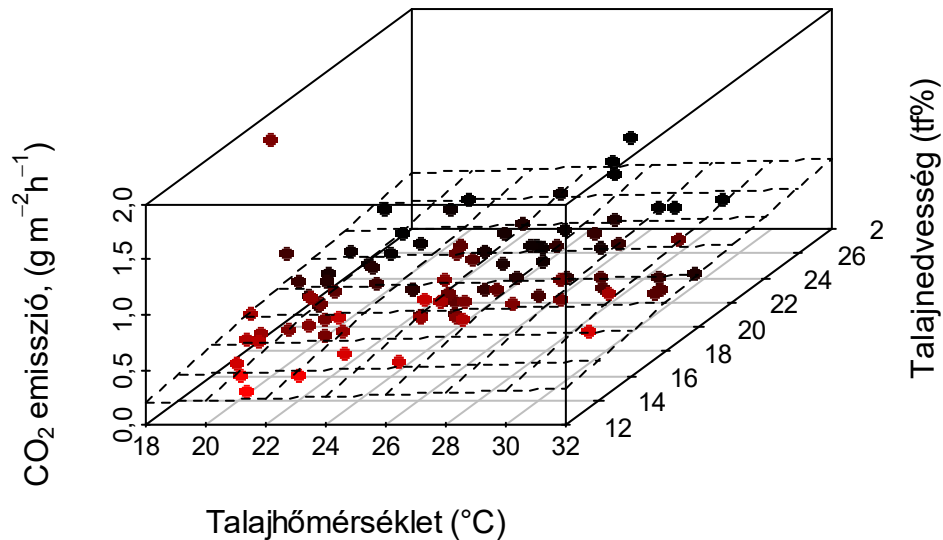
A talajnedvesség és talajhőmérséklet együttes hatása a széndioxid-emisszióra már szignifikáns kapcsolatot mutat. Az összefüggés létezik, de nagyon gyenge a kapcsolat, összességében 9 %-ban befolyásolja a kibocsátást a talajhőmérséklet és a talajnedvesség (5. táblázat).

5. 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	Igazított R-négyzet	F érték	Szignifikancia
0.2441	93	0.08965	0.07007	4.579	0.01268

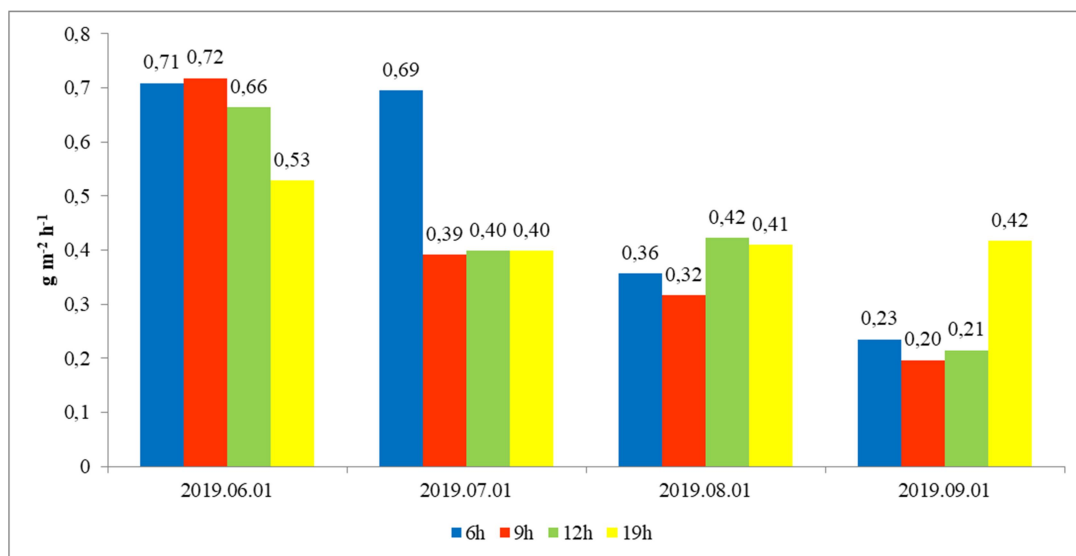
A két magyarázó változó közül csak a talajhőmérséklet volt szignifikáns. Az adatok terjedelme szűkebb volt, mint előző évben, de a regressziós sík itt is illeszkedik, segítségével

becsülhető a szén-dioxid-emisszió várható nagyságára, az átlagos hiba nagysága $0,244 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. A mért értékek a rácshálózat közelében helyezkednek el, kiugró eredményeket elvétele kaptunk (8. ábra).



8. 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 (9. 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.



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

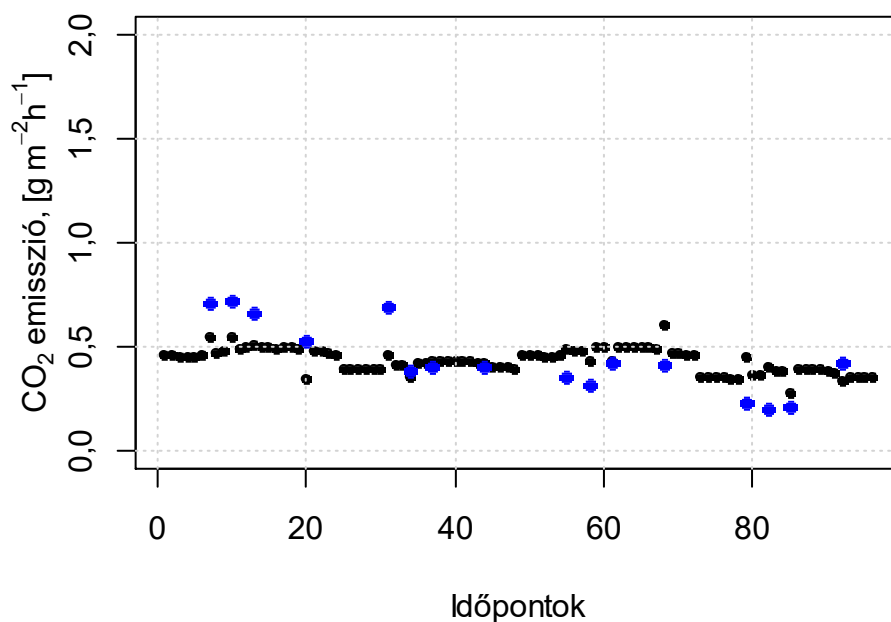
3.5.1. Órás léghőmérsékletek és a talajnedvesség alapján becsült CO₂-emisszió

Az órás 2 méteres léghőmérséklet és a talajnedvesség adatok alapján a szén-dioxid-emisszió elfogadható mértékben becsülhető. A regressziós modell eredménye a **6. táblázatban** látható. Egyedül a talajnedvesség hatása volt szignifikáns 10%-os szinten,

6. táblázat: Órás 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-négyzet	Igazított R-négyzet	F érték	Szignifikancia
0.1622	13	0.2448	0.1286	2.107	0.1612

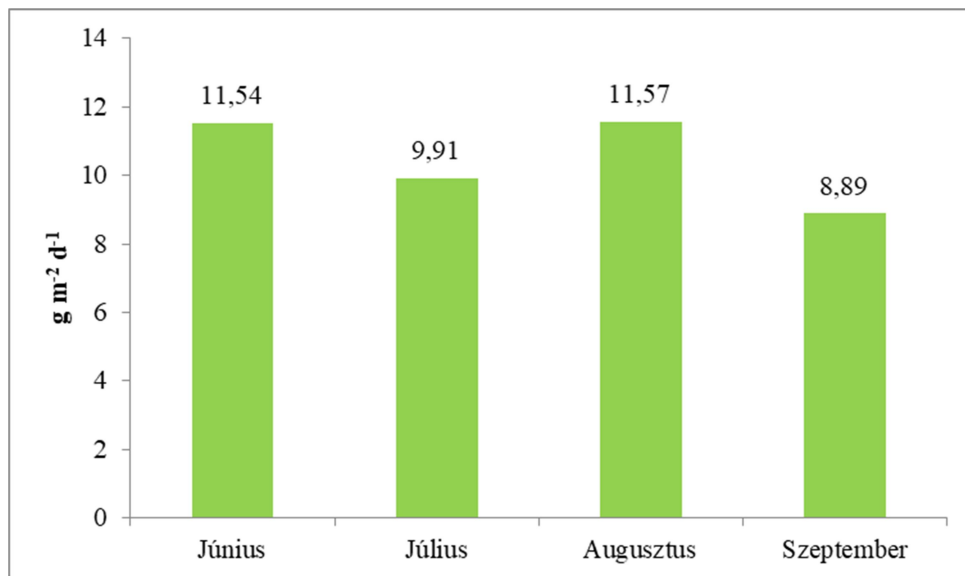
A regressziós modell alapján a 2019-es értékek görbéi jóval laposabbak, az általunk mért értékek (kék pontok) kevésbé illeszkednek a modellre, leginkább a júliusi hónapban esik egybe a modell értékei az általunk mért értékekkel (**10. ábra**). Június hónapban magasabb eredményeket kaptunk, míg augusztus és szeptember hónapokban a modell alatt voltak az értékek. A becslés átlagos hibája $0,162 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ volt.



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

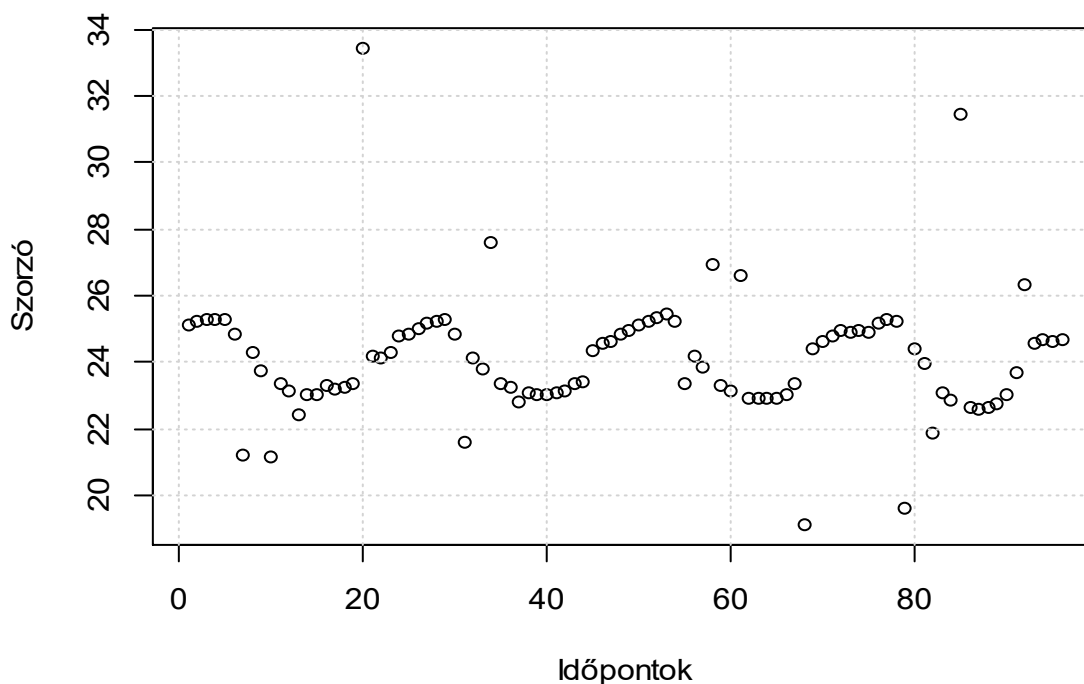
3.5.2. Napi szén-dioxid-emisszió becsült értéke, 2019

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, $8,89 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (**11. 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.



11. 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 (**12. ábra**).



12. ábra: Az időpontok és a szorzótényezők összevetése

7. táblázat: Szorzószámok a napi CO₂-emisszió becsléséhez, 2019

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
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 $0,383 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ volt. A becsült napi emissziós értékek a szakirodalmi adatokhoz nagyon közel estek (RULÍK,2018; KOVÁCS,2014.). 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.

3.6. A CO₂-EMISSZIÓ ÉVES DINAMIKÁJA

3.6.1. 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:

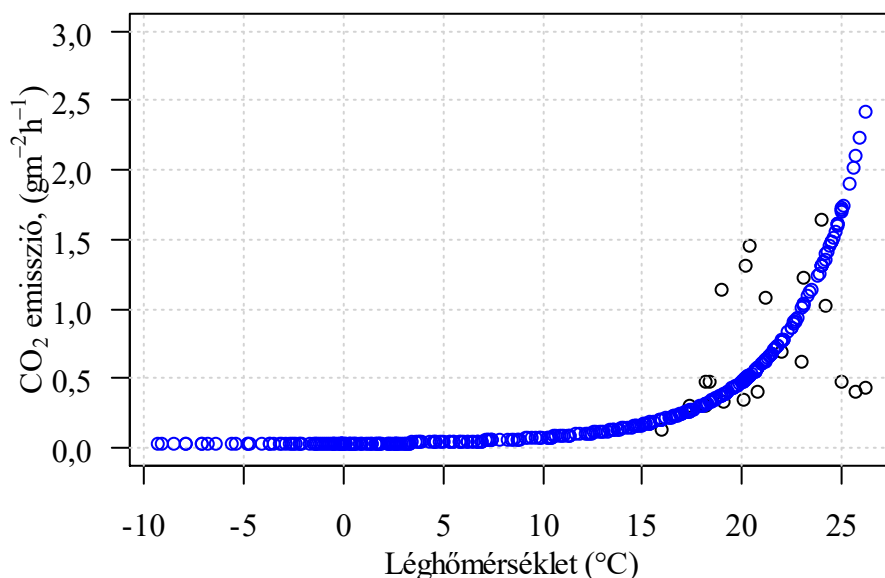
$$CO_2 = 0,03282e^{0,0364T} - 0,00488 T^2$$

ahol:

CO₂: emisszió egy négyzetméteren egy óra alatt

T: 2 méteres léghőmérséklet órás adatai

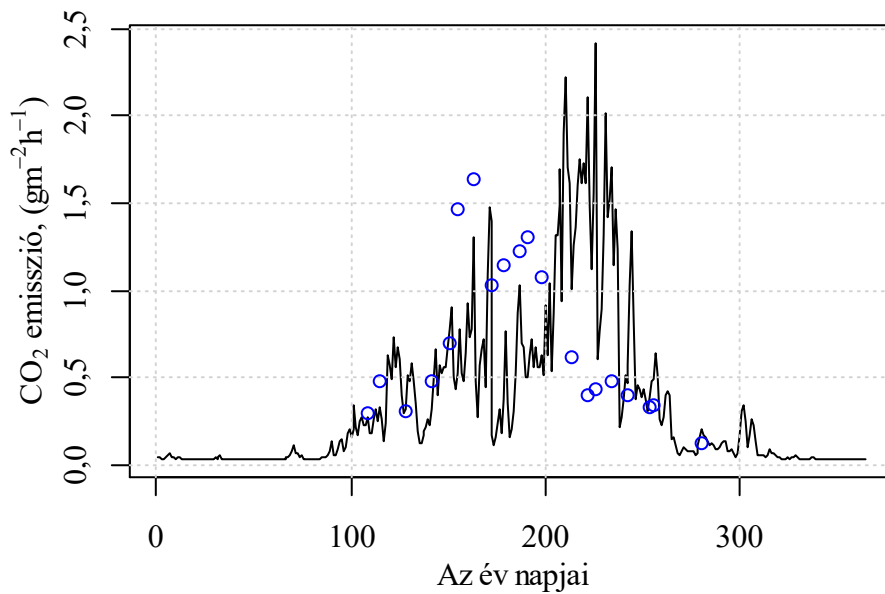
Ez a modell csak a hőmérsékletet veszi figyelembe. A **13. ábra** a léghőmérséklet és az emisszió közötti összefüggést mutatja, ahol a kék pontok a becült értékek, az üres karikák a mért értékeket mutatják. A modell jól illeszkedik minden tartományban, az általunk használt modell megfelelően mutatja be a 2 méteres léghőmérséklet és az emisszió közötti összefüggést.



13. ábra: A becült és a mért emissziós értékek és léghőmérséklet adatok (2018)

A kísérleti hely napi hőmérsékletei alapján megbecsültük az év minden napjára a CO₂-emissziót. A **14. ábra** az O'Connell modell által becült éves emisszió menetét mutatja, amely

becslés az év 180 napjáig jó egyezést mutat a mért emissziós értékekkel. Ezután viszont erős felülbecslés látható. Ennek az az oka, hogy 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.

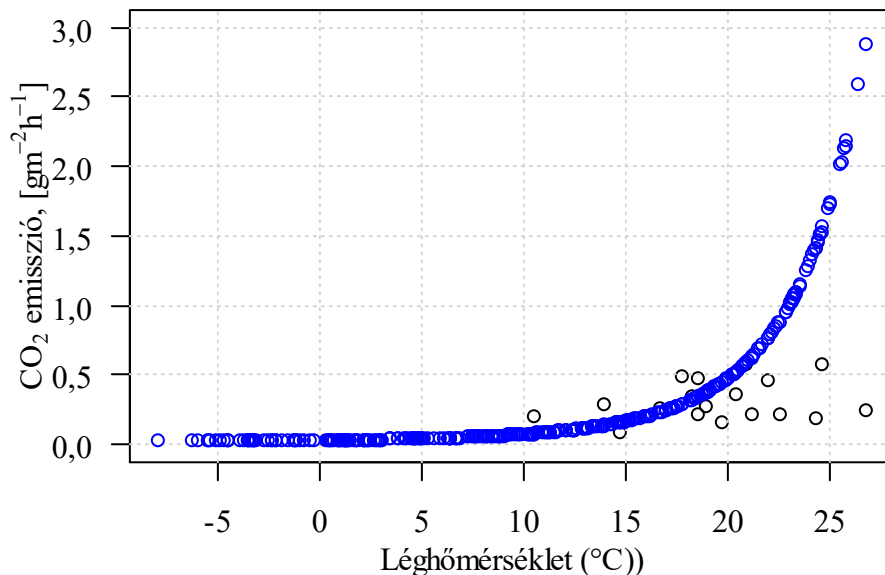


14. ábra: A becsült és a mért szén-dioxid értékek, összevetve az év napjaival (2018)

Az éves mennyiség előrejelzéséhez az óras 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 $11\,370\text{ kg}$.

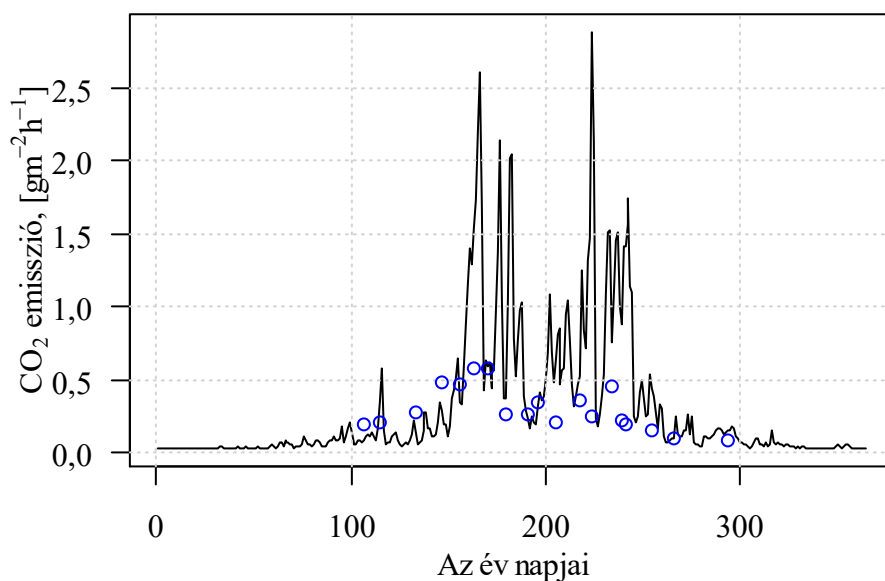
3.6.2. A CO₂-emisszió éves dinamikája 2019-ben

A 2018-as adatok alapján előállított O'Connell modellt használtuk 2019-ben a léghőmérséklet és az emisszió közti összefüggés elemzésére (15. ábra). A modell illeszkedése természetesen nem volt olyan pontos, mint az előző évben, hiszen „idegen” adatokon teszteltük. A becült értékek 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 CO₂-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.



15. ábra: A becült és a mért emissziós értékek és léghőmérséklet adatok (2019)

Az O'Connell modell által becült éves emissziós értékeket bemutató 16. ábrán azt láthatjuk, hogy a modell erősen fölé becüli 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 $1\,978\text{ g m}^{-2}\text{ év}^{-1}$ becülhető 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 CO₂-emisszió 2019-ben egy hektárra körülbelül 9 890 kg.



16. 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 5-8 kg C ha/nap (2,4 t C ha/ év), 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 ± 4 Pg C/évet 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 hasonló, $1\,978 \text{ g m}^{-2}$. 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.

4. 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 nedvességtartását, 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 csapadéku években $9\,890\text{--}11\,370 \text{ kg ha}^{-1}$ várható.

5. 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 szélsébség 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 füvet, 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 termésbiztonság és termésmenés mellett a szén-dioxid kibocsátást is befolyásolja. Hatása kettős. Egyrészt növeli a talaj nedvességkészletét, 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 megítélésekor a jövőben érdemes figyelembe venni ezt a szempontot is.

6. IRODALOMJEGYZÉK

1. 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
2. Birkás M. - Jolánkai M. – Stingli A. – Bottlik L.: 2007. Az alkalmazkodó művelés jelentősége a talaj- és klímavédelemben. „Klíma-21” füzetek, 51, 34-47.
3. Birkás M.: 2001. A talajhasználat. A talajhasználati módok értékelése. [In: Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban. (Szerk.: Birkás M.)] Akaprint Kiadó. Budapest, 99-120.
4. *Commonwealth Of Australia*: 2015. Agricultural Competitiveness White Paper. Canberra.
5. 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.
6. Faragó T.: 2013. A nemzetközi fejlesztési együttműködés céljai és a fenntartható fejlődési célok. *Statisztikai Szemle*. 91(8-9): 823–841.
7. 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.
8. Györffy B.: 1976. A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők értékelése. *Agrártudományi Közlemények*. 35:239-266.
9. 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. & Pepó P.)] SZIE–DE ATC KIADVÁNY, Debrecen. 57-62.
10. Gyuricza Cs. – Liebhard P. – Rosner J.: 2004. Talajökológiai tényezők vizsgálata talajművelési tartamkísérletekben [In: Birkás M., Gyuricza Cs. (szerk.) Talajhasználat. Műveléshatás. Talajnedvesség.]. SZIE, Gödöllő.
11. Huzsvai L. – Balogh P.: 2015: Lineáris modellek az R-ben, Seneca Books http://seneca-books.hu/doc/Linearis_modellek.pdf
12. *International Food Policy Research Institute (IFPRI)*: 2013. 2012 Global Food Policy Report. Washington DC, USA.

13. Kovács Gy.: 2014. Mezőgazdasági hasznosítású talajok szén-dioxid-emissziójának vizsgálata Karcag térségében. Doktori Disszertáció. Debrecen.
14. Kuzyakov. Y.: 2006. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biol Biochem.* 38 (3) 425–448.
15. Lal, R.: 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropic versus temperate environments. *Advances in Agronomy.* 42.: 85-197.
16. Láng I: 2005. Időjárás – éghajlat – biztonság Változás – Hatás – Válaszadás – a VaHaVa projekt – Bevezető gondolatok a klímaváltozás kockázatához. *A Magyar Tudományos Akadémia folyóirata.* 166. 7.
17. Meyer, W. S. – Reicosky, D. C. – Shell, G. S.: 1987. Technical Report No. 5. Centre for Irrigation and Freshwater Research. Griffith, Australia
18. Nagy J.: 1996. Az öntözés és a talajművelés kölcsönhatása a kukoricatermesztésben. *Növénytermelés.* 45: 389-398.
19. Nagy, J. – Rátonyi, T. – Sulyok, D. – Huszvai, 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.
20. Nagy, J.: 1998. Interaction between fertilization and soil cultivation in maize production. *Acta Agron. Hung.* 46. 4: 698-705.
21. Nagy, J.: 1999. Evaluation of interaction between irrigation and soil cultivation in maize production. *Acta Agron. Hung.* 47. 2:181-190.
22. Rádcics 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.
23. 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.
24. Rastogi, M. – Singh, S. – Pathak, H.: 2002. Emission of carbon dioxide from soil. *Current Science.* 82: 510-517.
25. Rátonyi T. – Huszvai 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.

26. Saw, Min – Martin, Rulík: 2020. Comparison of Carbon Dioxide (CO₂) Fluxes between Conventional and Conserved Irrigated Rice Paddy Fields in Myanmar. *Sustainability*. 2020, 12, 5798; doi:10.3390/su12145798.
27. 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.
28. 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.
29. Widén, B. – Lindroth, A. 2003. A calibration system for soil carbon dioxide-efflux measurement chambers. *Soil Science Society of America Journal*. 67. 327–334.
30. Wiggins, S.: 2016. Agricultural and rural development reconsidered: A guide to issues and debates. From: IFAD Research Series (Issue 1) Publisher: International Fund for Agricultural Development (IFAD). Letöltve: 2020.03.02. <https://go.gale.com/ps/anonymous?p=AONE&sw=w&issn=&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA577953545&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>



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 Two 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.

