

MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**ÚJ MEGOLDÁSOK AZ ALKALMAZOTT
AGRÁRKUTATÁSBAN**

Készítette:
Zsembeli József

MATE Karcagi Kutatóintézet

Karcag
2024

Tartalomjegyzék	
BEVEZETÉS	2
1. A HARMAT MENNYISÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA	3
1.1. A harmat mennyiségének meghatározása saját módszerrel	5
1.2. A módszertan alkalmazásának néhány eredménye	8
2. A TALAJ SÓFORGALMA	10
2.1. A talaj elméleti és aktuális sómérlegének számítása	10
2.2. A módszertan alkalmazásának néhány eredménye	12
3. A TALAJ SZÉN-DIOXID-EMISSIONS	15
3.1. A talaj CO ₂ -emissionjának meghatározására in situ mérések alapján	15
3.2. A talaj CO ₂ -emissionjának becslése a nedvességtartalommal és hőmérséklettel való összefüggés alapján	17
3.3. A módszertan alkalmazásának néhány eredménye	18
3.3.1. A CO ₂ -emission éves mennyisége a napi dinamika alapján	18
3.3.2. A CO ₂ -emission éves mennyisége a nedvességtartalommal és hőmérséklettel való összefüggés alapján	18
4. A TALAJ SZÉNKEZSLETE	21
4.1. A szénkészlet meghatározása a humusztartalom alapján	21
4.2. Magyarország talajainak szénkészlete	22
5. A TALAJ TÁPANYAGFORGALMA	24
5.1. A repce és napraforgó tarlómaradvány nitrogéntartalmának országspecifikus értéke	24
5.2. A módszertan alkalmazhatósága	28
6. ÚJ MÓDSZER AZ EREDMÉNYEIM DISSZEMINÁCIÓJÁRA	30
6.1. A TALA módszer	30
6.2. A JNSZ vármegyei gazdálkodók környezeti- és gazdasági preferenciái	31
LEGFONTOSABB EREDMÉNYEK	33
IRODALOMJEGYZÉK	35

BEVEZETÉS

Az Európai Bizottság megfogalmazása szerint az alkalmazott kutatás olyan „tervezett kutatás vagy célzott vizsgálat, amelynek célja új ismeretek, tudás és szakértelem megszerzése új termékek, eljárások, technológiák vagy szolgáltatások kifejlesztéséhez vagy már létező termékek, eljárások, szolgáltatások jelentős továbbfejlesztéséhez” (Bizottság 651/2014/EU rendelete). A doktori (PhD) értekezésem megvédése után eltelt 23 év során agrárkutatóként és egy kutatói team, majd egy tájkatatóintézet vezetőjeként igen sokrétű, elsősorban alkalmazott kutatási projekteket vezettem, illetve volt lehetőségem ilyenekbe bekapcsolódni.

Kutatómunkámat természetesen alapvetően meghatározta és meghatározza, hogy munkahelyem 1991 óta változatlanul a Karcagi Kutatóintézet, melynek alaptevékenysége a mezőgazdasági kutatásra, fejlesztésre, oktatásra, illetve szaktanácsadásra terjed ki. Elhelyezkedéséből adódóan fő feladata a Közép-Tiszavidék kedvezőtlen ökológiai adottságai között folytatott szántóföldi növénytermesztés tevékenység során felmerülő problémák kutatása, ezen belül kiterjedt kutatási tevékenységet folytat a kedvezőtlen fizikai és kémiai tulajdonságú, kötött talajoknak a fenntartható mezőgazdasági fejlesztés kritériumait is kielégítő művelési és tápanyag-gazdálkodási rendszerének kidolgozása terén.

A Karcagi Kutatóintézet működéséhez olyan kutatási eredmények kötődnek, amelyek a tudományos ismeretanyag bővítésén túl gyakorlati vonatkozásban is figyelemre méltóak. A jelenlegi K+F projektek jól reprezentálják a Kutatóintézet munkájának széles körét és a gyakorlatot közvetlenül segítő fejlesztési tevékenységét. Fontos feladatunk a térség ökológiai adottságaihoz leginkább alkalmazkodó növényfajták nemesítése, azok termesztéstechnológiájának kidolgozása, az alföldi gyepterületek hasznosítása, és a gazdaságos juhtartás technológiájának továbbfejlesztése. Nagy hagyományokkal rendelkezik a Kutatóintézet a szikes, illetve savanyú talajok vizsgálatának, kémiai és fizikai meliorációjának, illetve vízháztartás-szabályozásának tudományos megalapozása terén is.

Értekezésben a Nagyikunság agroökológiai feltételeihez alkalmazkodó földművelési rendszerek fejlesztése és a mezőgazdasági hasznosítású

talajok víz- és anyagforgalmának vizsgálata témakörökben folytatott kutatásaim során elért eredményeimet, a megszerzett tapasztalataimat foglaltam össze, amelyek kifejezetten az új megoldások, módszerek keresésére, kidolgozására vagy a meglévő módszertanok fejlesztésére irányultak, így leginkább az alkalmazott kutatás kategóriájába sorolhatók: olyan tervezett kutatást vagy célzott vizsgálatokat folytattam, amelynek célja új ismeretek, tudás és szakértelem megszerzése új vagy már létező eljárások jelentős továbbfejlesztéséhez, kiegészítve az ezekből fakadó ismeretek disszeminációjával az érintett gazdálkodók számára.

1. A HARMAT MENNYISÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA

A mérés technika és a lizimetria fejlődése manapság már lehetővé teszi, hogy meghatározzuk a mikrocspadék formák mennyiségét is. A harmatmérés területén a súlyliziméterek megalkotásával újabb lehetőség tárult fel. Rendkívüli mérésérzékenységgel rendelkeznek, így olyan pontossággal mérnek, hogy képesek detektálni a harmat sokszor rendkívül alacsony mennyiségét is, ráadásul segítségükkel a harmathullás időbeli alakulását is figyelemmel lehet követni. A harmat mennyiségének vonatkozásában a tudományos közlések rendkívül megoszloak, ezért kihívásnak tekintetem a liziméteres méréseken alapuló módszer megismerését, alkalmazását. A harmat mennyiségének pontos meghatározása nagyon bonyolult feladat, mivel igen kis mennyiségben keletkezik, képződése több meteorológiai paramétertől és a felszín tulajdonságaitól is nagymértékben függ, ráadásul mérése során is számos hibalehetőség adódhat.

A liziméterekkel történő harmatmérésre a következő elvet alkalmazzuk: adott területre vonatkozóan a felszín vízforgalmának lokális megközelítése a vízháztartási mérleg segítségével történik. A vízháztartási mérleg gyakorlatilag a hidrológiai ciklus elemeit foglalja magába. Zárt rendszereknél, mint pl. a liziméter, egyszerűsített vízmérleget használunk. Ennek komponensei közül a legfontosabb beviteli, vagyis input forrás a csapadék (ezen belül a makro- és mikrocspadék), illetve az öntözés. Csapadék esetében megemlíendő fogalom az intercepció, mivel ez szabja meg, hogy a talajt borító növényzet mennyi vizet enged át a levelein keresztül, illetve mennyi víz marad vissza a levélzeten, és párolog el. Bár az intercepciót többnyire figyelmen kívül hagyjuk, Anda (2010) szerint a növény számára frissítő közegeként mindenképp fontos szerepe van. Vízvesztésként a gravitációs vizet és a párolgást számítjuk.

Gravitációs vízen a víz mélyebb rétegekbe való hatolását értjük, mely természetes körülmények között az első vízzáró rétegig történik. A párolgás a vízháztartási mérleg legjelentősebb vízkiadási komponense (az elfolyást és a gravitációs vizet is beleértve). Párolgásnál a vízmolekulák közti kohéziós erő felszakad a napsugárzás energiájának köszönhetően, és a víz ezáltal kilép a légterbe, cseppfolyós halmazállapotból gáznemű állapotba kerül. Evaporációról beszélünk amennyiben a párolgás csupasz talajfelszínről történik, ha pedig a növényzet párologtatásáról van szó, a folyamatot transzspirációnak nevezzük. A két folyamatot együttesen evapotranszspirációnak hívjuk. Ezen belül potenciális és tényleges evapotranszspirációt különböztetünk meg (Varga-Haszonits, 1987; Anda, 2010).

A lizimetria tudományterületének jelenlegi fejlettsége lehetővé teszi a harmatmennyiség meghatározásához szükséges vízmérleg komponensek gyakori és nagy pontosságú mérését, ezáltal a makrocspadék és a mikrocspadék mennyisége is megállapítható közvetlenül a liziméteres adatokból. Mivel a harmat sokszor tized, század mm-es nagyságrendű mennyiségben keletkezik, így csak a nagy mérésérzékenységgű precíziós súlyliziméterek alkalmasak a pontos harmatmennyiség meghatározására. Megbízható, valós adatok közléséhez a precíz mérőberendezések mellett, megfelelő adatfeldolgozás is szükséges, melyet szűrő és simító funkciók használatával lehet elérni. Mindemellett az adatok megfelelő interpretációja is elengedhetetlen ahhoz, hogy a harmathullás elkülöníthető legyen a vízmérleg egyéb mért komponenseitől (Nolz et al., 2013a,b).

Céлом volt a harmatmennyiség meghatározására irányuló metodika továbbfejlesztése, amire lehetőséget adott az, hogy liziméteres adatsorok alapján elkülöníthetők azok a pozitív vízmérleggel jellemezhető időszakok, amikor, makrocspadék híján, feltételezhető a harmathullás. A súlyliziméteres mérés technika jellegéből adódóan azonban olyan „adat zajok” (ugráló értékek) jelentkeznek, amelyek könnyen összetéveszthetők a harmathullás miatt bekövetkező tömegváltozással. Ezen zajok a számítógépes adatfeldolgozás során ún. szűrő- és simító funkciók használatával kiküszöbölhetők.

1.1. A harmat mennyiségének meghatározása saját módszerrel

Kutatómunkánk során a talajok vízháztartási mérlegének számításán alapuló metodikát alkalmaztuk, mely során a liziméterek talajának tömegváltozását, a csapadék, az öntözővíz, a gravitációs víz (drénvíz) mennyiségeit mértük, illetve ezekből a párolgás mértékét határoztuk meg. Kidolgoztunk két olyan módszert, amelyek a fenti paraméterek, illetve meteorológiai adatok (páratartalom, levegő hőmérséklete, talajfelszín hőmérséklete) figyelembevételével alkalmasak a harmat mennyiségének számítására.

A súlyliziméterekkel történő mérések során az egyszerűsített vízháztartási egyenletet alkalmazzuk, mely egy adott talajoszlopra vonatkoztatva a következőképpen néz ki:

$$CS + \ddot{O} = G + VM + P \quad (1)$$

ahol CS = csapadék (mm), $\ddot{O}$ = öntözővíz (mm), G = gravitációs víz (mm), VM = nedvességtartalom változása (mm), P = párolgás (mm).

A liziméter a tömegméréssel kapja meg a talajoszlop nedvességtartalmának változását ($VM = T_v$), tehát a vízmérleget átrendezve megkapjuk a talajoszlop tömegváltozását (T_v), mely így az input (beviteli), és az output (kimenő) elemek különbségével egyenlő:

$$T_v = CS + \ddot{O} - G - P \quad (2)$$

Az egyszerűsített vízháztartási mérleg lényege, hogy a mérleg egyéb komponenseinek ismeretében a párolgás kiszámítható. A liziméterek esetében az egyszerűsített vízháztartási egyenlet minden eleme ismert, mérhető (csapadékmennyiség, öntözési vízmennyiség, gravitációs víz mennyisége, tömegváltozás), kivéve a párolgást. Az egyenletet tehát ismét átrendezve, illetve az egyes komponenseket egységesen mm-ben kifejezve kiszámolható a párolgás mértéke:

$$P = CS + \ddot{O} - G - T_v \quad (3)$$

A liziméteres mérésekre épülő harmatmennyiség meghatározására irányuló kutatómunka során 10 perces, illetve egy órás mérésgyakorisággal rögzített adatokat dolgoztunk fel. A gyeppel borított felszínű liziméter talaját rendszeresen öntöztük, mivel a rövidre nyírott gypfelszínről történő párolgás, amennyiben a víz nem korlátozó tényező, a potenciális evapotranspiráció értékének felel meg. Ebben az esetben a párolgás mértékét kizárólag a levegő fizikai tulajdonságai

határozzák meg, s ez a mutató egyben megadja a légkör nedvességbefogadó képességének a maximumát is.

A harmat mennyiségének számításához az előzőekben már taglalt egyszerűsített vízháztartási egyenlet módosítottam - az egyenletből eltűnik a párolgás (P), ugyanakkor az input (talaj vízkészletét gyarapító) elemek mellé (csapadék: CS, öntözővíz: Ö) bekerül a harmat (H):

$$Tv = CS + \ddot{O} + H - G \quad (4)$$

$$H \text{ (mm)} = Tv - CS - \ddot{O} + G \quad (5)$$

Mivel a liziméterek felülete 1,7 m², ezért a harmat számításához mind a tömegváltozást, az öntözővíz-mennyiséget és a gravitációs vízmennyiséget is (melyek 1,7 m² felületre vannak megadva) vissza kellett osztanunk 1,7-del, hogy az 1 m²-re vonatkoztatott értékeket kapjuk. A harmat mennyiségét mm-ben fejeztük ki.

A harmathullási időszakok meghatározása a súlyliziméterek mérlegei által rögzített tömegadatok alapján történt. A liziméteres mérés technikán alapuló módszer esetében harmathullási időszaknak az tekinthető, amikor a súlyliziméterek által mért talajtömeg változása pozitív és emellett ugyanazon időszakban nem hullott makrocspadék (eső), illetve nem történt az adott liziméteren öntözés vagy egyéb olyan művelet, amely tömegnövekedést idézett elő. A makrocspadék mennyiségének és előfordulásának időtartamát a KKI területén található meteorológiai állomás 10 perces mérésgyakorisággal rögzített adatai alapján határoztuk meg. A vizsgálati időszakban (2015. 04. 01. – 2016. 09. 30.) a talajoszlopok tömegadatai is 10 perces mérésgyakorisággal lettek rögzítve, annak érdekében, hogy a meteorológiai adatokkal pontosan összevethetők legyenek.

Annak érdekében, hogy kiszűrjük a 10 perces mérésgyakorisággal rögzített adatokban jelentkező adatzajokat, hosszabb mérésintervallumú, alacsonyabb mérési gyakoriságú tömegadatokat vettünk figyelembe a tömegváltozás megállapítására. Ezen módszer azon az elgondoláson alapul, miszerint az oszcillációk jellemzően csak igen rövid időtartamú hatás eredményei, így hatásaik hosszabb időtartamon belül nagy valószínűséggel kiegyenlítődnek. Mivel vélhetően a jellemző harmatképződési időszakok (éjjel, hajnal) során számottevő párolgással (illetve más vízforgalmi paraméter megjelenésével) nem kell számolnunk, az egy óras mérésgyakoriságú adatok feldolgozását láttam célszerűnek.

A koncepcióm, miszerint az egy órás mérésgyakorisággal mért adatok felhasználása esetében az adatzajok kiegyenlítődnek, illetve meg sem jelennek, beigazolódtott, nem csak a példaként bemutatott, de a többi harmathullással jellemezhető nap esetében is. Az ugyanazon időszakokra vonatkozó, ugyanazon liziméterekhez tartozó, csak mérésintervallumukat tekintve különböző tömegadatok változásának trendje (a grafikonok vonalvezetése) megegyezik, tehát megállapítható, hogy a felhasznált adatok mennyiségének (mérési intervallumának) csökkentése által nem kaptam hamis eredményeket a tömegváltozások ábrázolásakor.

A szélhatások kiküszöbölése érdekében kifejlesztettek olyan számítógépes programokat (simító funkciókat), amelyek segítenek csökkenteni a mérések közötti tömegváltozásban keletkező, de nem a mérés pontatlanságából adódó „adatzajokat”. Ezeknek a használatával a tömegváltozások ábrázolásánál kirajzolódott oszcillációkat ki lehet simítani, így nem jelentenek zavaró tényezőt a harmathullási időszakok meghatározása során (Nolz et al., 2013a). Az oszcillációk simítására a FORTRAN elnevezésű számítógépes programot használtuk, aminek a lényege, hogy a súlyliziméterek által rögzített tömegváltozásokban indokolatlanul keletkezett ugráló értékeket kiszűri és kijavítja (kisimítja). A program akkor tekint zajnak, és nem harmatnak, egy 10 perces időintervallumon belüli tömegnövekedést, ha annak értéke meghaladja meg a mérésérzékenységet jelentő 0,1 kg-ot (0,06 mm), de nincs detektált makroszapadék. A karcagi liziméterek 10 perces mérésgyakoriságú, a vizsgálati időszakot felölelő tömegváltozási adatait lefuttattuk a FORTRAN programon. A simító funkció alkalmazása után javított értékeket adaptáltuk az eredeti adatsorainkhoz, amelyek nem csak a tömegváltozásokat tartalmazták, hanem a harmatképződési periódusokat meghatározó különböző meteorológiai paramétereket is (úgy mint hőmérséklet, aktuális- és telített légnomás, relatív páratartalom).

Hasonlóan az egy órás mérésgyakoriságú adatok felhasználásával történő adatszűréshez, a simító funkcióval is elemeztük a vizsgálati időszak mind az összes 549 napjának tömegváltozási trendvonalát, de ebben az esetben a program automatikusan választja ki a harmatképződés lehetőségét magukban hordozó, 10 perces időintervallumú periódusokat és 1-essel jelöli azokat. A mért tömegadatokat leíró pontokra illesztett görbe kisimítja az oszcillációkat. Itt is megvannak viszont az enyhén felfelé

ívelő szakaszok, amelyek a késő éjjeli, hajnali időszakban jelentkező kismértékű tömegnövekedéssel járó harmathullásból adódnak.

1.2. A módszertan alkalmazásának néhány eredménye

A két szűrési módszerrel a csupasz és a gyeppel borított talajfelszínű liziméteres talajoszlopokra is meghatároztuk a vizsgált időszakban keletkezett harmatmennyiségeket (1. táblázat).

1. táblázat: A két adatszűrési módszerrel meghatározott harmatmennyiségek összehasonlítása

Év/hónap	Harmatmennyiség (mm)					
	Gyepfelszín			Csupasz talajfelszín		
	1 órás	Simított	Különbség	1 órás	Simított	Különbség
2015. 04.	1,5	0,7	0,8	3,1	1,6	1,5
2015. 05.	1,4	1,0	0,4	1,5	1,0	0,6
2015. 06.	0,5	1,6	-1,1	2,0	0,3	1,7
2015. 07.	0,5	1,6	-1,1	1,8	0,3	1,5
2015. 08.	0,4	0,3	0,1	2,1	1,4	0,7
2015. 09.	2,8	1,3	1,5	3,2	1,1	2,1
2015. 10.	3,1	1,0	2,2	1,2	1,8	-0,5
2015. 11.	6,2	2,5	3,7	2,8	2,7	0,2
2015. 12.	4,5	0,0	4,5	2,7	1,4	1,3
2016. 01.	5,0	0,4	4,6	4,1	1,0	3,1
2016. 02.	0,6	0,0	0,6	0,7	1,1	-0,4
2016. 03.	2,7	0,1	2,6	3,5	0,1	3,4
2016. 04.	2,6	0,1	2,5	2,8	0,3	2,5
2016. 05.	2,8	0,4	2,4	2,3	0,8	1,5
2016. 06.	1,8	0,1	1,8	1,1	0,1	1,0
2016. 07.	1,2	0,5	0,7	2,8	0,6	2,3
2016. 08.	2,3	0,8	1,5	4,4	1,4	2,9
2016. 09.	3,4	1,6	1,8	7,3	2,1	5,2
Összesen	43,1	13,7	29,4	49,4	18,9	30,4

Legegyszerűbben a teljes vizsgálati időszak 18 hónapjára kapott eredményeket lehet összevetni: az egy órás mérésgyakorisággal meghatározott adatok alapján 43,1 mm harmatot mértünk a gyeppel borított talajfelszínű liziméter esetében, míg a 10 perces mérésgyakoriságú simított adatok alapján kapott érték 13,7 mm volt, a különbségük 29,4 mm. Ugyanezen megközelítésben a csupasz talajfelszínű liziméter esetében 49,4 mm, illetve 18,9 mm

harmatmennyiséget kaptunk, a különbségük 30,4 mm. A rövidere nyírt gyeppfelszínen és a csupasz talajfelszínen kicsapódott harmat összes mennyiségében sem találtam számottevő különbséget, az időbeli dinamikájuk viszont különbözik: a téli időszakban a gyeppel borított felszínen a dér kicsapódásához nagyobb fajlagos felület áll rendelkezésre, viszont a melegebb nyári időszakban a csupasz (száraz) talajhoz viszonyítva az élő növényzet kevésbé hűl le az éjszaka folyamán, így a kondenzációhoz szükséges hőmérsékletkülönbség is kisebb, ezáltal a harmat mennyisége is kisebb a gyeppel borított felszínen. Megállapítottam, hogy a simító funkcióval meghatározott mennyiségek mintegy egyharmaduk az egy órás mérésgyakorissággal meghatározott adatoknak. Megítélésem szerint nagyságrendi különbség nincs, de mindenképpen további vizsgálatokat igényel mindkét módszer. Az eddigi gyakorlati és tudományos eredmények alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a Karcagon található súlyliziméterek alkalmasak a harmat mennyiségének meghatározására. A liziméterekből származó adatok, kiegészítve meteorológiai adatokkal, lehetőséget nyújtanak olyan talajhidrológiai paraméterek precíz mérésére, amelyeket szántóföldi körülmények között nem lehet meghatározni. Ilyen paraméter a harmat mennyisége is. A módszer alkalmazásával több (itt nem közölt) évre is meghatároztuk a Karcagon hullott harmat mennyiségét.

Az általunk meghatározott harmat mennyiségének megítélése igen nehéz, mivel nem állnak rendelkezésre mások által, hasonló körülmények között mért adatok (de éppen ez adja az értekezés címében is megfogalmazott újszerűséget). Went (1955) szerint a harmatmennyiség meghatározására irányuló számítások alapján 365 napnyi derült éjszaka elméletben 381 mm esőnek megfelelő harmatot eredményezne. Ez a mennyiség azonban nagymértékben függ a levegő relatív páratartalmától. Száraz régiókban a sugárzás nagyobb, a harmat kevesebb, míg a más klímájú régiókban pont fordítva. Egy 6 évre kiterjedő mérési sorozat eredményeként évi átlagos 231 mm esőnek megfelelő harmatot mértek, melynek alapján feltételezhető, hogy a hasznosítható vízkészlet kb. 20%-a harmat formájában állt rendelkezésre. Amennyiben ezt az eredményt összehasonlítjuk az elméleti, évi 381 mm harmattal, igen közeli értékeket kapunk. Más kutatók szerint a harmat mennyisége a csapadékból maximum 38,1 mm felelhet meg – ez azonban túlságosan kevés ahhoz, hogy magyarázza a harmatnak kitett növények jelentős növekedésbeli fölényét. A harmat mennyiségével kapcsolatos ellentmondásokat egy 21 napos Kabela et al. (2009) által USA, Iowa államban végzett kutatás is

reprezentálja, melynek alapján a kukoricánál 0,01-0,6 mm, szójababnál 0,003-0,8 mm harmat volt jelen 3 gyenge, közepes és erős harmatot eredményező napon.

A Karcagon mért adataink nagyságrendjének helyességét kizárólag Szász (1992) megállapítására tudtam alapozni, miszerint hazánkban a harmatból származó vízmennyiség évi összege átlagban mintegy 63 mm-re tehető, melynek összetevői: légköri harmat 28,67 mm (45,4%), a talaj belső teréből származó víz 0,36 mm (0,6%) és a mélytalajból diffundált víz 34,11 mm (54,0%).

2. A TALAJ SÓFORGALMA

A másodlagos szikesedéssel kapcsolatos kutatásaim fő célja a sóháztartással érintett talajok sóforgalom dinamikájának meghatározása, hogy a káros hatásokat mérséklő, a talajt is védő növénytermesztési és kertészeti technikákat dolgozhassunk ki a kiskerti gazdálkodás hosszú távú fenntarthatósága érdekében. A kutatási programunk egyik részeként a talaj sótartalmának meghatározása és sóforgalmi dinamikájának a számszerűsítése liziméteres környezetben volt a célunk, hogy olyan korszerű öntözési módszerek fejlesszünk ki, amelyek könnyen adaptálhatók régióink sajátos, gyakran szélsőséges agrárökológiai viszonyaihoz.

2.1. A talaj elméleti és aktuális sómérlegének számítása

A liziméterek sokoldalúan használható, hatékony eszközök és alkalmasak a talaj víz- és sómérlegének nagy pontosságú számszerűsítésére (Zsembeli et al., 2019), mivel a liziméteres talaj-növény-víz rendszerekben a vízháztartási elemek mennyisége és kémiai összetétele is precízen meghatározhatók. A liziméteres talajoszlopok ún. elméleti sómérlegét (SM_{TEOR}) az öntözővíz összes oldott sótartalmának (mint inputnak) és a drénvíz sótartalmának (mint outputnak) a különbsége adja. A természetes csapadékvíz sótartalmát nullának vettük ebben a megközelítésben, illetve más sóinputtal vagy sóoutputtal sem számoltunk. A Wilcox (1963) által leírt egyenletet adaptáltam a liziméteres környezetre (6-7. egyenletek) az összes oldott sótartalom (ST) az öntözővízre (ST_{ONT}) és a drénvízre ($ST_{DRÉN}$) vonatkozóan:

$$ST_{ONT} = (V_{ONT} * C_{ONT}) \quad (6)$$

ahol $ST_{\text{ÖNT}}$ az összes oldott sótartalom az öntözővízben (g), $V_{\text{ÖNT}}$ az öntözővíz mennyisége (térfogata) (l), $C_{\text{ÖNT}}$ az öntözővíz sókoncentrációja (g l⁻¹).

$$ST_{\text{DRÉN}} = (V_{\text{DRÉN}} * C_{\text{DRÉN}}) \quad (7)$$

ahol $ST_{\text{DRÉN}}$ az összes oldott sótartalom a drénvízben (g), $V_{\text{DRÉN}}$ a drénvíz mennyisége (térfogata) (l), $C_{\text{DRÉN}}$ a drénvíz sókoncentrációja (g l⁻¹).

Ezekből származtattam az SM_{TEOR} értékét (8. egyenlet):

$$SM_{\text{TEOR}} = ST_{\text{ÖNT}} - ST_{\text{DRÉN}} \quad (8)$$

ahol SM_{TEOR} az elméleti sómérleg.

Amikor SM_{TEOR} nulla, összességében sem sófelhalmozódás, sem sókimosódás nem történt a talajoszlopban, azaz azok eredője nulla. Azért ezzel a módszerrel számoltunk, mert ez a legegyszerűbb és a leginkább kézenfekvő az egyszerű átfolyóvízes liziméterekben lejátszódó folyamatok számszerűsítésére, hiszen a liziméterekben jól mérhető inputok és outputok mennyiségének meghatározásán alapul. Ez a módszer a kimosódási szükséglet meghatározása is alkalmas, azaz számszerűsíthető az az öntözővíz mennyiség, amelynek át kell szivárognia a talajoszlop gyökérszónáján a mélyebb rétegekbe annak érdekében, hogy a feltalaj sótartalma egy bizonyos határérték alatt maradjon (Hillel, 2005).

Az öntözési időszak előtt és után mintákat vettünk a liziméterek talajának 0–0,2, 0,2–0,4 és 0,4–0,6 m-es rétegeiből. A talajminták m/m%-ban kifejezett összes vízőldható sótartalmát (ST_{AKT}) a Karcagi Kutatóintézet laboratóriumában az MSZ-08 0206/2-78 szabvány szerint határoztuk meg. Az öntözési időszak előtt és után vett talajminták ST_{AKT} értékeinek különbsége alapján az egyes talajrétegek aktuális sómérlege (SM_{AKT}) számítható ki. Először meghatároztuk az adott 0,2 m vastag talajréteg térfogatát (V) m³-ben a liziméterek 0,8 m²-es felületére vonatkoztatva, ami így 0.16 m³-nek adódott. Ezután a 0,2 m vastag talajréteg tömegét (m_{TALAJ}) számítottuk ki a térfogattömeg (ρ_b) és a V szorzataként (9. egyenlet).

$$m_{\text{TALAJ}} = V * \rho_b \quad (9)$$

Az adott talajréteg m_{TALAJ} (g) és ST_{AKT} (m/m%) értékének ismeretében annak g-ban kifejezett összes sótartalom (ÖST) a 10. egyenletnek megfelelően számítható.

$$\text{ÖST} = m_{\text{TALAJ}} * ST_{\text{AKT}} / 100 \quad (10)$$

A sómérleg (SM_{AKT}) az öntözési időszak előtti ($\bar{OST}_{KEZD}$) és utáni ($\bar{OST}_{VÉG}$) összes sótartalom különbségeként határozható meg (11. egyenlet).

$$SM_{AKT} = \bar{OST}_{KEZD} - \bar{OST}_{VÉG} \quad (11)$$

A hatályos szabályozások szerint öntözésre az adott körülmények között csak az 500 mg l⁻¹-nél alacsonyabb összes oldott sótartalmú víz használható. Mindazonáltal a hobbikertekben alkalmazott gyakorlatban majdnem minden esetben magas sótartalmú vizekkel öntöznek. A Karcagra és környékére jellemző kiskerti öntözési gyakorlat szimulációjaként a liziméteres kísérletünkben, 2019-től kezdődően, heti 16 liter (20 mm), átlagosan 1.000 mg l⁻¹ sókoncentrációjú öntözővizet (csapvizet) juttattunk ki. Az egyes kezeléseket 4 ismételtesben végeztük. Az öntözővíz mennyiségének és sókoncentrációjának ismeretében meg tudtuk határozni, hogy mennyi sót juttatunk ki az egyes liziméterek talajának felszínére az öntözési időszakban (május-október).

2.2. A módszertan alkalmazásának néhány eredménye

Thayalakumaran et al. (2007) felismerték, hogy a sómérleg pontos értékét nehéz megbecsülni a felszíni és a felszín alatti hidrológiai határfeltételek, az altalaj sókészletére és a mélységi beszivárgásra, illetve természetes körülmények között a felszín alatti vízminőségre gyakorolt hatásai miatt. Ezért célszerű a sómérleget csak a gyökérzónára vonatkoztatva figyelembe venni. A kimosódás és a sómérleg mechanizmusának jobb megértése segíthet alkalmazkodni a sóstresszhez, fenntartani a növények növekedését, ami biztosíthatja a sikeres termesztést (Rangjian et al., 2018). Liziméterekkel pontos adatok gyűjthetők az öntözés és a vízelvezetés (drénvíz) mennyiségéről, így kiszámítható a teljes talajoszlopokra (0-1,0 m) érvényes SM_{TEOR} . Következésképpen a liziméterek alkalmasak az SM_{TEOR} meghatározására talajminta vétele nélkül (Karuczka, 1984, 1990; Karuczka és Tóth, 1990). Ennek ellenére az SM_{TEOR} számítás egyik korlátja, hogy nem írja le a rendszerben a só abszolút mennyiségét vagy az átlagos sótartalom mennyiségét, csak a sók mennyiségének változására érvényes. Továbbá ez a módszer nem ad információt a sók rétegződéséről és transzlokációjáról. Szabadföldi körülmények esetén az SM_{AKT} számítása a megfelelő módszer, amely több információt nyújt, bár a mélyebb talajrétegekbe történő perkolációt nem veszi figyelembe.

A fent leírt két megközelítés jobb megértése érdekében mindkettőt figyelembe vettük az ugyanazon vizsgált lízimeterekre meghatározott adatok kombinációjával. A vizsgált időszakban enyhén negatív (-5 g) SM_{TEOR} értéket számoltunk, ami azt jelenti, hogy a talajoszlopból sókimosódás történt (2. táblázat).

2. táblázat: A teljes talajoszlopok ($0,8 \text{ m}^3$) elméleti átlagos sóinputja, outputja és mérlege 2019-ben

$ST_{ÖNT}$ (g)	$ST_{DRÉN}$ (g)	SM_{TEOR} (g)
159	-164	-5

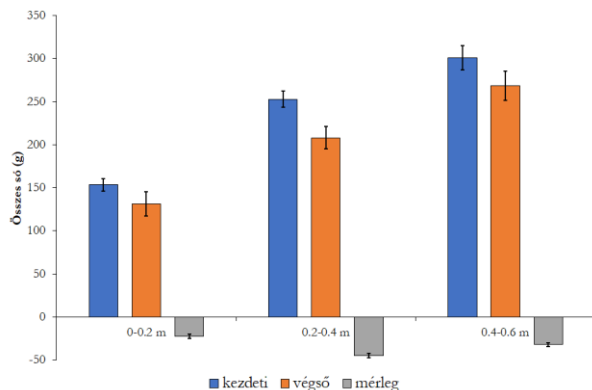
Jelmagyarázat: $ST_{ÖNT}$ az átlagos összes oldott sótartalom az öntözővízben, $ST_{DRÉN}$ az átlagos összes oldott sótartalom a drénvízben, SM_{TEOR} az átlagos elméleti sómérték

Az $ST_{ÖNT}$, $ST_{DRÉN}$ és SM_{TEOR} értékei nem adnak információt a talajban található összes sótartalomról (ÖST). Ha ismerjük a talaj kezdeti ÖST értékét, akkor a bemeneti ($ST_{ÖNT}$) és a kimeneti ($ST_{DRÉN}$) sók mennyisége alapján megbecsülhetjük a végső ÖST értékét.

A másodlagos szikesedés folyamatáról részletesebb információ nyerhető a talajoszlop sóprofiljának meghatározásával. Mivel az elméleti ST és SM számítások erre nem adnak lehetőséget, ezért szükséges a talajminták elemzése. Vizsgálatunkban három talajrétegből (0-0,2, 0,2-0,4, 0,4-0,6 m) vettünk mintákat az öntözési szezon előtt és után, amelyek elemzése lehetőséget biztosított a sóprofilok meghatározására. A három vizsgált, egyenként mintegy 224.000 g tömegű talajréteg az öntözési időszak előtti ($ÖST_{KEZD}$) és utáni ($ÖST_{VÉG}$) összes sótartalmának az ismeretében minden rétegre, következőképpen a teljes 0-0,6 m mélységre meg tudtuk határozni a SM_{AKT} értékét (1. ábra).

Az öntözési időszakra vonatkoztatva a kimosódást találtuk a domináns folyamatnak, mivel az ÖST értékek mindhárom vizsgált talajrétegben csökkentek (negatív SM_{AKT}). A felső 0,2 m-es réteg kevesebb sót tartalmazott, mint az alsó két réteg, amelyek sótartalma nagyon hasonló volt. Ez az eredmény azt mutatja, hogy még egy ilyen kedvezőtlen mechanikai összetételű (0-0,2 m rétegben homok: 35,5%, iszap: 40,3%, agyag: 24,2%; 0,2-0,4 m rétegben homok: 29,5%, iszap: 33,5%, agyag: 37,0%; 0,4-0,6 m rétegben homok: 26,1%, iszap: 34,2%, agyag: 39,7%) réti szolonyc talaj esetén is egy öntözési perióduson belül a sók a mélyebb rétegekbe tudnak lemosódni (Juhász et al., 1997). Az ilyen

típusú talajok jellegzetessége a duzzadás és zsugorodás, ami megváltoztathatja a pórusméret eloszlását. A nedves és száraz körülmények hatására megváltozik a nedvesség eloszlása, az oldott anyagok, így a sók is, gyorsan a mélyebb rétegekbe kerülhetnek, vagy a felső rétegekben maradhatnak szikesedést okozva (Crescimanno és Garofale, 2006).



1. ábra: A liziméterek három talajrétegének (0-0,6 m mélység) átlagos sómérlege a 2019-es öntözési szezonban csapvízzel ($EC=1,56 \text{ mS cm}^{-1}$) történő öntözés esetén

Vizsgálatunkban a talaj felső 0,6 m-es rétegére meghatározott ÖST és SM_{AKT} értékek nyilvánvalóan nem adtak információt az alsó talajréteg (0,6-1,0 m) sóforgalmáról, sótartalmáról. Ezért, egy újszerű megközelítésben, az SM_{AKT} és SM_{TEOR} számításaink eredményeit kombináltuk. Így meg tudtuk becsülni az ÖST_{KEZD} és $\text{ÖST}_{VÉG}$ értékeket, illetve sómérleget (SM) a felső 0-0,6 m és az alsó 0,6-1,0 m rétegekre is (3. táblázat).

Liziméteres környezetben pontosan meghatározható a talaj nedvesség- és sótartalmának dinamikája, valamint a talaj víz- és sóháztartása. Az EC dinamikájának és a felső talajréteg nedvességtartalmának meghatározása hasznos a szikesedési folyamat megértéséhez a sómérleget meghatározó input szempontjából. Magas sótartalmú vízzel történő öntözés esetén az aszályos időszakokra jellemző a magas sótartalmú öntözővíz mennyiségének dominanciája a természetes csapadékkal szemben, amit

az ingadozó talajnedvesség-tartalom és a talaj felső, 0,1 méteres rétegének EC értékei közötti erős pozitív korreláció is mutat.

3. táblázat: A talajoszlopok négy rétegének átlagos becsült sótartalma (ÖST) és mérlege (SM) a 2019-es öntözési szezonban

Talajréteg	ÖST _{KEZD} (g)	ÖST _{VÉG} (g)	SM (g)
0–0,2 m	154	131	-22
0,2–0,4 m	253	208	-45
0,4–0,6 m	301	269	-32
0–0,6 m	708	608	-99
0,6–1,0 m	765*	859**	+94**

*aktuális, **elméleti

Kidolgoztam egy a talaj elméleti és tényleges (aktuális) sómérlegének kombinálásán alapuló új számítási módszert, amellyel a nem mintavételezett talajrétegek sómérlege is megbecsülhető, így kvantitatív információt kapunk a magas sótartalmú öntözővíznek a talaj sótartalmának változására gyakorolt hatásáról. A liziméteres környezetre kidolgozott módszertanunkat alkalmasnak tartom a másodlagos szikesedés részletesebb vizsgálatára, ami hozzájárulhat a káros hatásainak mérsékléséhez. Kimutattam, hogy megfelelő öntözési gyakorlat és talajkezelés mellett a 600 mg l⁻¹ sókoncentrációjú vízzel történő öntözés esetén is elkerülhető a másodlagos szikesedéssel járó sófelhalmozódás még szikesedésre hajlamos talajban is, ezzel rávilágítottam, hogy az öntözővizek minősítése és mezőgazdasági hasznosítása tárgyában jelenleg is érvényben lévő műszaki irányelv (MI-08-1780-1988) esetenként túl szigorú.

3. A TALAJ SZÉN-DIOXID-EMISSIONS

3.1. A talaj CO₂-emissziójának meghatározására in situ mérések alapján

Az egyik leginkább problémás és legfontosabb pontja a CO₂-emisszió meghatározásának, a talajfelszín lehatárolása a CO₂-koncentráció mérésekor. Ez azért fontos, mivel a méréshez teljes izoláció szükséges a minél pontosabb és precízebb adatok kinyerése végett (Kovács és Szöllősi, 2008). A CO₂-koncentráció mérésére mi az Anagas CD 98 (2006-2009) illetve a Gas Alert Micro 5w (2010- 2016) és a Testo 535 (2017-2018) típusú infravörös gázanalizátorokat használtuk (2. ábra). A

mérési terület lehatárolására egy Karcagon kifejlesztett, speciális eszközt (fémkeret és műanyag mérőedény) alkalmazunk, amely egy fémkeretből és egy műanyag edényből áll. Az élezett szegélyű fémkeret talajba inzertálása (a 8 cm magas melyből 5,5 cm van a talajban) és a fémkereten kiképzett vályús perem vízzel való feltöltése biztosítja a légmentes izolációt. A műanyag edény térfogata 4.000 cm³, a fémkeret átmérője 20 cm. Hat ilyen eszközt alakítottunk ki, így egy-egy alkalommal két helyen, három-három ismétlésben tudjuk mérni a CO₂-koncentráció értékeket.



2. ábra: A szántóföldi körülmények között használt fémkeret és a műanyag mérőedény a gázanalizátorokkal (Anagas CD 98, Gas Alert Micro 5w, Testo 535)

A CO₂-emissziós értékek kiszámításához a következő képletet alkalmazzuk:

$$F = d * (V/A) * (C2-C1)/t * 273/(273+T) \quad (12)$$

ahol F= CO₂-emisszió (g m⁻² h⁻¹); d= a CO₂ térfogattömege (1,96 kg m⁻³); V= a henger talajszint feletti térfogata (m³); A= a mérési felület (m²); C1= a kezdeti CO₂-koncentráció (m³ m⁻³); C2= az inkubáció utáni CO₂-koncentráció (m³ m⁻³); t= inkubációs idő (s); T= a levegő hőmérséklete (°C).

Vizsgálataink egyik célja a háborítatlan csupasz talaj CO₂-emissziójának meghatározása volt szabadföldi körülmények között meleg száraz mérsékelt éghajlatú területen. A kísérleti helyszín Magyarország egyik legszárazabb, nagy hőmérséklet-ingadozású és legkontinentálisabb adottságú területén, Karcagon volt, ahol a nyár száraz, meleg, kevés felhőzettel. A teljes éves napsütéses órák száma 1970 és 2020 között van. Saját, a karcagi meteorológiai állomáson mért adatok alapján az éves középhőmérséklet harmincéves (1991-2020) átlaga 11,3 °C, az éves csapadékmennyiségé pedig 539 mm.

3.2. A talaj CO₂-emissziójának becslése a nedvességtartalommal és hőmérséklettel való összefüggés alapján

A talaj CO₂-emissziójának hosszabb időtávra történő becslését annak a hőmérséklettel és a talajnedvesség-tartalommal való összefüggésére alapoztuk. Abból indultunk ki, hogy ha a hőmérséklet változásának mértékét meg tudjuk becsülni a klímaváltozási trendeknek megfelelően, akkor a CO₂-emisszió értékét is becsülni tudjuk. Ehhez a már az előző fejezetben taglalt, liziméteres környezetben mért adatokat használtuk fel.

A Testo 535 típusú mérőműszerrel ppm-ben mért szén-dioxid-koncentráció értékekből a CO₂-emisszió értékeit g m⁻² h⁻¹-ba konvertáltuk az egyesített gáztörvény alapján:

$$pV = nRT \quad (13)$$

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)

Ebben a megközelítésben az egyesített gáztörvényt átalakítva kaptuk meg az egységnyi területre (m⁻²) és időre (h⁻¹) vetített szén-dioxid-kibocsátást grammban kifejezve:

$$F_{CO2} = \frac{\Delta C \cdot l \cdot p \cdot M}{\Delta t \cdot R \cdot T} \quad (14)$$

ahol

F_{CO2}: 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 Widén és Lindroth (2003). Ebben a megközelítésben a talajhőmérséklet, illetve talajnedvesség-tartalom és a szén-dioxid-emisszió közötti összefüggést az O'Connell modellel (O'Connell, 1990) becsültük:

$$F_{CO_2} = ae^{bT+cWET} \quad (15)$$

ahol:

F_{CO_2} : a széndioxid-kibocsátás intenzitása ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)

T: léghőmérséklet (Celsius)

WET: talajnedvesség (térfogat%)

a, b, c: regressziós együtthatók

3.3. A módszertan alkalmazásának néhány eredménye

3.3.1. A CO_2 -emisszió éves mennyisége a napi dinamika alapján

A növényborítás nélküli talajfelszín heti rendszerességgel mért, egy napra vetített CO_2 -emissziós értékeinek az átlaga $0,051 \text{ g m}^{-2} \text{h}^{-1}$, a maximuma $0,083 \text{ g m}^{-2} \text{h}^{-1}$; a minimuma $0,026 \text{ g m}^{-2} \text{h}^{-1}$, a szórása $0,020 \text{ g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ volt. A mért adatokat nappalra és éjszakára bontva (12 óra és 12 óra időtartam) megállapítottuk, hogy a nappali és az éjszakai gázemisszió aránya $2/3$ és $1/3$, ami összecseng Parkin és Kaspar (2003) megfigyeléseivel. Az így megállapított arányok alapján számítottuk ki a napi kibocsátott gázmennyiségeket. A 4. táblázatban mutatom be a napi CO_2 -emisszió átlagos és maximális értékeinek évenkénti alakulását.

4. táblázat: A talajlégzés napi átlagos és maximális értékeinek alakulása a vizsgált időszakban

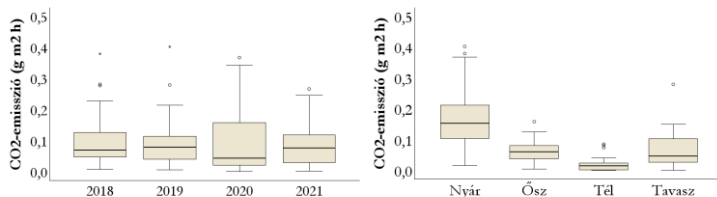
	2018	2019	2020	2021	Átlag
Napi átlag ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	1,677	1,352	1,410	1,523	1,4905
Napi maximum ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	4,498	3,871	4,827	4,809	4,5013

A napi mennyiségekből becsültük meg a növényborítás nélküli talajfelszínen (kizárólag a talaj a mikrobiális tevékenységből adódó) éves CO_2 -emissziót, ami a vizsgált 4 év átlagában $544,0325 \text{ g m}^{-2}$, azaz $5,44 \text{ t ha}^{-1}$ értékre adódott.

3.3.2. A CO_2 -emisszió éves mennyisége a nedvességtartalommal és hőmérséklettel való összefüggés alapján

A vizsgálati időszak (2018–2021) 170 mérési napjára meghatározott CO_2 -emisszió értékeket évenként és évszakonként a 3. ábrán mutatom be. A Karcagon végzett kísérletünk négy éve alatt a háborítatlan csupasz

talaj CO₂-emissziója természetes körülmények között 0,001 g m⁻² h⁻¹ és 0,403 g m⁻² h⁻¹ között változott, a vizsgált 4 év átlagában **0,08701 g m⁻² h⁻¹**-ra adódott. Eredményeink összhangban vannak számos más kutató eredményeivel, azonban az összehasonlítást megnehezíti, hogy több általam fellelt publikációban helytelenül közölnek koncentrációként (ppm) megadott értékeket emisszióként aposztrofálva azokat (ha koncentrációt mérünk, annak változásából számítjuk az emissziót).



3. ábra: A vizsgálati időszak (2018–2021) 170 mérési napjára meghatározott CO₂-emisszió értékei évenként és évszakonként

Az általunk kalkulált értékek évszakonként szignifikánsan eltértek: tavasszal 0,066 g m⁻² h⁻¹, nyáron 0,165 g m⁻² h⁻¹, ősszel 0,064 g m⁻² h⁻¹ és télen csak 0,021 g m⁻² h⁻¹ volt az átlagos emisszió (5. táblázat). Az adatok alapján a csupasz talaj éves szén-dioxid-kibocsátásának 52%-a nyáron, 21%-a tavasszal, 20%-a ősszel és 7%-a télen történik. A 4 év összes vizsgálati napját (170) figyelembe véve a csupasz talaj éves szén-dioxid-kibocsátása **695,84 g m⁻²**, ami 1 hektárra vonatkoztatva **6,96** tonnának felel meg. Barcza és munkatársai (2009) a BIOME-BGC modell felhasználásával becsülték meg Magyarország szántóterületének átlagos éves nettó CO₂-kibocsátását, ami 1,93 t ha⁻¹ mennyiségre adódott, jelentős évenkénti fluktuáció mellett: a legmagasabb nettó kibocsátás 4,80 t ha⁻¹ CO₂ volt 2003-ban, míg a legalacsonyabb 0,27 t ha⁻¹ CO₂ 2006-ban.

5. táblázat: A csupasz talaj átlagos szezonális CO₂-emissziója Karcagon (2018-2021)

Évszak	Átlag (g m ⁻² h ⁻¹)	Minimum (g m ⁻² h ⁻¹)	Maximum (g m ⁻² h ⁻¹)	Tartomány (g m ⁻² h ⁻¹)	Szórás (g m ⁻² h ⁻¹)	Összesen (g m ⁻²)
Nyár	0,1648	0,017	0,403	0,386	0,08837	363,97
Ősz	0,0644	0,005	0,159	0,154	0,03215	140,65
Tél	0,0210	0,001	0,086	0,085	0,02316	45,42
Tavasz	0,066	0,001	0,280	0,279	0,05409	145,79

A rendelkezésünkre álló óras felbontású meteorológiai adatokból képeztünk egy virtuális 2050. évi adatbázist. Az 1990. évtől 2019-ig meghatároztuk az éves felmelegedési értékeket évszakonként. Az elmúlt 120 éves adatsor alapján megállapítható, hogy az utóbbi 30 évben a felmelegedés felgyorsult (6. táblázat).

6. táblázat: A Karcagon 2050-re várható átlaghőmérséklet változás évszakonként

Évszak	Felmelegedés (°C év ⁻¹)	Változás 2050-re (°C) 2019-hez képest
Tél	0,069	2,139
Tavaszi	0,063	1,953
Nyár	0,059	1,829
Ősz	0,069	2,139

A táblázatból jól látszik, hogy a felmelegedés erősebb a téli félévben, mint a nyári. Ez az emisszió nagysága szempontjából kedvezőbb, mivel a hőmérséklet emelkedésével exponenciálisan nő az emisszió. Sokkal kedvezőtlenebb lenne a helyzet, ha az amúgy is magas nyári hőmérséklet emelkedne nagyobb mértékben.

2019. évtől évszakonként a 6. táblázat szerint módosítottuk a hőmérsékleteket és az O'Connell modellel megbecsültük az óras szén-dioxid-kibocsátás értékét, feltételezve, hogy a talaj felszínközeli (0-10 cm) nedvességtartalmi értékei nem csökkennek a talajlégzést befolyásoló mértékben. Az óras adatok aggregálásával meghatároztuk az éves kibocsátási értékeket, ami 2050-re várhatóan **770-900 g m⁻²** lesz. Ez egy hektárra vonatkoztatva átlagosan **8,35 t CO₂-t** jelent, ami 20-53%-kal magasabb, mint a 2018-2021. években mért adatok alapján különböző módszerekkel számított értékek. A becslés természetesen akkor érvényes, ha a talaj szerves széntartalma az elkövetkező időszakban nem változik. Amennyiben fokozatosan kimerül, akkor 2050-ben akár kevesebb is lehet az emisszió mértéke, mint napjainkban. Ez a szerves szén fogyasztásának és gyarapodásának az egyenlegétől függ. Amennyiben felmelegedéssel együtt a csapadék mennyisége is nőne, akkor nagyobb esély lenne a szerves szén gyarapodására. Száraz, meleg klímában viszont a szénkészletek hamar oxidálódnak és a légkörbe távoznak.

4. A TALAJ SZÉNKÉSZLETE

A globális klímaváltozás kérdésével együtt került előtérbe a talaj széntárolási képessége, mivel az időjárás változás (pl. csapadékmennyiség, hőmérséklet) alapvetően átalakíthatja a talajokban lejátszódó széntárolási és szénkibocsátási folyamatokat. Hazánkban különféle klimatikus körülmények között már ma is lényeges különbség van a talajokban felhalmozódott humusz anyagok mennyiségében és minőségében, ami eltérő talajtípusok kialakulását eredményezheti. Tapasztalataim alapján arra a megállapításra jutottam, hogy az általunk már évek óta használt, általánosan elfogadott IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) módszerrel viszonylag jól becsülhető a talaj szénkészlete, illetve annak változása. Azonban felmerült a kérdés, hogy vajon az IPCC metodikában használt referencia (default) értékek mennyire jellemzik reálisan egy-egy talajtípus valódi szénkészletét. A talaj szénkészletéről nem állnak rendelkezésünkre az egész országra, az összes talajtípusra vonatkozóan adatok. Az a tény, hogy a talaj humusztartalmának ismeretében annak szerves szénkészlete meghatározható, az addig használt metodika továbbfejlesztésének, illetve az alapadatok pontosításának lehetőségét hordozza magában. A kutatómunka céljait a következőképpen határoztam meg:

- A különböző talajosztályozási csoportok közötti konvertálás metodikájának kidolgozása.
- A magyarországi TIM (*Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer*) pontok talajai szénkészletének meghatározása humusztartalmuk alapján és besorolásuk a klímazónákba.
- A főbb magyarországi talajtípusok általunk számított szénkészletének összehasonlítása az IPCC metodika referencia értékeivel.

4.1. A szénkészlet meghatározása a humusztartalom alapján

Mivel a talaj szerves anyagainak széntartalmát átlagosan 58%, a humusztartalom és a szerves szén mennyisége között az alábbi összefüggés állapítható meg (Filep, 1999): $Hu\% = \text{szerves C} \times 1,72$. Ezen összefüggésre alapozva számítottuk ki a mért humusztartalom alapján a talaj szénkészletét. A számítás menete a következő volt:

1. 1 ha, azaz 10.000 m² területen a talaj 30 cm-es (0,3 m) rétegének a térfogata: $10.000 \times 0,3 = 3.000 \text{ m}^3$,

2. 3.000 m^3 talaj tömege a térfogat (m^3) és a talajtípusra jellemző átlagos térfogattömeg ($\text{g cm}^{-3} = \text{t m}^{-3}$) szorzata: $3.000 \text{ m}^3 \times m_{\text{tf}}$ (t m^{-3}),
3. a talaj humusztartalmának a tömege a talaj tömegének és a százalékos humusztartalom szorzata: $m_{\text{tf}} \times \text{Hu}\%$,
4. végül a humusz tömegének széntartalma: $m_{\text{tf}} \times \text{Hu}\% \times 0,58$.

4.2. Magyarország talajainak szénkészlete

Földrajzi elhelyezkedésük alapján a vizsgált 1011 TIM pontot az IPCC szerinti klímazonákba soroltuk, majd humusztartalmukat az ArcGIS térinformatikai program segítségével átlagoltuk. A felső genetikai szintek szerves szén készletét 1 ha területre számoltuk ki, az így kapott adatok szénmennyiségét talajtípusonként átlagoltuk, így megkaptuk a 79 talajtípus szénkészletét. Ezeket összehasonlítottuk az IPCC metodikában szereplő referencia adatokkal. Az összehasonlítás után kapott különbségek (abszolút értékben, illetve százalékban) arra adnak pontos információt, hogy az egyes talajtípusokhoz tartozó szénkészletek mennyiben térnek el az ott meghatározott alap értékektől. A meleg száraz klímazóna esetében homoktalajnál, főként karbonátos futóhomok talajtípusnál 25%-kal kevesebb a szerves szén mennyisége, mint az IPCC-ben becsült érték, ugyanakkor karbonátos lepelhomok talajtípusnál ez az érték 39%-kal magasabb. Hasonló értékek láthatóak karbonátos és nem karbonátos humuszos homoktalajoknál. Csernozjom talajoknál 12-80%-os szénmennyiség többlet tapasztalható. Kiugróan magas értékek figyelhetők meg, karbonátos réti csernozjom talajoknál 87%-kal, mélyben szolonyeces réti csernozjom talajoknál 106%-kal, szolonyeces réti csernozjom talajoknál pedig 88%-kal több a szerves szén, mint a referencia adatbázisban meghatározottak. Barna erdőtalajok esetében, agyagbemosódásos kovárványos barna erdőtalajoknál 53%-kal kevesebb a szénmennyiség. Köves, sziklás váztalajoknál ez a mennyiség 78%-kal több. Öntés és lejtőhordalék talajok körében 50% fölötti szénmennyiség többletet kaptunk erdőtalaj eredetű lejtőhordalék és karbonátos öntés réti talajtípusok esetében. A réti talajoknál kaptuk a leginkább kiugró értékeket. Több mint 80%-al több szerves szén tapasztalható a mélyben szolonyeces csernozjom réti talajoknál, a karbonátos és nem karbonátos réti talajoknál, valamint ez az érték a mélyben sós csernozjom réti talajoknál 156%-kal és a típusos lápos réti talajoknál 196%-kal több, mint az IPCC-ben becsült értékek. Szikes talajok esetében is tapasztaltunk szélsőséges értékeket. Karbonátos szoloncsák talajtípusnál 55%-kal

kevesebb szenet, szemben kérges, közepes és mély réti szolonyec típusok esetében több mint kétszeres szerves szénmennyiség többletet számoltunk. Láptalajoknál lecsapolt és telkesített tőzegláp talajtípusoknál 61%-kal magasabb értéket kaptunk.

A hűvös száraz klímazónában a szerves szénmennyiség különbsége ugyanazon talajtípusoknál nagy mértékben különbözik a meleg száraz klímazónákban számított adatoktól. Homok talajoknál például több mint 64%-os a szénmennyiség hiány a referenciában rögzítettekhez viszonyítva, főként karbonátos futóhomok talajtípusoknál. Csernozjom talajoknál szolonyeces réti csernozjom típusnál 64%-os, mélyben sós réti csernozjomnál pedig 78%-os a széntöbblet, mint a klímazónánál becsült mennyiség. A barna erdőtalajok talajoknál a típusos (barnaföld jellegű) kovárványos barna erdőtalaj típusnál mutattunk ki 66%-os különbséget. A réti talajoknál viszont több mint 60%-kal magasabb a széntartalom a karbonátos és nem karbonátos réti talajtípusok esetében. Kiugróan magas értéket lecsapolt és telkesített rétláp talajoknál kaptunk, ahol a szén mennyisége több mint 90%-kal magasabb, mint az IPCC rendszerben becsültek.

Vizsgálatainkkal és számításainkkal konkrét adatokat szolgáltatunk a magyarországi talajok szerves szénkészletének megállapításához. Kidolgoztuk a különböző talajosztályozási csoportok közötti konvertálás metodikáját és besoroltuk a magyarországi TIM pontok talajait az elhelyezkedésük szerinti klímazónákba, illetve a humusztartalmuk alapján meghatároztuk azok szénkészletét. A főbb magyarországi talajtípusok számított szénkészletét összehasonlítottuk az IPCC metodika referencia értékeivel.

Tapasztalataim alapján mindenképpen javaslom az IPCC metodikát a talaj szénkészletének számítására, de nem az abban megadott referencia szénkészlet adatok, hanem az általunk a talajok humusztartalma alapján számított adatok felhasználásával. Véleményem szerint ez utóbbiak realisabb, a valós viszonyokat hűbben tükröző alapját adják a további (pl. a talajok talajhasználatától függő szénkészlet változásának meghatározására irányuló) számításoknak. A módszerhez kapcsolódó számítógépes program felhasználóbarát, s jelentősen megkönnyíti az ilyen jellegű számításokat, de célszerű lenne úgy átalakítani, hogy a felhasználó a vizsgált talaj szénkészletének értékét (Existing Carbon Stock) manuálisan is beállíthassa. Arra a következtetésre jutottam, hogy

az általunk használt módszerrel nemcsak országos léptékben, hanem akár táblaszinten is lehetséges a talaj szénkészletének meghatározása, hiszen humusztartalmi adatok általában a földtulajdonosok rendelkezésére állnak, illetve laboratóriumban könnyen meghatározhatók.

5. A TALAJ TÁPANYAGFORGALMA

5.1. A repce és napraforgó tarlómaradvány nitrogéntartalmának országspecifikus értéke

Az IPCC módszertani útmutatójának a talajok dinitrogén-oxid emissziójának kiszámításához segítséget nyújtó fejezetben szerepel egy táblázat, amelyben az egyes termesztett növények tarlómaradványának nitrogéntartalma van feltüntetve. Amennyiben ismerjük a növényi maradványok mennyiségét és N-tartalmát, akkor azok szorzata megadja a talajba visszajuttatott N mennyiségét. Azonban a területen hagyott növényi maradványok tömegét sem szokták mérni, így ezt egy empirikus s viszonylag állandó érték, a főtermék és a növényi maradvány mennyiségének aránya alapján lehet meghatározni. Tehát ha pl. kukorica növény esettében ez az arány 1:1-hez, azaz 1 tonna főtermésre 1 tonna szár- és levélmaradvány jut. Az útmutatóban szereplő táblázat számos növényre megadja ezeket az értékeket, de a táblázatból hiányoznak két, Magyarországon nagy területen termesztett növény adatai. Ez a két növény a repce és a napraforgó. Ennek kapcsán jelentkezett a feladat: az IPCC módszertanából hiányzó adatok pótlása, azaz *a repce és napraforgó esetén a tarlómaradvány hányad (a termés és a képződő tarlómaradvány hányadosa), a tarlómaradvány szárazanyag tartalom és a tarlómaradvány N-tartalom Magyarországra jellemző, reprezentatív értékeinek meghatározása*, laboratóriumi mérésekkel, a mérési eredmények feldolgozása.

Kutatómunkánk elsődleges célja a repce- és napraforgó tarlómaradvány hányad (a szemtermés és a tarlómaradvány hányadosa), a tarlómaradvány szárazanyag-tartalom és a tarlómaradvány N-tartalom Magyarországra jellemző, reprezentatív értékeinek meghatározása laboratóriumi mérésekkel. A visszaforgatott növényi maradványokból származó nitrogén éves mennyiségének meghatározása fontos, hiszen számos növény maradványa, a főtermés betakarítása után a területen marad, és így a N-mérleg számítások során, mint a mérleg kiadási oldalát csökkentő tényezőt vehetjük figyelembe (Németh, 1996). Kutatómunkánk során egész Magyarországot reprezentáló mintavételt végeztünk repce és

napraforgó állományokból. A mintavételezésre a repce érése előtt júniusban, míg a napraforgóéra augusztus végén került sor. Összesen 126 növény- és mintegy 70 talajmintát gyűjtöttünk be. Két megközelítést alkalmaztunk: egyrészt két alkalommal, az országot körbejárva különböző régiókban gyűjtöttünk növény- és talajmintákat, másrészt repce és napraforgó fajtakísérleteket mintáztunk meg.

Első megközelítésben a begyűjtött, összesen 61 repceminta nitrogéntartalmát két csoportban értékeltük, egyrészt az országos mintavétele során begyűjtötteket, másrészt a fajtakísérletekből származó mintákat külön. Mindkét esetben a N-tartalom értékeket sorba rendeztük és azokból átlagot számoltunk. Az értékek 0,04 és 0,74% közé esnek, az egyszerű számtani átlaguk 0,35%, szórásuk pedig 0,17%. Ez utóbbi érték meglehetősen nagyra tekinthető.

A repcéhez hasonlóan az összesen 65 napraforgóminta nitrogéntartalmát két csoportban értékeltük, egyrészt az országos mintavétele során begyűjtötteket, másrészt a fajtakísérletekből származó mintákat külön. Mindkét esetben a N-tartalom értékeket sorba rendeztük és azokból átlagot számoltunk. Éppúgy, mint a repce esetében, a napraforgó növény nitrogéntartalma és a termesztési hely földrajzi elhelyezkedése között sincs összefüggés. Az értékek 0,29 és 1% közé esnek, az egyszerű számtani átlaguk 0,49%, szórásuk pedig 0,17%, amely utóbbi, érdekes módon, megegyezik a repcemintáknál számított szórás értékével.

Mivel a vizsgálataink alapvető célja a repce és napraforgó tarlómaradvány N-tartalom Magyarországra jellemző, reprezentatív értékének, azaz egyetlen szám meghatározása volt, a vizsgált minták nitrogéntartalmát átlagolnunk kellett. Azonban az egyszerű aritmetikai átlag nem biztosít kellő reprezentativitást, mivel a szélsőséges értékek torzítják az eredményt. Ezért ehelyett a leíró statisztikában használatos súlyozott átlagot kalkuláltuk a további számításokhoz. A súlyozást a növényminták nitrogéntartalmi értékének előfordulási gyakoriságával végeztük el. Ennek megállapításához a hisztogramok készítésénél használatos osztályközöket (értéktartományokat) hoztunk létre, adott esetben 0,05%-os lépcsőkben, ezeket a gyakoriságokat vettük figyelembe a súlyozott átlag kiszámításánál.

A repceminták nitrogéntartalmának az előfordulási gyakoriságok figyelembevételével számított súlyozott átlaga: **0,33%**. Ezt az értéket

vettük figyelembe a tarlómaradvány nitrogéntartalmának meghatározása érdekében végzett további számításokhoz. Éppúgy, mint a repce esetében, a napraforgóminták nitrogéntartalmi értékeit is osztályközökbe soroltuk előfordulási gyakoriságuk szerint és kiszámítottuk azok súlyozott átlagát. A napraforgóminták nitrogéntartalmának az előfordulási gyakoriságok figyelembevételével számított súlyozott átlaga: **0,57%**. Ezt az értéket vettük figyelembe a tarlómaradvány nitrogéntartalmának meghatározása érdekében végzett további számításokhoz.

A repce tarlómaradvány mennyiségét (nedves tömeg) a szem:szalma arány ismeretében (1:2) határoztuk meg. A szemtermés nagyságát a Központi Statisztikai Hivatal Statisztikai Évkönyveinek mezőgazdasági fejezetében közölt termésátlag adatokat vettük figyelembe, ezek átlagát számoltuk ki (7. táblázat). Ezen megközelítés alapján a repce átlagos szemtermése 2,1 t/ha. Ezt az értéket vettük figyelembe a tarlómaradvány nitrogéntartalmának meghatározása érdekében végzett további számításokkor.

7. táblázat: A repce országos termésátlagai 2001-2010 (t/ha)

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1,7	1,5	1,4	2,6	2,4	2,4	2,2	2,7	2,1	2,1

Forrás: KSH

A repce tarlómaradvány szárazanyagtartalmát **80%-**osnak vettük, mivel a betakarításkori nedvességtartalma 20% körüli. A repce tarlómaradvány nedves tömege tehát a termés és a szem:szalma arány ismeretében számítható. A tarlómaradvány száraz tömege pedig a nedves tömeg és a százalékos szárazanyag tartalom szorzataként határozható meg. A repce tarlómaradvány mennyiségi jellemzőit a 8. táblázatban foglaltam össze.

8. táblázat: A repce tarlómaradványának mennyiségi jellemzői

Termés (kg/ha)	Szem:szalma arány	Tarlómaradvány mennyisége (kg/ha)	Szárazanyag tartalom (%)	Száraz tarlómaradvány mennyisége (kg/ha)
2.100	1:2	4.200	80	3.360

A napraforgó tarlómaradvány mennyiségét (nedves tömeg) a szem:szár (1:2) és a szem:tányér arány ismeretében (1:1) határoztuk meg. A

szemtermés nagyságát a Központi Statisztikai Hivatal 2001-2010 évekre vonatkozó Statisztikai Évkönyveinek mezőgazdasági fejezetében közölt termésátlag adatokat vettük figyelembe, ezek átlagát számoltuk ki. Ezen megközelítés alapján a napraforgó átlagos szemtermése 2,2 t/ha. Ezt az értéket vettük figyelembe a tarlómaradvány nitrogéntartalmának meghatározása érdekében végzett további számításokhoz.

A napraforgótányérokat teljesen érett állapotban kell betakarítani. Becslések szerint, a beérés utolsó két hetében a magvak szárazanyag tartalma 50-100%-kal növekszik. Az érés kezdetét tányér és a szár rész sárga elszíneződése jelzi, amely ezt követően néhány nappal gyorsan barnulni kezd. Színváltás idején a kaszatok vízleadása jelentősen felgyorsul. A betakarítás csak akkor kezdhető meg, ha a kaszatok nedvességtartalma 15-16%-ra csökken, a tányér nedvességtartalma pedig 30% alá. A jelenlegi gyakorlat szerint, a kaszatok 30-32%-os nedvességtartalmának idején kémiai beavatkozással állományszáritást (desszikálást) végeznek. Ezek figyelembevételével a napraforgó tarlómaradvány szárazanyag tartalmát **70%-osnak** vettük a további számításokhoz. A napraforgó tarlómaradvány nedves tömege tehát a kaszattermés és a növényi maradvány aránya (szem:szár arány), illetve a kaszattermés és a tányér aránya (szem:tányér arány) ismeretében számítható. A tarlómaradvány száraz tömegét pedig a nedves tömeg és a százalékos szárazanyag tartalom szorzataként határoztuk meg. A napraforgó tarlómaradvány mennyiségi jellemzőit a 9. táblázatban foglaltam össze.

9. táblázat: A napraforgó tarlómaradványának mennyiségi jellemzői

Termés (kg/ha)	Szem:szár arány	Tarlómaradvány mennyisége (kg/ha)	Szárazanyag tartalom (%)	Száraz tarlómaradvány mennyisége (kg/ha)
2.200	1:2	4.400	70	3.080
2.200	1:1	2.200	70	1.540
Összesen		6.600	70	4.620

A napraforgó tarlómaradvány mennyiségének meghatározására irányuló, saját méréseken alapuló esettanulmányunk eredményétől a fő- és melléktermék arányát figyelembe vevő számítási módszerünk helyességének igazolását vártuk. Természetesen egy ilyen mérésből

messzemenő következtetéseket még nem lehet levonni, de tájékoztató adatokat kaphatunk a módszertan helyességét illetően.

A repce tarlómaradvány mennyiségének (száraz tömeg) és az országspecifikus százalékos nitrogéntartalom értékének ismeretében számítható a tarlómaradvánnyal az 1 ha területen átlagosan maradó nitrogén mennyisége (10. táblázat).

10. táblázat: A repce tarlómaradványának nitrogéntartalma

Száraz tarlómaradvány mennyisége (kg/ha)	Növényi N-tartalom (%)	Tarlómaradvány N-tartalma (kg/ha)
3.360	0,33	11,09

Számításaink alapján az őszi káposztarepce tarlómaradvány nitrogén tartalmának Magyarországra jellemző, reprezentatív értéke **11,09 kg/ha**.

A napraforgó tarlómaradvány mennyiségének (száraz tömeg) és az országspecifikus százalékos nitrogéntartalom értékének ismeretében számítható a tarlómaradvánnyal az 1 ha területen átlagosan maradó nitrogén mennyisége (11. táblázat).

11. táblázat: A napraforgó tarlómaradványának nitrogéntartalma

Száraz tarlómaradvány mennyisége (kg/ha)	Növényi N-tartalom (%)	Tarlómaradvány N-tartalma (kg/ha)
4.620	0,57	26,33

Számításaink alapján a napraforgó tarlómaradvány nitrogén tartalmának Magyarországra jellemző, reprezentatív értéke **26,33 kg/ha**.

5.2. A módszertan alkalmazhatósága

A visszaforgatott növényi maradványokból származó N éves mennyiségének meghatározása nyilvánvalóan fontos, hiszen számos növény maradványa, a főtermés betakarítása után a területen marad és gazdagítja a talajt nitrogénben, azaz nitrogén forrásként szerepel. Az így visszajuttatott N mennyiségét viszont nem szokás mérni, így erről a

gazdálkodóknak adata nincs. A nitrogénmérleg kalkulációjához viszont elengedhetetlen tudnunk ezt az adatot. A növényi maradványok talajba dolgozását az is indokolja, hogy a tarló, nád, növényi maradvány, valamint a gyepek égetésére vonatkozó tilalom minden kölcsönös megfeleltetésben érintett földhasználó gazdaságának teljes területére érvényes. A tilalmat csak kivételes esetben oldhatja fel az illetékes növény-egészségügyi- vagy természetvédelmi hatóság. A hosszútávon fenntartható fejlődés biztosításának alapvető feltétele a természeti erőforrásokkal való takarékos bánásmód, ami a nem megújuló erőforrások kitermelésének mérséklését, a hatékony és takarékos anyag- és energiafelhasználást, valamint a környezet minél kisebb mértékű terhelését kívánja meg. Ez a módszertan alkalmazható más tápanyagok, pl. a foszfor és a kálium növényi maradványokkal a talajba vitt mennyiségének a becslésére is. Mivel a termékek foszfor és káliumigénye jelentős, így a betakarított termékekkel jelentős mennyiségű foszfor és kálium távozik a talajból, ezért fontos hangsúlyozni ezek pótlását természetesen úton. A termesztett növények maradványainak tápanyagtartalmát illetően vannak irodalmi adatok, de ezek elég széles intervallumot ölelnek fel. Pl. a termékekkel évente elvitt foszfor mennyisége 25-70 kg/ha P_2O_5 (10-30 kg/ha P), ez a kiadási oldal mintegy 80%-át teszi ki, ez az érték kálium esetében még magasabb, 60-360 kg/ha K_2O (50-300 kg/ha K). A fenntarthatóság jegyében ezen mennyiségek pótlása elengedhetetlen, s elmulasztása irreverzibilis folyamatokat idézhet elő a talajban. Úgy vélem, hogy a növényi maradványok tápanyagtartalmának mért adatokon nyugvó meghatározása hozzájárulhat egy takarékosabb, helyspecifikus, a precíziós mezőgazdaság követelményeinek is megfelelő tápanyaggazdálkodási rendszer kidolgozásához. Eredményeink alapján arra az általános következtésre jutottam, hogy napraforgó és repce esetében a tarlómaradványból származó nitrogén mennyisége nagymértékben hozzájárul a talaj tápanyagkészletének gyarapításához, míg ez foszfor-és kálium esetében kisebb mértékű, mert a foszfor és kálium jelentős része a terméssel együtt betakarításra kerül, s kevesebb hányada marad vissza a növény többi részében.

6. ÚJ MÓDSZER AZ EREDMÉNYEIM DISSZEMINÁCIÓJÁRA

6.1. A TALA módszer

Egy új adatgyűjtési technikát dolgoztam ki TALA módszer néven. A módszer azon alapul, hogy a kutatás nem lehet öncélú, ezért agrárkutatókként a legkorszerűbb, a mezőgazdasági gyakorlatban hasznosítható tudományos eredményeinket meg kell osztanunk a gazdálkodókkal. A TALA mozaikszó a kérdezve tanítás és a válaszadás általi tanulás angol megfogalmazásából származik (**T**eaching by **A**sking and **L**earning by **A**nswering). Ennek a módszernek az alkalmazása nem csak a gazdálkodóktól való információgyűjtés, hanem a gazdálkodó számára történő tudásátadás új és érdekes módja is. Ez a technika kétféleképpen működik: tudást oszt meg a gazdálkodókkal olyan környezetvédelmi kérdésekben, amelyekről nem is tudhattak, ugyanakkor adatokat gyűjt a mezőgazdasági technológiákkal kapcsolatos környezeti és gazdasági tudatukról. Ezzel a módszerrel a gazdálkodók együttműködőbbek és hitelesebb visszajelzést adnak, hiszen nemcsak információt adnak, hanem tudást is kapnak. Ezzel a módszerrel megismerhetjük, hogy mi befolyásolja a gazdálkodókat az agrotechnológiai elemek kiválasztásában, a környezet- vagy gazdaságtudatuk az erősebb a kiválasztás során. Az összegyűjtött adatok felhasználhatók a gazdálkodók környezettudatosságának ösztönzésére, az eredmények hozzájárulnak a növénytermesztés minőségének javításához, a költségek csökkentéséhez és a környezet védelméhez a jövő generációja számára.

Az általunk összeállított TALA kérdőív 5 témából állt, amelyek között a gazdálkodók környezeti és gazdasági tudatosságuk megállapítására, valamint terveire vonatkozó kérdések szerepeltek, amelyeket konkrét, saját kutatási eredményeken alapuló, releváns információk vezettek be.

A1. Talajművelés környezeti szempontú megfontolása

Tervezi-e, hogy a közeljövőben átáll a forgatás nélküli talajművelési rendszerre? Ha igen, miért? Ha nem, miért nem?

B1. Talajkondicionálás környezeti szempontú megfontolása

Tervezi-e, hogy a közeljövőben talajkondicionáló szert fog használni a területén? Ha igen, miért? Ha nem, miért nem?

C1. Komposzt alkalmazásának környezeti szempontú megfontolása

Tervezi-e, hogy a közeljövőben komposztot fog használni a területén?

Ha igen, miért? Ha nem, miért nem?

D1. Növényi maradvány gazdálkodás környezeti szempontú megfontolása

Számol-e a területen hagyott növényi maradványok tápanyagtartalmával a kiadandó műtrágya adagok meghatározásakor? Ha igen, miért? Ha nem, miért nem?

E. Tájfajták termesztésének környezeti szempontú megfontolása

A termeszteni kívánt fajta kiválasztásakor figyelembe veszi-e az adott régióban nemesített fajtákat, hibrideket? Ha igen, miért? Ha nem, miért nem?

A vizsgálat során nyert kvalitatív adatok számszerűsítését egyrészt egyszerű százalékokolással oldottuk meg, másrészt Khi-négyzet tesztet alkalmaztunk annak megállapítására, hogy van-e összefüggés a TALA kérdőívben szereplő konkrét kérdésekre igennel és nemmel válaszoló gazdálkodói csoportok között, azaz hogy az egyes kategóriában kapott gyakoriságok 0,05-ös szignifikanciaszinten (α) eltérnek-e a véletlen szintjétől. A vizsgálat leegyszerűsítése érdekében a kérdőívet úgy állítottuk össze, hogy a kérdésekre először igennel vagy nemmel válaszoljanak. A lehetséges kimenetek száma az adott khi-négyzet tesztben 2, a szabadságfoka 1 ($2-1=1$) volt. Az igen válaszok az egyes gazdálkodók tudatosságát jelzik az egyes kérdésekben, míg a nem válaszok azt jelentik, hogy érdemes az információkat megosztani a tudatosság megteremtése érdekében. A nullhipotézisünk az volt, hogy nincs különbség az igennel és nemmel válaszoló gazdálkodói csoportok között.

6.2. A JNSZ vármegyei gazdálkodók környezeti- és gazdasági preferenciái

A Jász-Nagykun-Szolnok (JNSZ) vármegyei gazdálkodóknak kiküldött TALA kérdőívekben foglalt környezeti és gazdasági megfontolásokat felmérő kérdésekre adott igen és nem válaszok száma a következőképpen alakult: a talajművelés és talajkondicionálás témakörben 106, a tájtermesztés témakörben 105, míg a komposzt kijuttatása és a növényi maradvány gazdálkodás témakörökben 104 válasz érkezett.

A leíró statisztikai elemzésből kiderült, hogy a megkérdezett gazdálkodók csak 36%-a veszi fontolóra a talajművelési rendszerének hagyományosról csökkentettre történő megváltoztatását, míg 64% nem. A megkérdezett gazdálkodók 52%-a fontolóra venné a talajjavító szer alkalmazását a jövőben a gazdaságában, míg 48%-a nem. Az elemzés eredménye azt mutatta, hogy a válaszadó gazdálkodók 48%-a fontolóra venné a komposzt kijuttatását a gazdaságában, míg 52%-a nem, 88%-a figyelembe venné vagy veszi a növényi maradványok tápanyag- (NPK) tartalmát a műtrágya kijuttatása előtt, míg a válaszadók 12%-a nem. A megkérdezett gazdálkodók 88%-a a természeteni kívánt fajta vagy hibrid kiválasztásakor figyelembe venné a régióban nemesített és termesztett, régióspecifikus növényfajtákat (tájfajtákat) és hibrideket, míg 12%-uk nem.

A gazdálkodóknak a vizsgált agrotechnikai elemek bevezetésére vagy alkalmazására való hajlandóságának elemzésére használt khi-négyzet teszt eredményeit a 12. táblázat mutatja. Az elemzések eredménye alapján megállapítottuk, hogy a gazdálkodók nagyobb része környezettudatos, hiszen a legtöbben tisztában vannak a vizsgált agrotechnológiai elemek környezeti hatásaival. Ennek ellenére a gazdasági megfontolások szerepe még nagyobb, az olcsóbb alternatívák elérhetősége, a költségek, a nyereség és az érdeklődés hiánya mind olyan tényezők, amelyek jelentősen befolyásolják a gazdálkodók döntéseit az agrotechnológiai elemek kiválasztásában. Azok is, akik a környezetkímélő technológiákra való átállást fontolgatják, a magas költségek miatt inkább támogatás mellett változtatnának, illetve csak kisebb területen próbálnák ki az új technológiákat.

12. táblázat: A Khi-négyzet próba eredményei a vizsgált öt témakörben

Témakör	Igen	Nem	χ^2	p érték	Hajlandóság mértéke
Talajművelés	37	69	9,66	0,00	alacsony
Talajkondicionálás	54	52	0,03	0,85	közepes
Komposzt alkalmazása	48	56	0,61	0,43	közepes
Növényi maradvány gazdálkodás	92	12	61,53	0,00	magas
Tájttermesztés	93	12	62,48	0,00	magas

Úgy vélem, hogy a TALA módszer és az összegyűjtött információk felhasználhatók a gazdálkodók környezettudatosságának ösztönzésére, az eredmények hozzájárulnak a mezőgazdasági termelés minőségének javításához, a költségek csökkentéséhez és a környezet védelméhez a jövő generációja számára.

LEGFONTOSABB EREDMÉNYEK

Új módszert dolgoztam ki a légköri harmat mennyiségének a meghatározására. Meteorológiai adatokkal kiegészítve, illetve az oszcillációt kiszűrő módszerek alkalmazásával, súlylíziméteres adatok alapján meghatározhatók a harmathullási időszakok és a harmat mennyisége.

Kidolgoztam egy a talaj elméleti és tényleges (aktuális) sómérlegének kombinálásán alapuló új számítási módszert, amellyel a nem mintavételezett talajrétegek sómérlege is megbecsülhető, így kvantitatív információt kapunk a magas sótartalmú öntözővíznek a talaj sótartalmának változására gyakorolt hatásáról. A líziméteres környezetre kidolgozott módszertanunkat alkalmasnak tartom a másodlagos szikesedés részletesebb vizsgálatára, ami hozzájárulhat a káros hatásainak mérsékléséhez. Kimutattam, hogy megfelelő öntözési gyakorlat és talajkezelés mellett a 600 mg l⁻¹ sókoncentrációjú vízzel történő öntözés esetén is elkerülhető a másodlagos szikesedéssel járó sófelhalmozódás még szikesedésre hajlamos talajban is, ezzel rávilágítottam, hogy az öntözővizek minősítése és mezőgazdasági hasznosítása tárgyában jelenleg is érvényben lévő műszaki irányelv (MI-08-1780-1988) esetenként túl szigorú.

Saját ötletem alapján többféle, szántóföldön és gyepon használható, speciális eszközöket fejlesztettünk ki a talajból kibocsátott CO₂ mennyiségének meghatározáshoz, amely könnyen telepíthető, mobilis és igen praktikusnak bizonyult a mérési terület lehatárolására.

A talajhőmérsékletet is változóként tartalmazó exponenciális modellt használtunk a csupasz talajból származó CO₂-emisszió értékének hosszabb távú előrejelzésére, figyelembe véve a hőmérséklet változásának tendenciáit az elmúlt 30 év évszakokra is lebontott adatai alapján. Számításaink szerint a Karcagra is jellemző száraz mérsékelt

éghajlati övezetben a jövőben a csupasz talaj CO₂-emissziójának 20-53%-os növekedésére lehet számítani.

Vizsgálatainkkal és számításainkkal konkrét adatokat szolgáltatunk a magyarországi talajok szerves szénkészletének megállapításához. Kidolgoztuk a különböző talajosztályozási csoportok közötti konvertálás metodikáját és besoroltuk a magyarországi TIM pontok talajait az elhelyezkedésük szerinti klímazónákba, illetve a humusztartalmuk alapján meghatároztuk azok szénkészletét. A főbb magyarországi talajtípusok számított szénkészletét összehasonlítottuk az IPCC metodika referencia értékeivel.

A saját megközelítésű módszertan alapján számított őszi káposztarepce és a napraforgó tarlómaradvány nitrogén tartalmának Magyarországra jellemző, reprezentatív értéke 11,09, illetve 26,33 kg/ha. Ezek az adatok hiánypótlóak metodikai szempontból. Javaslom az IPCC *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* című útmutatójának 4., *Agriculture* című fejezetének 4.58. oldalán található 4.16 számú táblázatának kiegészítését az alábbiak szerint:

Product	Residue/Crop product Ratio kg/kg	Dry Matter Fraction kg DM/kg	Nitrogen Fraction kg N/kg DM
Oilseed rape	2	0.7	0.0033
Sunflower	3	0.8	0.0057

Új, kérdőív alapú, tudástranszfer módszert dolgoztam ki a gazdálkodók környezeti és gazdasági tudatosságának felmérése, formálása és a korszerű agrotechnológia-választás ösztönzése céljából. A TALA kérdőíves felmérés eredményei alapján megállapítottam, hogy a Jász-Nagykun-Szolnok vármegyei gazdálkodók nagyobb része környezettudatos, ennek ellenére a gazdasági megfontolások szerepe még nagyobb a vizsgált agrotechnológiai elemek kiválasztásában.

IRODALOMJEGYZÉK

- Anda A. (2010): A víz a környezetben. In: Agrometeorológiai és klimatológiai alapismeretek. Szerk. Anda A., Kocsis T. Bp. Mezőgazda Kiadó, p. 136-138.
- Barcza, Z., Haszpra, L., Somogyi, Z., Hidy, D., Lovas, K., Churkina, G.; Horváth, L. (2009): Estimation of the biospheric carbon dioxide balance of Hungary using the BIOME-BGC model. *Időjárás*, 113(3), 203–209.
- Crescimanno, G.; Garofale, P. (2006): Management of Irrigation with Saline Water in Cracking Clay Soils. *Soil Science of America*. 1774-1787.
- Filep Gy. (1999): Talajtani alapismeretek I. 79.
- Hillel, D. (2005): Salinity/Management. in: *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, pp. 435-442. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00483-5>
- Juhász, Cs.; Blaskó, I.; Karuczka, A.; Zsembeli, J. (1997): Environmental effect of drain waters from heavy textured soils. *Rostlinna Vyroba* 43 : 2 pp. 87-94.
- Kabela, E.D.; Hornbuckle, B.K.; Cosh, M.H.; Anderson, M.C., Gleason, M.L. (2009): Dew frequency, duration, amount, and distribution in corn and soybean during SMEX05. *Agricultural and Forest Meteorology* 149., p. 11-24.
- Karuczka A. (1984): Adatok optimális javítóanyag féleség és dózis megállapítása szikes talajon. Tessedik Sámuel Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok, Szarvas. 70-71.
- Karuczka, A.; Tóth, T. (1990): Moisture dynamics of salt affected soils in diferent soil moisture regulation situations. In: 14.th. Int.Cong. of Soil Science, Kyoto.
- Kovács Gy., Szöllősi N. (2008): A talaj CO₂-emissziójának mérésére szolgáló eszközök mérőhelyspecifikus fejlesztése. *Acta Agraria Debreceniensis* 30., 56-58.pp.
- Nolz, R.; Kammerer, G.; Cepuder, P. (2013a): Interpretation of lysimeter weighing data affected by wind. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 176, pp. 200-208.
- Nolz, R.; Kammerer, G.; Cepuder, P. (2013b): Improving interpretation of lysimeter weighing data. *Die Bodenkultur: Journal for Land Management, Food and Environment* 64, p. 27–35.

- O'Connell, A.M. (1990): Microbial decomposition (respiration) of litter in eucalypt forests of South-Western Australia: an empirical model based on laboratory incubations. *Soil Biol. Biochem.* 22, 153-160.
- Parkin, T.B.; Kaspar, T.C. (2003): Temperature Controls on Diurnal Carbon Dioxide Flux: Implications for Estimating Soil Carbon Loss. *Soil Sci. Soc Am. J.* 67, November-December 2003., pp. 1763-1772.
- Rangjian, Q.; Xaiqiang, Y.; Jing, Y.; Chunwei, L.; Xiaosan, L. (2018): Effects of irrigation water salinity on growth, gas exchange parameters, and ion concentration of hot pepper plants modified by leaching fractions. *Hort Science* 53 (7): 1050–1055.
- Thayalakumaran, T.; Bethune, M.G.; McMahon, T. (2007): Achieving a salt balance-Should it be a management objective? *Agricultural Water Management*. 92: 1; 12.
- Varga-Haszonits Z. (1987): Agrometeorológiai információk és hasznosításuk. Bp. Mezőgazdasági Kiadó, p. 37-41.
- Went, F.W. (1955): Fog, mist, dew, and other sources of water. *Yearbook Agr. (U.S. Dept. Agr.)*, p. 103-109.
- Widén, B.; Lindroth, A. (2003): A calibration system for soil carbon dioxide—Efflux measurement chambers. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 327-334. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.3270>
- Wilcox, L.V. (1963): Salt Balance and Leaching Requirement in Irrigated Lands. Technical Bulletin No. 1290.
- Zsembeli, J., Sinka, L., Rivera-García, A., Czeller, K., Tuba, G., Krištof, K., Findura, P. (2019): Effect of soil conditioning on the moisture content and the salt profile of the soil under irrigation with saline water. *Polnohospodarstvo-Agriculture* 2019:65 pp. 77-87.