

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Barna Gyöngyi
Keszthely
2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**FELÜLETAKTÍV ANYAGGAL ÉS
BIOSZÉNNEL KEZELT TALAJOK FIZIKAI
TULAJDONSÁGAINAK MEGVÁLTOZÁSA**

DOI: 10.54598/007430

Barna Gyöngyi
Keszthely
2025

A doktori iskola

megnevezése: Festetics Doktori Iskola

tudományága: Környezettudomány

vezetője: Dr. Anda Angéla
egyetemi tanár, MTA doktora
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Agronómia

Tanszék

Témavezetők: Dr. Csitári Gábor
egyetemi docens, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszék

Dr. Makó András
tudományos tanácsadó, egyetemi tanár, MTA doktora
HUN-REN ATK Talajtani Intézet

1. A munka előzményei, kitűzött célok

Az elmúlt évtizedekben egyre nagyobb érdeklődés mutatkozik a különböző ipari melléktermékek, potenciális javító anyagok talajba juttatásának lehetőségei és korlátai iránt, hogy kihasználják a talaj szűrési, visszatartási, pufferelési, tározási, lebontási vagy épp a szennyező anyagok veszélyeinek egyéb módon történő enyhítésére való képességét. A talajok jelentős, de korlátozott kapacitással rendelkeznek a szennyező anyagok ártalmatlanná tételére. A talaj öntisztulási folyamatai magukban foglalják a fizikai transzportjelenségeket, valamint az összetett kémiai és mikrobiológiai kölcsönhatásokat, amelyek elsősorban a talaj felső rétegében zajlanak (MAKÓ et al., 2017).

A környezetbe kikerülő és így a talajokat szennyező kőolajszármazékok talajba szivárgásának, illetve a talajvízzel történő vándorlásának becslésére számos matematikai modellt fejlesztettek ki (pl. PARKER et al., 1987; WEAVER et al., 1994; FAGERLUND, 2006). Valamennyi szennyezés terjedési modell lényeges beviteli paramétere a vizsgált talajréteg vízvezető képessége. Mivel a talajok olajvezető képességének *mérése* a gyakorlatban nehezen kivitelezhető, az olajszennyezés terjedési modellek általában a hidraulikus vezetőképesség felhasználásával *becslik* a talajrétegre jellemző olajvezető képességet, amely – az olajvisszatartó képesség mellett – döntően meghatározza a beszivárgott olajféleség terjedését. Sok esetben a modellek – mérési adatok hiányában – a hidraulikus vezetőképesség értékét egyszerűbben mérhető talajtulajdonságokból végzett becsléssel határozzák meg. Újabb kutatások szerint a talajok olajvezető képességének becslésére – a hidraulikus vezetőképesség helyett – a légáteresztő képesség adatok is eredményesen használhatók (DUNAI et al., 2007).

A vízvezetést, és így az olajvezetést is, a talaj és az átszivárgó folyadék tulajdonságai együttesen határozzák meg (HEAD, 1984; OOSTROM et al., 2003). A talajtulajdonságok közül fontos a talajok *porozitása*, a *mechanikai összetétele*, a *szemcsék alakja és felszíne*, az *ásványi összetétele*, és a *szerkezeti állapota*. A folyadékok esetében fontos paraméter a *sűrűség*, a *viszkozitás*, a *dielektromos állandój* és a *hőmérséklet*.

A felületaktív anyagok vagy tenzidek kettős karakterű anyagok: egy hidrofil fej részről és egy hidrofób láncból állnak, ez utóbbi legtöbbször egy hosszú alkil lánc (10-20 szén atomból) (PATZKÓ, 1998). A hidrofil rész kationokat vagy anionokat tartalmazhat, elektromos töltéssel rendelkezik és hidrogén-kötést alakíthat ki. Felületaktív anyagok legtöbbször a szennyvizek révén jutnak ki a

környezetbe és így a talajba; de számos növényvédő szer is tartalmaz tenzidet (adjuvánst, nedvesítőszeret, amelyek elősegítik azok megtapadását).

A tenzidek talaj felületén való megkötődésükkel (adszorpció) – típusuktól függen – megváltoztathatják a talajok számos fizikai, kémiai és mikrobiológiai jellemzőit (DOBOZY et al., 1970; ARORA et al., 2024). Így például befolyásolhatják a beszivárgást, a higroszkópossgot, a porozitást, a víztartó-képességet, az olajvisszatartó-képességet, az aggregátum stabilitást; a kapillaris vízemelést, és a hidraulikus vezetőképességet; a képlékenységi határokat. Befolyásolják a pH-t, a redox potenciált, az ioncsere kapacitást, a mikroorganizmusok aktivitását, populációinak összetételét, és a növények fejlődésére és sejtműködésére is hatással vannak. A felületaktív anyagokat alkalmazzák olajszennyezett területek kármentesítése során is (JI et al., 2021). A talajba juttatva csökkentik az NAPL fázis felületi feszültségét, növelik az oldhatóságát stb., így az könnyebben eltávolítható lesz (FENG et al., 2025); ugyanakkor elősegíthetik az oldhatatlan szerves szennyezők megkötődését is (PARIA, 2008). Mindeközben a felületaktív anyagok maguk is társszennyezőkké válnak.

Az elmúlt évtizedekben kiugró tudományos érdeklődés övezte az új talajjavító anyagok kifejlesztését, amelyek a növények számára kedvezőbb talajfeltételek biztosításával elősegítik a növények növekedését és termés hozamát. A bioszén a szerves anyagok (főként növényi maradványok) oxigénszegény, vagy teljesen oxigénmentes pirolízisével előállított stabil anyag, amelyet talajjavításra és a tápanyagok utánpótlására lehet felhasználni (KOC SIS & BIRÓ, 2015). A szakirodalom alapján alkalmasnak tűnik arra is, hogy a szenciklusból hosszabb időre (akár évszázadokra) szemet vonjon ki, ellensúlyozza az üvegházhatású gázok kibocsátását (DONG et al., 2020). Sikeresen alkalmazható különböző szennyező anyagok eltávolítására is (HU et al., 2020).

A talajba juttatott bioszén megváltoztatja a talaj kémiai (MASLOUSKI et al., 2025), mikrobiológia (ANDERSON et al., 2011) és fizikai-hidrofizikai tulajdonságait (TOKOVÁ et al., 2023), és ezek a változások végső soron befolyásolhatják a talaj termőképességét, a termés hozamot is (GASCÓ et al., 2016). A bioszén hozzáadása befolyásolja a talaj és a növények egészségét, és következésképpen gondosan meg kell vizsgálni a mezőgazdasági felhasználás előtt.

Dolgozatomban arra kerestük a választ, hogy

I. mely talajtulajdonságok befolyásolják egy kationos felületaktív anyag megkötődését, és hogyan változnak meg a talaj egyes fizikai tulajdonságai egy

kationos tenzid hatására. Feltételezésünk szerint a pórusrendszer változásával a talaj szerkezeti és hidrofizikai tulajdonságai módosulni fognak;

II. hogyan változnak meg egy kultúrnövény fejlődése során bioszén hozzáadására a talajok 1) vízgazdálkodási és 2) talajfizikai tulajdonságai. Feltételezésünk szerint a bioszén mennyiségének függvényében időben is változhatnak a talajtulajdonságok: a növekvő szervesanyag hozzáadásával kedvezőbbé válik a talaj szerkezeti állapota, illetve víz- és tápanyag-gazdálkodása.

2. Anyag és Módszer

2.1. A tenzides vizsgálatok

Vizsgálatainkba a következő talajokat, üledékeket és ásványi őrlemény mintákat vontuk be, az alaptulajdonságaikat az 1. táblázat tartalmazza:

- 1) Karcag, réti szolonyec, B szint, 5-30 cm;
- 2) Keszthely, Ramann-féle barna erdőtalaj, A szint, 0-30 cm;
- 3) Keszthely, Ramann-féle barna erdőtalaj, B szint, 30-50 cm;
- 4) Várvolgy, agyagbemosódásos barna erdőtalaj, A szint, 0-20 cm;
- 5) Várvolgy, agyagbemosódásos barna erdőtalaj, B szint, 20-50 cm;
- 6) Salföld, pannon kvarc homok;
- 7) Magyarszombatfa, pszeudoglejes barna erdőtalaj, B szint, 20-50 cm;
- 8) Paks, lösz (a paksi löszfal „Dunaújváros – Tápiósülyi lösz” (1,5-8 m) összlete);
- 9) Kápolnásnyék, mészlepedékes csernozjom, A szint, 0-30 cm;
- 10) Mád, Bentonit;
- 11) Zettlitz, Kaolin (Csehország);
- 12) Kisújszállás, réti talaj, A szint, 0-30 cm.

Az általunk használt kationos felületaktív anyagot, a hexadecilpiridinium-klorid monohidrátot, vagy cetilpiridínium-kloridot (CPC) (összegképlete: $C_{21}H_{38}ClN \cdot H_2O$) főként a gyógyszer- és a kozmetikai iparban alkalmazzák jó baktérium- és gombaölő tulajdonságai miatt (HRENOVIC et al., 2008).

A talajminták felületaktív anyaggal történő kezelését sztatikus egyensúlyi kísérletek (static equilibrium experiments) eredményei alapján (FÖLDÉNYI et al., 2013), az ún. „elárasztásos módszerrel” végeztük. A mintákhoz olyan mennyiségű tenzidet adtunk, amely mellett feltételeztük, hogy a talajszemcsék felületén monomolekuláris tenzidborítottság alakul ki, ezáltal azok teljesen hidrofóbbá válnak.

1. táblázat: A talajminták fizikai és kémiai tulajdonságai

Minta kód	K _A	hy ₁	Agyag + Fe *	Por	Homok	Szerves anyag	CaCO ₃	pH (H ₂ O)	T-érték	BET-felület
			%							mgeé·100 g ⁻¹
1	90	3,90	51,09	45,90	0,88	2,00	0,13	6,92	40,85	43,0
2	30	1,24	20,99	33,13	44,28	1,55	0,05	7,04	11,84	11,0
3	36	1,49	22,89	33,87	42,29	0,94	0,00	6,83	12,38	19,0
4	29	1,07	15,27	29,35	54,05	1,33	0,00	6,59	10,36	10,0
5	38	1,58	22,25	26,56	50,49	0,70	0,00	6,64	12,78	20,0
6	29	0,07	0,98	0,40	98,60	0,00	0,02	7,44	0,70	1,0
7	59	2,22	38,96	25,93	34,61	0,49	0,00	5,74	16,78	30,0
8	38	1,02	16,08	46,00	9,25	0,63	28,04	8,17	19,74	12,0
9	46	2,25	27,60	51,68	7,50	3,70	9,52	7,83	30,25	14,0
10	143	4,50	64,72	29,44	4,94	0,00	0,90	9,63	36,35	48,5
11	127	0,84	49,83	48,98	0,09	0,00	1,10	8,69	14,54	17,5
12	74	4,49	55,01	41,19	1,05	2,76	1,10	7,51	35,69	47,0

*: Agyag és vas-ásványok együttesen

Az elárasztásos módszer során szerkezetleromlást tapasztaltam. Ezért elvégeztem a kísérletet csak desztillált vízzel is, tenzid hozzáadás nélkül. Így tehát a továbbiakban a *kontroll*, a *desztillált vizes* és a *tenzides* mintákkal dolgoztam.

Meghatároztam a minták

- Sík-féle higroszkóposágát (hy₁) értékét;
- A stabil makroaggregátumok arányát (*MaAS*) Eijkelkamp gyártmányú nedves szita berendezéssel (Wet sieving apparatus) határoztam meg 0,25 mm lyukbőségű szitával, három párhuzamos ismétlésben, 0,5 és 1 mm közötti frakcióból.
- A mikroaggregátum stabilitását a Vageler-féle struktúrafaktor alapján. Ehhez meghatároztuk a minták agyagtartalmát a magyar szabvány szerinti pipettás módszerrel diszpergálószerrel és anélkül is, és kétféle módon kapott agyagtartalom hányadosát vettük.

$$MiAS = \frac{c_a - c_{nd}}{c_a} \times 100 \quad [\%]$$

ahol c_a a diszpergálószerrel kapott agyagfrakció, c_{nd} a diszpergálás nélkül kapott agyagfrakció

- A telítési vízvezetőképesség mérésekhez (K_w) 100 cm³-es hengerekben (5 cm magas és 5 cm átmérőjű) mesterséges talajoszlopokat állítottam elő, legalább öt párhuzamos ismétlésben. A térfogattömegek egyformaságára ügyeltem. A mérés csapvízzel történt, Eijkelkamp nyitott rendszerű permeaméterben.
- A telítési olajvezetőképesség mérésekhez (K_o) is mesterséges talajoszlopokat készítettem, ugyanolyan térfogattömeeggel, szintén legalább öt párhuzamos ismétlésben. Az olajos mérésekhez egy aromás komponensektől mentes lakkbenzint, ún. Dunasol 180/220-at (MOL NYRT, Százhalombatta) használtam. A mérések egy Eijkelkamp zárt rendszerű permeaméterben történtek.
- A minták légáteresztőképességét egy UGT (Umwelt Geräte Technik GmbH, Müncheberg) PL-300-as készülékkel határoztam meg a laboratóriumban. A vizsgálatokhoz ~800 cm³-es (10 cm átmérőjű és 10 cm magasságú PVC csövekben) mesterséges talajoszlopokat készítettem, ugyanakkora térfogattömeggel, mint a folyadékvezetőképesség méréseknél, három párhuzamos ismétlésben.

Az eredmények statisztikai feldolgozásához SPSS és Excel programcsomagot is használtunk. Korrelációs vizsgálatokat is folytattunk a vizsgált paraméterek összefüggéseinek a megállapításához. A talajminták fajlagos tenzidadszorpcióját varianciaanalízissel (SPSS 13.1/One-way ANOVA) hasonlítottuk össze. A statisztikai próbák alkalmazása előtt teszteltük az összehasonlítható csoportok szóráseloszlását (Levene-próba).

2.2. A bioszenes vizsgálatok

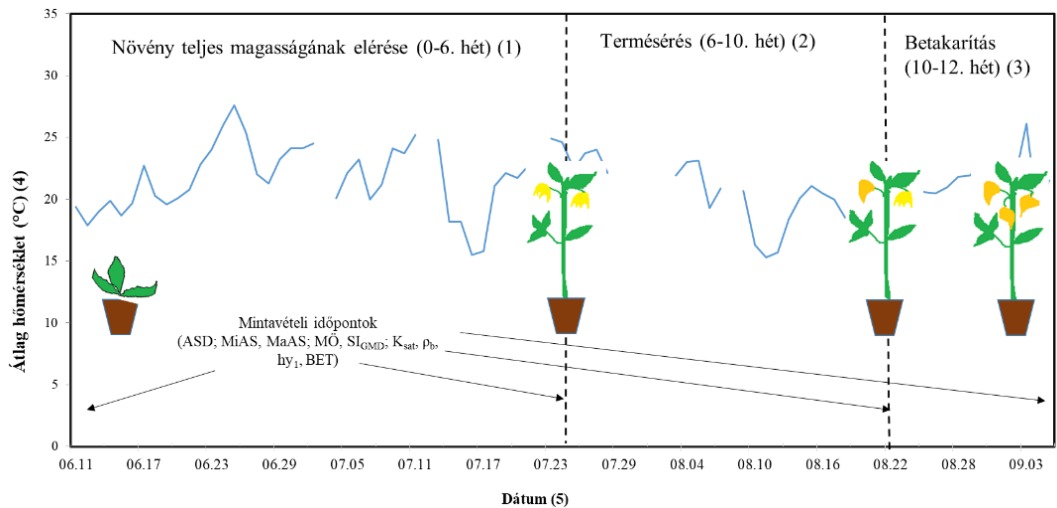
A vizsgálatba vont talajminta vályog fizikai féleségű, agyagbemosódásos barna erdőtalaj, amely egy régóta szőlőművelés alatt álló terület (Balatoncsicsó) tárcsázott felső 28 cm-es rétegéből származik. A bioszén kereskedelmi forgalomban vásárolható (Sonnenerde, Ausztria). Pyreg reaktorban készült papírostokból és gabonahéjből közel 600 °C-on. Tulajdonságait a 2. táblázatban soroltuk fel.

A légszáraz, 2 mm-es szitán átrostált talajmintákhoz három különböző arányban, 0,5; 2,5 és 5% (m/m) kevertünk bioszenet (a továbbiakban BC0,5; BC2,5 és BC5). Ezekből a keverékekből 2 kg-ot cserépbe helyeztünk, 7 párhuzamos ismétlésben. A cserepekbe 2–4 leveles állapotban almapirika (*Capsicum annuum* L.) palántát ültettünk.

2. táblázat: A kontrol talajminta és a bioszén alap tulajdonságai

	Mechanikai összetétel			pH- H ₂ O	szerves C (%)	összes N (%)	CaCO ₃ (%)
	< 6,6 μm (%)	6,6 – 52,5 μm (%)	52,5 – 2000 μm (%)				
bioszén	1,57	13,90	84,52	10,33	27,89	1,01	-
talaj	24,13	50,03	25,84	7,94	0,93	0,14	10,4

A kiültetést követően három időpontban történt egy-egy cserépbontás: a növény teljes magasságának elérésekor a 6. héten; terméséréskor a 10. héten és a betakarításkor a 12. héten (1. ábra) (a továbbiakban: W6, W10 és W12).



1. ábra: Az átlag hőmérséklet és a mintavételi időpontok a kísérlet során

A cserépbontásokat követően a következő vizsgálatokat végeztem el:

- Sík-féle higroszkóposság (hy1);
- A mikroaggregátumok stabilitását ugyanúgy a Vageler-féle struktúra faktor mintájára, a mért agyagfrakciók alapján számoltuk ki. Desztillált vízzel és diszpergáló szerrel is meghatároztuk a minták százalékos agyagtartalmát, majd a kétféle agyagtartalom arányából következtettünk a stabil mikroaggregátumok mennyiségére. Azonban a bioszén alacsony sűrűsége miatt a hagyományos ülepítései eljárások itt nem voltak alkalmazhatóak. A teljes mechanikai összetételt és így az agyagtartalmakat is lézerdiffrakciós módszerrel (LDM) határoztuk meg Malvern Mastersizer 2000-es készülékkel HydroG diszpergáló

- egységben, három párhuzamos ismételtsben. A csak desztillált vízzel történő mérés során nem volt sem kémiai, sem ultrahangos diszpergálás.
- A diszpergált és a nem diszpergált szemeloszlási görbék alapján kiszámoltuk a szemcsék átlagos geometriai átmérőjét is (Geometric mean diameter, GMD), a hányadosuk alapján pedig egy aggregátum-stabilitási indexet (SIGMD) is számoltunk.
 - A makroaggregátum stabilitás meghatározása hasonlóképpen történt, mint a tenzides mintáknál, annyi különbséggel, hogy az 1 és 2 mm közötti frakcióból történt a mérés.
 - Az aggregátumok méret szerinti megoszlását (aggregate size distribution, ASD) száraz szitálással határoztam meg a következő lyukbőségű szitákkal: 0,25 mm; 0,5 mm és 1 mm (KEMPER & ROSENAU, 1986). 100 g talajmintát rázattam, a szitarázógép maximális, 10-es fokozatán öt percen keresztül, három párhuzamos ismételtsben.
 - A szerkezetes talajok osztályozottsági fokának számszerűsítésére az U egyenlőtlenségi mutatót (U_{ASD}) határoztam meg a kumulatív aggregátum eloszlási görbe 60 és 10 tömegszázalékához (d_{60} és d_{10}) tartozó átmérők hányadosaként.
 - A telítési vízvezető képesség meghatározása ugyanúgy történt, mint a tenzides minták esetében: mesterséges 100 cm^3 -es talajoszlopokon, zárt rendszerű Eijkelkamp permeaméterrel, csapvízzel, három párhuzamos ismételtsben.
 - Fajlagos felület meghatározásához a vízgőz adszorpciós/deszorpciós izotermáit a PN-Z-19010-1 a lengyel szabvány eljárásnak megfelelően gravimetriás módszerrel kaptuk. A 4 g tömegű talaj- és bioszénkeverék-mintákat üvegedénybe helyeztük, és a kénsavoldat koncentrációjának fokozatos növelésével (adszorpciós lépés), majd csökkentésével (deszorpciós lépés) kénsavoldat fölé helyeztük. Illetve Mircomeritics Flowsorb 2300 II műszerrel is nitrogéngáz adszorpciójával is meghatároztuk.

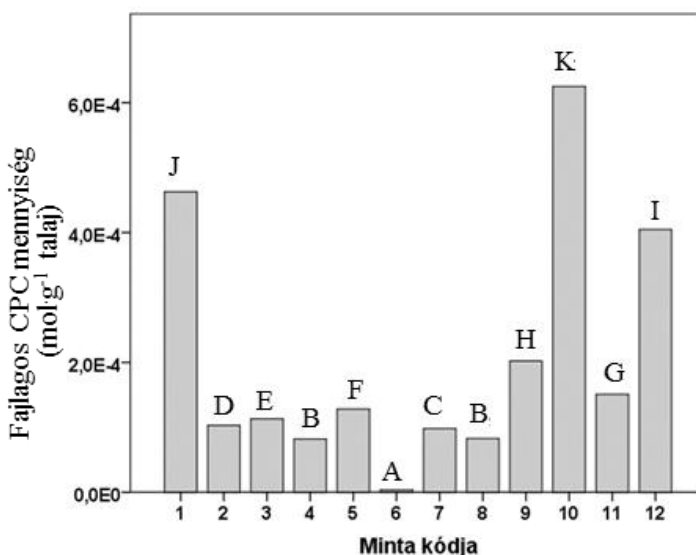
A statisztikai vizsgálatokat SPSS 13.0 programmal végeztük. Független mintás t-próbát, egyváltozós varianciaanalízist alkalmaztunk és Duncan vagy Tamhane's tesztet alkalmaztunk a változók homogenitása alapján, melyet a Levene próba szerint állapítottunk meg. A bioszén kezelés és növényfejlődési szakaszok során bekövetkező változások (a továbbiakban: „idő”) hatását az egyes talajtulajdonságokra dobozdiagrammal (boxplot) értékeltük. A kezelés és az „idő” együttes hatásának elemzését varianciaanalízissel is elvégeztük (ANOVA,

általános lineáris modell). A különböző talajtulajdonságok közötti kapcsolatokat lineáris regresszióval vizsgáltuk.

3. Eredmények

3.1. Tenzides eredmények

A tenzidadszorpciós értékeket elemezve megállapítottam, hogy az egyes minták monomolekuláris rétegborítottságához szükséges tenzidmennyiségek mintánként általában szignifikánsan eltérőek (2. ábra). A fajlagos CPC-mennyiséget a nagy agyagtartalmú, szemektites minták esetében (1., 10. és 12) találtuk a legnagyobbaknak, a salföldi homokmintánál pedig a legkisebbnek.



2. ábra: A monomolekuláris rétegborítottság eléréséhez szükséges fajlagos CPC-mennyiségek összehasonlítása.

(Az eltérő betűk a szignifikánsan különböző értékeket jelölik, Dunett T3 próba)
Mintakódok: 1) Karcag, réti szolonyec B szint; 2) Keszthely, Ramann-féle barna erdőtalaj, A szint; 3) Keszthely, Ramann-féle barna erdőtalaj, B szint; 4) Várvolgy, agyagbemosódásos barna erdőtalaj, A szint; 5) Várvolgy, agyagbemosódásos barna erdőtalaj, B szint; 7) Magyarszombatfa, pszeudoglejes barna erdőtalaj, B szint; 9) Kápolnásnyék, mészlepedékes csernozjom, A szint; 10) Mád, Bentonit; 11) Zettlitz, Kaolin; 12) Kisújszállás, réti talaj A szint

A fajlagosan adszorbeált tenzidmennyiség erős sztochasztikus kapcsolatban áll az agyagtartalommal, a BET fajlagos felülettel, az összes kicserélhető kation mennyiségével (T-érték) és az adszorbeált vízgőz

mennyiségével (hy_1). Gyengébb, de még szignifikáns kapcsolatot mutat továbbá a talajok kémhatásával (3. táblázat).

3. táblázat

A megkötött tenzidmennyiségek és a talajtulajdonságok közötti kapcsolat vizsgálata

	Fajl. CPC, mol g talaj ⁻¹	Agyag + Fe, % #	pH (H ₂ O)	szerves- anyag %	CaCO ₃ , %	BET- felület, m ² ·g ⁻¹	T-érték, mgeé· 100g ⁻¹	hy ₁
Fajl. CPC, mol g talaj ⁻¹	1							
Agyag + Fe, % #	0,856**	1						
pH(H ₂ O)	0,498**	0,413*	1					
szervesanyag, %	0,194	0,089	-0,178	1				
CaCO ₃ (%)	-0,17	-0,239	0,299	0,078	1			
BET-felület, m ² ·g ⁻¹	0,899**	0,902**	0,206	0,155	-0,239	1		
T-érték, mgeé·100g ⁻¹	0,888**	0,791**	0,347*	0,503**	0,096	0,841**	1	
hy ₁	0,929**	0,834**	0,233	0,376*	-0,177	0,957**	0,917**	1

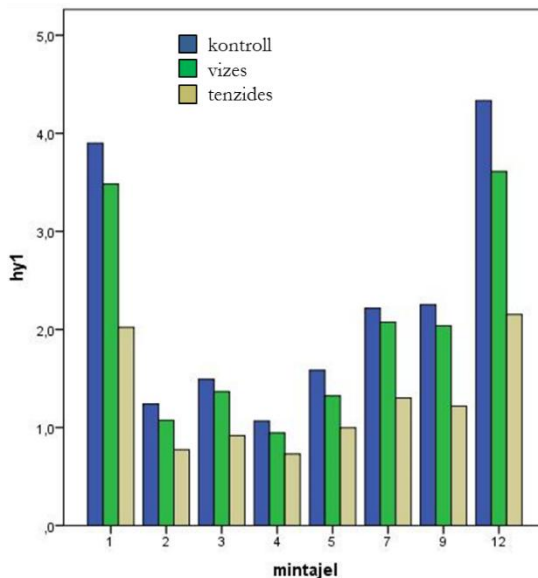
Megjegyzés: a korreláció szignifikáns: a * 0,05, illetve ** 0,01 szinten.

Agyag és Fe-ásványok együttesen

Mindkét kezelés (desztillált vizes és tenzides) következtében csökkent a higroszkóposság (hy_1) értéke a kontroll mintákhoz képest (3. ábra). Ennek oka lehet az elizapolódás is, és az is, hogy hidrofóbbá váltak a minták a tenzid hatására.

Az alacsonyabb mikroaggregátum stabilitási értékek az eleve kisebb kationcserélő-képességgel rendelkező mintáknál fordultak elő, illetve a karcagi szolonyec talajnál is, ami utalhat arra, hogy az már eredetileg is némiképp diszpergált volt. A többi minta mikroaggregátum stabilitása emelkedett a CPC hidrofobizáló hatásának következtében. A kontroll és a desztillált vizes MiAS értékek között nem volt nagy különbség. A vizes és a tenzides eredményeket összevetve jól látható minden esetben a hidrofóbizálás makroaggregátum stabilitást növelő szerepe (KUHNT, 1993). Legnagyobb emelkedést a Ramann-féle barna erdőtalaj B szintjénél (a 3. mintánál) tapasztaltunk.

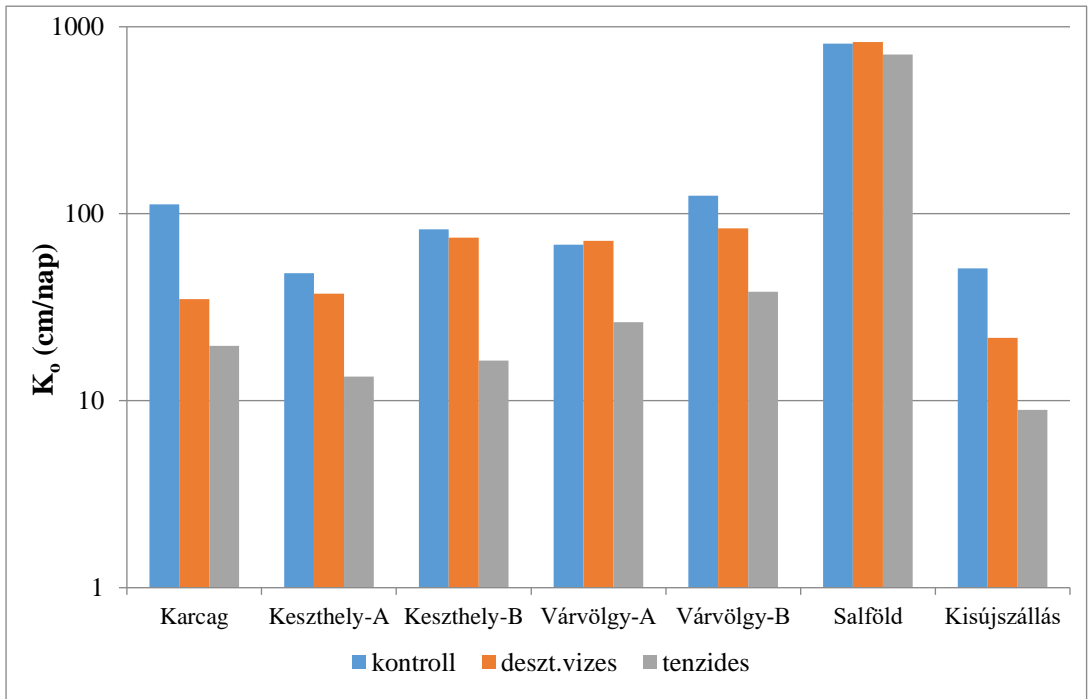
3. ábra: A különböző módon kezelt minták higroszkóposági értékei



Mintakódok: 1) Karcag, réti szolonyec B szint; 2) Keszthely, Ramann-féle barna erdőtalaj, A szint; 3) Keszthely, Ramann-féle barna erdőtalaj, B szint; 4) Várvolgy, agyagbemosódásos barna erdőtalaj, A szint; 5) Várvolgy, agyagbemosódásos barna erdőtalaj, B szint; 7) Magyarszombatfa, pszeudoglejes barna erdőtalaj, B szint; 9) Kápolnásnyék, mészlepedékes csernozjom, A szint; 12) Kisújszállás, réti talaj A szint

Növekvő homoktartalom (ennek erősebb a hatása) és növekvő szervesanyag-tartalom egyre nagyobb különbséget (csökkenést) eredményezett a kontroll és tenzides talajok telítési vízvezető-képesség értékeiben. Ez összefüggést mutathat a talajok térfogattömeg változásával (pl. a Keszthely_A: kontroll: 1,55; deszt.vizes: 1,60; tenzides: 1,62 g/cm³), és a pórusrendszer átrendeződésével (a gravitációs pórusok aránya emelkedett), valamint a tenzid víztaszító hatásával. Az olajvezetőképesség értékek minden esetben nagyobbak voltak, mint a vízvezető képesség értékei, kivéve a salföldi kvarchomoknál, ahol nem volt lényegi eltérés a két permeabilitási érték között. Az olajvezetőképességet (K_o) becsültük a gyakran alkalmazott Kozeny–Carman-egyenlettel, a vízvezetőképesség (K_v) valamint a folyadékok viszkozitása (μ) és sűrűsége (ρ) alapján. Ez a becslés a homok textúrájú mintáknál (pl. Salföld) viszonylag pontos eredményt adott, azonban a nagy agyagtartalmúaknál (pl. Karcag) nagyságrendi különbségeket számolt. A felületaktív anyaggal való kezelés hatására az olajvezető-képesség csökkent, nemcsak a desztillált vízzel kezelt mintákhoz képest, hanem a kezeletlen talajokhoz képest is (4. ábra). A legnagyobb mértékű csökkenést a Ramann-féle barna erdőtalaj B szintjénél tapasztaltam, amelynél a legnagyobb az agyag-, és legkisebb a homoktartalom. A

minták szervesfolyadék-vezetőképességét igazolhatóan befolyásolja mind a talajminta minősége (agyagtartalma, szerkezetessége stb.), mind pedig az alkalmazott előkezelés (desztillált vízzel, illetve tenziddel).



4. ábra: A telítési olajvezető képesség a kontroll és a kezelt mintáknál

Lineáris regresszióval becslést is végeztünk, backward elimináció alapján kiválasztva a becslő változókat (4. táblázat). Mindkét folyadék esetében és mindkét kezelésnél bekerült a változók közé a légáteresztő képesség, a tenzides kezeléseknél is.

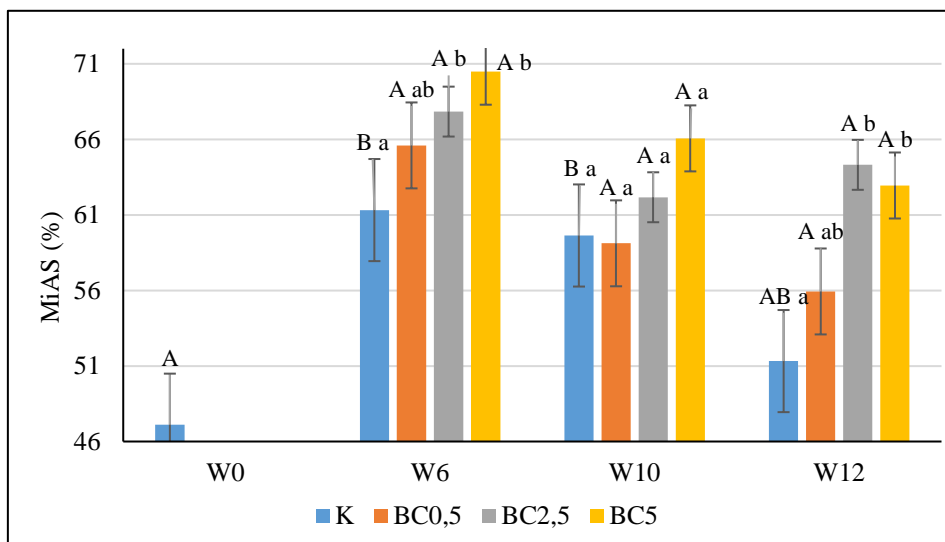
4. táblázat: A folyadékvezetés talajtulajdonságoktól való függése (backward elimináció)

kezelés	vízvezető-képesség	R ²	olajvezető-képesség	R ²
kontroll	<ul style="list-style-type: none"> • agyagtartalom • térfogattömeg • log K_{lev} 	0,953	<ul style="list-style-type: none"> • agyagtartalom • log K_{lev} 	0,935
tenzides	<ul style="list-style-type: none"> • log K_{lev} 	0,883	<ul style="list-style-type: none"> • agyagtartalom • térfogattömeg • log K_{lev} 	0,529
deszt. vizes	<ul style="list-style-type: none"> • agyagtartalom • homoktartalom • térfogattömeg • log K_{lev} 	0,960	<ul style="list-style-type: none"> • agyagtartalom • térfogattömeg • log K_{lev} 	0,528

3.2. Bioszenes eredmények

Általánosságban azt tapasztaltuk, hogy az eltelt idő és a bioszén koncentrációja együttesen határozza meg a különböző talajtulajdonságokban bekövetkezett változások mértékét.

Az aggregátumok eloszlásának vizsgálatokor a 0,25 mm alatti morzsák mennyisége mindegyik mintánál (kontroll és kezeltéknél is) csökkent a 12. hétre. Ugyanakkor az 1 és 2 mm közötti aggregátumok legnagyobb arányban a 12. heti kontroll mintában voltak jelen; a bioszenes kezelés hatására mindegyik kezelésnél emelkedett az arányuk a kísérlet végére. Mintáinkban mind a mikroaggregátum-stabilitási (MiaAS), mind a makroaggregátum-stabilitási értékek növekedtek a bioszén hozzáadásával a kontrollhoz képest (5. ábra). A környezeti tényezők, például a rendszeres öntözés, miatt azonban a MaAS időbeni csökkenését is megfigyeltük a kísérlet végére. A stabilitási indexet a diszpergált és a nem diszpergált szemeloszlási görbe alapján számolt átlagos geometriai átmérők hányadosaként kaptuk. Értéke a mikroaggregátum-stabilitáshoz hasonlóan alakultak. A legmagasabb értéket az 5%-os bioszén kezelésnél kaptuk minden vizsgált esetben. Feltételezzük, hogy a bioszén egyrészt elősegíti az aggregátumok tartós összetapadását (mikro- és makroaggregátum szinten is), nemcsak a szénkötések által, hanem a fokozott gyökérfejlődés és mikrobiológiai aktivitás következtében, akár a mikorrhizáció miatt is (ALBURQUERQUE et al., 2013).

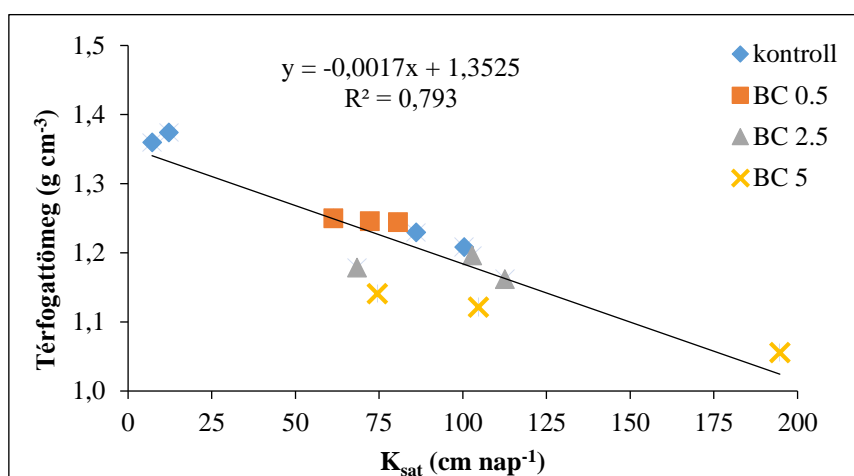


5. ábra: A mikroaggregátum-stabilitás változása kezelésként a különböző időpontokban. K: kontroll; BC0,5, BC2,5 és BC5: 0,5, 2,5 és 5% bioszénrel kezelt; W6, W10 és W12: 6, 10. és 12 heti mintavétel. Az azonos betűvel jelöltek szignifikánsan nem különböznek ($p < 0,05$); a kisbetűket a

különböző bioszenes kezelések közötti összehasonlításnál, míg a nagybetűket az időbeni összevetésnél alkalmaztuk.

A bioszén kezelés hatására jelentősen megnövekedett a külső és belső felületek nagysága, melyet a Sík-féle higroszkóposság eredmények is szemléltetnek. A kontrollhoz képest legnagyobb növekedést az 5%-os dózison tapasztaltuk, ugyanakkor a 12 hét alatt ennél a dózison jelentős eltérés nem volt.

A térfogattömeg a bioszén kis sűrűsége miatt az egyre nagyobb mennyiségű bioszén hozzáadásával fokozatosan csökkent, de emellett nem teljesen kizárható a csapadék és az öntözés enyhe tömörítő hatása sem. A telítési vízvezető-képesség értékek növekedtek, kivéve a kezdeti (a teljes növénymagasság eléréséig) időszakban (5. ábra). A magasabb K_{sat} értékekhez hozzájárulhatott, hogy a bioszén kezeléssel megnövekedhetett a porozitás is. Az aggregátum eloszlásból számított U graduáltsági fok értékek jól korreláltak a térfogattömeggel és a telítési vízvezető képességgel is.



6. ábra: A telítési vízvezető képesség és a térfogattömegek közötti összefüggés. K: kontroll; BC0,5, BC2,5 és BC5:0,5, 2,5 és 5% bioszénnel kezelt.

ANOVA teszttel vizsgáltuk a bioszén kezelés, az idő, illetve e két tényező együttes hatását a mért talajtulajdonságokra (5. táblázat). A kétféle tényező (Kezelés és Idő) jobbra szignifikáns hatást gyakorolt a vizsgált talajtulajdonságokra. Mivel a tenyészedények kezelése során a MaAS az öntözéssel járó benedvesedés és kiszáradás következtében változó értéket mutatott, ennél a paraméternél nem találtunk szignifikáns hatást az Idő tényező esetén. A h_{y1} érték az öntözés időben elhúzódó hatása miatt tendenciájában egyre növekvő értéket mutatott. A telítési vízvezető-képesség, a térfogattömeg és a

graduációs fok esetén tapasztaltunk csupán együttes hatást a két faktornál (Kezelés × Idő).

5. táblázat: A bioszén kezelés, az idő, valamint a kettő kombinációjának hatása a vizsgált talajtulajdonságokra. Az ANOVA teszt összesített eredménye

Tényezők	Vizsgált talajtulajdonság						
	MaAS	MiAS	SI _{GMD}	K _{sat}	ρ_b	hy ₁	U _{ASD}
	<i>p</i>						
Kezelés	<0,001**	0,002**	<0,001**	<0,001**	<0,001**	0,148	0,002*
Idő	0,111	0,012*	<0,001**	<0,001**	<0,001**	<0,001**	<0,001**
Kezelés × Idő	0,057	0,736	0,117	<0,001**	<0,001**	0,096	0,001*

* szignifikáns különbség $p < 0,05$ és ** $p < 0,01$.

A fajlagos felület (mind a vízgőz-adszorpcióval mért SSA_{wv}, mind a nitrogénnel mért SSA_{N₂}) jelentős változásait figyeltük meg az idő előrehaladásával a bioszénrel kezelt mintákban a kontroll talajhoz képest. Ezek a megfigyelt változások a bioszén felületének a kísérlet ideje alatt törént oxidációjával hozhatók összefüggésbe, amely poláris funkcionális csoportok (főként hidroxil-, fenol- és karboxil-csoportok) kialakulásához vezet. A legtöbb kezelésnél a talaj kezdeti adataihoz (W0) képest az vízgőzadszorpciós képesség növekedése figyelhető meg a kísérlet végére, a legmagasabb értékeket a BC5,0 esetben kaptuk minden vizsgált fenológiai fázisban. A nitrogén gázzal meghatározott fajlagos felület vizsgálatok is ezt támasztották alá, bár a különbségek szignifikánsan nem különböztek egymástól.

4. Következtetések és javaslatok

4.1 A tenzides kezelés hatásai a talaj fizikai tulajdonságaira

Megállapítottuk, hogy az egyes minták monomolekuláris rétegborítottságához szükséges tenzidmennyiségek mintánként általában szignifikánsan eltérőek. Ezt a CPC mennyiséget a nagy agyagtartalmú, szmektites minták esetében találtuk a legnagyobbknak, a kvarchomok mintáét pedig a legkisebbnek. A tenzid mennyiségével szoros összefüggést mutatott a talaj higroszkópossága (hy₁), az agyagtartalma, a fajlagos felülete (BET-felület) és a kationcserélő képessége (T-érték) – ezek olyan talajtulajdonságok, amelyek általában az adszorpciós folyamatokat befolyásolják (KUHN, 1993; PATZKÓ & DÉKÁNY, 1996). A CPC adszorpcióját leíró regressziós egyenletek szerint öt

talajparaméter határozza meg a fajlagos tenzid mennyiségét: az agyagtartalom, a szervesanyag-tartalom, mésztartalom, a kémhatás és a fajlagos felület.

A minták felületaktív anyaggal történő kezelése során szerkezetleromlást, tapasztaltam, ezért a kezelést csak desztillált vízzel is elvégeztem, tenzid hozzáadása nélkül. Így tehát egy kontroll, egy desztillált vizes és egy tenzides kezelésű mintaanyagon dolgoztam.

A tenzid hatására a vizsgált talajfizikai paraméterek megváltoztak. A legtöbb változást feltételezhetően az okozta, hogy a tenzid miatt hidrofóbbá vált a talajminták felülete. CSATÁRI és munkatársainak (2013) a dolgozatban vizsgált talajmintákon végzett kontaktszög mérési eredményei is ezt támasztották alá: a tenzides felületmódosítás után a talajok nedvesíthetősége csökkent. A talajminták higroszkópossga csökkent mindkét kezelésnél (desztillált vizes és tenzides). Ennek oka lehet a szerkezetleromlás is, lehetséges, hogy a kezelés során a kolloid frakció egy részét is kiöntöttem, és az is, hogy hidrofóbbá váltak a minták a tenzid hatására. A legnagyobb változás a nagy agyagtartalmú réti szolonyec és réti minták esetében fordult elő. Az agyagásványok és a humuszanyagok felszínén, vagy egyéb negatív töltésű felületeken megkötődő kationos felületaktív anyag elfoglalta a vízmolekulák kapcsolódására alkalmas kötőhelyek egy részét. A makroaggregátumstabilitás a tenzid hatására bizonyítottan növekedett, a már említett hidrofóbbá válás következtében.

A kontroll minták telítési olajvezetőképessége magasabb volt, mint a telítési vízvezetőképességük. A talajok telítési olajvezetőképességének meghatározására, némi átalakítást követően, alkalmassá tettük az Eijkelkamp permeamétert. A zárt rendszerű permeaméter használata környezetbarátabb megoldás, költséghatékonyabb is; a tenzides kezeléseket esetében meg főként. A tenzid hatására csökkent mind a víz-, mind az olajvezetőképesség, amely olyan kármentesítési esetekben, amikor az a cél, hogy ne terjedjen nagyon az olajszennyezés, a csökkentett mobilitás miatt kedvező (RASHID et al., 2004). Az olajvezetőképességet becsültük a gyakran alkalmazott Kozeny–Carman-egyenlettel, (az ismert hidraulikus vezetőképesség, illetve a víz és az általam használt modell folyadék (DUNASOL 180/220) sűrűsége és viszkozitása alapján), azonban több talajnál is nagyságrendi különbséget kaptunk a mért és a becsült értékek között. Ezzel szemben a minták légáteresztőképessége jól alkalmazható az olajvezetőképesség becslésénél (IVERSEN et al., 2003; MAKÓ et al., 2009).

4.2 A bioszenes kezelés hatása a talaj egyes fizikai tulajdonságaira

Általánosságban azt tapasztaltuk, hogy az eltelt idő és a bioszén koncentrációja együttesen határozza meg a különböző talajtulajdonságokban bekövetkezett változások mértékét.

A bioszén fokozta nemcsak a mikroaggregátumok képződését, de azok stabilitását is, már kis dózis esetén is (0,5%). A hagyományos ülepítéses MiAS vizsgálatok a víznél kisebb fajlagos tömegű talajok esetében használhatatlanok és a lézerdiffrakciós módszer (LDM) megadta ehhez a módszertani lehetőséget (HOREL et al., 2019). Növekedést tapasztaltunk a kísérlet végére, a 12. hétre a talajok makroaggregátum-stabilitásában, nemcsak a kezelt, hanem a kontroll minták esetében is. A kontroll minták esetében a gyökerek növekedése, de a termelődött glomalin is hozzájárulhatott a szerkezet javulásához. Az egyre nagyobb dózisú bioszén azonban nem okozott egyre nagyobb arányú növekedést.

A bioszén kezelés hatására jelentősen megnövekedett a külső és belső felületek nagysága, melyet a Sík-féle higroszkóposág eredmények is szemléltetnek. A kontrollhoz képest legnagyobb növekedést az 5%-os dózisonál tapasztaltuk. A legszembetűnőbb időbeni változás a 0,5%-os kezelésnél történt, bár kismértékű felület növekedést a kontroll mintáknál is tapasztaltunk az idő előrehaladtával. A nagyobb felület nagyobb víz- és tápanyag-megkötést eredményezhetett, amely szintén elősegíthette a paprika nagyobb terméseredményét (POKOVAI et al., 2020). A térfogattömeg csökkenésével növekedett a telítési vízvezető-képesség, amely kedvezőbb levegő- és vízgazdálkodásra utal. Bebizonyosodott az is, hogy csak a vízvezető-képességre, a térfogattömegre és a graduáltsági fokra hat szignifikánsan a kezelés, az idő, és a kettő együttes kombinációja. A kétféle tényező (kezelés és idő) jobbra szignifikáns hatást gyakorolt a vizsgált talajtulajdonságokra. A makroaggregátum stabilitás esetében az öntözés okozta benedvesedés és kiszáradás miatt, az idő tényező nem szignifikáns. A vízgőzadszorpciós vizsgálatok kimutatták, hogy a növekvő bioszén dózissal nő a megkötött víz mennyisége is. A nitrogén-adszorpciós vizsgálatok is növekvő fajlagos felületet mutattak növekvő bioszén dózissal.

A bioszén szerepe sokrétű és a bemutatott vizsgálatok ennek csupán kis részletére (talajfizikai vonatkozású) világítottak rá. Mindezek arra utalnak, hogy a bioszén egy sokoldalúan használható adalékanyag, elősegíti a talaj és a növény egészséget, a talaj kedvezőbb vízgazdálkodási tulajdonságainak kialakításával. Ezek és más pozitív hatások miatt az ez irányú kutatások továbbra is az érdeklődés középpontjában vannak.

Új tudományos eredmények

- 1) Egy kationos felületaktív anyag, a hexadecilpiridinium-klorid (CPC) adszorpcióját vizsgáltuk különböző talajokon, üledékeken és ásványi őrleményeken. Megállapítottam, hogy az egyes minták monomolekuláris rétegborítottságához szükséges fajlagos tenzidmennyiségek mintánként általában szignifikánsan eltérőek. A fajlagos CPC mennyiségét a nagy agyagtartalmú, szemektites mintánál esetében találtuk a legnagyobb, a kvarchomok mintáét pedig a legkisebbnek. ***A fajlagos tenzid mennyiségével szoros összefüggést mutatott a minták higroszkóposága (h_{y1}), agyagtartalma, fajlagos felülete (BET-felület) és a kationcserélő képessége (T-érték). A statisztikai vizsgálatok ezen túl igazolták a - külső és belső talajfelületek kialakulását befolyásoló - szervesanyag-tartalom, mész és pH hatását a monomolekuláris tenzid adszorpcióra.***
- 2) A tenzid hatására a vizsgált talajfizikai paraméterek megváltoztak. ***A legtöbb változás azzal van összefüggésben, hogy a tenzid miatt hidrofóbbá váltak a minták.*** A talajminták higroszkóposága csökkent mindkét (desztillált vizes és tenzides) kezelésnél. A makroaggregátum-stabilitás a tenzid hatására bizonyítottan növekedett. A kontroll minták telítési olajvezetőképessége magasabb volt, mint a telítési vízvezetőképességük. ***A tenzid hatására csökkent mind a víz-, mind az olajvezető-képesség,*** amely elősegítheti egy kármentesítési folyamatot. ***A légáteresztő képesség jól használható a talajok olajvezető-képességének becslésére a tenziddel kezelt minták esetében is.***
- 3) Általánosságban azt tapasztaltuk, hogy az eltelt idő és a bioszén koncentrációja együttesen határozza meg a különböző talajtulajdonságokban bekövetkezett változások mértékét. ***A bioszén egyrészt elősegíti az aggregátumok tartós összetapadását (mikro- és makroaggregátum szinten is),*** nemcsak a szénkötések által, hanem a fokozott gyökérfejlődés és mikrobiológiai aktivitás következtében, akár a mikorrhizáció miatt is, így ***hozzájárulhat a szerkezet stabilizálásához.*** A bioszén fokozta a mikroaggregátumok képződését és azok stabilitását is, már kis dózis esetén is (0,5%).
- 4) ***A bioszén kezelés hatására jelentősen megnövekedett a külső és belső felületek nagysága,*** melyet a vízgőzadszorpciós és a nitrogéngázos fajlagos felület vizsgálatok is mind alátámasztottak. A nagyobb felület nagyobb víz- és tápanyag-megkötést eredményez.
- 5) Bebizonyosodott, hogy csak ***a vízvezető-képességre, a térfogattömegre és a graduáltági fokra hat szignifikánsan a „kezelés”, az „idő”, és a kettő***

együttes kombinációja. A többi talajtulajdonságra a „kezelés”, az „idő”, jobbra szignifikáns hatást gyakorolt.

- 6) A kísérletek során sikerrel alkalmaztam néhány módszertani újítást:
- a) a zárt rendszerű permeamétert - átalakítás után - elsőként alkalmaztam tenziddel kezelt talajok víz- és olajvezető képességének mérésére.* Ez a megoldás tette lehetővé a kísérletek elvégzését anyagtakarékos és környezetbarát módon.
 - b) A tenziddel kezelt talajok légáteresztő képességét elsőként mértem a PL300 típusú műszerrel laboratóriumi körülmények közt annak érdekében, hogy becsülni tudjam ugyanezen talajok olajvezető képességét (és ezzel a gyorsabb és jobban környezetbarát módszerrel) esetlegesen kiválttam az olajvezető képesség méréseket.*
 - c) A bioszénnel kezelt talajok mikroaggregátum-stabilitásának meghatározására az ülepitéses módszerek kiváltására elsőként alkalmaztam a lézerdiffrakciós mérési módszert.*

A dolgozat témájához kapcsolódó publikációk

Angol nyelvű, lektorált, impakt faktoros folyóiratban megjelent cikkek:

1. Horel, Á., **Barna, Gy.**, Makó, A. 2019. Soil physical properties affected by biochar addition at different plant phenological phases I. International Agrophysics. 33:2. 255-262. (Q2)
2. **Barna Gy.**, Makó A., Takács T., Skic K., Füzy A., Horel Á. 2020. Biochar alters soil physical characteristics, arbuscular mycorrhizal fungi colonization, and glomalin production. Agronomy. 10:12. 1933. (Q1)
3. Makó A., **Barna Gy.**, Horel Á. 2020. Soil physical properties affected by biochar addition at different plant phenological phases. Part II. International Agrophysics. 34:1. 1-7. (Q1)

Magyar nyelvű, lektorált folyóiratban megjelent cikkek és könyvfejezetek

1. **Barna Gy.**, Makó A., Dunai A. (2012): Talajok víz- és olajvezető-képességének összehasonlító mérése. Acta Agraria Kaposváriensis. 16. (2) 69–71.
2. Makó András, Dunai Attila, **Barna Gyöngyi** (2012): A talajok olajvezető képessége. In: Kőolajszármazékok a talajban (Szerk.: Makó A., Hernádi H.). Pannon Egyetem Georgikon Kar. OOK-Press Kft. Veszprém. 225–260. (lektorált, 2. kiadás)

3. Dunai Attila, Makó András, **Barna Gyöngyi** (2013): A talajok légáteresztő képessége. *Agrokémia és Talajtan*. 62:2. 415–426. (Q3)
4. **Barna Gy.**, Földényi R., Tóth Z., Balázs R., Makó A. (2015). Kationos felületaktív anyag (hexadecilpiridinium-klorid monohidrát) adszorpciója talajokon. *Agrokémia és Talajtan*. 64:1. 105–122. (Q4)
5. Hernádi, H., **Barna, Gy.**, Makó, A. 2017. Folyadék-visszatartás, folyadékvezetés és porozitás összefüggései vízzel és/vagy szerves folyadékkal telített talajokban I.: Folyadék-visszatartó képesség — Szemle. *Agrokémia és Talajtan*. 66. 251-282. (Q3)
6. Hernádi, H., **Barna, Gy.**, Makó, A. 2017. Folyadék-visszatartás, folyadékvezetés és porozitás összefüggései vízzel és/vagy szerves folyadékkal telített talajokban II. Folyadékvezető-képesség – Szemle. *Agrokémia és Talajtan*. 66. 2 419–451. (Q3)
7. **Barna Gy.**, Makó A., Horel Á. 2020. Bioszén hatása a talajok egyes fizikai tulajdonságaira. In: *Klímaváltozás okozta kihívások: Globálistól lokálisig* (Szerk.: Farsang A., Ladányi Zs., Mucsi L.). Szeged, Magyarország. SZTE TTIK Földrajzi és Földtudományi Intézet. 171–177.
8. Labancz, V., **Barna, Gy.**, Szegi, T., Makó, A. (2021): A talajok aggregátum-stabilitásának vizsgálati lehetőségei. 1. Makroaggregátum-stabilitás. *Agrokémia és Talajtan*, 70:1. 87-109. (Q4)

Angol nyelvű, referált folyóiratban megjelent cikkek, könyvfejezet:

1. **Barna, Gy.**, Dunai, A., Makó, A., Tóth, Z., Barton, G., Lamorski, K. 2013. Comparative analysis of the organic liquid conductivity of soil samples treated with cationic surfactant. *Georgikon for Agriculture*. 18:3. 41–56.
2. Makó, A., Csatári, T., **Barna, Gy.**, Földényi, R., Tóth, Z. 2013. Surfactant-induced changes of soil hydrophysical characteristics and its effect on soil water regime. *Növénytermelés*. 62. Suppl. 327 – 330.
3. **Barna, Gy.**, Csatári, T., Balázs, R., Földényi, R., László, P., Dunai, A., Makó, A. 2016. Water regime change of surfactant polluted soils. *Review on Agriculture and Rural Development*. 5:(1-2). 126–131.
4. Makó, A., Kocsis, M., **Barna, Gy.**, Tóth, G. 2017. Mapping the storing and filtering capacity of European soils. *JRC Technical Reports*, EUR 28392; doi: 10.2788/156875
5. Füleki-Veress, A., **Barna, Gy.**, Makó, A. 2023. Preliminary experiments of soil hydrophobic character with Krüss DSA Drop Shape Analyser. *Review on Agriculture and Rural Development*. 12. (3-4). 56–62.

Konferenciakiadványban megjelentek:

1. **Barna, Gy.**, Dunai, A., Makó, A. (2012): Liquid permeability of soil in aqueous and non-aqueous systems treated with a cationic surfactant. 4th

International Congress Eurosoil 2012, Soil Science for the Benefit of Mankind and Environment, Bari, Italy, 2-6 July, 2012. S1204-P12.

2. **Barna Gy.**, Makó A., Barta K. (2012): Talajok folyadékvezető-képességének mérése permeaméterrel. XVIII. Ifjúsági Tudományos Fórum, CD-kiadvány, Keszthely, 2012. április 19., ISBN 978-963-9639-45-4
3. **Barna Gy.**, Dunai A., Makó A., Tóth Z., Barton G., Lamorski K. (2013): Kationos tenziddel kezelt talajminták szervesfolyadék-vezető képességének összehasonlító vizsgálata. In: Kőolajszármazékok a talajban c. konferencia absztrakt kötete. Keszthely, 2013. március 1. p.12.
4. **Barna Gy.**, Makó A., Dunai A., Tóth Z., Balázs R. (2013): A talajok folyadékvezető képességének változása kationos felületaktív anyaggal történő kezelés hatására. In: Talajvédelem Különszám. Talajtani Vándorgyűlés 2012 (Szerk.: Dobos E., Bertóti R.D., Szabóné Kele G.). Miskolc, 2012. augusztus 23-25. Talajvédelmi Alapítvány. Könyvműhely – Z-Press Kiadó. Miskolc. 45–56.
5. **Barna Gy.**, Makó A., Lamorski K., Barton G. (2013): NAPL-conductivity of CPC treated soil samples. In: Abstract book of 10th International Conference on Agrophysics (Ed.: C. Sławiński). 5–7th June, Lublin, Poland. Bohdan Dobrzański Institute of Agrophysics, Polish Academia of Science. Lublin. p.73.
6. **Barna Gy.**, Csatári, T., Makó, A., Dunai, A., Tóth, Z., Balázs, R., Lamorski, K. (2013): The behaviour of a Hungarian Solonetz soil contaminated by organic pollutants. In: Abstract book of Conference of Utilization and protection of halophytes and salt-affected landscapes (Eds.: T. Tóth, A. Szabó). 4–6th September 2013, Kecskemét, Hungary. RISSAC CAR HAS, Budapest. p. 10.
7. **Barna Gy.**, Makó A., Kozma-Bognár V. (2014): Change of Atterberg limits of soils contaminated by petroleum product and surfactant. 20th Youth Scientific Forum, 23-24 May 2014. Keszthely, Hungary.
8. **Barna Gy.**, Tóth Z., Balázs R., Makó A. (2014): Talajok konzisztencia határainak módosulása kationos felületaktív anyag hatására. In: Talajtani Vándorgyűlés, Keszthely, 2014. IX. 4–6. p.95
9. Lamorski, K., Sławiński, C., **Barna, Gy.** 2014. Estimation of water saturated permeability of soils, using 3D soil tomographic images and pore-level transport phenomena modelling. In: European Geosciences Union General Assembly. 27 April – 2 May 2014. Vienna, Austria. Geophysical Research Abstracts Vol. 16. EGU2014-11775.
10. **Barna Gy.**, Dunai A., Tóth Z., Balázs R., Makó A. 2014. Kationos felületaktív anyag hatása a talajok víz- és olajvezető képességére. In: Talajtani Vándorgyűlés, Keszthely, 2014. IX. 4–6. p.33.
11. **Barna Gy.**, Földényi R., Balázs R., Dunai A., Makó A.: (2015): Egy kationos tenzid megkötődése talajokon és hatása a talajfizikai tulajdonságokra. In: LVII. Georgikon Napok konferenciakiadványa. 21–32. Keszthely, 2015. X. 1–2.

12. **Barna Gy.**, Földényi R., Balázs R., Dunai A., Makó A. (2015). Adsorption of a cationic surfactant on soils and its effects on soil physical characteristics. In: Proc of 22nd Poster day "Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System. (Ed.: Anežka Čelková). November 12, 2015. Bratislava, Slovakia. 325–326.
13. **Barna Gy.**, Csatári T, Balázs R, Földényi R, László P, Dunai A, Makó A. 2016. Kationos felületaktív anyaggal kezelt talajok porozitás-viszonyai és folyadékvezető képessége. Talajtani Vándorgyűlés, Debrecen, 2016. IX.1-3. Absztrakt kötet, p. 68.
14. **Barna Gy.**; A. Makó ; Zs. Bakacsi ; K. Pokovai ; H. Hernádi ; Á. Horel (2017): Aggregate stability changes in a biochar amended silt loam during a vegetation period. In: Celkova, A (szerk.) Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System. Bratislava, Szlovákia. Slovak Academy of Sciences, Institute of Hydrology. p. 328.
15. Ujj, E.; Bakacsi, Zs.; Rajkai, K.; **Barna, Gy.**; Makó, A. (2018): Laboratory method for measuring soil near-saturated hydraulic conductivity – laboratory use of mini disc infiltrometer. In: Čelková, Anežka (szerk.) 25th International Poster Day and Institute of Hydrology Open day: Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System: Proceedings of peer-reviewed contributors. Bratislava, Szlovákia, Slovak Academy of Sciences, Institute of Hydrology. pp. 208-211.
16. Horel, Á.; Hernádi, H.; K., Skic; Makó, A.; **Barna, Gy.** (2018): Bioszén kezelés hatása a talaj egyes hidrofizikai tulajdonságaira. In: Bakacsi, Zs; Kovács, Zs; Koós, S (szerk.) Talajtani Vándorgyűlés : Absztrakt és program füzet : Talajhasználat – funkcióképesség. Magyar Talajtani Társaság. p. 26.
17. **Gy., Barna** ; A., Makó ; K., Skic ; Á., Horel (2018): Changes in soil physical properties of biochar amended soils. In: Abstracts book of 25th International Poster Day and Institute of Hydrology Open Day : Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System (Ed.: Anežka, Čelková). Bratislava, Szlovákia. p. 1.
18. **Barna, Gy**; Makó, A; Skic, K; Horel, Á. (2018): Changes in soil physical properties of a biochar amended soil. In: Alekseeva et al (eds.) 12th International Conference on Agrophysics : Soil, Plant & Climate: book of abstracts. Lublin, Lengyelország : Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences. 77 Paper: SP4.

Felhasznált irodalmak

ALBURQUERQUE, J.A., SALAZAR, P., BARRÓN, V., TORRENT, J., DEL CAMPILLO, M.D.C., GALLARDO, A., VILLAR, R. 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*. **33** (3). 475–484.

- ANDERSON, C.R., CONDRON, L.M., CLOUGH, T.J., FIERS, M., STEWART, A., HILL, R.A., SHERLOCK, R.R. 2011. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia*, **54** (5–6). 309–320.
- ARORA, J., RANJAN, A., CHAUHAN, A., DATTA, S., JINDAL, T. 2024. Personal care products in agroecosystem: ubiquity, sources, and toxicity insights. In: *Emerging Contaminants. Sustainable Agriculture and the Environment*. (EDS.: KUMARI, A., RAJPUT, V.D., MANDZHIEVA, S.S, MINKINA, T., VAN HULLENBUSCH, E.). Woodhead Publishing. 207–221.
- CSATÁRI T., MAKÓ A., SKIC, K., TÓTH Z., BALÁZS R., 2013. A talajok víz- és szervesfolyadék-visszatartó képességének változása kationos felületaktív anyaggal történő kezelés hatására. In: *Talajvédelem Különszám. Talajtani Vándorgyűlés, Miskolc, 2012. aug. 23–25.* (Szerk.: DOBOS E., BERTÓTI R.D., SZABÓNÉ KELE G.) Könyvműhely – Z-Press Kiadó. Miskolc. 105–114.
- DOBOZY, O., LAKATOS, M., MÁTÉ, F., 1970. Vlijanyije nyekotorih povernosztno-aktivnih u drugih organicseszkih vecsesztv na fizicsekie szvojsztva pocsvi i razvityije rasztyenyii. *Zsurnal Prikladnoj Himii*. **XLIII**. 639–645.
- DONG, W., WALKIEWICZ, A., BIEGANOWSKI, A., OENEMA, O., NOSALEWICZ, M., HE, C., ZHANG, Y., HU, C. 2020. Biochar promotes the reduction of N₂O to N₂ and concurrently suppresses the production of N₂O in calcareous soil. *Geoderma*. **326**. 114091.
- DUNAI, A., MAKÓ, A., HERNÁDI, H., 2007. A talajok légáteresztő képességének és szerves folyadék vezető képességének összehasonlító vizsgálata. *Erdei Ferenc IV. Tudományos Konferencia. Kecskemét. 2007. augusztus 27-28.* 971–974.
- FAGERLUND, F. 2006. *Experimental and Modelling Studies on the Spreading of Non-Aqueous Phase Liquids in Heterogeneous Media*. PhD Thesis. Uppsala.
- FENG, S-J., NIU, J-G., SHI, F-J., ZHENG, Q-T., GAO, M-W. 2025. Remediation effectiveness and mechanism on surfactant-enhanced remediation of low-permeability petroleum hydrocarbon contaminated soil under fracturing conditions. *Journal of Hydrology*. **650**. 132539.
- FÖLDÉNYI R., TÓTH Z., CSATÁRI T., MAKÓ A., 2013. Egy kationos tenzid (CPC) adszorpciója talajokon és talajalkotókon. *Talajvédelem Különszám*. In: *Talajvédelem Különszám*. (Szerk.: DOBOS E., BERTÓTI R.D., SZABÓNÉ KELE G.) 181–187. Miskolc.
- GASCÓ, G., CELY, P., PAZ-FERREIRO, J., PLAZA, C., MÉNDEZ, A., 2016. Relation between biochar properties and effects on seed germination and plant development. *Biological Agriculture & Horticulture*. **32** (4), 237–247.
- HEAD, K.H., 1984. *Manual of soil laboratory testing. Permeability, shear strength and compressibility tests*. Pentech Press. London.
- HOREL, Á., BARNÁ, GY., MAKÓ, A., 2019. Soil physical properties affected by biochar addition at different plant phenological phases. Part I. *International Agrophysics*. **33**. 255–262.
- HRENOVIC, J., IVANKOVIC, T., SEKOVANIC, L., ROZIC, M., 2008. Toxicity of dodecylpyridinium and cetylpyridinium chlorides against phosphate-accumulating bacterium. *Central European Journal of Biology*. **3**. 143–148.
- HU, B., AI, Y., JIN, J., HAYAT, T., ALSAEDI, A., ZHUANG, L., WANG, X., 2020. Efficient elimination of organic and inorganic pollutants by biochar and biochar-based materials. *Biochar*. **2**. 47–64.
- IVERSEN, B.V., MOLDRUP, P., SCHJØNNING, P., JACOBSEN, O.H. 2003. Field application of a portable air permeameter to characterize spatial variability in air and water permeability. *Vadose Zone Journal*. **2**. 618–626.
- Ji, W., KHALIL, C.A., JAYALAKSHMAMMA, M.P., ZHAO, L., BOUFADEL, M.C. 2021. Behavior of surfactants and surfactant blends in soils during remediation: A review. *Environ. Chall*. **2**. 100007.

- KEMPER, W.D., ROSENAU, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods (Ed: KLUTE, A.). American Society of Agriculture, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. 425–442.
- KOCSIS, T., BIRÓ, B. 2015. Bioszén hatása a talaj-növény-mikróba rendszerre: előnyök és aggályok — Szemle. *Agrokémia és Talajtan*. **64**. 257–272.
- KUHNT, G., 1993. Behaviour and fate of surfactant in soil. *Environmental Toxicology and Chemistry*. **12**. 1813–1820.
- MAKÓ, A., ELEK, B., DUNAI, A., HERNÁDI H., 2009. Comparison of the NAPL conductivity and air permeability of different soils. *Communications in Soil Sciences and Plant Analysis*. **40**. 787–799.
- MAKÓ, A., KOCSIS, M., BARNÁ, GY., TÓTH, G. 2017. Mapping the storing and filtering capacity of European soils. *JRC Technical Reports*, EUR 28392; doi: 10.2788/156875
- MASLOUSKI, M., ESCHENBACH, A., BEER, C., THOMSEN, S., PORADA, P. 2025. Soil and vegetation responses to biochar application in terms of its feedback on carbon sequestration under different environmental conditions – LiDELS model overview. *Environmental Research Letter*. **20**. 044020.
- OOSTROM M., HOFSTEE, C., LENHARD, R.J., WIETSMA, T.W., 2003. Flow behavior and residual saturation formation of liquid carbon tetrachloride in unsaturated heterogeneous porous media. *Journal of Contaminant Hydrology*. **64**. 93–112
- PARIA, S., 2008. Surfactant-enhanced remediation of organic contaminated soil and water. *Advances in Colloid and Interface Science*. **123**. 24–58.
- PARKER, J.C., LENHARD, R.J., KUPPUSAMY, T., 1987. A parametric model for constitutive properties governing multiphase flow in porous media. *Water Resour. Res.* **23**. 618–624.
- PATZKÓ Á., 1998. *A kolloidika alapjai*. József Attila Tudományegyetem. Szeged.
- PATZKÓ Á., DÉKÁNY I., 1996. Talaj-tenzid kölcsönhatás, adszorpció, nedvesedés és az üledék vízáteresztő képességének változása. *Agrokémia és Talajtan*. **45**. 229–237.
- POKOVAI, K., TÓTH, E., HOREL, Á. 2020. Growth and photosynthetic response of *Capsicum annuum* L. in biochar amended soil. *Applied Sciences*. **10** (12). 4111.
- RASHID, T., AKBER, A., AL-AWADI, E., 2004. Use of surfactants in enhancing the sorption of petroleum hydrocarbons by natural aquifer materials: a laboratory study. *Emigrates Journal for Engineering Research*. **9**. 29–34.
- TOKOVÁ, L., IGAZ, D., HORÁK, J., AYDIN, E. 2023. Can application of biochar improve the soil water characteristics of silt loam soil? *Journal of Soil and Sediments*. **23**. 2832–2847
- WEAVER, J.W., CHARBENEAU, R.J., TAUXE, J.D., LIEN, B.K., PROVOST, J.B., 1994. The hydrocarbon spill screening model (HSSM). 1. US EPA. EPA/600/R-94/039a.