

DEBRECENI EGYETEM

**KERPELY KÁLMÁN NÖVÉNYTERMESZTÉSI ÉS KERTÉSZETI
TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

Doktori Iskola vezető:

Prof. Dr. Nagy János
egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető:

Prof. Dr. Blaskó Lajos
egyetemi tanár, az MTA doktora

**RENDSZERES SZENNYVÍZISZAP KOMPOSZT KEZELÉS HATÁSA
HOMOKTALAJ FIZIKAI TULAJDONSÁGAIRA**

Készítette:

Aranyos Tibor József
doktorjelölt

Debrecen

2016

RENDSZERES SZENNYVÍZISZAP KOMPOSZT KEZELÉS HATÁSA HOMOKTALAJ FIZIKAI TULAJDONSÁGAI

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
a növénytermesztési és kertészeti tudományok tudományágban készült

Írta: Aranyos Tibor József okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem **Kerpely Kálmán Doktori Iskolája**
Növénytermesztés és kertészeti tudományok doktori programja keretében

Témavezető: Dr. Blaskó Lajos az MTA doktora, egyetemi tanár

A doktori szigorlati bizottság:

	név	tud. fokozat
elnök:	<u>Dr. Kátai János</u> -----	<u>CSc</u> -----
tagok:	<u>Dr. Rajkai Kálmán</u> -----	<u>DSc</u> -----
	<u>Dr. Rátonyi Tamás</u> -----	<u>PhD</u> -----

A doktori szigorlat időpontja: 2015. február 26.

Az értekezés bírálói:

név	tud. fokozat	aláírás
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----

A bírálóbizottság:

	név	tud. fokozat	aláírás
elnök:	-----	-----	-----
tagok:	-----	-----	-----
	-----	-----	-----
titkár:	-----	-----	-----

Az értekezés védésének időpontja: 20.....

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS	4
1.1	A téma jelentősége, aktualitása	4
1.2	A kutatás célkitűzései.....	6
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1	A talaj fizikai tulajdonságainak jellemzése és meghatározása.....	7
2.1.1	A talaj levegőgazdálkodása	7
2.1.2	A talaj víztartó képessége	10
2.1.3	A talaj víznyelő- és áteresztő képessége.....	13
2.1.4	A talaj erodálhatósága.....	15
2.2	Homoktalajok jellemzése	16
2.3	A hazai homokjavítás módozatainak áttekintése, nemzetközi megoldásokkal való összevetése	19
2.4	A szennyvíziszap komposzt	25
2.4.1	A szennyvíziszap keletkezése, felhasználásának törvényi szabályozása..	25
2.4.2	A komposztálás fogalma és folyamata	27
2.5	A szennyvíziszap komposzt homokjavításra történő használatának hazai és nemzetközi tapasztalatai	29
3.	ANYAG ÉS MÓDSZER	34
3.1	A szennyvíziszap komposzt kísérlet beállítása	34
3.2	A talaj szervesanyag-tartalma, kötöttsége és szemcseösszetételének meghatározása.....	37
3.3	A talaj térfogattömege és nedvességtartalmának mérése.....	37
3.4	A talaj légáteresztő képesség mérése	38
3.5	A talaj víztartó képességének mérése	39
3.5.1	Mérési hiba	41
3.6	A beszivárgás és az erózióérzékenység vizsgálata.....	42
3.7	Alkalmazott statisztikai módszerek.....	46
4.	EREDMÉNYEK.....	47
4.1	A talaj kötöttsége és mechanikai szemcseösszetétele	47
4.2	A kísérlet talajának szervesanyag-tartalma.....	47
4.3	A talajnedvesség-tartalom mérési eredménye.....	49
4.4	A térfogattömeg mérés eredményei	50

4.5	A talaj légáteresztő képesség mérések eredményei	54
4.6	A talaj víztartó képességének mérési eredményei	58
4.6.1	Az 5-10 cm-es talajréteg víztartó képességének változása.....	58
4.6.2	A 20-25 cm-es talajréteg víztartó képességének változása.....	62
4.7	A beszivárgás és erózióérzékenység vizsgálatok eredményei	68
4.8	Terméseredmények	77
4.9	Az eredmények értelmezése.....	78
5.	KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	89
6.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	92
7.	GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK.....	94
8.	ÖSSZEFOGLALÁS (magyar nyelven).....	95
9.	ÖSSZEFOGLALÁS (angol nyelven).....	99
10.	IRODALOM.....	103
11.	PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN	118
12.	NYILATKOZATOK	124
13.	MELLÉKLETEK.....	125
	Köszönetnyilvánítás.....	128

1. BEVEZETÉS

1.1 A téma jelentősége, aktualitása

A világ növekvő számú népességének az élelmezésére mezőgazdasági művelésbe vonható területek nagysága erősen korlátozott. Ennél fogva egyre fontosabbá válik a természeti erőforrások fenntartható használata, különösképpen a termőtalaj védelme és javítása. A mezőgazdaságban egyre inkább előtérbe kerülnek a természetes anyagok, az ipari hulladékok és a melléktermékek, amelyekkel javíthatók a talajok fizikai, kémiai tulajdonságai, szerkezeti adottságai, illetve növelhető a talaj termékenysége és biológiai aktivitása (Zebarth et al., 1999, Wang et al., 2014). A talajerő-gazdálkodás, talajjavítás, talajvédelem, valamint a környezetvédelem igen összetett tudományterülete az erőforrások racionális felhasználását követeli meg a jövőben.

Talajadottságok tekintetében Magyarországot igen kedvező helyen tartják számon Európában, azonban talajaink jelentős hányada javításra szorul. Ezeken a területeken csak lényegesen nagy költségráfordítással érhető el megfelelő terméseredmény. Várallyay (2001) szerint hazánk mezőgazdaságilag hasznosított földterületeinek 31%-a tartozik a jó vízgazdálkodási kategóriába, 26%-a közepes, míg 43%-a kedvezőtlen vízgazdálkodású. Utóbbi kategóriába sorolhatók a nyírségi tájra jellemző, kis szerves és szerves kolloidtartalmú, sekély termőrétegű homok- és barna erdőtalajok is.

Hazánkban a homoktalajok összterülete mintegy 1.390.000 ha, melynek jelentős része (400.000 ha) a Nyírségben helyezkedik el (Kádár et al., 2011). A homoktalajok kolloidokban szegény, gyenge termékenységű talajok, közös jellemzőjük a kis víztartó képesség, valamint a nagy vízáteresztő képesség (Stefanovits et al., 1999). E szerkezet nélküli talajok a csapadéknak csak kis részét tartják vissza, a vizet gyorsan átteresztik, ezáltal növelve a vízhiány okozta aszálykárt (Várallyay, 2008). Tápanyag-szolgáltató képességük csekély. A homoktalajokban a szerves anyagok gyorsan átalakulnak vízben oldható ásványi anyagokká. A tápanyagok a gyors vízáteresztés folytán lemosódnak az altalajba (Birkás, 2004). A homoktalajok tápanyag-utánpótlása a szerves anyag rendszeres visszapótlásával oldható meg, melyre a szennyvíziszapok, komposztok potenciálisan felhasználhatók.

A szennyvizek tisztítása során keletkezett szennyvíziszapok természetbarát, ártalmatlan elhelyezése napjainkban is megoldásra váró környezetgazdálkodási feladat (Gardner, 1998). Emellett a 2000. évi XLIII. törvény előírja a hulladékmentes technológiák alkalmazását, a hulladékok és melléktermékek minél nagyobb arányú újrahasznosítását.

A megfelelően kezelt, komposztált szennyvíziszapok felhasználhatók a talaj szervesanyag- és tápanyag-utánpótlására (Zinati et al., 2001), emellett helyettesíthetik az állatállomány csökkenésével és a tartástechnológia változásával egyre kisebb mennyiségben keletkező szerves trágyákat. Szakirodalmi adatok szerint, a komposzt kezelés javítja a szerves anyagokban szegény talajok vízgazdálkodási tulajdonságait. A komposztok különösen jól alkalmazhatók a kolloidokban szegény savanyú homoktalajok javítása céljából (Adani et al., 2009; Mylavarapu és Zinati, 2009). A bevitt szerves anyag csökkenti a talaj térfogattömegét, s növeli a porozitását és az aggregátum stabilitást (Weber et al., 2007). A komposzt talajjavító hatásaként nő a talaj víz- és tápanyag-szolgáltató képessége (Celik et al., 2004). A talajba vitt szerves anyagok növelik a talajtermékenységet, javul a talaj szerkezete, csökkentve ezáltal a vízhiány okozta károkat, valamint a talajeróziót (Arthur et al., 2011).

Az előzőek alapján tehát a szennyvíziszap komposzt alkalmas a homoktalaj tápanyag-utánpótlására, szerkezetének javítására és termékenységének növelésére. A komposzt kezelés talajfizikai tulajdonságokra kifejtett hatásainak részletes megismerése volt kutatásom fő célja.

1.2 A kutatás célkitűzései

Vizsgálataimmal arra kerestem a választ, hogy kovárványos barna erdőtalajon rendszeresen alkalmazott szennyvíziszap komposzt kezelés hogyan befolyásolja a talaj fizikai tulajdonságait.

Kutatásom részletes célkitűzései szerint az alábbiakat vizsgáltam:

- a víztartó képesség és beszivárgás vizsgálatok alapján a komposzt kezelés hogyan hat a talaj vízgazdálkodására és vízerózióval szembeni érzékenységére,
- a komposzt kezelés hogyan befolyásolja a homoktalaj légáteresztő képességét,
- a talajtani eredmények alapján a szennyvíziszap komposzt alkalmas-e a homoktalajok szerkezetének javítására.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szakirodalmi feldolgozás során kitérek a kutatásom során vizsgált talajfizikai tulajdonságok bemutatására, meghatározásuk módszereire. Ismertetem a homoktalajok tulajdonságait, termékenységük gátló tényezőit, illetve kedvezőtlen vízgazdálkodásuk okait. Áttekintem a hazai homokjavítás múltban és jelenleg használatos módozatait. Ismertetem a napjainkban új anyagként felhasználható szerves és szervesetlen hulladékok talajtani hatásait, összevetem azokat a nemzetközi tapasztalatokkal. Feldolgozom a szennyvíziszap komposzt homokjavításra történő használatának hazai és nemzetközi eredményeit.

2.1 A talaj fizikai tulajdonságainak jellemzése és meghatározása

A talaj fizikai tulajdonságai nagymértékben befolyásolják a talajban lejátszódó kémiai folyamatokat, a biológiai aktivitást és ezeken keresztül a talaj termékenységét (Füleky, 2011). Ebben a fejezetben a talaj fizikai tulajdonságai közül azokat ismertetem, melyek szorosan összefüggnek a kutatásommal: azaz a talaj levegőgazdálkodását, víztartó képességét, víznyelő- és áteresztő képességét. Emellett kitérek a talaj eróziós tulajdonságainak bemutatására is.

2.1.1 A talaj levegőgazdálkodása

A talajpórusok nedvesség által ki nem töltött része talajlevegőt tartalmaz, melynek fontos szerepe van a növények oxigénellátásában, a talajbiológiai és egyes kémiai folyamatok intenzitásának alakításában (Filep, 1999a, Füleky, 2011).

A talajok levegőellátottsága meghatározza a gyökérfejlődést és az oxidációs-redukciós viszonyokat a talajban. A talajok rossz levegőzöttsége azt jelenti, hogy a gyökérszónában nincs elegendő mennyiségű oxigén a növények optimális növekedéséhez és ez termés kieséshez vezethet. Általánosságban elmondható, hogy a kultúrnövények és a talajlakó élőlények számára az a kedvező, ha a talaj összpórusainak 2/3-3/4 része vízzel telített, míg a fennmaradó pórusteret levegő tölti ki. Ha a talaj pórustere 5 %-nál kevesebb levegőt tartalmaz, oxigén-hiány lép fel. A könnyű mechanikai szerkezetű homoktalajok tömörödéssé hajlamosak, ezért a kedvező talajállapot kialakítása növénytermesztés-technológiai feladat (Várallyay, 1984; Filep, 1999a).

Az ún. minimális levegőkapacitás fontos jellemzője a talaj levegőgazdálkodásának, mely a szabadföldi vízkapacitásig benedvesített talaj levegőtartalmát jelenti. Homoktalajok esetében a minimális levegőkapacitás értéke 30-40% (Stefanovits et al., 1999, Füleky, 2011).

Általában azokat a talajokat tekintik tömődöttnek, amelyek térfogattömege $1,5 \text{ g/cm}^3$ értéknél nagyobb, összes porozitása pedig 40%-nál kisebb (Birkás, 2002).

Az Amerikai Mezőgazdasági Minisztérium (USDA) szaktanácsadási anyaga fizikai féleségenként differenciáltan adja meg az optimális és a kritikus térfogattömeg értékeket. Eszerint homoktalajon az ideális $<1,6 \text{ g/cm}^3$, a gyökérnövekedést akadályozó kritikus tömődöttség $>1,8 \text{ g/cm}^3$ térfogattömeg értékkel jellemezhető (forrás: I₁).

Ezekhez hasonló differenciált megközelítést alkalmaztak Harrach et al. (1983) a talaj porozitás értékelésekor. A talaj fizikai féleségének függvényében kategóriákba sorolták az értékeket. Homoktalaj összporozitását 40-50 % között magas, 35-41 % között közepes, 30-36 % esetén pedig alacsony kategóriába sorolták.

Tömörödés hatására csökken a pórustér nagysága, gátolva a víz és a levegő áramlását. Tömődött talajokon a megváltozott transzport folyamatok (csökkenő víz- és levegőáteresztő képesség) korlátozhatják a gyökerek növekedését. Pangóvízes rétegek alakulhatnak ki, oxigénhiány léphet fel, mely jelentős termés-csökkenést eredményezhet (Birkás, 2002).

A talajtömörödés mértékét általában a talaj térfogattömegével, penetrométeres ellenállásával és vízáteresztő képességével jellemzik. Az utóbbi években a tömörödéssel összefüggő transzport folyamatok jellemzésére egyre több kutató alkalmazza a légáteresztés mérést (Moldrup et al., 2003; Reichert et al., 2009; Tang et al., 2011; Dunai et al., 2013).

A talajok levegő- vagy légáteresztő képessége a talaj egységnyi vastagságú rétegének egységnyi keresztmetszetén, egységnyi mozgatóerő (nyomás) hatására időegység alatt átáramló levegő mennyisége (Filep, 1999a).

A légáteresztő képesség határértékeire vonatkozóan nincs általánosan elfogadott irányszám. A régebbi irodalom (Kmoch, 1961) $46 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$, az újabb forrás (Horn és Fleige, 2003) $25 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$ értéknél jelöli meg a „nagy” légáteresztő képesség alsó küszöbértékét (1. táblázat).

1. táblázat

Légáteresztő képesség osztályozási határértékek ($\cdot 10^{-3}$ cm/s) Kmoch (1961), valamint Horn és Fleige (2003) szerint

Légáteresztő képesség	Kmoch (1961)	Horn & Fleige (2003)
a) Nagyon kicsi	<10	<5,5
b) Kicsi	10–22	5,5–12
c) Közepes	22–46	12–25
d) Nagy	46–100	25–55
e) Nagyon nagy	>100	>55

Már a múlt században is számos kutatás folyt a talaj légátjárhatóságának meghatározására és az azt befolyásoló tényezők megállapítására.

A talaj szemcseösszetétele jelentősen befolyásolja a levegőáteresztés mértékét. Légszáraz állapotban a talaj légáteresztése a homok fizikai féleségtől az agyagig csökken. Durva homoktalajon a nyomás növelésével az áteresztett levegő mennyisége az alkalmazott nyomással arányosan nő. A talajréteg vastagsága, a levegő nyomása és a hőmérséklet szintén befolyásoló tényezők (Di Gléria et al., 1957).

A talaj nedvességállapota is megszabja a légáteresztő képességet, mely a víztelítettség fokának növekedésével és a porozitás csökkenésével folyamatosan csökken (Sanchez-Giron et al., 1998). Széplábi et al. (2012) megállapították, hogy a szántóföldi vízkapacitás közeli nedvességtartalmú talajrétegek mért légáteresztő képesség értékei jól korrelálnak a talajok térfogattömegével és a gravitációs pórusterék nagyságával. A légáteresztő képesség értékek alakulása és a minták pórusainak víztelítettsége között szoros kapcsolatot mutattak ki Dunai et al. (2008). Megbízható összefüggést találtak a légáteresztő képesség és a talajminták mechanikai összetétele és térfogattömege között is.

A légáteresztő képesség mértékét a talajok térfogattömege és pórusméret-eloszlása nagymértékben befolyásolja (Moldrup et al., 2001). Hamamoto et al. (2009) a pórusméret-eloszlás gáztranszportra gyakorolt hatását vizsgálták homoktalajokon. Durvább szemcseeloszlású talajokon nagyobb légáteresztő képesség értékeket mértek; a talajok térfogattömege, porozitása és tömödöttsége között pedig szoros összefüggést állapítottak meg. Chamindu et al. (2011) szerint a talajtömödöttség sokkal inkább befolyásolja a talaj légáteresztő képességét, mint a talajtípus.

A talaj levegőzöttségét tehát alapvetően a szemcseösszetétele, szerkezete, pórusméret eloszlása és nedvességtartalma szabja meg. Ezen kívül a talajok légáteresztő képességét a talajművelés és a gazdálkodás módja is jelentősen befolyásolja. Ball (1981) vizsgálatai során, a hagyományos szántásos művelésben nagyobb légáteresztő képesség értékeket mért, mint direktvetésben. Vetésváltást alkalmazva a talaj légáteresztő képessége szintén nagyobb, mint monokultúras termesztés során (Groenevelt et al., 1984).

A légáteresztő képesség meghatározása manométeres és reométeres módszerrel lehetséges. Utóbbi módszernél közvetlenül mérik a talajon átáramló levegő mennyiségét. A manométeres méréskor a talajrétegen keresztül egy légritkított térbe jutó levegő áramlási sebességéből következtetnek a talaj légáteresztő képességére (Filep, 1999a).

Hazai kutatók először a múlt század 50-es éveiben vizsgálták a talajok légáteresztő képességét. A talajszerkezet légjárhatóságot befolyásoló hatását tanulmányozták Hajas és Kertész (1951). Meghatározott túlnyomással levegőt nyomtak a talajba, és annak behatolási idejét mérték. A talaj légjárhatóságát fajlagos légáteresztő képességgel jellemezték, mely azt a literben mért levegőmennyiséget jelenti, ami 1 dm² területű talajfelületen 1 másodperc alatt átáramlik 0,3 kPa nyomás mellett.

A hazai és nemzetközi talajfizikai kutatásban új irányzat a különböző talajok légáteresztő képességének mérése és ennek a könnyen mérhető talajparaméternek a beépítése különböző pedotranszfer függvényekbe. Többek közt a talajok apoláros szervesfolyadék-vezető képessége is nagy pontossággal becsülhető a talajok mechanikai összetételének, porozitásának és légáteresztő képességének ismeretében (Makó et al., 2009).

A nemzetközi szakirodalomban elsősorban laboratóriumi légáteresztő képesség vizsgálatokat találunk (van Groenewoud, 1968; Corey, 1986), de vannak adatok terepi kutatási eredményekről is (Iversen et al., 2001; Chen et al., 2011).

2.1.2 A talaj víztartó képessége

A talaj vízgazdálkodása jelentős szerepet játszik a talaj levegő- és hőháztartásának szabályozásában, döntően befolyásolja a talaj biológiai aktivitását. A talajnedvességnek a talaj termékenységére gyakorolt hatása elsősorban a mennyiségétől, mozgékonyaságától és kémiai összetételétől függ (Füleky, 2011). Jelentős hatással van a talajszerkezet kialakításában, így meghatározza a talajművelés módját és idejét,

valamint hatással van a talaj stresszhatásokkal szembeni pufferképességére is (Várallyay, 2005).

A talaj vízgazdálkodását leíró tulajdonságok egyike a talaj víztartó képessége. A talajra hulló csapadék vagy öntözővíz a talaj gravitációs pórusain keresztül szivárog a talajba. Ennek egy részét az átnedvesedő talajrétegek a kisebb átmérőjű pórusokban visszatartják, másik része a mélyebb rétegekbe szivárog. A víznek azt a részét, amelyet a talaj tartósan visszatart, a talaj természetes víztartó képességének (vízkapacitásának) megfelelő nedvességnek nevezzük. A visszatartott nedvesség mennyisége a talaj szemcseösszetételétől, rétegzettségétől, szervesanyag-tartalmától és pórusméret-eloszlásától függ (Várallyay, 1973a; Buzás, 1993).

A vízkapacitás azt a vízmennyiséget jelenti, amit a talaj különböző körülmények között befogadni és/vagy visszatartani képes. Értéke kifejezhető tömeg %-ban, térfogat %-ban, mm-ben és m^3/ha -ban (Filep, 1999a).

Vizsgálati körülmények szerint a következő vízkapacitási értékeket különböztetjük meg (Filep, 1999a, Füleky, 2011):

- szabadföldi (VK_{sz}): az a vízmennyiség, amit a talaj természetes körülmények között, beázás után a gravitációval szemben visszatart,
- maximális (VK_{max}): a talaj pórustereit teljesen kitöltő víz mennyisége,
- minimális (VK_{min}): a talaj vízvisszatartó képessége laboratóriumi körülmények között.

A teljes víztartási görbe meghatározása során a talajmintát különböző, szabályozott szívásértékeknek teszik ki. Ennek hatására a mintából az egyensúly beálltával eltávozik az összes víz, amelyet a szívóerőnél gyengébb erővel kötött meg a talaj. A mérés folyamán a talajminta tömegét mérik, amiből számítható a talaj nedvességtartalma. A kapott értékpárokból áll össze a talaj víztartási (pF) görbéje (Füleky, 2011).

A víztartási görbe mérése történhet kémiai és mechanikai módszerek segítségével (Buzás, 1993). A kémiai módszerek során kénsav-oldattal vagy sóoldatokkal ismert páratartalmú teret hoznak létre a talajminta körül, így a minta víztartalma és a mintát körülvevő levegő páratartalma között egyensúlyi állapot alakul ki.

A mechanikai eljárások során a víztartási görbe mérése történhet szabályozott víznyomás mellett (megcsapolt vízoszlop és függő vízoszlop eljárás). Függő vízoszlop elven működnek a későbbiekben részletesebben bemutatásra kerülő homokágy, illetve homok/kaolin-ágy készülékek.

A víztartó képesség mérése történhet szabályozott levegő- és víznyomás mellett is. Ide tartoznak a feszültségkamrás, illetve a nyomásmembrános eljárások. Utóbbi eljárás során a talajmintát egy féligáteresztő hártýára teszik, mely a növekvő légnyomás hatására a vizet áteresztí, a levegőt nem (Buzás, 1993; Filep, 1999a). A készülék szintén részletés bemutatásra kerül az „Anyag és módszer” fejezetben.

A hazai talajfizikai gyakorlatban a víztartási görbe meghatározására alacsonyabb szívóerő-tartományban a porózuslap módszer, magasabb szívóerőnél a nyomásmembrános módszer terjedt el (MSZ-08 0205-78). A módszert Várallyay (1973b) fejlesztette ki az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetben (TAKI), és Várallyay-féle pF-mérő „box”-ként vált ismertté. A Várallyay-féle pF-mérő berendezés egy aránylag egyszerű, könnyen működtethető berendezés. Előnyeként a feltöltés, légtelenítés, üzembe állítás lényeges leegyszerűsítése, a szívótérben megjelenő légbuborékok – a rendszer megbontása nélküli – eltávolíthatósága és az üzembiztonság említhető. A módszer hátránya, hogy a mérés időigényes, a teljes víztartóképesség-görbe meghatározása 2-3 hónapot is igénybe vehet.

Vízzel telített talajok gravitációval szemben visszatartott nedvességtartalmát mérte Vér (1982), és ezzel jellemezte a talajok természetes körülmények közötti vízvisszatartó képességét.

A talaj vízvisszatartásának meghatározása elektromos ellenállásmérésen, illetve hőveszteség-érzékelésen alapuló módszerek alkalmazásával is lehetséges (Buzás, 1993).

Külföldön az elmúlt évtizedekben egyre gyakrabban alkalmazzák az ún. tempe-cellákat a talaj víztartóképességének meghatározására (Bayer et al., 2004; Alim et al., 2009). Az eddig használatos eszközökkel szemben nagy előnyük, hogy a talajok víztartó görbéjének (pF-görbe) telítődési és leürülési szakasza könnyen meghatározható.

Említést érdemelnek az ún. pedotranszfer függvények, melyek segítségével a talaj víztartó képessége egyszerűbben mérhető talajtulajdonságok alapján becsléssel határozható meg (Várallyay et al., 1979; Rajkai et al., 1981; Fodor és Rajkai, 2005).

2.1.3 A talaj víznyelő- és áteresztő képessége

Esőztető méréseim során a homoktalaj víznyelő- és áteresztő képességét mértem, ezért röviden ismertetem a víz talajba szivárgásának folyamatát, illetve szakaszait.

Beszivárgásnak nevezzük azt a folyamatot, mely során a víz a felszínről a mélyebb talajrétegekbe mozog (Szabó, 2002). Mértékegysége: mm/nap, mm/óra stb.

A beszivárgás mértékét a beszivárgási kapacitással határozzuk meg. Horton (1945) szerint a beszivárgási kapacitás a nedvességnek az a maximális összege, amit a talaj adott körülmények között elnyel. Ezt a mennyiséget időegység alatt mérve, illetve kifejezve beszivárgási sebességnek, intenzitásnak is nevezik.

A beszivárgás folyamata az idő függvényében vizsgálva egy kezdeti gyorsabb, víznyelési; és egy lassabb, állandósult vízáteresztési szakaszból áll. A víznyelési szakasz megmutatja, hogy a talaj a felületére jutott vizet milyen gyorsan képes befogadni. A vízáteresztési szakasz pedig azt mutatja, hogy a telített talaj milyen gyorsan tudja a felületére jutott vizet a mélyebb talajrétegekbe szállítani (Kerényi, 1991).

A beszivárgási sebesség jellemzésére használt általános egyenletek közül a víznyelési szakaszt a Philip-egyenlet, a vízáteresztési szakaszt a Horton-egyenlet írja le pontosabban (Szabó, 2002):

- Philip-egyenlet:

$$f = S_p t^{-1/2} + f_c \text{ [mm/h];}$$

- Horton-egyenlet:

$$f = f_c + (f_o - f_c)e^{-\alpha t} \text{ [mm/h]}$$

f = a t időponthoz tartozó beszivárgási sebesség [mm/h]; f_o = a beszivárgás kezdeti értéke [mm/h]; f_c = az állandósult beszivárgási sebesség [mm/h]; e = természetes logaritmus (2,718); α = a talajra jellemző érték; t = a vizsgálat kezdetétől eltelt idő; S_p és c egyenletparaméterek, melyek a talajtípussal mutatnak összefüggést.

A beszivárgás mértékét elsősorban a talaj fizikai tulajdonságai határozzák meg. A talaj szemcseeloszlása a beszivárgás víznyelési- és vízáteresztési szakaszát is befolyásolja. Homoktalajoknál a pórusméretek nagyok, ezért könnyen átáramlik a víz a talajszelvényben. Ezen kívül a talaj vízbefogadását erősen befolyásolja a területhasznosítás módja, a növényborítottság, a felső rétegek kezdeti víztartalma, a

csapadék intenzitása és időtartama, valamint az, hogy a vizsgálati időszak mely évszakra esik (Kerényi, 1994; Füleky, 2011).

A vízvezető képesség meghatározása történhet terepi- (*in situ*) és laboratóriumi módszerekkel.

A vízzel telített bolygatott vagy bolygatatlan talajminták vízvezető képességének mérésére hazánkban Várallyay (1973a) állandó és csökkenő víznyomásos laboratóriumi módszere terjedt el. Az ún. „kéreg módszer”-t Fodor et al. (2009) hazánkban elsőként alkalmazták.

A beszivárgás mérésére alkalmas terepi eszközök az infiltrométerek (tension disc, mini disc infiltrométer) és permeaméterek (Reynolds és Elrick, 1986; Juhász, 2002). A beszivárgás mérhető liziméterek segítségével is (Almássy, 1977).

Eróziós érzékenység jellemzésére, csapadék és öntözés intenzitás függvényében történő infiltráció meghatározására kiterjedten alkalmazzák a mesterséges esőztetés módszerét.

A talajerózió vizsgálata történhet laboratóriumi és in-situ esőszimulátoros mérésekkel. A terepi esőztető szimulátorok kis, közepes és nagyméretűek lehetnek. A berendezések méretei jelentősen befolyásolják alkalmazhatóságukat. Cseppkialakításukat tekintve egyedi és csoportos cseppképzésű rendszereket különböztetünk meg. A laboratóriumi esőztető szimulátorok különböző méretben és céllal készülnek. A vizsgálatokat bolygatott vagy bolygatatlan talajmonolitokon végzik (Szűcs, 2012).

Magyarországon az egyik legismertebb a Kazó-féle mesterséges esőztető készülék. A mérés során a berendezés forgó csőrózsával esőcseppeket képez, mely során 1 m²-es felületen külön mérhető az elfolyó víz mennyisége. A kiadagolt víz és az elfolyt víz mennyiségének különbségéből pedig könnyen kiszámítható a beszivárgás. A készülékkel 20-100 mm/óra csapadékinintenzitás mellett laboratóriumban és terepen egyaránt vizsgálható a talaj vízbefogadó képessége (Kazó, 1966; Góczán és Kazó 1969).

Az elmúlt évtizedtől az esőztető szimulátorok használata a hazai és a nemzetközi talajerózió kutatásokban széleskörűen elterjedt. Egyre gyakrabban használják a kisméretű, hordozható esőztető berendezéseket. Előnyük az alacsony költségek, a könnyű kezelhetőség, egyszerű szállítás a nehezen elérhető területeken, alacsony vízfelhasználás és a mérések nagyszámú ismételtetésének lehetősége a területen (Iserloh et al., 2010; Cerda és Jurgensen, 2011; Fister et al., 2011).

Iserloh et al. (2012) hét különböző, Európában alkalmazott (Freiberg, Tübingen, Basel, Trier, Valencia, Zaragoza és Wageningen (Eijkelkamp) típusú) kisméretű esőztető berendezést hasonlítottak össze annak megállapítására, hogy a típusnak és a parcella méretnek milyen befolyásoló hatása van az elfolyásra és az erózióra. Megállapították, hogy a különböző parcellaméret, a csapadék intenzitása és kinetikus energiája jelentősen befolyásolja a felszíni elfolyást és az eróziót. Az esőztető berendezéseket $<1 \text{ m}^2$ parcella méret esetén az infiltráció és a felületi erózió jellemzésére, $\geq 1 \text{ m}^2$ parcella méret fölött pedig a barázdás erózió jellemzésére is alkalmasnak vélték.

Vizsgálataim során a beszivárgás mérésére Eijkelkamp típusú kisméretű esőztető készüléket használtam, mely segítségével a beszivárgás a lehullott csapadék és az elfolyt víz mennyiségének különbségként közvetve számítható (forrás: I₇).

2.1.4 A talaj erodálhatósága

Bár a mesterséges esőztetés során elsősorban a talaj víznyelő- és átteresztő képességét vizsgáltam, azonban a mérés alkalmas a talaj erodálhatóságának, azaz a K tényező meghatározására is (Centeri, 2002; Centeri et al., 2003). A K tényező az Általános Talajvesztés-becslési Egyenlet (Universal Soil Loss Equation = USLE) egyik paramétere, mely a csapadékkal lemosódott talaj tömegének meghatározásával számítható (Wischmeier és Smith, 1978).

Az erózió mértékét elsősorban a talaj állapota (nedvessége, vízgazdálkodása, szerkezete) és növényborítottsága befolyásolja. A talajszerkezet vízállósága szintén jelentős hatással van az erodálhatóságra. A talaj vízvezető- és víztartó képessége határozza meg, hogy milyen mennyiségű vizet, mennyi idő alatt képes elnyelni, illetve mennyi a felszíni elfolyás (Filep, 1999b).

A hazai publikációk közül Kertész és Richter (1997) cikke jelent meg az Európai Talajvédelmi Társaság hírlevelében, melyben az általam vizsgált talajtípushoz leginkább hasonlítható, erodált barna erdőtalaj tulajdonságait vizsgálták természetes esőzés és mesterséges esőztetés után. A talaj erodálhatósági tényező (K) eredményeül 0,007 értéket ($t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ mértékegységben) kaptak.

Centeri (2002) a Wischmeier-Smith-féle „Universal Soil Loss Equation” talajerodálhatósági (K) tényezőjét és annak hazai alkalmazhatóságát vizsgálta. Ezzel párhuzamosan a kutatás során vizsgált talajtulajdonságokat is elemezte. Az esőztetési

vizsgálatokat Pannon R-02-es esőztető berendezéssel végezte. Az esőztetéssel mért K tényezőket felhasználta a mintaterületek talajvesztéséget becsülő térképének USLE modellel való elkészítéséhez.

Szintén Pannon R-02 eső-szimulátorral folytattak erózióérzékenységi vizsgálatokat Jakab és Szalai (2005) 1,19 % humusztartalmú barnaföldön. Vizsgálataikat Somogy megyében, Vesz község határában a Tetves-patak vízgyűjtőjén végezték. Szabványosított mérőparcellákat alakítottak ki a természetes csapadék erodáló hatásának számszerűsítésére. A Horton-féle matematikai modell segítségével meghatározták a fedetlen talaj valós, pillanatnyi vízáteresztését a csapadék intenzitásának függvényében. Megállapították, hogy a csapadék intenzitásának növekedésével logaritmikusan növekszik az erodált talaj szemcsemérete. Emellett meghatározták a talaj erodálhatóságát kifejező K tényező értékét, az eredmény $K=0,019$ ($t \cdot h \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$).

A tokaji borvidék vulkanikus talajképző kőzetén kialakult, agyagbemosódásos barna erdőtalajon, valamint löszön képződött, vályog fizikai féleségű talajokon (Ramann-féle barna erdőtalaj és földeskopár) folytattak kutatásokat Zsigrai et al. (2015). Méréseiket az általam is használt Eijkelkamp 09.06 típusú esőszimulátorral végezték. A vizsgálatok során a Ramann-féle barna erdőtalajon közel nyolcszor nagyobb eróziót tapasztaltak, mint az agyagbemosódásos barna erdőtalajon. Ekkor a szimulált csapadékintenzitás 80 mm/óra volt. A két talajtípus vízerózióval szembeni érzékenysége közötti jelentős különbséget a Ramann-féle barna erdőtalaj kis agyag- és humusztartalmával (0,7 %), vízbefogadó- és vízvezető képességének leromlásával magyarázták. Ennek köszönhető, hogy a mintatérre kijuttatott mesterséges csapadék közel 30 %-a lejtőirányban elfolyt a talajfelszínen, jelentős mértékű lepeleróziót kiváltva.

2.2 Homoktalajok jellemzése

A homoktalajok homokos szövetű kőzeten kialakult talajok. Kreybig (1956) meghatározása szerint homoktalajnak nevezzük azt a talajt, aminek agyagtartalma 10 % alatt van.

Magyarország mezőgazdaságilag hasznosítható területének egyötödét - megközelítőleg 2,5 millió hektárt- homoktalajok fedik. A homoktalajok általában humuszban, ásványi és szerves kolloidokban szegények. Termékenységük csak

folyamatos tápanyag-ellátás mellett biztosítható. Ebből kifolyólag védelmük és javításuk szakszerű hozzáértést kíván (Kádár, 1999).

A Nyírség hazánk egyik legnagyobb összefüggő homokterülete (Kádár et al., 2011). A táj jellemző talajtípusai a futóhomok, humuszos homok és kovárványos barna erdőtalajok, míg a buckaközi mélyedésekben réti talajok fordulnak elő (Stefanovits et al., 1999).

Dolgozatomban csupán a kovárványos barna erdőtalajt jellemzem részletesen, mivel kutatásomat ezen a talajtípuson folytattam.

A kovárványos barna erdőtalajok mészmentes homokon, az erdők és a fás növényállomány által teremtett mikroklíma, a fák által termelt és évenként földre jutó szerves anyag, valamint az ezt elbontó, főként gombás mikroflóra hatására jöttek létre (forrás: I₂). E talajok szervesanyag-tartalma ritkán haladja meg a 2%-ot, kémhatásuk gyengén savanyú. Kilúgzási (A) szintjük általában 30-80 cm vastagságú. A felhalmozódási (B) szintben található a kovárványcsíkok, amelyek vöröses, barnás színű, 1-5 cm vastagságú, 10-20 cm-enként ismétlődő agyagos homokcsíkok a talajszelvényben (Borsy, 1961). A kovárványcsíkok kationcserélő képessége nagyságrendileg megegyezik a homokos szövetű rozsdabarna erdőtalajok B szintjével. A kovárványos barna erdőtalajok víz- és tápanyag-gazdálkodása általában jobb, mint a kovárványcsíkokat nem tartalmazó homoktalajoké, mivel a kovárványcsíkok által közrezárt homokrétegek jóval több nedvességet képesek magukba zárni (Kléh és Szűcs, 1954; Stefanovits et al., 1999). A kovárványcsíkok nagyobb kolloidtartalma kedvezően befolyásolja a homoktalaj tápanyag-gazdálkodását. Egyrészt több növényi tápelem megkötésére képes, másrészt javul a talaj víztartó képessége, ezáltal a tápanyagok növényi felvétele a talajból is fokozódik (Filep, 1999b).

A homoktalajok termékenysége a kedvezőtlen vízgazdálkodás, a rossz szervesanyag- és tápanyag-ellátottság miatt alacsony. Várallyay (1981, 1982) a homoktalajok termékenységét gátló tényezőket az alábbiak szerint foglalja össze:

- kis agyag- és ásványi kolloidtartalom;
- alacsony szervesanyag-tartalom, mely gyorsan mineralizálódik;
- kis pufferkapacitás;
- szélsőséges vízgazdálkodás: nagy vízáteresztő képesség, kis víztartó képesség, kis hasznosítható vízkészlet, aszályérzékenység;
- kis tápanyag-szolgáltató képesség;

- szél- és vízerózió-érzékenység;
- tápanyagok fokozott kilúgzódásának veszélye.

A homoktalajok termékenységét gátló tényezők elsősorban a talaj vízgazdálkodásával és nedvességforgalmával kapcsolatosak. A magyarországi homoktalajok vízgazdálkodási problémáit Várallyay (1984) összegezte az alábbiak szerint:

1. Nagy vízáteresztő képesség

Homoktalajok esetében, míg a felszínre jutó víz talajba szivárgása gyakran akadályozott, addig a talajba jutó víz többnyire gyorsan átszivárog a mélyebb talajrétegekbe. Ennek legfőbb oka a kolloidok hiánya, a víz vezetésére alkalmas gravitációs pórustér nagyobb aránya a hasznos víz tározására alkalmas kapillaris-gravitációs és kapillaris pórustérhez viszonyítva.

2. Nagy evaporációs veszteségek

A részben vagy teljesen csupasz talajfelszín jelentősen felmelegedhet, így megnövekszik a homoktalaj nedvességtartalékának evaporációs vesztesége, mely fokozza az aszályérzékenységet és a deflációveszélyt.

3. Kis kapillaris vízutánpótlás

A homoktalajok kapillaris pórustere csekély, a pórusok nagy része pF-2–3 szívóerőnél már kiürül, így e tenziótartományban nem vezeti a vizet. Ebből következően kapillaris transzport csupán a talajvízszinthez közeli talajrétegekben lehetséges.

4. Kis hasznosítható vízkészlet

A kis hasznos, növények számára is felvehető vízmennyiség az előző pontokban felsorolt tényezők eredménye.

A talaj termékenységét tehát alapvetően meghatározza annak vízháztartása, melynek javításával a homoktalajok is termékenyebbé és a gazdasági növények termesztésére alkalmasabbá tehetők.

2.3 A hazai homokjavítás módozatainak áttekintése, nemzetközi megoldásokkal való összevetése

A mezőgazdasági termelés növelése, illetve a nagyobb termésbiztonság a talajok termékenységének folyamatos fenntartását és javítását teszi szükségessé. A talajjavítás fogalma alatt olyan fizikai/mechanikai, kémiai vagy biológiai beavatkozásokat értünk, melyek a szokásos agrotechnikai műveleteken túl a talaj termékenységét tartósan növelik (Filep, 1999b).

A kedvezőtlen talajállapotok megszüntetése, a talajdegradációs folyamatok mérséklése és a talajminőség javítása csak komplex fizikai, kémiai és biológiai módszerekkel lehetséges.

A homoktalajok termékenységét fizikai szempontból elsősorban a kis szerves és szerves koloidtartalmuk és az ebből adódó kedvezőtlen fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságok korlátozzák (Várallyay, 1984; Stefanovits et al., 1999).

A fizikai talajjavítási módszerek (altalajlazítás, talajcsövezés vagy drénezés, lecsapolás, mélyforgatás, homokrónázás és a réteges homokjavítás) elsősorban a talaj vízgazdálkodásának rendezésére irányulnak (Stefanovits, 1977; Filep, 1999b). A tevékenységek elsődleges célja a talaj víztartó képességének növelése és a tárolt víz minél nagyobb hányadának a növények számára felvehetővé tétele (Várallyay, 2008).

Az 1800-as években átfogó területrendezési és talajjavítási munkák kezdődtek el a Nyírségben, amelyek célja a Rétköz lecsapolása és a homokterületek belvízrendezése volt. A munkálatok hatására jelentős területek váltak alkalmassá a növénytermesztés számára. Azonban a lecsapolás hatására a homokbuckák közötti vizenyős, mélyen fekvő területekre a rétiesedés folyamata hatott, míg a talajvízszint csökkenésének hatására a homokhátak kiszáradtak, így megnövelve a deflációs károkat. Az egyre intenzívebbé váló mezőgazdasági termelés és a talajban addig felhalmozódott szervesanyag-tartalom csökkenése tovább erősítette a szélrózsió okozta talajvesztést (Tóth, 1969).

A homoktalajok rossz víz- és tápanyag-gazdálkodásának kedvezőbbé tétele volt a célja Egerszegi (1953) réteges homokjavításának. A módszer szerint a kovárványos barna erdőtalaj mintájára, szerves trágyának vagy komposztnak különböző mélységbe (40 és 60 cm) forgatásával koloidban gazdagabb sávokat hoztak létre, amivel a talaj víztartó képességének javulását és a tápanyagok gyors lebomlásának késleltetését érték el. A módszer aszályos években rendkívül nagy terméshozamokat eredményezett, ami azzal volt magyarázható, hogy a szerves koloidokban gazdagabb rétegek felfogják,

megőrzik a talajnedvességet és a tápanyagokat, valamint elősegítik a talajszelvényben a mikroorganizmusok és a gyökértömeg feldúsulását. A kedvező eredmények ellenére Egerszegi réteges homokjavítási módszere a gyakorlatban nem terjedt el, melynek feltehető oka az eljárás költségigénye.

Egerszegi réteges homokjavítási módszerének mintájára végezte vizsgálatait Makled (1967) Egyiptomban, sivatagi homoktalajon. A szerző öntözött körülmények között, szervestrágyázás, illetve szervestrágya+agyag-, papír-, vászon-, aszfalt- és nylonrétegek alkalmazási lehetőségeit vizsgálta. Kísérletében a legnagyobb termésnövekedést akkor érte el, amikor a mélyebb rétegekbe szerves trágyát, a feltalajba pedig aszfalt-, nylon-, vagy papírrétegeket helyezett.

A kémiai talajjavítás körébe tartozik a talaj kedvezőtlen kémiai tulajdonságainak megváltoztatása és megszüntetése. A Nyírség savanyú homoktalajainak javítását az 1960-as években kezdték el helyben található természetes anyagokkal. Ilyen anyag a homokbuckák közötti mélyedésekben képződött meszes lápföld, mely a talajsavanyúság mérséklésén túl növeli a homoktalajokon a leiszapolható rész arányát és a kapilláris vízemelést (Prettenhoffer, 1981).

Stefanovits és Fekete (1984) Duna-Tisza közti meszes homoktalajok javítására használták a lápföldet. Eredményeik szerint a lápfölddel kezelt talaj kapilláris hézagtere nőtt, vízáteresztő képessége pedig csökkent. Tapasztalataikat homoki gyümölcsösök telepítésekor szükséges melioráció helyének és módjának megállapításához használták fel.

A talajsavanyúság csökkentésére cukorgyári mészsizapot és dolomitot is alkalmaztak. A dolomit a talaj kémhatásának javítása mellett, annak magnézium (Mg)-pótlására is alkalmas (Stefanovits, 1977; Balogh, 2001).

A szerves kolloidtartalom szalma-trágyázással, erjesztett szalmával, zöldtrágyával, vetésforgóval való befolyásolási lehetőségeiről a Westsik-féle vetésforgó szolgálat eredményeket (Márton, 1984; Lazányi, 2001). A kísérletet Westsik Vilmos állította be 1929-ben az egykori Homokjavító Kísérleti Gazdaság területén, melynek fő célja a nyírségi savanyú homoktalajok javítása, illetve tanulmányozása volt. A mintegy 15 hektáros kísérletben különböző tápanyag-utánpótlási módok és talajművelési rendszerek hatása vizsgálható rozs, burgonya, csillagfürt és rozsos bükköny növényekkel. A kísérletben nagy hangsúlyt kapott a biológiai talajjavításnak minősülő zöldtrágyázás. Ennek legfőbb célja a talaj egész éven át tartó növényborítottságának biztosítása, melyre az őszi gabonavetés mellett a másodvetésű csillagfürt tavaszi

leszántását alkalmazták. Így kívánták csökkenteni a tavaszi „bőjti” szelek deflációs hatását (Westsik, 1951). Ezen kívül a zöldtrágyanövények gyökerei behálózják a talajt, szerepet játszanak a szerkezet kialakításában, ezáltal befolyásolják a talaj víz-, hő-, levegő- és tápanyag-gazdálkodását. A kísérlet ma is eredeti elrendezésében a Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Nyíregyházi Kutatóintézete kezelésében áll.

Az 1960-as években az intenzív mezőgazdasági termelés hatására széleskörűen elterjedt a műtrágyák alkalmazása, ezzel együtt a műtrágyázás hatásának talaj-növény rendszerekben való vizsgálata. Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete 1962-től a Szabolcs megyei Nyírlugoson folytat homokjavítási kutatásokat. A mintegy 10 hektáros kísérletet Láng István azzal a céllal hozta létre, hogy a különböző agrotechnikai beavatkozások (műtrágyázás, fajta, szántási mélység, elővetemény) hatását vizsgálja a homoktalaj termékenységére, illetve a Nyírségre jellemző szántóföldi növények, a burgonya és rozs termésére. A tartamkísérlet N (nitrogén)-, P (foszfor)- és K (kálium)-kezelései mellett a kémiai javításra kalcium-karbonátot és dolomitot alkalmaztak (Kádár és Szemes, 1994; Kádár et al., 1999). Az eredmények szerint a kísérlet első évtizedében termésnövekedést csak a N-trágyázás által értek el, de a második évtizedben már nem volt kimutatható hatása. Tapasztalataik szerint az egyoldalú nitrogén-trágyázás a talaj elsavanyodásához vezet és terméskiesést okoz. A műtrágyázási tartamkísérlet 50 évnyi eredményeit Kádár et al. (2011) foglalták össze.

A hagyományos meszező anyagokon, szerves- és zöldtrágyákon és helyben kitermelhető anyagokon kívül a homoktalajok víz- és tápanyag-gazdálkodásának javítására sokféle bányászati és ipari termékkel, illetve ezek felhasználásával készült javítóanyagokkal folytak vizsgálatok.

Finomra őrölt kálitrachit szerkezetjavító hatását állapította meg Kovács (1961) savanyú, szerves és ásványi tápanyagokban szegény homoktalajokon. Talajjavító anyagként nyers ásványi tápanyagokat tartalmazó kőzetőrlemény-keverékek (pl.: káliumtrachit, bentonitos trachit, glaukonit, vulkáni tufák, foszfátok stb.) alkalmazását javasolta.

Homoktalajok termékenységének fokozására zeolittal kezelt hígtrágya és barnaszén dezaggregátum keverékével, illetve zeolittartalmú talajjavító anyagokkal is végeztek kísérleteket (Kazó és Barna, 1978; Kazó, 1981; Kazó et al., 1982). A javítóanyagok előnyösen befolyásolták a talaj vízgazdálkodási tulajdonságait: a víztartó képességet, a víznyelő képességet és a beszívárgást. Ezen kívül nőtt a talaj humusztartalma és tápanyag-ellátottsága, mely kedvezően hatott a terméseredményekre.

A dúsított agyagos komposztrágyák szintén alkalmasak a homoktalajok termékenységének növelésére. A komposztálással megoldható a fel nem használt mező- és erdőgazdasági, továbbá települési szerves hulladékok természetes körforgásba visszaáramoltatása és hasznosítása. Ezen kívül a komposzt alkalmazása hozzájárul a homokterületek termékenységének növeléséhez (Köhler, 1984).

A bentonit a homoktalajok perspektivikus javítóanyagának tekinthető (Lazányi, 2001). Felhasználható a talajok víztartó képességének és biológiai aktivitásának javítására. Tápanyagmegkötő képessége miatt kiváló adalékanyaga a komposztálásnak. A bentonit magas montmorillonit tartalommal rendelkezik, mely nagy vízkapacitású, nagy adszorpciós képességű agyagásvány. Kedvező tulajdonsága a duzzadóképeség, nagy kationcserélő képesség, nagy viszkozitás, kis vízleadó képesség (Hargitai, 1978; Dömsödi, 1988). Mivel a bentonit a kísérletben felhasznált szennyvíziszap komposzt egyik összetevője, ezért talajtani hatásaival részletesebben foglalkozom.

A tapasztalatok szerint a bentonitos meddő és riolittufa őrlémmel komposztált szerves trágya alkalmazása kedvezően hat a terméseredményekre és termésbiztonságra. A kezelt talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak és kötöttségének javuláson túl, a talajok kémhatása, a szervesanyag és a mikroorganizmusok csíraszám növekedését is megállapították (Köhler, 1984; 2003).

A bentonit nagy adszorpciós kapacitása kedvezően hat a talajok szerkezetére, tápanyag- és vízgazdálkodására (Szendrei, 1998). A bentonit a homoktalaj vízmegkötésére és biológiai aktivitására gyakorolt kedvező hatását emeli ki Tállai (2011). McKissock et al. (2002) tapasztalataik szerint az agyagásvány bevonja a homokszemcsék felületét, ezáltal csökkentve a talaj vízáteresztő képességét. Lazányi (2003) megállapította, hogy a bentonit, illetve az agyagásvány-szervesanyag komplexek megváltoztatják a talaj fizikai és kémiai tulajdonságait. A bentonit hozzájárul a megfelelő talajszerkezet kialakulásához azáltal, hogy a képződött szervesanyag-agyag komplexek hatására térhálós szerkezet jön létre. Feltételezi, hogy a bentonit, illetve a kedvezőbb talajszerkezet előnyösen befolyásolja a talaj mikrobiológia aktivitását. Kátai et al. (2004) szerint a bentonit alkalmazása humuszos homoktalajon önmagában kedvezőbben hat, mint komposzttal együtt kijuttatva.

Szegi (2009) kutatásai során különböző összetételű és mennyiségű szerves (hígtrágya) és szervetlen (bentonit, montmorillonit, méziszap) adalékanyagok hatását vizsgálta a homoktalajok fizikai és kémiai tulajdonságaira. A talajfizikai vizsgálatok a talaj higroszkóposágára, pF-értékeire, nedvességtartó képességére, leiszapolható

szemcsefrakciójára és mikroaggregátum stabilitására vonatkoztak. Azt tapasztalta, hogy az előzetesen komposztált szerves és szervesetlen javítóanyagokkal való kezelés statisztikailag igazolható javulást eredményezett a terméseredményeken túl a talaj fizikai és kémiai állapotában, azonban a komposzt hatása a második évtől már nem volt kimutatható.

Az említetteken kívül többféle anyag, pl. olajpala (alginit) (Solti, 1987), kohósalak, hulladék kovasav, szintetikus kalcium-szilikát (Balogh, 2001) alkalmazásával is értek el kedvező eredményeket, de a különböző javítási eljárások túlnyomó része a gyakorlatban nem terjedt el.

A hazai és nemzetközi kutatásokban egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a különböző eredetű, szerves és szervesetlen hulladékok és melléktermékek mezőgazdasági hasznosításának vizsgálatára. Napjainkban a talajjavításra vagy természetközeg előállítására felhasználható új anyagok köre igen széles: pl. biogáz üzemi fermentlé, bioszén, fahamu, vörösiszap, használt sütőolaj, flotációs meddőanyag, gumiabroncs apríték, rizspelyva hamu, foszforgipsz, víztelenített szennyvíziszap, étolaj gyártás szennyvize, szójakorpa édesipari szennyvíz stb. (forrás: I₃). Ezen anyagok valamilyen tulajdonságuk révén –pl. magas szervesanyag-, tápelem-tartalom- alkalmasak a homoktalajok javítására, azonban számos káros anyagot is tartalmazhatnak, emiatt a biztonságos felhasználásukhoz megfelelő szakmai ismeret szükséges.

Homokjavításra alkalmas természetes anyagok az alginit és a perlit, melyek adszorbeáló képességük révén visszatartják a vizet, ezáltal szabályozzák a talaj vízgazdálkodását és a tápanyagok mozgását (Kátai, 1994).

Egyre gyakoribb a különböző talajkondicionáló készítmények felhasználása, melyekkel fokozható a talaj termékenysége, nedvességmegőrzése és mikrobiológiai aktivitása, valamint javíthatók a talaj vízgazdálkodási tulajdonságai (Szűcs et al., 2015).

Hazánkban és külföldön számos tanulmány készült a biogáz üzemekben képződő melléktermékek felhasználásának vizsgálatára. Magyarországon elsősorban a folyékony halmazállapotú fermentlével folytattak vizsgálatokat. Makádi (2010) kedvező eredményeket ért el biogáz üzemi fermentlé alkalmazása során nyírségi talajok fizikai-kémiai tulajdonságaiban és mikrobiológiai aktivitásában. Eredményei alapján a fermentlé kedvező hatása homoktalajon erőteljesebb, mint kötöttebb talajon. Wang et al. (2014) bioetanol gyártás során keletkezett fermentációs maradék kedvező hatását mutatták ki homoktalaj víztartására és tápanyag-gazdálkodására. A talaj víztartó képessége átlagosan 150-300%-kal nőtt a kezelt területeken.

A szervesanyag pirolízissel történő átalakításának melléktermékeként keletkező, a szakirodalomban „biochar”-ként ismert bioszén talajjavító hatásának vizsgálata hazánkban és külföldön is népszerű kutatási téma. A bioszén szénttartalmú melléktermékekből pirolízis során állítják elő oxigénhiányos környezetben. Az így keletkezett faszén forgatják a talajba, mely akár évszázadokig a talajban maradhat. A kutatások eredményei azt mutatják, hogy a talajba forgatott bioszén megköti a nitrogént, a foszfort és más tápanyagokat, növeli a talaj pH-értékét. A légköri szén-dioxid megkötése révén fontos szerepe van az üvegházhatás csökkentésében (Verheijen et al., 2010; Gál et al., 2013).

A bioszén jelentős szerepet játszik a talajszerkezet kialakításában, csökkenti a talaj térfogattömegét és növeli a pórusok összterületét (Abel et al., 2013; Rétháti et al., 2013). Obia et al. (2016) szerint a talaj térfogattömege 3-5 %-kal csökkent, aggregátum stabilitása pedig 7-9 %-kal nőtt a bioszén kezelés hatására.

A bioszén kedvező hatással van a homoktalaj vízgazdálkodására. Nagymértékben (20-30 %-kal) növeli a talaj víztartó képességét és a szabadföldi vízkapacitást. Emellett a kezelés jelentősen csökkenti a talaj hidraulikus vezetőképességét (Khalifa és Yousef, 2015; Laghari et al., 2015). Arthur et al. (2015) azt állapították meg, hogy a bioszén kezelés elsősorban alacsony szívóerő-tartományban növeli a homoktalaj víztartó képességét.

Az előzőekkel ellentétben Jeffery et al. (2015) arról számoltak be, miszerint a bioszén kezelés nincs szignifikáns hatással sem a homoktalaj víztartó képességére, sem egyéb fizikai tulajdonságaira.

Magyarországi kísérletekben a vörösiszap, vörösiszapos talaj és egyéb hulladékok talajjavító hatását tanulmányozták nyírségi savanyú (pH=5,5) homoktalajokon (Szabó, 2011; Papp, 2011; Klebercz et al., 2012). A vörösiszap a tilmöldgyártás során keletkezett melléktermék. Az egyéb, adalékként felhasznált hulladékok: faforgács, búzaszalma, fermentlevek, napraforgómaghéj, kukoricaszár, kenderpozdorja, olajos és nem olajos PET palack apríték voltak. A kis mikrobiális aktivitással rendelkező, gyenge termékenységű homoktalajba sütőolajat és komposztot is bekevertek. A három hónapig tartó kísérletben a vörösiszap és a vörösiszapos talaj is szignifikánsan növelte a talaj kötöttségét és víztartó képességét. A homoktalaj 27 %-os víztartó képessége 47 %-ra nőtt 50 % vörösiszap bekeverésével, míg 50 % vörösiszappal kevert talaj hatására 37 %-os növekedést tapasztaltak. A használt sütőolaj

és olajos PET palack apríték felhasználásával szintén jelentősen nőtt a homoktalaj víztartó képessége (Gruiz et al., 2012; Ujaczki et al., 2012).

Sikeresen alkalmazzák a talaj vízháztartásának, vízfelvevő- és víztartó képességének javítására a biomassa-tüzelésű erőművekben képződő fahamut (Berente et al., 2010) és a foszforsav gyártás melléktermékeként keletkező foszfor-gipszet is (Al-Zaidyeen és Al-Qadi, 2015).

Összegezve az előzőeket, valószínűleg a jövőben egyre nagyobb szerepet kap a kutatásokban a talajjavításra alkalmas ipari és mezőgazdasági melléktermékek hasznosításának vizsgálata. Mivel az alkalmazott melléktermékek hatása nagymértékben függ a talajtípustól, a felhasznált anyag eredetétől, fizikai, kémiai tulajdonságaitól, az éghajlati viszonyoktól és a területhasználat módjától; ezért a felhasznált anyagok talajjavításra történő alkalmazása interdiszciplináris kutatást igényel.

2.4 A szennyvíziszap komposzt

A szakirodalmi feldolgozás során először a szennyvíziszap keletkezésének körülményeit, elhelyezésének törvényi szabályozását ismertetem, mivel annak felhasználása ma is vitatott. A hasznosítás egyik lehetséges módja a komposztálás, melynek folyamatát, befolyásoló tényezőit röviden jellemzem. Áttekintem a homoktalajon végzett szennyvíziszap komposzt kísérletek tapasztalatait, bemutatom a talaj fizikai tulajdonságaiban bekövetkező változásokat.

2.4.1 A szennyvíziszap keletkezése, felhasználásának törvényi szabályozása

Magyarország Európai Unió csatlakozása után a szigorodó jogszabályi előírások eredményeként a víz- és szennyvízhálózat kiépítettsége nagymértékben felgyorsult. 2012-ben a települések 58%-ában épült ki a csatornahálózat (forrás: I₄). A csatornahálózat bővülésével megnövekedett a szennyvíz mennyisége is, melynek kezelése, ártalmatlanítása, elhelyezése és hasznosítása komoly feladat elé állítja a szakembereket.

Hazánkban a szennyvízes fejlesztések irányát a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési- és Tisztítás Megvalósítási Program határozta meg. A programban 2000 lakosegyenérték (LE) fölötti szennyvízelvezetési agglomerációk szerepeltek. Ennek keretében Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében a szennyvíz-üzem ellátottság

2015 végére 81 %-os, ami kb. 6 %-os elmaradottságot jelent az országos átlaghoz képest. Azonban a lakosság több mint 25 %-át érintő, 2000 lakos-egyenérték (LE) alatti települések szennyvízkezelése továbbra is megoldásra váró probléma (Veres, 2015).

A szennyvíztisztítás során leválasztott szennyvíziszap a szennyvíz térfogatának körülbelül 0,5-1 %-át teszi ki (Kocsis, 2005). A víztelenítés következtében szárazanyag-tartalmuk jelentősen megnövekszik. Korábban az iszap túlnyomó részét lerakóban helyezték el, azonban az érvényes környezetvédelmi előírások a lerakást szigorúbban szabályozzák. Hazánkban jelenleg a keletkező szennyvíziszapok mindössze 2%-át deponálják, 98%-a hasznosításra kerül (46% rekultiváció, 38% mezőgazdasági hasznosítás, 5% energetikai hasznosítás, 9% egyéb hasznosítási mód) (Simon és Vincze, 2015).

Az 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet célja, hogy egyes szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági területen való szakszerű felhasználásával elkerülhetővé váljanak a talajra, a felszíni és felszín alatti vizekre, valamint az emberek egészségére, a növényekre és az állatokra gyakorolt káros hatások. A rendelet szabályozza a szennyvízelvezető műben összegyűjtött és a szennyvíztisztító műben tisztított szennyvíz, illetve kezelt szennyvíziszap mezőgazdasági területre történő kijuttatását. Szabályozza a szennyvíziszapok felhasználásának szakmai feltételeit, ideértve a gyűjtött és kezelt települési folyékony hulladékok mezőgazdasági felhasználásának feltételeit is. A mezőgazdasági területen csak a kezelt szennyvíziszap és tisztított szennyvíz használható fel. A rendelet szerint a szennyvíz és a szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználása engedélyhez kötött, amit talajtani szakvélemény alapján a közegészségügyi, állategészségügyi, környezetvédelmi és vízügyi szakhatóság, valamint a települési önkormányzat jegyzőjének hozzájárulásával az illetékes növény-egészségügyi és talajvédelmi állomás (a talajvédelmi hatóság) határozatban engedélyez.

A 36/2006. (V.18.) FVM rendelet (a termélnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásról) a talaj tápanyag-utánpótlására és a talajtermékenység javítására alkalmas szerves és szervesetlen anyagok felhasználását szabályozza. A rendeletben meghatározott engedélyezési eljárás során forgalomba hozatali és felhasználási engedéllyel rendelkező készítmények alkalmazásához a gazdálkodónak nem kell külön szakhatósági engedélyt igényelnie. A termék a határozat alapján, az engedélyezéstől számított tíz éven keresztül hozható forgalomba. A Magyarországon engedélyezett termélnövelő anyagok publikus adatbázisa a Nemzeti

Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) honlapján érhető el. A rendelet a következő terméknövelő anyagokat különbözteti meg: szerves trágyák, műtrágyák, ásványi trágyák, komposztok, gilisztahumusz, talajkondicionáló készítmények, mikrobiológiai készítmények, természetközégek, növénykondicionáló készítmények, virágföldek és palántaföldek.

Napjainkban a szennyvizek tisztítása tehát szükségszerű és elengedhetetlen, azonban a különböző eredetű és minőségű szennyvíziszapok felhasználása megosztja a szakembereket. A szennyvíziszapok kezelésének egyik lehetséges módszere a komposztálás.

2.4.2 A komposztálás fogalma és folyamata

A komposztálás a hulladékártalmatlanítás, illetve a hulladékhasznosítás egyik módszereként is használt folyamat, mely során a nagy szervesanyag-tartalmú hulladékok aerob mikroorganizmusok közreműködésével, hőfejlődés közben lebonthatók (Kerényi, 1990). A komposztálás során a mikro- és makroorganizmusok a komposztálandó szerves anyagokat egyszerű alapvegyületekre, széndioxidra, ammóniára, szulfátra és vízre bontják és a szerves anyagokból humusz képződik aerob körülmények között (Alexa és Dér, 1998).

A komposztálási folyamat főbb szakaszai:

1. Bevezető szakasz: az intenzív tápanyag lebontás miatt viszonylag rövid ideig, 1-2 napig tart. A felszaporodó mikroorganizmusok a könnyen bontható vegyületekkel táplálkoznak (cukrok, fehérjék). Ennek hatására a prizma hőmérséklete gyorsan eléri a 35 °C-ot. A felszaporodó szerves sav tartalom következtében a pH érték csökken (Alexa és Dér, 1998).
2. Termofil, vagy lebontási szakasz: során 50 °C körüli hőmérsékleten a termofil gombák és sugárgombák, 65 °C körül a spórás baktériumok végzik a bontást. A termofil fázis mikroorganizmusai elkezdik a könnyen bomló szénhidrát és nitrogén tartalmú szerves vegyületek bontását. Emellett aktív cellulóz és hemicellulóz bontás is megfigyelhető. A fehérjék mikrobiális bontása következtében megnő az NH₃ gáz koncentrációja a prizmában. A pH érték lúgos

tartományba csap át. A termofil fázis időtartama a tápanyag összetételétől és a technológiától függően 1-5 hét (Kocsis, 2005).

3. Mezofil szakasz: jellemző hőmérsékleti tartománya a 40-45 C°. A fázisban az intenzív cellulóz bontás mellett megkezdődik a nehezen bontható lignin vegyületek bontása. A lebontó folyamatokkal párhuzamosan stabilabb szerkezetű humuszanyagok építése is folyik. A szalma lebomlásával a prizma pórustere beszűkül. Az átalakulási fázisnak is nevezett szakasz időtartama általában 2-4 hét (Alexa és Dér, 1998).
4. Felépülési (érési) szakasz: során megkezdődik a komposzt érése, a komposzt stabilizálódik. A reakciók a megmaradt szerves anyagban mennek végbe, amelynek eredményei a stabil humusz anyagok vagy humin savak. A komposztban megjelennek a talajlakó élőlények, melyek részt vesznek a szerves maradványok fizikai felaprózásában. Az érési fázis néhány hónapot igényel (Kocsis, 2011).

A komposztálás folyamatát számos tényező befolyásolja, melyek közül a legfontosabbak a szerves anyag C/N aránya, a nedvességtartalom, az oxigén ellátottság, a kémhatás, a hőmérséklet és egyes nehézfémek (Epstein, 1997; Alexa és Dér, 2001; Kocsis, 2005).

A komposztálás során az optimális C/N arány 25-35:1, mely a szervesanyag-tartalom függvényében változik. Szűkebb C/N arány esetében a nitrogén ammónia formájában távozik, tágabb C/N arány esetén a szerves anyag bomlása csak nagyon lassan indul be (Alexa és Dér, 2001; Kocsis, 2005).

A nedvességtartalom jelentősen befolyásolja a komposztálás mikrobiális aktivitását, ezáltal a hőmérsékletet, a lebontás sebességét és a mikrobiális populáció összetételét (Epstein, 1997). Az esetlegesen fellépő vízhiány (40% alatti nedvességtartalom) korlátozhatja a mikrobiális aktivitást. Túl nedves viszonyok között (>60% nedvességtartalom) pedig anaerob viszonyok keletkeznek (Alexa és Dér, 2001).

A komposztálási folyamatokban résztvevő mikroorganizmusok számára aerob körülményeket kell biztosítanunk, azaz a komposztnak morzsás, laza szerkezetűnek kell lennie. Amennyiben levegőtlen körülmények lépnek fel, az anaerob mikrobák

szaporodnak el. Ebben az esetben a komposzt rothadni kezd, melyet a felszabaduló metán és kénhidrogén miatt bűzös szag jelez (Benedek, 1990; Alexa és Dér, 1998).

A toxikus, illetve nehézfémek kedvezőtlen hatással lehetnek a mikroorganizmusok fejlődésére és anyagcsere folyamataira (Kocsis, 2005).

A komposzt hőmérsékletének legfontosabb hatása a sterilizálás, azaz minél rövidebb idő alatt (3–6 nap) szükséges elérni a minimális komposztálási hőmérsékletet (55–65 °C), és azt néhány hétig fenntartani (Alexa és Dér, 1998; 2001).

Kocsis (2005) szerint a komposztálás optimális pH-tartománya 6,0-7,5 között van. Ha a pH túl alacsony, vagy túlságosan magas, akkor a hőmérséklet nem éri el az optimális 55 °C-ot.

2.5 A szennyvíziszap komposzt homokjavításra történő használatának hazai és nemzetközi tapasztalatai

Az újabb kísérleti eredmények szerint a homoktalajok kolloidtartalmának növelésére potenciálisan alkalmas anyagok választéka és mennyisége tovább bővíthet a szennyvíztisztítás során keletkező iszapok komposztálásával. A szennyvíziszap komposzt a talaj szerkezete, termékenysége szempontjából kedvezőbb hatású, mint a kiindulási anyag, a szennyvíziszap (Csubák és Mahovics, 2008; Makádi, 2010).

A megfelelően kezelt szennyvíziszap kiváló beltartalmi tulajdonságokkal rendelkezik, és átveheti az egyre kisebb mennyiségben keletkező szerves trágyák szerepét. A szennyvíziszap komposzt a mezőgazdaságban tápanyag-utánpótlásra és a talajtermékenység növelésére szolgál (Benedek, 1977; Tamás, 1998; Zinati et al., 2001; Tamás és Blaskó, 2008).

A hazai szennyvíziszap komposzt kísérletek elsősorban a talaj kémiai tulajdonságaiban bekövetkező változásokra fókuszálnak, és csak elvétve találunk egy-egy fizikai paramétert vizsgáló kutatást.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a nehézfémekkel nem, vagy kis mértékben szennyezett iszapok felhasználása nem okoz nehézfém felhalmozódást a talajban. Ezen kívül a komposztnak talajjavító hatása van a szerves- és ásványi kolloidokban szegény talajokon (Simon et al., 2000; Csubák és Mahovics, 2008). Tomócsik et al. (2015) kísérletükben a háromévente kiszórt szennyvíziszap komposzt növelte a talaj szervesanyag-tartalmát és nitrogén szolgáltató képességét. Az asszimilációs

folyamatokban fontos szerepet betöltő magnézium (Mg) mennyiségére szintén pozitívan hatott a komposzt kezelés.

A komposzt kezelés általában kedvezően befolyásolja a gazdasági növények fejlődését, beltartalmi paramétereit és a terméshozamokat. Petróczki (2004) kommunális szennyvíziszapból készült komposzt hatását vizsgálta a növényi fejlődésre és a beltartalomra. A szennyvíziszap komposzt a kísérletben használt tavaszi árpa beltartalmi paramétereire és az ezerszemtömegre kedvező hatással volt. A cukorrépa terméshozama a nagy adagú komposzt hatására szintén jelentősen nőtt.

A homoktalajok szilárd fázisát többségében elemi szemcsék alkotják, ezáltal a pórustérfogat kisebb. Szerves és ásványi ragasztó, továbbá cementáló kolloidok hiányában a homoktalajok aggregálódása csekély mértékű. E talajok nem, vagy kis mértékben tartalmaznak mikro- és makroaggregátumokat, melyek nagymértékben hozzájárulnak a stabil talajszerkezet kialakításához. A rosszul aggregálódott, többnyire gyengén lemezes szerkezetű homoktalajok általában tömörödéssel hajlamosak. Sok esetben térfogattömegük elérheti és meghaladja a $1,7\text{--}1,8\text{ g/cm}^3$ térfogattömeg értékét. Ezáltal összporozitásuk az optimális 50% helyett 40% alá csökken (Stefanovits et al, 1999).

A hazai és nemzetközi irodalomban számos tanulmányt és kutatási eredményt találunk, melyek a szerves anyagoknak, valamint a komposztoknak a talaj szerkezetére, pórusviszonyaira gyakorolt kedvező hatását igazolják. Az eredmények szerint a komposzt kezelés általában csökkenti a talaj térfogattömegét és növeli az aggregátum stabilitását (Leroy et al., 2008; Mylavarapu és Zinati, 2009).

Komposztált hulladékkal kezelt homoktalaj térfogattömegének csökkenéséről számoltak be Sabrah et al. (1995). Különböző szerves anyagok (baromfi, lakossági zöld- és ételhulladék komposztok) talajtani hatásait vizsgálták Zebarth et al. (1999). A három éven át tartó komposzt kísérletben a talaj térfogattömege szignifikánsan csökkent. De Leon-González et al. (2000) homoktalaj aggregátum stabilitását vizsgálták komposzttal és karbamiddal kezelt talajra. A komposzt kezelés hatására jelentősen megnövekedett az 1 mm-nél nagyobb aggregátumok aránya.

A fagyás-olvadás hatására bekövetkező változásokat tanulmányozták Angin et al. (2013) kommunális komposzttal kezelt homoktalajon. A komposzt kezelés hatásainak megállapítására a talaj térfogattömegének, aggregátum stabilitásának, légáteresztő képességének, elektromos vezetőképességének változását követték nyomon. Kimutatták, hogy a komposzt nemcsak a fagyás-olvadás okozta negatív

hatásokat csökkentette, hanem javította az aggregátum stabilitást és a légáteresztő képességet. A komposzt kezelés hatására szignifikánsan csökkent a talaj térfogattömege is.

A homoktalajok víznyelő- és vízvezető képessége általában nagy, kivéve, amikor a felszínen kialakult tömörödött kéreg miatt nagymértékben lecsökken a beszivárgás. Míg a felszínre került nedvesség lassan szivárog be a talajba, addig a talajba jutott nedvesség gyorsan átszivárog a talajszelvényen. A homokszemcsék között lévő nagyméretű pórusok aránya jelentős, a kapilláris pórustér aránya csekély. Mindezek következtében a homoktalajok talajvízből történő nedvességpótlása korlátozott, valamint kevés hasznosítható vízkészlettel rendelkeznek (Várallyay, 1984). A szennyvíziszap komposzt hatására jelentősen javul a talaj vízgazdálkodása és tápanyag-szolgáltató képessége (Müller, 1991; Martens és Frankenberger, 1992, Turner et al., 1994).

A szennyvíziszap és a szennyvíziszap komposzt a talaj víztartó képességére gyakorolt kedvező hatását már korábban leírták (Epstein et al., 1976). Sabrah et al. (1995) komposztált városi hulladékot használtak homoktalaj javítására. A kísérlet eredményeként statisztikailag igazoltan nőtt a talaj szabadföldi vízkapacitása, a növények számára hasznosítható víz mennyisége, valamint a víztartó pórusok mennyisége. A talaj hidraulikus vízvezető képessége csaknem felére csökkent. Ezzel szemben Celik et al. (2004) a komposzttal kezelt homoktalaj felső (0-30 cm-es) talajrétegében mérték a legnagyobb hidraulikus vízvezetőképesség-értékeket. A komposzt kezelés a hasznosítható víztartalom növekedését is magával vonta.

Egyes kísérletekben a talaj víztartó kapacitása megduplázódott a komposzt kezelés hatására. A kezelt talajon a felszíni elfolyás jelentős késéssel indult meg esőztetés (19-62,4 mm/óra csapadékintenzitás) hatására. A komposzt kezelés tehát növelte a talajfelszíni vízbeszivárgást és csökkentette a felszíni elfolyást (Harrison et al., 1997).

A Wroclawi Egyetem munkatársai két különböző kommunális komposzttal végeztek kísérleteket (Weber et al., 2007). Röviddel a kijuttatás után a talajban statisztikailag igazolhatóan nőtt a pórusok összterfogata, a szabadföldi vízkapacitás és a növények számára hasznosítható víz mennyisége. A második évtől azonban a kezelés kedvező hatása a talaj fizikai tulajdonságaira nem volt kimutatható. Suzuki et al. (2007) Thaiföld északi részén végeztek talajjavítási kísérletet homoktalajon. A komposzt

kezelés hatására nőtt a talaj összporozitása, megváltozott a pórusok méret szerinti eloszlása, ezáltal növelve a növények számára hasznosítható víztartalmat.

A komposzt kedvező hatása a megfelelő talajszerkezet kialakulásán túl jelentősen befolyásolja a talaj vízbefogadó képességét és nagymértékben csökkenti erózióérzékenységét. A komposzt kezelés által megnövekedett szervesanyag-tartalom pozitív hatású a csapadék talajba szivárgására (Kroulík et al., 2010).

Komposzttal kezelt talaj vízbefogadó képességének jelentős növekedéséről számoltak be Pit et al. (1999) is. A kutatás bizonyítja, hogy a komposzt hatékonyan javítja a talaj fizikai tulajdonságait, növeli az összporozitást, a makropórusok mennyiségét, melyek a talaj víztartó- és vízvezető képességét befolyásolják.

A komposzt alkalmas leromlott szerkezetű városi talajok javítására, valamint az erózió mértékének csökkentésére. Emellett a talaj megnövekedett szervesanyag-tartalma jelentősen hozzájárul a térfogattömeg csökkenéséhez; az aggregátum stabilitás, az összporozitás és a beszivárgás növekedéséhez (Cogger, 2005).

A szennyvíziszap komposzt alkalmas a rézsűn kialakult vízerózió mérséklésére (De O'na et al., 2009). Szerves hulladék komposzt eróziócsökkentő hatását igazolták Tejada és Gonzalez (2006, 2007) is. Eredményeik szerint a szerves anyag kedvezően hatott a talajtulajdonságokra, és csökkent az erodált talaj mennyisége a kontroll területen mért értékekhez képest. Javasolták, hogy a talaj erodálhatóságát (K) leíró egyenletben a talaj szervesanyag-tartalmának kémiai összetételét és a talaj szerkezeti stabilitását is figyelembe kell venni. Badalíková és Bartlová (2014) szintén megállapították, hogy a komposzttal kezelt talajok víztartó képessége és a csapadék talajba szivárgása jelentősen megnőtt, ami az erózió elleni védekezésben jelentős. A komposzt előnyös hatásainak elérése érdekében a talaj háromévente történő felülkezelését ajánlják.

Az előzőleg ismertetett tanulmányok a komposzt kedvező hatásáról számolnak be, azonban Arthur et al. (2011) megállapítása szerint a talajba kevert komposztfélék többszöri alkalmazása nem javította jelentősen a talaj vízerózióval szembeni ellenállását. A komposzt csupán a talaj aggregátum stabilitását növelte a 10 éves kísérletben. Hasonló megállapításra jutottak Bakr et al. (2012) komposzt és mulcs takarás erózióra gyakorolt hatását vizsgálva. A komposzttal kezelt lepel és barázda eróziós közutak rézsűjén 67 %-kal nőtt az elfolyt víz lebegőanyag-tartalma, tehát csökkent az eróziógátló hatás.

Az irodalmi adatok többsége alapján megállapítható, hogy a szennyvíziszap komposzt hatására pozitívan változtak meg a homoktalaj fizikai tulajdonságai. A komposzt alkalmazása általában kedvezően befolyásolta a talajszerkezet kialakulását. Javította a talaj pórusviszonyait és csökkentette a talaj térfogattömegét. Pozitív hatással volt a talaj vízgazdálkodási tulajdonságaira, azaz a talaj vízbefogadó-, víztartó képességére és növelte a hasznosítható víz mennyiségét. Emellett jelentősen hozzájárult a talaj erózióérzékenységének csökkentéséhez.

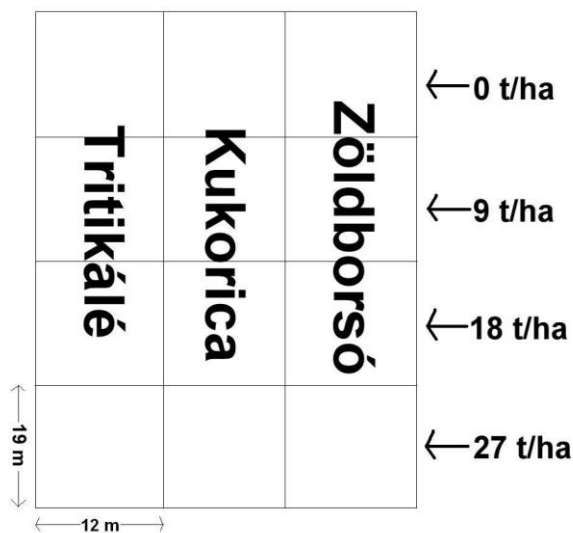
3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A szennyvíziszap komposzt kísérlet beállítása

A DE ATK Nyíregyházi Kutatóintézet területén 2003-ban kezdték el a szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági felhasználásának vizsgálatát. A beállított tartamkísérletben vizsgáltam a Nyírkomposzt (a Nyírségvíz ZRt-vel közösen kifejlesztett szennyvíziszap komposzt készítmény) rendszeres alkalmazásának talajfizikai hatását.

Dolgozatomban arra kerestem a választ, hogy kovárványos barna erdőtalajon alkalmazott szennyvíziszap komposzt hogyan befolyásolja a talaj egyes fizikai tulajdonságait. A kutatás során a talaj térfogattömegének, légáteresztő képességének, víztartó- és vízvezető képességének változását vizsgáltam 2011 és 2014 között.

A kísérletben 5 blokk található, a parcellák mérete 12 x 19 m. A kísérlet kiterített vetésforgóban termesztett növényei a tritikálé (x *Triticosecale* Wittmack), a kukorica (*Zea mays* L.) és a zöldborsó (*Pisum sativum* L.). A szennyvíziszap kísérlet egy blokkjának elrendezését az 1. ábrán mutatom be.



1. ábra

A szennyvíziszap kísérlet egy blokkjának elrendezése (forrás: saját)

A terület földrajza (saját adatok):

- Tengerszint feletti magasság: 107 m
- Területhasznosítás: szántó
- Évi középhőmérséklet: 9,8 °C
- Évi csapadékmennyiségek: 2011-ben 454 mm, 2012-ben 382 mm, 2013-ban 485 mm, 2014-ben 539 mm
- Alapkőzet: eolikus homok

A kísérleti terület jellegzetes talajtípusa a kovárványos barna erdőtalaj, melynek szelvénye a 2. ábrán látható.



2. ábra

Kovárványos barna erdőtalaj szelvénye a szennyvíziszap komposzt hatását vizsgáló kísérlet területén (forrás: saját)

A kísérlet beállításakor, a 0-30 cm-es talajrétegből vett talajminták legfontosabb kémiai és fizikai jellemzőit a 2. táblázatban foglaltam össze (Makádi, 2010).

2. táblázat

A vizsgált terület felső (0-30 cm) talajrétegének paraméterei a kísérlet beállításakor
(Makádi, 2010)

pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Humusz (%)	NO ₃ -N (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	Kötöttség (K _A)
6,2	5,3	0,9	9,6	240,1	183,3	28

A kísérletben használt komposzt alkotói: szennyvíziszap 40% (m/m), szalma 25% (m/m) és ásványi összetevők (riolit 30% (m/m), bentonit 5% (m/m)).

A komposztkészítés a Nyírségvíz ZRt Központi komposztáló telepén, zárt térben (7 000 m²-es zárt csarnok) történő prizmás érlelés, átforgatásos szellőztetéssel történik. A szennyvíziszap komposzt összeállításakor és felhasználásakor a 36/2006. (V.18.) FVM rendeletben előírt határértékeket vettük figyelembe. A komposztot eddig 5 alkalommal juttattuk ki 2003, 2006, 2009, 2012 és 2015 őszén az istállótrágyához hasonlóan 0, 9, 18 és 27 t/ha (sz.a.) dózisban. A komposzt bedolgozása a talajba középmező (20-25 cm) szántással történt.

A 2009-ben és 2012-ben kijuttatott komposzt legfontosabb paraméterei a 3. táblázatban találhatóak. A laborvizsgálatokat az SGS Hungaria Kft. végezte.

3. táblázat

A 2009-ben és 2012-ben kijuttatott szennyvíziszap komposzt paraméterei

Paraméter	2009	2012
pH (H ₂ O)	n.m.	7,18
pH (KCl)	6,36	n.m.
Szárazanyagtartalom [m/m% eredeti anyag]	45,88	n.m.
Szervesanyag tartalom [m/m% szárazanyag]	20,6	27,63
Vízben oldható összes só [m/m% szárazanyag]	3,02	2,15
Összes N-tartalom [m/m% szárazanyag]	1,15	1,26
Összes P ₂ O ₅ -tartalom [m/m% szárazanyag]	2,71	1,04
Összes K ₂ O-tartalom [m/m% szárazanyag]	0,47	0,27
Összes Mg-tartalom [m/m% szárazanyag]	0,32	0,43

n.m.: nem mért adat

3.2 A talaj szervesanyag-tartalma, kötöttsége és szemcseösszetételének meghatározása

A mechanikai összetétel, a kötöttség és szervesanyag-tartalom meghatározásához parcellánként és mélységenként három-három átlagmintát (15 ismétlés) vettünk.

A mechanikai összetétel vizsgálatot az SGS Hungaria Kft. végezte az MSZ-08-0205:1978 szabvány szerint. A becsült bizonytalanság: $> 0,5 = \pm 5$ relatív %.

A szervesanyag-tartalom mérés az MSZ-21470:1983; 2 szabványnak megfelelően, Tyurin módszer szerint (kálium-bikromát oxidálószerrel) történt. A mérési megbízhatóság/kimutatási határ: ± 10 relatív %.

A talaj kötöttségi számának (K_A) meghatározása az MSZ-08 0206/1-78 szabvány szerint, 100 g légszáraz talajhoz a ml-ben kifejezett vízmennyiség adagolásával, az ún. „fonalpróba” eléréséig történt.

3.3 A talaj térfogattömege és nedvességtartalmának mérése

A laboratóriumi mérésekhez 100 cm^3 -es bolygatatlan talajmintákat vettem az 5-10 és a 20-25 cm-es mélységekből, 5 ismétlésben.

Az első két mintavétel a 2009-es komposzt kezelést követő 3. évben, azaz 2011.11.22-én a tritikálé vetését követően 1,5 hónappal; és 2012.07.23-án a tritikálé aratását követően történt. Az utóbbi két mintavételt pedig a 2012 őszi komposzt kezelést követő első két évben, 2013.07.16-án a borsó betakarítása után, és 2014. október 10-én kukorica növényállományból végeztem. A mintákat minden esetben az V. számú blokk középső parcellájából vettem. A mintavételi időpontok megválasztásánál azt tartottam szempontnak, hogy a mintavételt lehetőleg a tenyészidőszak végén végezzem.

A talajfizikai laboratóriumi méréseket a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézetében végeztem.

Az eredeti szerkezetű talajminták térfogattömegét 24 órás $105 \text{ }^\circ\text{C}$ -on történő szárítás után határoztam meg. A száraz talaj tömegét táramérlegem mértem vissza. A mért adatok alapján a térfogatmérés pontossága: ± 5 relatív %.

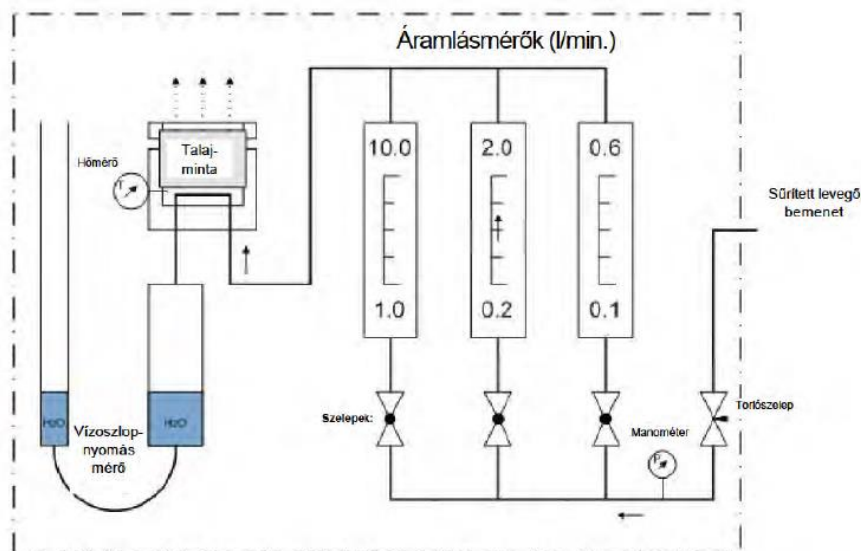
A talaj nedvességtartalmának meghatározását $105 \text{ }^\circ\text{C}$ -on, súlyállandóságig, gravimetriás (szárítószekrényes) módszerrel végeztem (Buzás, 1993). A mérési megbízhatóság/kimutatási határ: ± 5 relatív %.

3.4 A talaj légáteresztő képesség mérése

A talaj légáteresztő képességének meghatározására Eijkelkamp M1-08.65 típusú készüléket használtam. A műszer bolygatatlan talajminta levegő áteresztési vezetőképességét méri.

A műszerrel a talajok légáteresztő képességének laboratóriumi mérése lehetséges. A készülék működtetéséhez 0,5 bar nyomású száraz, tiszta levegő szükséges. A készülékhez többféle mérőkamra használatára van lehetőség különböző átmérővel (50, 56, 100 mm). A mintán átáramló levegőmennyiség mérése különböző érzékenységtű áramlásmérőkkel történt különböző légnyomásértékeken. A gyártó Eijkelkamp cég 1,25 % mérési pontosságot ad meg.

A mérés kb. 10 perc alatt elvégezhető, a talaj pneumatikus tulajdonságai jellemezhetőek. A különböző talajnedvesség-tartalmak okozta hiba kiküszöbölésére a légátjárhatóságot egységesen pF-2,3 nedvességtartalom mellett határoztam meg, figyelembe véve Dunai et al. (2008) tapasztalatait. A bolygatatlan mintákat, miután pF-2,3 szívóértéknél elérték az egyensúlyi tömeget, kivettem a pF-mérő kádból. Lemértem a tömegüket, majd a szitaszövet eltávolítása után; 0,001 bar (0,1 kPa) nyomás mellett megmértem a talajmintákon átáramló levegő mennyiségét. A méréseket öt ismétlésben végeztem. A légátjárhatóság-mérő készülék sematikus ábrája a 3. ábrán látható.



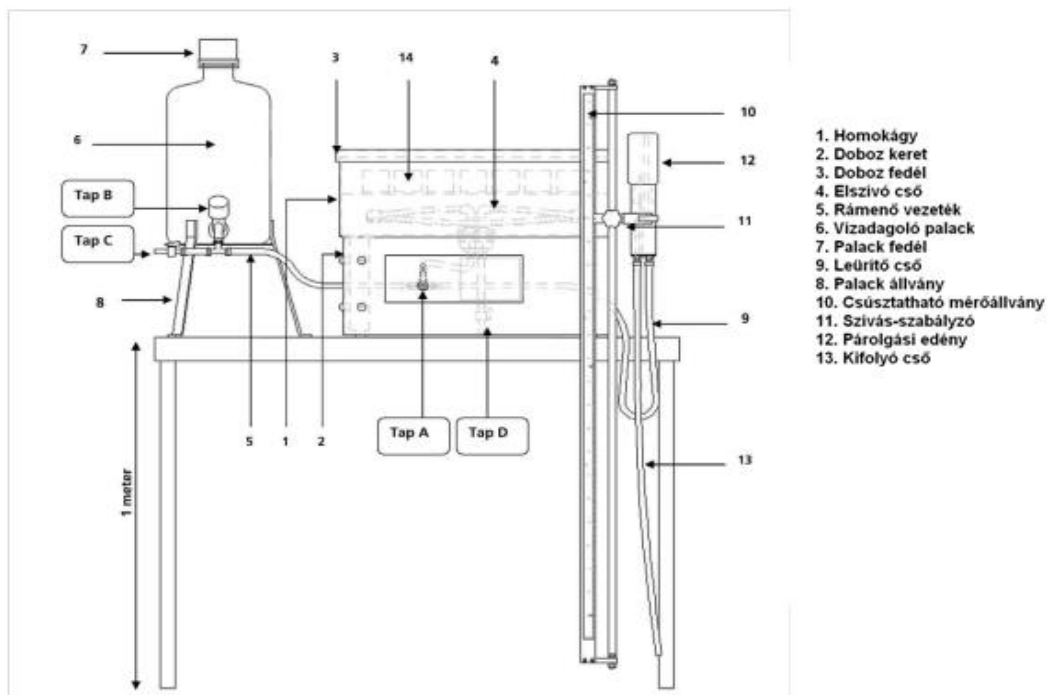
3. ábra

Eijkelkamp típusú légátjárhatóság mérő készülék mérési elrendezése (forrás: I₅)

3.5 A talaj víztartó képességének mérése

A talaj víztartó képességének meghatározásához a homokágy-, a homok/kaolinágy-, valamint a nyomásmembrános készüléket használtam. A méréseket a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézetében végeztem.

A homokágy készülék (4. ábra) pF-0 (telítettség) és pF-2,0 (-100 hPa) tartományban használható. A talajmintára a szívóhatást homok viszi át, mely jó kontaktust teremt a minta talajával. Ez a tulajdonság a homokot jobb szívásközvetítő közeggé teszi a merev anyagú kerámialemeznél. A készülék a talajmintákra szívást alkalmaz és egyszerre 40 db minta mérésére alkalmas. A nyomás (szívás) mértékét a szívás-szabályzóban és a talajminta középmagasságában megállapítható vízszint közötti különbség adja. A nyomásértékek 0 és -100 cm között állíthatók be a szívás-szabályzó megfelelő beállításával. Miután az adott szívóértéknél egyensúlyi állapot állt be, megmértem a minták tömegét. Az utolsó nyomásértéken a minták tömegének mérése után szárítószekrényben 105 °C-on tömegállandóságig szárítottam azokat. Ezután a száraz tömeg kivonásával kiszámoltam, hogy az adott szívásértékhez mekkora víztartalom tartozik (Buzás, 1993).

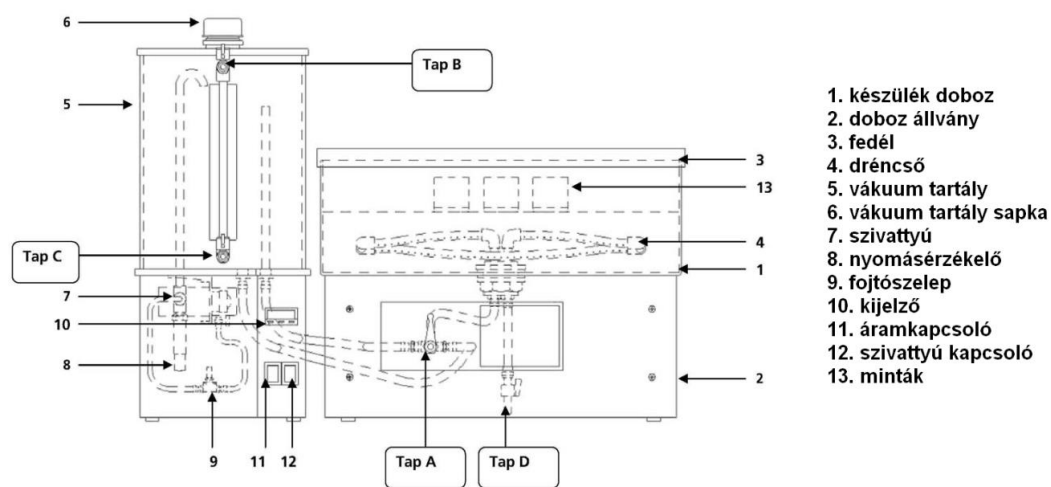


4. ábra

Eijklkamp típusú homokágy készülék mérési elrendezése (forrás: I₅)

Magasabb pF-értékek mérése további készülék használatát teszi szükségessé. A homok/kaolinágy készülék pF-2,0 (-100hPa) és pF-2,7 (-500 hPa) tartományban teszi lehetővé a nedvességtartalom meghatározását (5. ábra). A talajmintára a szívóhatást kaolinnal fedett homok viszi át a vákuum-tartályon és a drénrendszeren keresztül. A nyomásértéket elektronikus szabályozó állítja be (Buzás, 1993).

A homokágy, illetve homok-kaolinágy készülékekkel mért eredmények az adott minta száradási görbéjének pontjait adják csökkenő nyomás mellett. A nyomásértékek általában standard vízpotenciál-növekmények. A nedvesedési görbe viszont a víztartalom alakulását növekvő nyomásértékek mellett mutatja (Filep, 1999a).



5. ábra

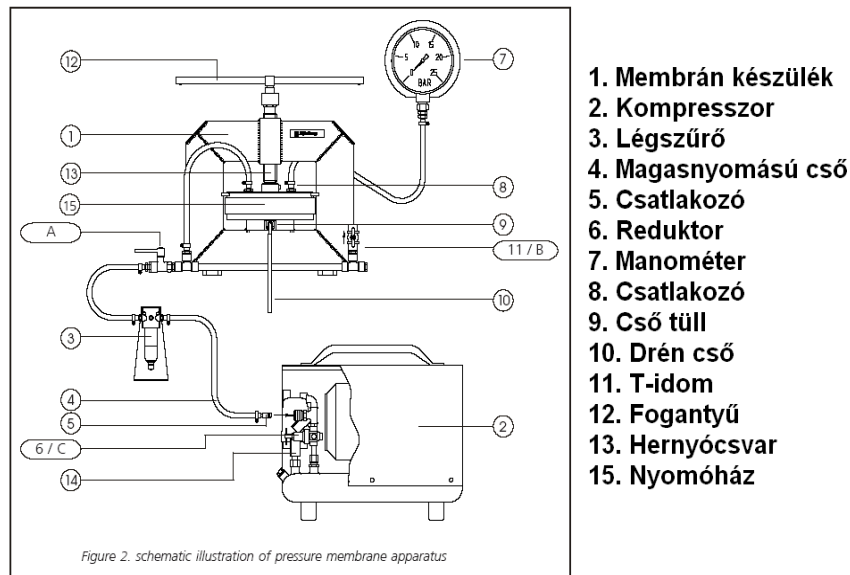
Eijkelkamp típusú homok/kaolin-ágy mérési elrendezése (forrás: I₅)

A nyomásmembrános készülék pF-3,0-tól pF-4,2-ig teszi lehetővé a nedvességtartalom meghatározását (6. ábra). A pF-4,2 érték -15000 hPa nyomásnak felel meg, melyet általánosan a növény által felvehető nedvesség alsó határának tekintenek (Filep, 1999a).

A mérés során vízzel telített talajmintákat helyeztem a mikroszkópikus pórusokat tartalmazó celofán membránra. Ez a membrán lehetővé teszi, hogy a víz eltávozzon a mintából, de visszatartja azt a légnyomást, amit a membrán felső felületére gyakorolunk (Klute, 1986). Az extraktorban a nyomást sűrített levegővel biztosítottuk.

A talajmintákból a gyakorolt nyomásnak és a talajban fellépő vonzásnak megfelelő mértékben távozott el a víz és folyt ki a membránon keresztül. Az egyensúlyi

állapot elérését követően a mintákat eltávolítottam, tömegüket megmértem, majd szárítószekrényben 105 °C-on tömegállandóságig szárítottam.



6. ábra

Eijkelkamp típusú nyomásmembrános készülék mérési elrendezése (forrás: I₅)

2013-ban és 2014-ben a mérés időigényessége miatt hét különböző szívásértékhez tartozó nedvességtartalmat határoztam meg, az előző két évben vizsgált kilenc szívásértékhez képest.

3.5.1 Mérési hiba

A mérési eredmények gyakorlati felhasználásához szükséges tudnunk, hogy a kapott eredmény mekkora pontossággal teljesül, ezért a mérési eredményhez mindig meg kell adni a hibahatárt is.

A mérés abszolút hibájának a mért értékeknek az átlagtól mért legnagyobb eltérését nevezzük, melynek képlete $\Delta x = \max |x_i - x_{\bar{a}}|$. Mivel az abszolút hiba nem jellemzi jól a mérés pontosságát, ezért a mérési pontosságot az abszolút hiba helyett a relatív hibával szokás jellemezni. A relatív hiba azt mutatja meg, hogy a mérés abszolút hibája hányad része a "pontos" értéknek. A relatív hiba képlete: $\delta x = \Delta x / x_{\bar{a}}$. A relatív hiba képlete %-ban kifejezve: $\delta x = (\Delta x / x_{\bar{a}}) * 100$ (forrás: I₆).

A talajok víztartó képességének mérése elég nagy hibával terhelt. A mérés hibája egyrészt a mérési módszerből, másik részről a minta heterogenitásából ered. Az

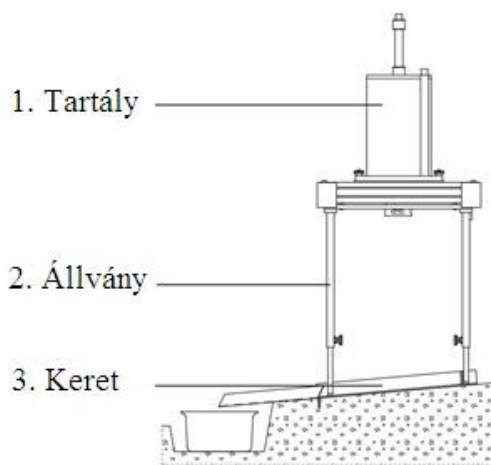
általam használt pF-mérő kád mérési hibájaként a gyártó Eijkelkamp cég 5%-on belüli pontosságot közöl, kizárólag az általa gyártott gyűrűkkel. A mérés során, miután adott nyomásnál egyensúlyi állapot állt be, a minták tömegét 0,1 g pontosságú kalibrált táramérleggel mértem le, mivel azok tömege meghaladta az analitikai mérleg mérési határát. PF-3,4 és pF-4,2 tartományban a minták egyensúlyi tömegének mérését már 0,001 g pontosságú kalibrált analitikai mérleggel végeztem.

A statisztikai elemzés során a mérési adatokból kiszámoltam a számtani átlag standard hibáját. Ez a szórás osztva a megfigyelések négyzetgyökével. A mérés pontosságát a tudományban a 95%-s valószínűséghez tartozó értékkel jellemzik. Kétféle módon adhatjuk meg, vagy \pm értékkel a számtani átlag után, vagy az átlag százalékában. A százalék is plusz mínusz irányban értelmezendő. Ezek alapján a pF-méréseim pontossága (relatív hibája) 1 és 15% között ingadozik.

3.6 A beszivárgás és az erózióérzékenység vizsgálata

A talajerózió mértéke erősen függ a talajszerkezettől. Ismerete a mezőgazdasági hasznosítású területek talajvédelme szempontjából fontos. Az Eijkelkamp 09.06 mesterséges esőztető készülékkel a talaj eróziós tulajdonságai vizsgálhatók. Ez a kisméretű esőztető berendezés alkalmas a talaj vízvezető képességének mérésére és a talaj erózióérzékenységének jellemzésére. A berendezés max. 360 mm/óra intenzitású csapadék szimulálását teszi lehetővé 0,0625 m² felületen (forrás: I₇).

A készülék három fő részből áll: egy beépített nyomásszabályozóval ellátott kapilláris víztartályból, egy állítható magasságú állványból és egy a talajfelszínhez rögzíthető alumínium keretből (7. ábra).



7. ábra

Eijkelkamp 09.06 esőztető szimulátor sematikus rajza (forrás: I₇)

A szórófej maga henger alakú víztartály, melynek térfogata 2300 ml. A vízszint a szintjelző cső oldalán olvasható le, mely a készülék használatakor dugóval lezárt. A víz a szórófej 49 nyílásán keresztül jut a talajfelszínre. A nyomásszabályozó és a kapillárisok hossza, valamint belső átmérője együttesen határozza meg a csapadék intenzitását. A kapillárisokra kifejtett nyomás a levegőztető cső le-fel mozgatásával növelhető, illetve csökkenthető. A nyomás szabályozásával korrigálható a víz viszkozitásának befolyásoló hatása a kapillárisok kiürülési sebességére és a kívánt csapadékintenzitásra. A nyílások alsó végei rövid csővel ellátottak. Ezeknek a csöveknek a belső, illetve külső átmérője határozzák meg az esőcseppek méretét és az intenzitást.

A szórófejet az állványra helyezzük a méréskor. Az alumínium keretet szegekkel rögzíthetjük a talajfelszínre, hogy megakadályozzuk a víz oldalirányú beszivárgását.

Az esőztető mérés menete

2014-ben a talajerózió vizsgálatokat két alkalommal, a nyári (2014.08.18.) és az őszi időszakban (2014.10.10.) végeztem. Mindkét alkalommal az esőztető méréseket a kísérlet V. számú blokkjában, kukorica sorközökben végeztem.

Mivel a beszivárgás sebességére több tényező is hatással van, úgymint a szemcseméret, a talaj nedvességtartalma, pórustérfogata és szerkezetessége (Filep, 1999a), ezért az esőztetés megkezdése előtt a kísérleti parcellák talajából az 5-10 cm és a 20-25 cm mélységből 100 cm^3 térfogatú bolygatatlan talajmintákat vettem.

A mérés megkezdése előtt a vizsgált terület felszínéről eltávolítottam a növényi részeket, majd egy 15° -os lejtőt alakítottam ki. Ezután a felszínre helyeztem az alumínium fémkeretet, rögzítettem a talajhoz, és erre állítottam fel az állványt. A lejtő aljára egy trapéz alakú lemezt tettem, mely a lejtőről elfolyó vizet és hordalékot a gyűjtőedénybe tereli.

A csapadék intenzitását a hőmérséklet függvényében állítottam be az alábbi képlettel (forrás: I₇):

$$h = 100 \text{ mm} - 0,65 * \text{hőmérséklet } (^\circ\text{C}), \text{ ahol}$$

h: az esőztető tetején lévő cső hossza (mm)

a 100 mm adja meg a levegőztető cső kezdeti helyzetét kalibrálásakor

0,65 érték a hőmérséklet korrekciós tényezője (1 fok különbség körülbelül 4 ml/perc eltérést jelent).

A csapadékintenzitás beállítására a következő táblázat volt segítségemre:

4. táblázat

A szimulált csapadékintenzitás beállításhoz szükséges adatok

Víz hőmérséklet ($^\circ\text{C}$)	Csapadék intenzitása (ml/perc)	h* (cm)
10	350	10
20	375	9
40	450	8

h*=víztartály teteje-levegőztető cső teteje

A mérés időigényessége miatt a vizsgálatokat négy, illetve három ismétlésben végeztem. Stopperóra segítségével percenként leolvastam a vízoszlop szintjének csökkenését, és cseréltem a víz és a hordalék gyűjtésére szolgáló edényt. A vizsgálatokat minden esetben tíz percen keresztül folytattam.

Augusztusban 185 mm/óra, októberben 130 mm/óra csapadékintenzitást alkalmaztam. A kísérletek során azért alkalmaztam extrém csapadékintenzitást, mivel az előzetes vizsgálatok során – kisebb öntözővíz mennyiség mellett – a komposzt kezelés kedvező hatását tapasztaltam. Továbbá az éghajlatváltozással kapcsolatos előrejelzések az extrém csapadékesemények gyakoriságának növekedését prognosztizálják (Várallyay, 2008).

A lefolyt vizet laboratóriumban szűrőpapíron átszűrtem és mérőhengerrel megmértem a víz mennyiségét. A csapadékintenzitás és a lefolyt vízmennyiség különbségéből kiszámoltam a talajba szivárgott víz mennyiségét. A víznyelés intenzitása a talajban exponenciálisan csökken az idővel (Horton, 1945) egy állandó értékig (vízáteresztés), ezért a mért adatokra a beszivárgást leíró exponenciális függvényt illesztettem.

A visszamaradt hordalékot 105 °C-on szárítószekrényben tömegállandóságig szárítottam. A területről időegység alatt elszállított hordalék tömegét ezzel meghatároztam.

Erodálhatósági (K) tényező számítása

Az erodálhatósági (K) tényező az USLE egyenletet (Wischmeier és Smith, 1978) alapján számítható, amennyiben a növénytermesztés és gazdálkodás tényezőjét (C) és a talajművelés tényezőjét (P) konstansnak vesszük:

$$K = A / (R * L * S)$$

„A” érték a 10 perces mérés során erodált talaj össztömege t/ha mértékegységben kifejezve.

Az esőtényező (R) SI mértékegységben (MJ * mm/ha/h) meghatározásához a Foster et al. (1981) által kidolgozott számítási módszert alkalmaztam, R értéke a 30 perces maximális intenzitás ($I_{\max 30}$) és a csapadék energiája (E) szorzataként vehető figyelembe, azaz

$$R = EI_{30} = E * I_{\max 30}.$$

Az $I_{\max 30}$ értéke esetünkben 3 mm/perc, azaz 185 mm/h csapadékintenzitásnak felel meg.

A csapadék energiáját (E) a következő egyenlettel számoltam:

$E = e * 10$ perc alatt lehullott csapadék mennyisége (mm), ahol

e = a csapadék energiája (MJ * mm), esetünkben konstans érték (e = 0,283).

A lejtőhosszúság (L) tényezője az alábbi egyenlettel számítható (Foster et al., 1981):

$L = (l/22,13)^m$, ahol

l a lejtőhosszúság (0,25 m), m hatványkitevő a lejtő hosszúságától és meredekségétől függő tényező. A mérések során alkalmazott 15 %-os lejtőmeredekség esetén m = 0,6.

A lejtőhajlás tényezője (S) számítása:

$$S = (0,52 + 0,36 * s + 0,052 * s^2) / 7,97$$

A lejtőmeredekség (s) értéke egységesen 15%.

3.7 Alkalmazott statisztikai módszerek

Az eredmények kiértékeléséhez MS Excel, SPSS 13.0 és ORIGIN programcsomagokat használtam. A kezelések közötti eltérések statisztikai értékelését évenként és mélységenként külön-külön, egytényezős varianciaanalízissel végeztem. A kezelésközvetleneket 95%-os valószínűségi szinten Tukey-tesztel hasonlítottam össze. Amennyiben a varianciaanalízis alkalmazásának valamelyik feltétele (függő változó normális eloszlása, varianciák homogenitása) nem teljesült; helyette robusztus tesztet, Welch-próbát alkalmaztam a kezelések közötti különbség megállapítására. Ha a Welch-próba szignifikáns különbséget mutatott, a kezelésközvetlenek páronkénti összehasonlítását Games-Howell-tesztel végeztem. Mivel a Games-Howell-teszt és a Tukey-teszt eredménye szinte teljesen azonos volt, így a Tukey-teszt eredményeit tartottam meg. A statisztikailag igazolható különbségeket az abc betűivel jelöltem. A különböző betűk a statisztikailag eltérő csoportokat jelzik.

A vizsgált változók közötti kapcsolat szorosságának és irányának leírására korrelációs számítást, illetve lineáris regresszióanalízist végeztem.

4. EREDMÉNYEK

4.1 A talaj kötöttsége és mechanikai szemcseösszetétele

A 0-30 cm-es talajréteg mechanikai szemcseösszetétele és kötöttsége 2011-ben került meghatározásra (5. táblázat).

5. táblázat

A kísérlet kezelései, a talajok 0-30 cm rétegének kötöttsége és mechanikai összetétele % (m/m)

Komposzt kezelés (t/ha)	Kötöttség (K _A)	>0.25	0.25-0.05	0.05-0.02	0.02-0.01	0.01-0.005	0.005-0.002	<0.002
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0	27,60	13,98	72,83	1,37	1,04	0,55	0,93	9,73
9	27,80	12,52	73,19	1,37	1,05	0,61	1,00	9,77
18	28,13	13,68	71,97	1,50	1,07	0,62	1,13	9,52
27	28,20	14,89	71,14	1,43	1,14	0,64	0,96	9,57

Az Arany-féle kötöttség (K_A) értékek emelkedő tendenciát mutatnak a komposztdózis növelésével arányosan. A különbség statisztikailag nem szignifikáns.

A durva homokfrakció (>0,25 mm) aránya 12,5-14,9 % (m/m) között alakult. A finomabb szemcsefrakcióban sincs eltérés a kontrollhoz képest. Az agyag (<0,002 mm) frakció 9,5-9,7 % (m/m), az iszap (0,002-0,02 mm) 2,5-3 % (m/m), a finom homok (0,02-0,25 mm) frakció 72,7-73,7 % (m/m) értékek között változott.

4.2 A kísérlet talajának szervesanyag-tartalma

A 6. táblázat adataiból kiolvasható, hogy a 0-30 cm-es rétegben mindhárom vizsgálati évben a kontroll (0 t/ha) területen volt a legkisebb a talaj szervesanyag-tartalma. A különböző komposzt adagokkal kezelt területek szervesanyag-tartalma ettől nagyobb. 2012-2014 között a kísérleti terület talajának szervesanyag-tartalma (%) statisztikailag igazolhatóan emelkedett a komposzt kezelés hatására.

Míg 2012-ben a 27 t/ha, 2013-ban a 18 t/ha kezelés szervesanyag-tartalma tért el szignifikánsan a kontrollhoz képest, 2014-ben már mindkét komposzt kezelés (18 és 27 t/ha) szervesanyag-tartalma szignifikánsan nagyobb a kontrollhoz viszonyítva.

Az évek közötti eltérést vizsgálva látható, hogy 2013-ban nagyobb értékeket mértünk az eltérő kezelésekben, mint a 2012-ben. Ennek oka, hogy a 2012 őszén kijuttatott komposzttal nagy mennyiségű szerves anyag került a talajba.

6. táblázat

A 0-30 cm-es talajréteg szervesanyag-tartalmának változása növekvő adagú komposzt kezelés hatására 2012-2014 között

Kezelés (t/ha)	Szervesanyag-tartalom (%)		
	2012	2013	2014
0	0,67±0,14 a	0,78±0,17 a	0,54±0,11 a
9	0,79±0,26 ab	0,94±0,26 ab	0,62±0,12 ab
18	0,76±0,28 ab	1,04±0,27 b	0,78±0,16 bc
27	0,96±0,40 b	1,01±0,30 ab	0,89±0,07 c

a-c indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

4.3 A talajnedvesség-tartalom mérési eredménye

A talaj térfogati nedvességtartalmának meghatározása a talaj víztartó képességének vizsgálatához vett bolygatatlan mintákból történt. A 2011-2014 közötti időszak nedvességtartalom-mérés eredményeit a 7. táblázatban mutatom be.

7. táblázat

Nedvességtartalom eredmények (tf%) a komposzttal kezelt talajok 5-10 cm, illetve 20-25 cm-es rétegében

Komposzt kezelés (t/ha)	Mélység (cm)	2011.11.22	2012.07.23	2013.07.16	2014.08.18	2014.10.10
0	5-10	8,42±1,41 <u>ab</u>	7,87±0,54 a	7,38±0,68 <i>a</i>	9,13±0,16 a	7,15±0,36 <i>a</i>
9		7,47±0,99 <u>a</u>	8,84±0,47 ab	7,18±0,09 <i>a</i>	11,56±0,45 b	8,58±0,80 <i>b</i>
18		7,85±1,31 <u>ab</u>	8,98±0,59 b	9,21±0,38 <i>b</i>	9,73±0,13 a	8,01±1,00 <i>ab</i>
27		9,53±1,31 <u>b</u>	8,65±0,55 ab	11,97±0,23 <i>c</i>	9,50±0,65 a	8,13±1,07 <i>ab</i>
0	20-25	13,38±0,64 <u>b</u>	10,55±0,72 a	4,63±0,09 <i>b</i>	-	9,27±0,44 <i>ab</i>
9		12,93±0,58 <u>b</u>	11,18±0,73 ab	4,20±0,08 <i>a</i>	-	9,07±0,83 <i>a</i>
18		14,47±1,46 <u>b</u>	11,87±0,54 b	4,32±0,11 <i>a</i>	-	10,07±0,50 <i>bc</i>
27		11,20±1,03 <u>a</u>	11,18±0,88 ab	4,93±0,17 <i>c</i>	-	10,26±0,35 <i>c</i>

a-c indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

2011. november 22-én a talaj aktuális nedvességtartalma a legnagyobb komposzt dózissal (27 t/ha) kezelt parcellában volt a legnagyobb a felső, 5-10 cm-es talajrétegben. A 9 t/ha és a 18 t/ha komposzt kezeléseknél viszont csaknem egy százalékkal volt kisebb a talaj nedvességtartalma a kontroll területéhez viszonyítva. A mélyebb, 20-25 cm-es talajrétegben a 18 t/ha-os komposzt kezelésben mértem a legnagyobb aktuális nedvességtartalmat.

A 2012. július 23-án vett talajminták nedvességtartalma átlagosan 1 %-kal növekedett a komposzt kezelés hatására mindkét vizsgált talajmélységben a kezeletlen területéhez viszonyítva. A komposzt kezelés hatása azonban csak a 18 t/ha-os kezelésben statisztikailag igazolt.

A 2013 júliusában vett talajminták aktuális nedvességtartalma lényegesen nagyobb volt a felső, 5-10 cm-es talajrétegben, mint a mélyebb rétegben. A különbség valószínűsíthető oka, hogy a lehullott csapadék hatására csupán a feltalaj nedvesedett át. Az 5-10 cm-es rétegben a 18 és a 27 t/ha-os kezeléseknél a nedvességtartalma

szignifikánsabb nagyobb, mint a kontroll és a 9 t/ha-os kezelésben. A 20-25 cm-es talajszintben a 27 t/ha-os kezelésben mért nedvességtartalom szignifikánsabb nagyobb.

A 2014. augusztusi esőztető vizsgálatok megkezdése előtt csak az 5-10 cm-es mélységben határoztam meg a talaj aktuális nedvességtartalmát, mivel az esőztető méréseimet a talajfelszínen végeztem. A legnagyobb térfogati nedvességtartalmat a 9 t/ha-os kezelésben mértem, míg a legkisebbet a kontroll területen. A mért különbségek statisztikailag is igazoltak.

A 2014. októberi minták nedvességtartalma átlagosan egy-másfél százalékkal volt nagyobb a komposzttal kezelt területeken a kontrollhoz képest. A különbség az 5-10 cm-es talajrétegben a 9 t/ha-os kezelésben, a 20-25 cm-es talajrétegben pedig a 18 t/ha és a 27 t/ha-os kezeléseknél statisztikailag is igazolt.

4.4 A térfogattömeg mérés eredményei

2011 és 2014 között négy alkalommal vettem bolygatatlan mintákat a talaj 5-10 cm-es és 20-25 cm-es rétegéből annak megállapítására, hogy a komposzt kezelésnek van-e hatása a talaj térfogattömegére. 2014.08.18-án az 5-10 cm-es rétegben meghatározott térfogattömeg értékek között nem találtam szignifikáns eltérést.

Az első méréssorozatot két évvel a 2009-es komposzt kezelés után, 2011 végén végeztem. A mérési időpontonként, és külön kezelésként elvégzett értékelés eredményeit a 8. ábra szemlélteti.

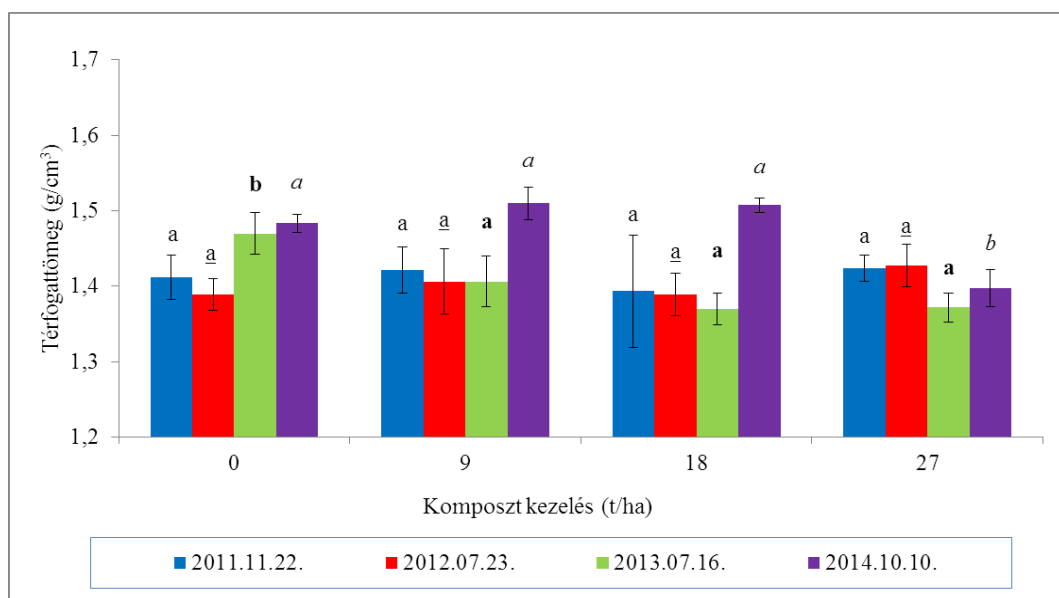
A 2011. november 22-én vett talajminták térfogattömeg értékeiben igazolható eltérés nem volt. A legnagyobb térfogattömeg értéket a 9 t/ha és a 27 t/ha kezeléseknél, míg a legkisebbet a 18 t/ha kezelésben mértem, vagyis az alkalmazott dózissal arányos, következetes változás nem volt kimutatható.

2012 júliusában, közvetlenül a tritikálé aratása után volt a talajminta-vételezés. Az eredmények alapján a felső, 5-10 cm-es talajrétegben nem mutatható ki különbség a kontroll és a kezelt területek átlagértékei között.

A 2013 júliusában mért eredmények alapján, azaz egy évvel a 2012-es komposzt kijuttatás után egyértelműen csökkent a talaj térfogattömege. Már a 9 t/ha-os komposzt dózis szignifikáns térfogattömeg-csökkenést eredményezett a feltalajban. A 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os kezeléseknél pedig egytized értékkel, szignifikánsan csökkent a talaj térfogattömege a kontrollhoz képest.

Az esőztető vizsgálatok megkezdése előtt szintén bolygatatlan talajmintákat vettem a feltalaj 5-10 cm-es mélységéből a talaj térfogattömegének meghatározására. A 2014. évi őszi minták vizsgálati eredményei szerint a komposzt kezelésnek csak a legnagyobb dózissal (27 t/ha) kezelt területen volt szignifikáns térfogattömeg-csökkentő hatása.

Ha az évek közti eltérést vesszük, látható, hogy a 2014. évi kukorica sorközökből vett talajminták térfogattömeg értékei a legnagyobbak és elérik az 1,5 g/cm³ értéket. A legkisebb térfogattömeg értéket a 2013. évi mérések során (zöldborsó aratás után), a 18 t/ha és a 27 t/ha kezeléseknél mértem.



8. ábra

Az 5-10 cm-es talajréteg térfogattömeg értékének változása növekvő adagú komposzt kezelés hatására

a-b indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

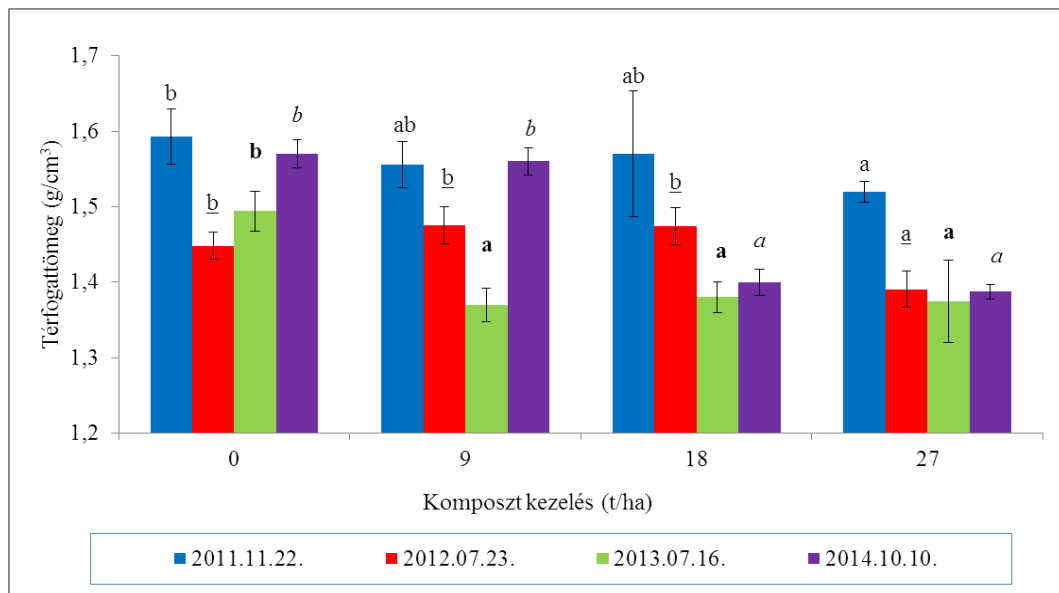
A 20-25 cm-es talajréteg térfogattömeg értékének változását külön évenként és kezelésként a 9. ábra szemlélteti.

A 2011. novemberi mérés eredményei alapján, a szennyvíziszap komposzt kezelés hatására tendencia jellegű tömödöttség csökkenés csak a 20–25 cm-es talajrétegben volt megfigyelhető. A különbség azonban csak a 27 t/ha-os komposzt kezelésben statisztikailag igazolt a kontrollhoz viszonyítva.

A 2012-es év mérési eredményei szerint a 27 t/ha szennyvíziszap komposzttal kezelt terület talajában volt a legkisebb térfogattömeg, mely statisztikailag is bizonyított.

2013-ban, hasonlóan a feltalajban mért térfogattömeg eredményekhez, a komposzttal kezelt területeken szignifikánsan csökkent a térfogattömeg. A legnagyobb térfogattömeg értéket a kezeletlen területen mértem, mely mindhárom komposzt kezelésben szignifikánsan csökkent.

Ezzel szemben 2014-ben, két évvel a komposzt kijuttatása után már csak a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os kezeléseknél csökkent statisztikailag igazoltan a talaj térfogattömege. A kontroll terület talaja volt a legtomódottabb a tenyészidőszak végén.



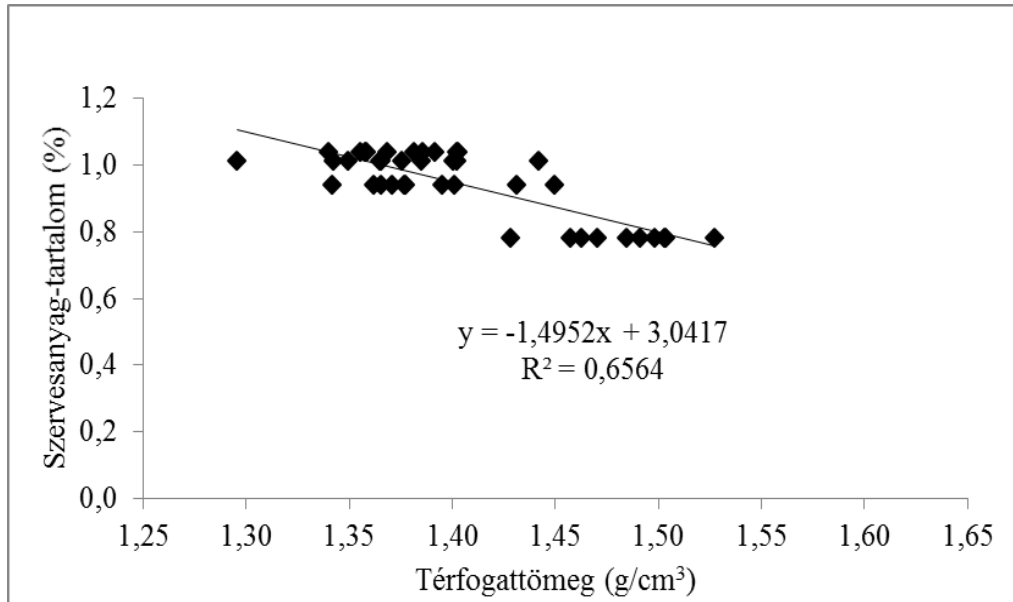
9. ábra

A 20-25 cm-es talajréteg térfogattömeg értékének változása növekvő adagú komposzt kezelés hatására

a-b indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

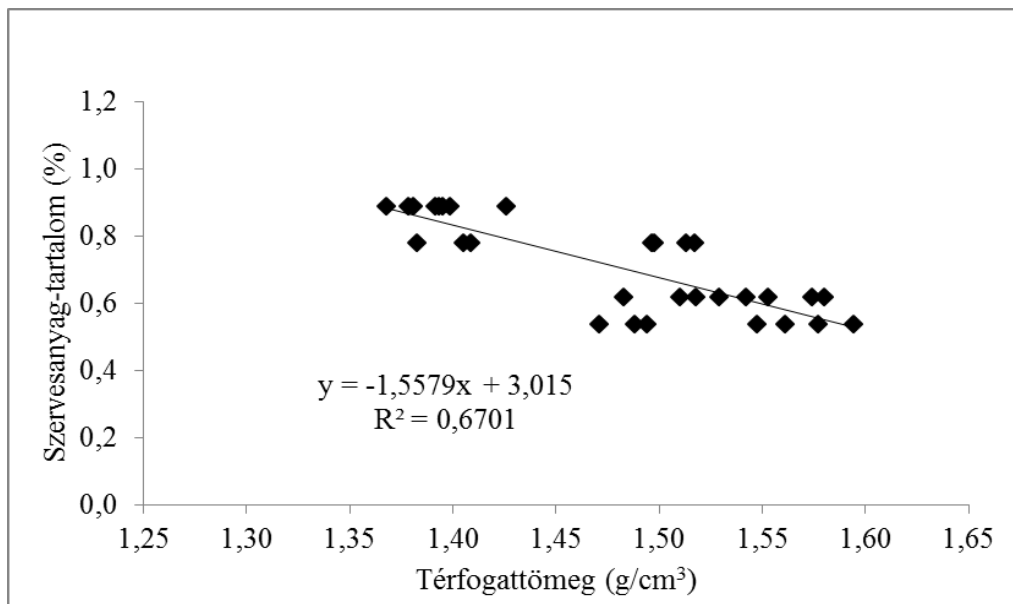
A két talajréteget összehasonlítva látható, hogy a talajszelvényben a mélységgel együtt növekszik a térfogattömeg. Ha az éveket vizsgáljuk, 2011-ben és 2014-ben mértem a legnagyobb értékeket (1,56-1,57 g/cm³). A legkisebb térfogattömeg értékeket (1,37 g/cm³) a 20-25 cm-es talajrétegben 2013-ban, a kezelt területeken vett talajmintákon mértem a négy év vizsgálataim alapján.

A lineáris regresszióanalízis alapján a talaj térfogattömege és szervesanyag-tartalma között 2013-ban ($r^2 = -0,6564$) és 2014-ben ($r^2 = -0,6701$) erős lineáris kapcsolat van (10-11. ábra). A számítás során a két mélység adatait együtt értékeltem.



10. ábra

A 2013-ban vett talajminták térfogattömege és szervesanyag-tartalma közötti kapcsolat (N=40); a két vizsgált mélység adatai együttesen ábrázolva



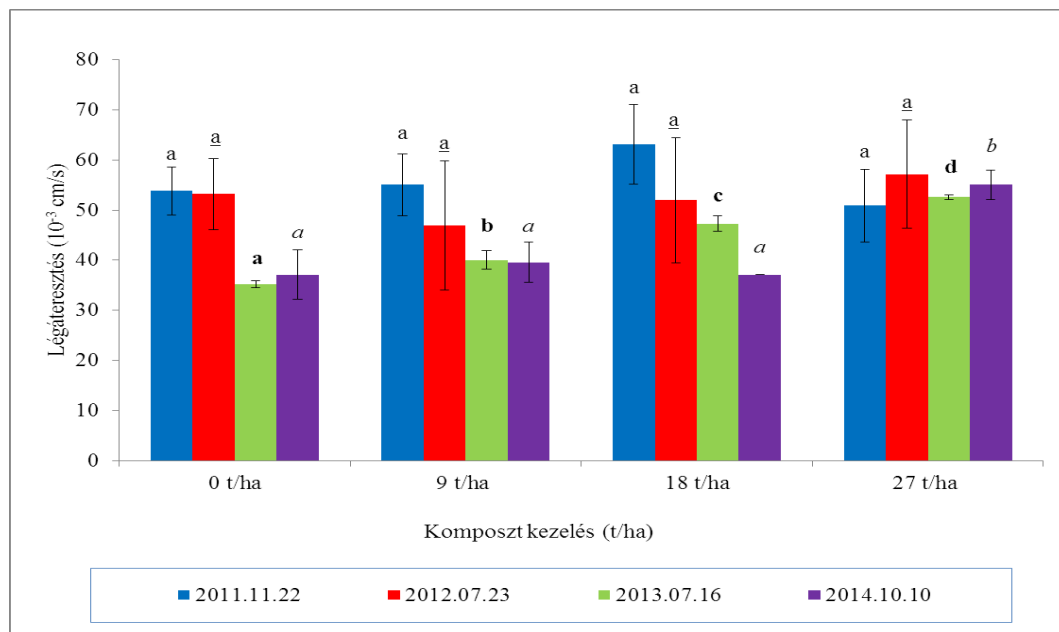
11. ábra

A 2014-ben vett talajminták térfogattömege és szervesanyag-tartalma közötti kapcsolat (N=32); a két vizsgált mélység adatai együttesen ábrázolva

4.5 A talaj légáteresztő képesség mérések eredményei

A talaj légáteresztő képességét négy alkalommal, egységesen pF-2,3 szívóerővel egyensúlyt tartó nedvességtartalom mellett határoztam meg. Az 5-10 cm-es talajrétegben mért légáteresztő képesség értékeit a 12. ábrán mutatom be.

A 2011.11.22-én vett talajminták légáteresztő képessége inkább a réteg mélysége, mintsem a komposzt kezelés szerint különbözött. Az 5–10 cm-es felső, lazább réteg légáteresztő képessége, valamint az értékek szórása is lényegesen nagyobb volt, mint a mélyebb rétegből vett mintáké. A 18 t/ha komposzt dózissal kezelt talaj megnövekedett légáteresztése statisztikailag nem igazolható. A többi kezelés légáteresztő képessége $50,9-55 \cdot 10^{-3}$ cm/s között változott.



12. ábra

A talaj légáteresztő képessége a növekvő adagú komposzt kezelés hatására a kezelések 5-10 cm-es talajrétegében

a-d indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

2012 júliusában, azaz három évvel a 2009-es komposzt kijuttatás után vett talajminták légáteresztő képessége a felső, 5-10 cm-es rétegben nem különbözött.

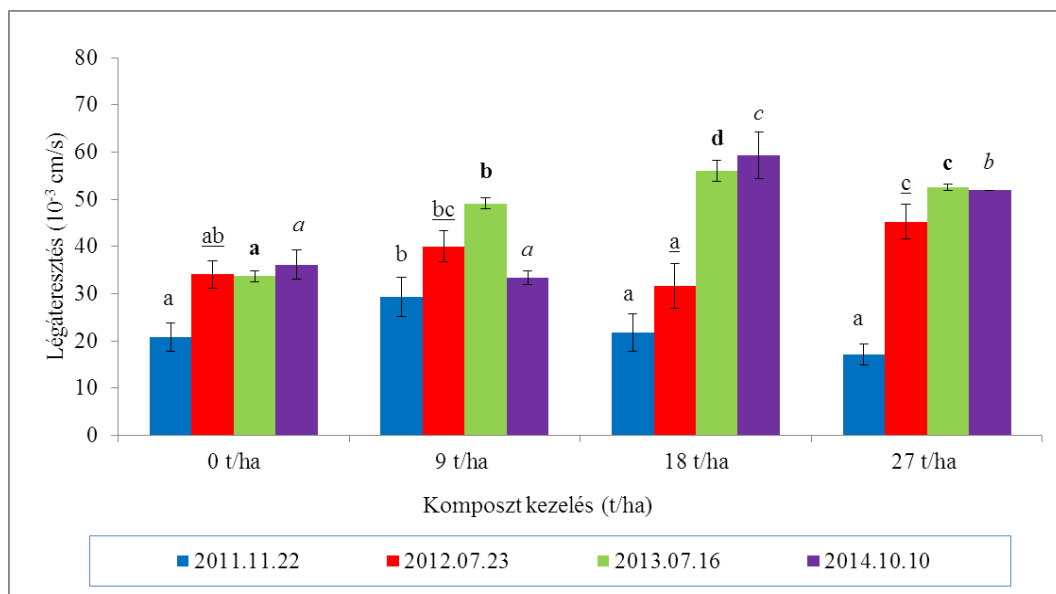
A 2013. július 16-i mérések eredményei alapján már egyértelmű különbség mutatkozott a kezeletlen és komposzttal kezelt területek légáteresztő képessége között. A komposzt dózis növelésével arányosan nőtt a talaj légáteresztő képessége.

A 2014 őszen vett talajminták légáteresztő képességét szintén pF-2,3-értékhez tartozó nedvességtartalom mellett vizsgáltam. Ebben az évben az 5-10 cm-es talajrétegből vett minták légáteresztése a kontroll, illetve a 9 t/ha és a 18 t/ha komposzt kezelésekben már nem különbözött. Csak a 27 t/ha-os komposzt kezelésben áramlott át statisztikailag is igazoltan több levegő a mintákon. Két évvel a komposzt kezelés után tehát csak a legnagyobb dózissal kezelt területen tapasztalható megnövekedett légáteresztés.

A 20-25 cm-es talajrétegből vett eredeti szerkezetű talajminták légáteresztő képesség mérési eredményeit a 13. ábrán szemléltetem.

2011 novemberében, a mélyebb talajrétegben (20–25 cm) szignifikánsan nőtt a légáteresztés a 9 t/ha kezelés hatására. A többi kezelés légáteresztő képessége között azonban nem volt számottevő a különbség.

2012-ben a 20-25 cm-es talajrétegben a kontroll és a 18 t/ha-os komposzt kezelés légáteresztése volt a legkisebb. Ehhez képest a 9 t/ha és a 27 t/ha-os kezelések légáteresztő képességében szignifikáns növekedést tapasztaltam.



13. ábra

A talaj légáteresztő képessége a növekvő adagú komposzt kezelés hatására a kezelések 20-25 cm-es talajrétegében

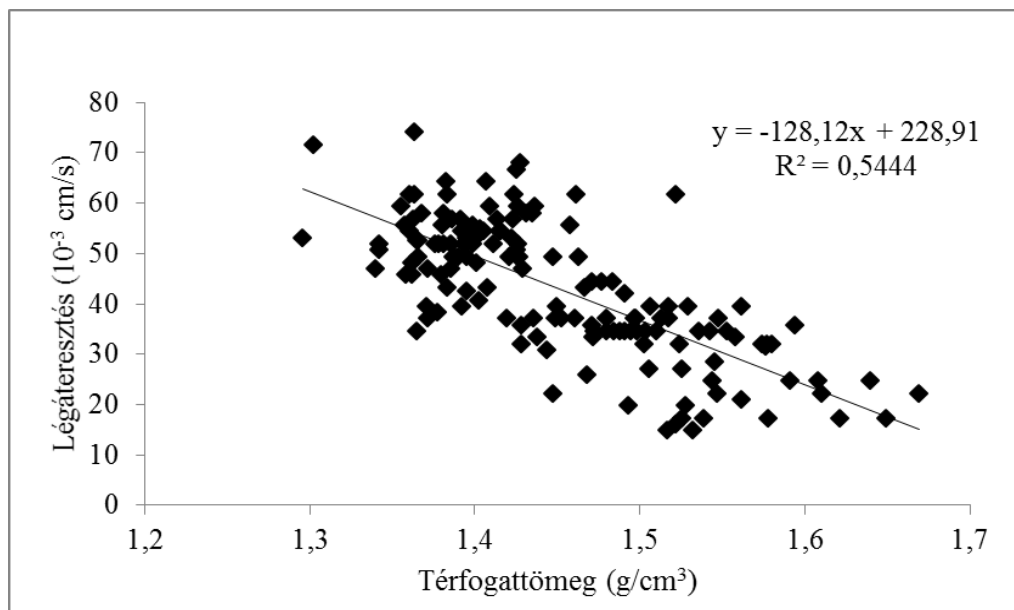
a-d indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

A 2013 nyarán végzett mérések során hasonló eredményeket kaptam a mélyebb, 20-25 cm-es talajrétegben, mint a felső talajszintben. Ebben a talajrétegben is a komposzt dózis növelésével arányosan nőtt a talaj légáteresztő képessége. A kontroll terület légáteresztéséhez képest már a 9 t/ha-os kezelésben is lényeges növekedés látható. Ezt követi a 27 t/ha-os kezelés légáteresztése, míg a legnagyobb értéket a 18 t/ha-os kezelés mutatta.

A 2014. októberi eredmények alapján a kontroll és a 9 t/ha komposzttal kezelt terület légáteresztése közel azonos volt. A kontroll terület mintáin átlagosan $36,2 \cdot 10^{-3}$ cm/s értéket, a 9 t/ha kezelésben $33,4 \cdot 10^{-3}$ cm/s értéket mértem. Nagyobb értékeket a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os komposzt kezelések eredményeztek.

A talaj légáteresztő képessége 2013-ban és 2014-ben duplája-háromszorosa a 2011-ben mért értékekének. Az alsó talajrétegben a komposzt kezelés légáteresztésre gyakorolt hatása kifejezettebb volt. Az 1. táblázatban közölt értékeket figyelembe véve a vizsgált talaj még $1,6 \text{ g/cm}^3$ térfogattömeg-értéknél is „nagy” áteresztő képességű. A homoktalajban a transzport folyamatok még nagyobb térfogattömeg esetén is jelentősek.

A térfogattömeg csökkenésével összhangban kimutatható a légáteresztés tendenciaszerű növekedése (főleg a megismételt) komposzt kezelés hatására. A térfogattömeg és a légáteresztés változások indokolttá teszik a 14. ábrán bemutatott összefüggés-vizsgálatot. A számítás során a négy év, illetve a két mélység adatait együttesen értékeltem. A talaj térfogattömege és légáteresztő képessége között erős lineáris kapcsolat ($r^2 = -0,5444$) van. A térfogattömeg értékek csökkenésével a talajminták légáteresztő képessége nő.



14. ábra

A 2011 és 2014 között vett talajminták térfogattömege és légáteresztő képessége közötti kapcsolat (N=150); a két vizsgált mélység adatai együttesen ábrázolva

4.6 A talaj víztartó képességének mérési eredményei

4.6.1 Az 5-10 cm-es talajréteg víztartó képességének változása

2011 és 2014 között négy méréssorozaton vizsgáltam a komposzt kezelés hatását a talaj víztartó képességére pF-0–4,2 tenziótartományban.

A 2011. november 22-én vett talajminták víztartó képessége eltérően alakult a különböző kezelésekben (15. ábra).

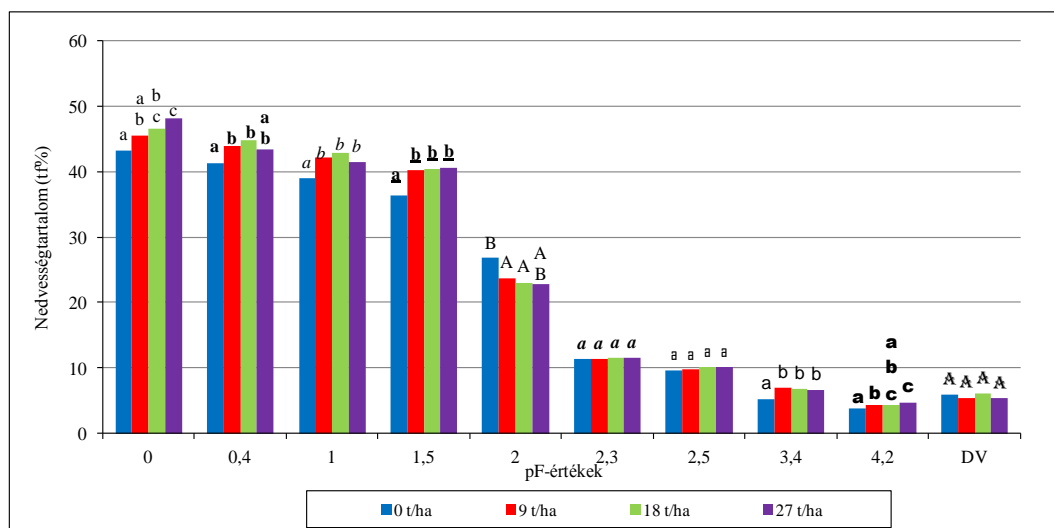
A talaj összporozitása (pF-0) a kontroll és a komposzt kezelésekben is nagyobb volt 40 %-nál. A talajminták összes térfogata az 5–10 cm-es talajrétegben a kontroll területen volt a legkisebb, míg a 27 t/ha komposzttal kezelt területen a legnagyobb. A különbség statisztikailag is igazolt. Az összporozitás a 9 t/ha-os és a 18 t/ha-os komposzt kezelésekben is nagyobb volt a kontrollhoz képest.

Alacsony szívóerő-tartományban (pF-0,4–1,5), a különböző komposzt kezelésekben meghatározott összporozitás értékekhez hasonlóan tendenciális jellegű növekedés figyelhető meg a talaj víztartásában. PF-2 szívásértéknél viszont csökkenés volt a kezelt parcellák mintáiban a kontroll területhez viszonyítva. PF-2,3 szívóerőnél nem találtam szignifikáns különbséget a kezelések között.

A 2011-es mintákat vizsgálva elmondható, hogy az 5-10 cm-es mélységben nem volt statisztikailag kimutatható különbség a szabadföldi vízkapacitás (pF-2,5) értékek között.

A holtvíztartalom (pF-4,2) a kontroll területen volt a legkisebb. A holtvíztartalom a 9 t/ha és a 27t/ha-os kezelésekben statisztikailag igazoltan nagyobb.

A szabadföldi vízkapacitás (pF-2,5) és a holtvíztartalom (pF-4,2) különbségként meghatározott hasznosítható vízmennyiség (DV) változásában nem találtam egyértelmű kezelés hatást.



15. ábra

A talaj (5-10 cm) víztartó képességének változása növekvő adagú komposzt kezelés hatására 2011.11.22-én

a-c, A-B indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

A 2012-ben, az 5-10 cm-es mélységből származó talajminták víztartó képessége hasonlóan alakult az előző évben tapasztaltakhoz (16. ábra).

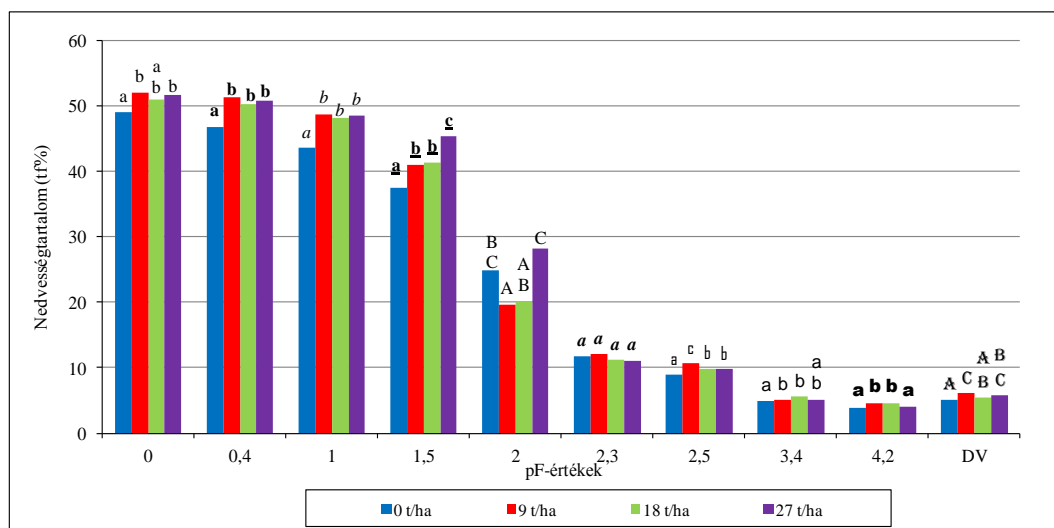
A maximális vízkapacitás értéke (pF-0) a kezeletlen területen a legkisebb. Szignifikáns növekedést a 9 t/ha-os és a 27 t/ha-os komposzt kezelésekben tapasztaltam.

Alacsony szívóerő-tartományban (pF-0,4–1,5) már a 9 t/ha-os komposzt dózis hatására is statisztikailag igazoltan nőtt a talaj víztartó képessége. Az eltérő dózisu komposzt kezelések között nem tapasztaltam számottevő különbséget, kivétel ez alól a 27 t/ha-os kezelésben mért nedvességtartalom érték (45,3 tf%) pF-1,5 szívóerőnél.

Míg a 2011-ben vett talajminták víztartó képessége pF-2,3 és pF-2,5 szívóerőkkel szemben nem különbözött, addig a 2012-es talajminták szabadföldi vízkapacitása (pF-2,5) szignifikánsan nőtt a komposzttal kezelt területeken.

A holtvíztartalom mennyisége a 9 t/ha-os és 18 t/ha-os kezelésekben szignifikánsan nagyobb volt a kontrolléhoz viszonyítva.

A kontrollhoz viszonyítva statisztikailag igazolhatóan több, növények számára is hozzáférhető vízmennyiséget (DV) a 9 t/ha-os és a 27 t/ha-os komposzt kezelésekben mértem.



16. ábra

A talaj (5-10 cm) víztartó képességének változása növekvő adagú komposzt kezelés hatására 2012.07.23-án

a-c, A-C indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

A 2013 júliusában vett talajminták maximális vízkapacitása a komposzttal kezelt területeken szignifikánsan nőtt a kontrollhoz képest (17. ábra).

PF-0,4 és pF-1,5 szívóértékeknél szignifikánsan nagyobb nedvességtartalom értékeket mértem a komposzt kezeléseknél, mint a kezeletlen területen.

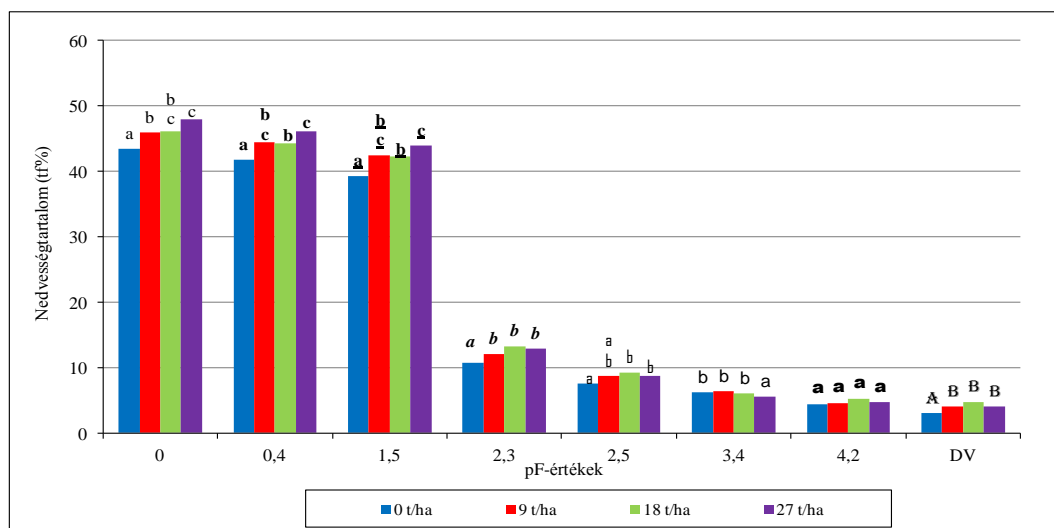
2011-ben és 2012-ben pF-2,3 szívóértéknél a kontroll és a kezelt területek nedvességtartalma nem különbözött, azonban 2013-ban már ennél a szívóerőnél is szignifikánsan több vizet tartott vissza a komposzttal kezelt területek talaja.

A szabadföldi vízkapacitás (pF-2,5) a kontroll területen volt a legkisebb. Értéke a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os komposzt kezeléseknél szignifikánsan nagyobb.

A pF-3,4 értékhez tartozó nedvességtartalom a 27 t/ha-os komposzt kezelésben szignifikánsan kisebb a kontroll, a 9 t/ha és a 18 t/ha-os kezelésekhöz viszonyítva.

A holtvíztartalom (pF-4,2) a 18 t/ha-os kezelésben volt a legnagyobb, a kontroll területen a legkisebb, a különbség azonban nem szignifikáns.

A hasznosítható víz (DV) mennyisége statisztikailag igazoltan nőtt a komposzttal kezelt területeken a kontrolléhoz képest.



17. ábra

A talaj (5-10 cm) víztartó képességének változása növekvő adagú komposzt kezelés hatására 2013.07.16-án

a-c, A-B indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

2014. októberben a 2013. évihez hasonló eredményeket kaptam a talaj 5-10 cm-es rétegének víztartó képesség mérése során (18. ábra).

A pF-0 szívóértékhez tartozó nedvességtartalom a kezeletlen területen volt a legkisebb. A kontrollhoz viszonyítva szignifikánsan nőtt a 9 t/ha-os és a 27 t/ha-os komposzt kezelések víztartó képessége.

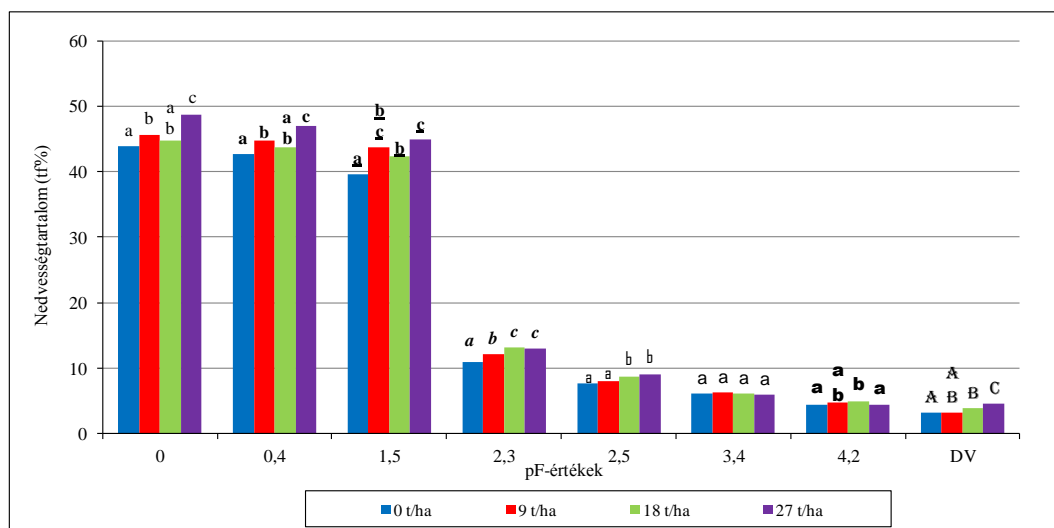
Alacsony szívóerő-tartományban (pF-0,4–2,3) statisztikailag igazoltan nőtt a talaj által visszatartott vízmennyiség a komposzt kezelésekben a kontrollhoz képest.

A szabadföldi vízkapacitás (pF-2,5) a kezeletlen területhez viszonyítva szintén nőtt, azonban ez a növekedés csak a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os kezelésekben szignifikáns.

A pF-3,4 szívóértékhez tartozó nedvességtartalom 2014-ben is kisebb volt a 27 t/ha-os komposzt kezelésben a kontroll, a 9 t/ha, valamint a 18 t/ha-os kezelésekhez viszonyítva. Az eltérés statisztikailag nem igazolt.

A talaj holtvíztartalma (pF-4,2) a 18 t/ha-os kezelésben szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontroll és a 27 t/ha-os kezelésben.

A diszponibilis víz (DV) mennyisége a két legnagyobb komposzt dózis hatására statisztikailag igazoltan nőtt a kontroll területen mért értékhez képest.



18. ábra

A talaj (5-10 cm) víztartó képességének változása növekvő adagú komposzt kezelés hatására 2014.10.10-én

a-c, A-C indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

4.6.2 A 20-25 cm-es talajréteg víztartó képességének változása

2011-ben a 20-25 cm-es talajrétegben mért maximális vízkapacitás értéke a kontroll területen volt a legkisebb, ami a komposzttal kezelt területeken jelentősen nőtt (19. ábra). Statisztikailag igazolt növekedés a 9 t/ha-os és a 27 t/ha-os komposzt kezelésekben figyelhető meg.

A kijuttatott komposzt dózis növelésével arányosan emelkedő tendencia figyelhető meg pF-0,4–1,5 tenziótartományban a talaj által visszatartott víz mennyiségére vonatkozóan. Ebben a szívóerő-tartományban a legnagyobb komposzt dózissal kezelt területen mértem a legnagyobb egyensúlyi nedvességtartalmat a kontrollhoz képest, mely különbség statisztikailag is igazolt.

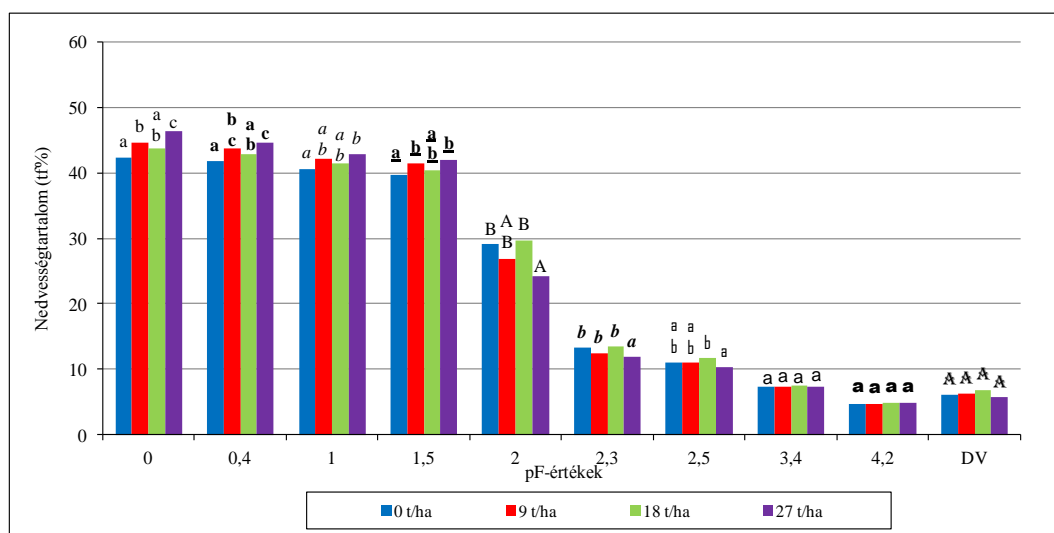
A pF-2 és pF-2,3 értékekhez tartozó nedvességtartalom a 20-25 cm-es talajrétegben tendenciálisan csökkent a komposzt dózis növelésével párhuzamosan.

A szabadföldi vízkapacitás (pF-2,5) értéke a kontroll és a 9 t/ha-os kezelésben csaknem megegyezik. A szabadföldi vízkapacitás a 18 t/ha-os kezelésben a legnagyobb, míg a 27 t/ha-os kezelésben a legkisebb.

A pF-3,4 szívóerőhöz tartozó nedvességtartalom nem különbözött szignifikánsan a kezeletlen és komposzttal kezelt területeken.

A holtvíztartalom a kontroll és a komposzt kezelésekben szinte azonos, statisztikailag igazolt különbség nincs.

A diszponibilis víztartalom (DV) a 27 t/ha-os kezelésben a legkisebb, míg a 18 t/ha-os kezelésben a legnagyobb. Statisztikailag igazolt kezelés hatás azonban nem volt kimutatható.



19. ábra

A talaj (20-25 cm) víztartó képességének változása növekvő adagú komposzt kezelés hatására 2011.11.22-én

a-c, A-B indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

Az 5-10 cm-es talajréteghez hasonlóan, 2012-ben (20. ábra) a különböző pF-értékekhez tartozó nedvességtartalom nagyobb, mint 2011-ben.

A maximális vízkapacitás (pF-0) a 9 t/ha-os kezelésben volt a legkisebb. A kontroll terület és a 18 t/ha-os kezelés nedvességtartalma közel hasonló, míg a 27 t/ha-os kezelésé a legnagyobb.

A talaj által visszatartott nedvességtartalom pF-0,4 szívóerő mellett csak a 27 t/ha-os kezelés hatására nőtt statisztikailag igazoltan.

A pF-1,5 szívóértékhez tartozó nedvességtartalom nem különbözött a kezelésekben.

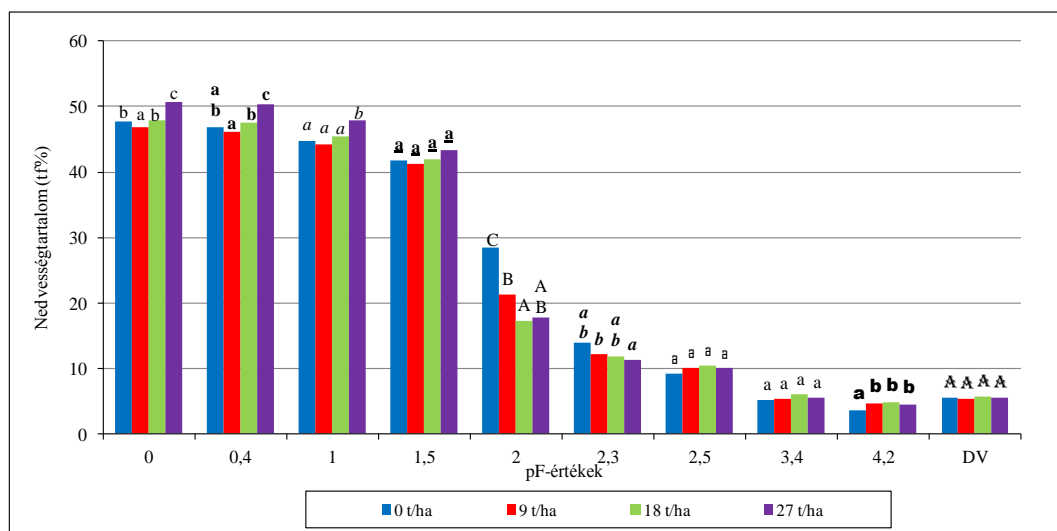
A pF-2 és pF-2,3 szívóerőkkel szemben visszatartott nedvességtartalom tendenciálisan csökkent a komposzt dózis növelésével.

A szabadföldi vízkapacitás (pF-2,5) nem különbözött statisztikailag igazoltan a vizsgált időszakban.

A pF-3,4 értékhez tartozó nedvességtartalmak között nem tapasztaltam statisztikailag igazolt kezelés hatást.

A kontroll területhez képest mindhárom komposzt kezelés holtvíztartalma nagyobb.

A szabadföldi vízkapacitás (pF-2,5) és a holtvíztartalom (pF-4,2) különbségeként számított hasznosítható víz (DV) mennyisége a kezeletlen és a komposzttal kezelt területeken közel azonos.



20. ábra

A talaj (20-25 cm) víztartó képességének változása növekvő adagú komposzt kezelés hatására 2012.07.23-án

a-c, A-C indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

2013-ban a maximális vízkapacitás értéke a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os kezelésekben nőtt statisztikailag igazoltan (21. ábra). A kontroll terület és a 9 t/ha-os komposzt kezelés által visszatartott vízmennyiség közel megegyezett.

A pF-0,4 és pF-1,5 értékekhez tartozó nedvességtartalom nőtt a komposzt dózis növelésével, azonban csak a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os kezelésekben szignifikáns az eltérés.

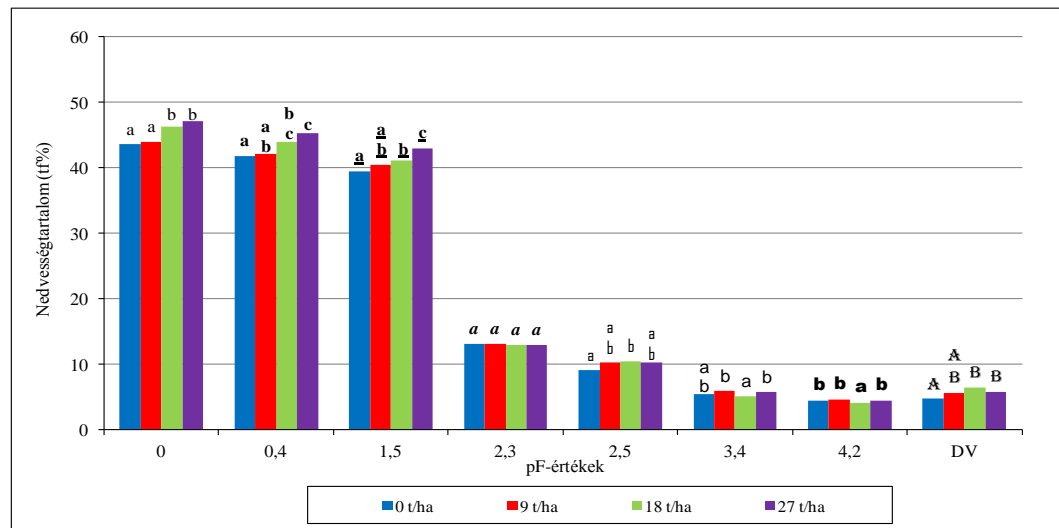
PF-2,3 szívóerővel szemben a kontroll és a komposzt kezelések által visszatartott nedvességtartalom között nem tapasztaltam szignifikáns különbséget.

A szabadföldi vízkapacitás (pF-2,5) szintén a komposzttal kezelt területeken volt nagyobb a kontrollhoz képest, azonban ez csak a 18 t/ha-os kezelésben statisztikailag igazolt.

A pF-3,4 értékhez tartozó nedvességtartalom-értékek között nem vonható le egyértelmű kezelés hatás.

A holtvíztartalom a 18 t/ha-os kezelésben szignifikánsan kisebb a többi kezeléshez viszonyítva.

A hasznosítható víztartalom (DV) mindhárom komposzt kezelésben nagyobb a kontrollhoz képest, azonban a növekedés csak a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os komposzt kezeléseknél szignifikáns.



21. ábra

A talaj (20-25 cm) víztartó képességének változása növekvő adagú komposzt kezelés hatására 2013.07.16-án

a-c, A-B indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

A 22. ábrán látható, hogy 2014-ben a maximális vízkapacitás a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os komposzt kezeléseknél nőtt statisztikailag igazoltan a kontrollhoz képest.

A pF-0,4 értékhez tartozó nedvességtartalom a komposzt dózis növelésével nőtt, azonban csak a 27 t/ha-os kezelésben szignifikáns az eltérés.

PF-1,5 szívóerővel szemben a kontroll és a komposzt kezeléseknél visszatartott nedvességtartalom nem tért el szignifikánsan.

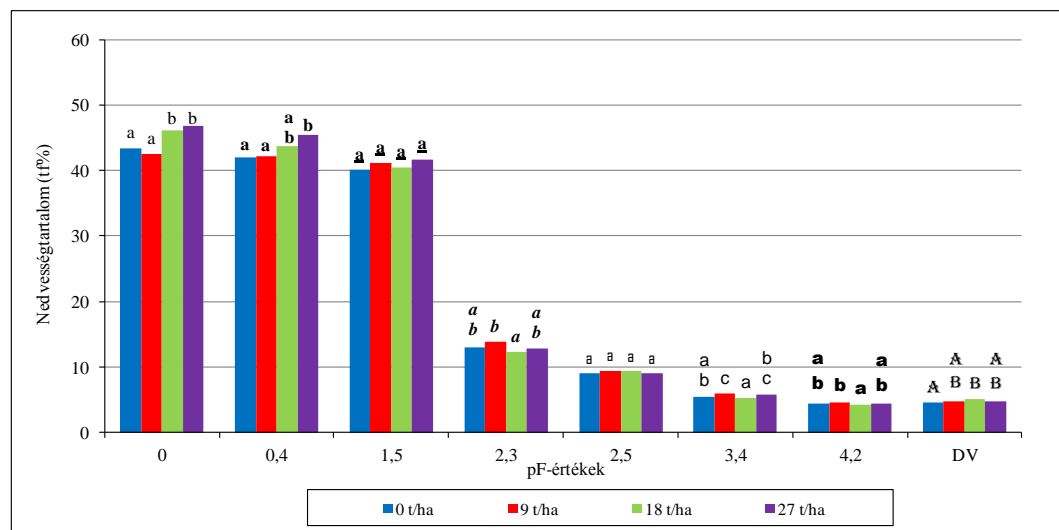
A pF-2,3 szívóértékhez tartozó nedvességtartalom a 9 t/ha-os kezelésben a legnagyobb, míg a 18 t/ha-os kezelésben a legkisebb, azaz egyértelmű kezelés hatás nem figyelhető meg.

A szabadföldi vízkapacitás (pF-2,5) statisztikailag igazolhatóan nem különbözött egyik komposzt kezelésben sem a kontrollhoz viszonyítva. A legnagyobb értéket a 9 t/ha-os kezelésben, míg a legkisebbet a kontroll területen határoztam meg.

A 9 t/ha-os és a 27 t/ha-os kezeléseknél pF-3,4 szívóértékhez szignifikánsan nagyobb nedvességtartalom tartozott, mint a kezeletlen területen.

A holtvíztartalom a 9 t/ha-os kezelésben a legnagyobb. A 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os kezelések, valamint a kontroll között nincs szignifikáns különbség.

A hasznosítható víztartalom (DV) mindhárom komposzt kezelésben nőtt a kontrollhoz képest, azonban ez csak a 18 t/ha-os kezelésben statisztikailag igazolt.

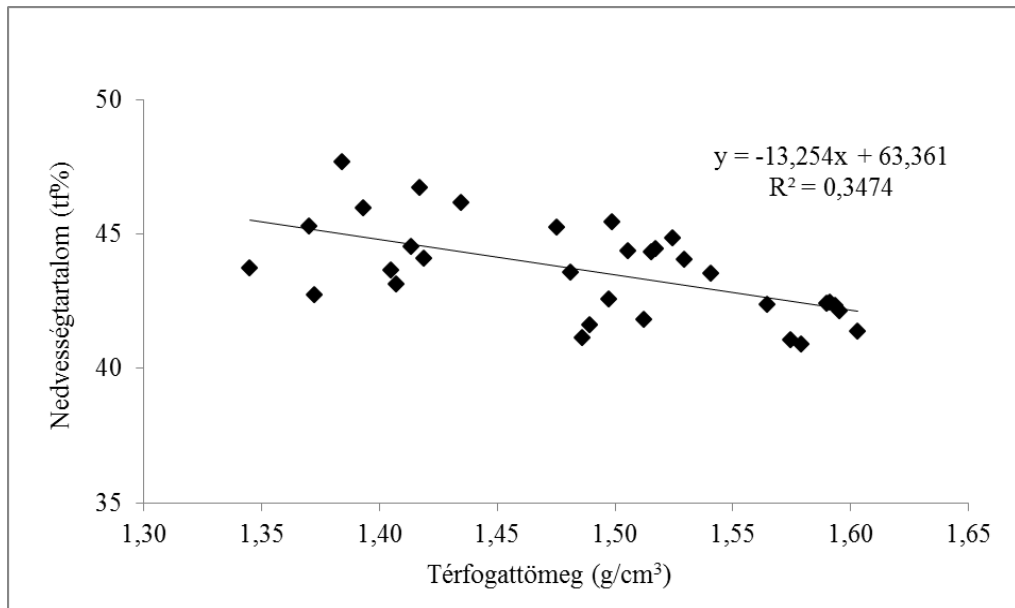


22. ábra

A talaj (20-25 cm) víztartó képességének változása növekvő adagú komposzt kezelés hatására 2014.10.10-én

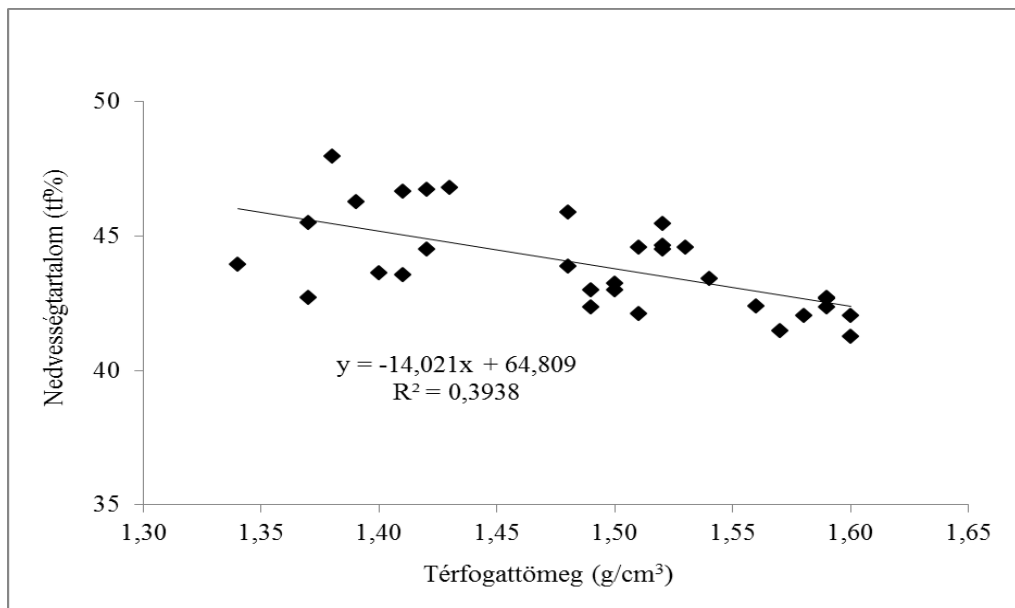
a-c, A-B indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

Megvizsgáltam, hogy a talaj térfogattömege kapcsolatban áll-e a talaj által visszatartott vízmennyiségekkel. A lineáris regresszióanalízis alapján a térfogattömeg és a nedvességtartalom (pF-0,4) értékek között 2013-ban ($r^2 = -0,3474$) és 2014-ben ($r^2 = -0,3938$) közepesen erős lineáris kapcsolat van (23-24. ábra), tehát a komposzt kezelés elsősorban a makropórusok arányát növelte.



23. ábra

A 2013-ben vett talajminták térfogattömege és nedvességtartalma (pF-0,4) közötti kapcsolat (N=32); a két vizsgált mélység adatai együttesen ábrázolva



24. ábra

A 2014-ben vett talajminták térfogattömege és nedvességtartalma (pF-0,4) közötti kapcsolat (N=32); a két vizsgált mélység adatai együttesen ábrázolva

4.7 A beszivárgás és erózióérzékenység vizsgálatok eredményei

Az esőztető szimulátorral végzett vizsgálatok elsődleges célja a komposzt kezelésnek a talajszerkezetre, a talaj víznyelő- és vízáteresztő képességére gyakorolt hatásának megállapítása volt.

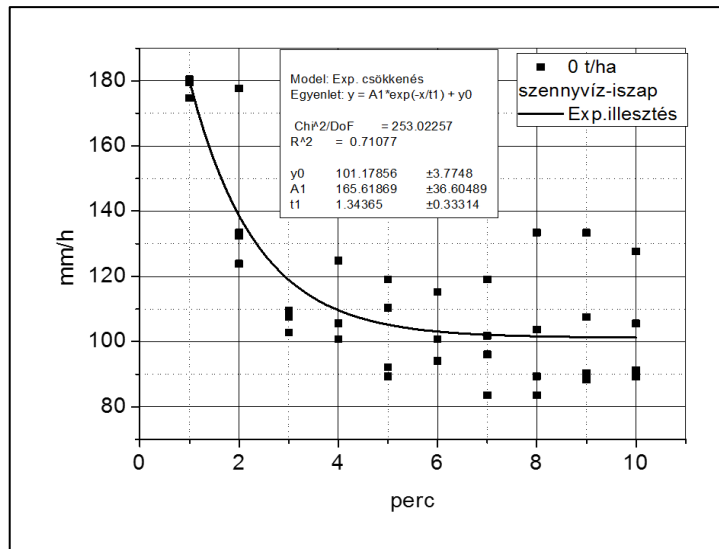
A kapott eredményeket a 25-35. ábrákon szemléltetem, melyek tartalmazzák a beszivárgás, az elfolyt víz és a hordalék adatokat a kontroll területen és a komposzt kezeléseknél.

A talaj víznyelő képessége nagyban függ a talaj aktuális nedvességtartalmától, azaz a talaj a felszínére érkező csapadékot, a talaj nedvességtartalmától és a csapadék intenzitásától függően, részint elnyeli, részint a felszínen elvezeti. A 2014. augusztusi mérés előtt a talaj pillanatnyi nedvességtartalma nem különbözött jelentősen a mérés megkezdése előtt a kezeletlen és a komposzttal kezelt területeken, így az nem befolyásolta a beszivárgás folyamatát.

A talaj térfogattömeg értékei között sem volt statisztikailag igazolt különbség, átlagosan $1,4 \text{ g/cm}^3$ körüli értéket mértem a kontroll és a kezelt területeken egyaránt. A 2014. októberi esőztető vizsgálatok megkezdése előtt vett talajminták térfogattömeg értékeiben már statisztikailag igazolt kezelés hatás volt. A 18 t/ha és a 27 t/ha-os komposzt kezeléseknél szignifikánsan kisebb a talaj térfogattömege a kontroll és a 9 t/ha-os kezeléshez viszonyítva.

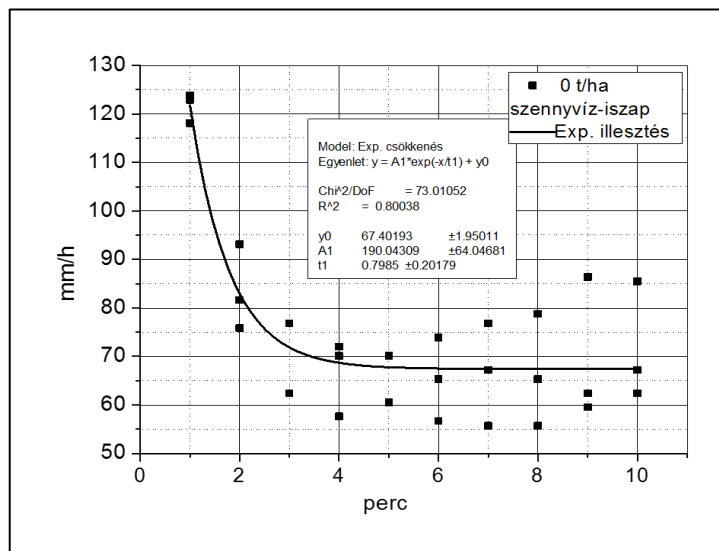
Az esőztetés során a kontroll terület talaja a felületére érkező csapadék túlnyomó részét csak az első két percen nyelte el, majd a 2. perctől a csapadék nagyobb hányadát a felszínen elvezette. Ez a megállapítás 185 mm/óra és 130 mm/óra csapadékintenzitás esetén is érvényes (25-26. ábra).

Az ábrákon a t_1 jelöli azt az időpontot, amikor a talaj már nem képes a csapadékot elnyelni, hanem átereszti azt a mélyebb rétegek felé. Ez az időpont 185 mm/óra csapadékintenzitás mellett másfél perc után, 130 mm/óra csapadékintenzitás mellett egy perc után tapasztalható. Az egyensúlyi vízáteresztés (y_0) mértéke 185 mm/óra csapadékterhelés esetén 101 mm/óra értéken állt be; kisebb csapadékterhelés, 130 mm/óra csapadékintenzitás esetén pedig 67 mm/óra az értéke.



25. ábra

Kezeletlen homoktalaj víznyelő- és vízáteresztő képessége 185 mm/óra csapadékkéntesség esetén

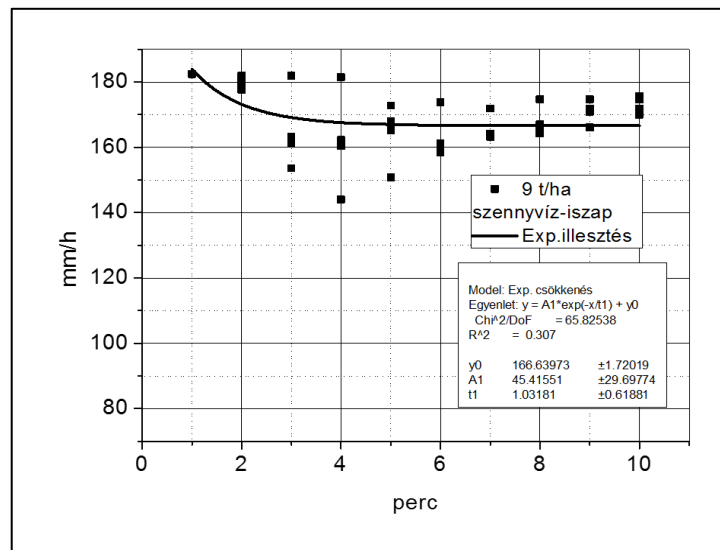


26. ábra

Kezeletlen homoktalaj víznyelő- és vízáteresztő képessége 130 mm/óra csapadékkéntesség esetén

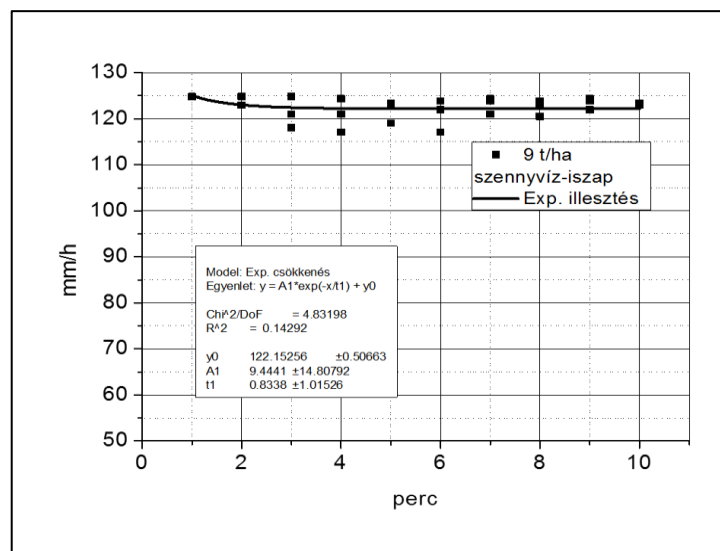
A kontroll terület és a komposzttal kezelt területek talajának víznyelő- és vízáteresztő képessége között jelentős különbséget tapasztaltam. Már a legkisebb (9 t/ha) komposzttal kezelt talaj is a csapadék nagy részét elnyelte, a felszíni elfolyás mértéke minimális volt. Az egyensúlyi víznyelés/vízáteresztés mértéke (y0) 185 mm/óra csapadékkéntesség esetén 166 mm/óra értéken állt be. Kisebb csapadékkéntesség

mellett, 130 mm/óra csapadékkéntesség esetén pedig 122 mm/óra az értéke (27-28. ábra).



27. ábra

A 9 t/ha szennyvíziszap komposzt kezelés víznyelő- és vízáteresztő képessége 185 mm/óra csapadékkéntesség esetén

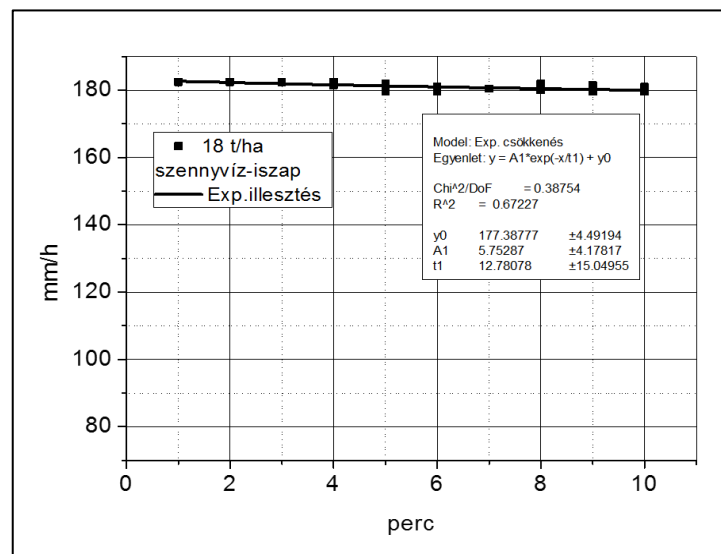


28. ábra

A 9 t/ha szennyvíziszap komposzt kezelés víznyelő- és vízáteresztő képessége 130 mm/óra csapadékkéntesség esetén

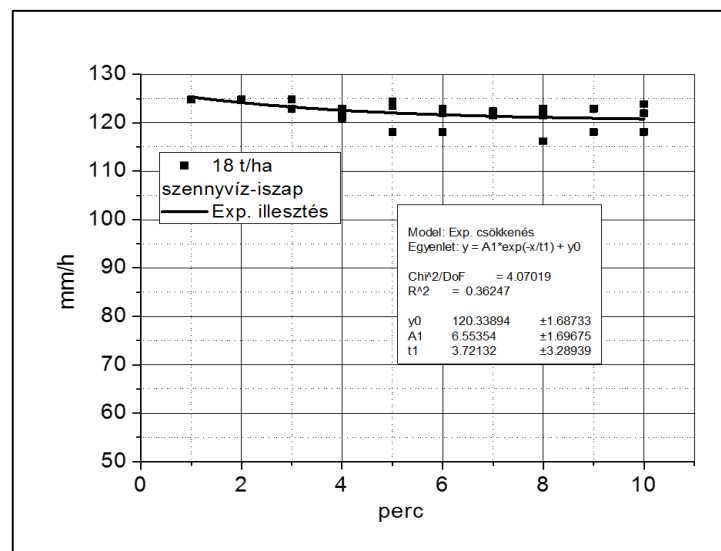
A 18 t/ha-os komposzt kezelés talaja szinte teljes mértékben elnyelte a kijuttatott csapadékmennyiséget. A lazább és tartósabb talajszerkezet növelte a talaj

víznyelőképességét nagy intenzitású csapadék mellett is. A víznyelés mértékének csökkenése, azaz a vízáteresztési szakasz elérése a 10 perces mérés során nem következett be. A csapadék intenzitásától függően a víznyelés mértéke a 185 mm/óra csapadékinintenzitás mellett nagyobb (29. ábra), mint a 130 mm/óra csapadékterhelés (30. ábra) esetén.



29. ábra

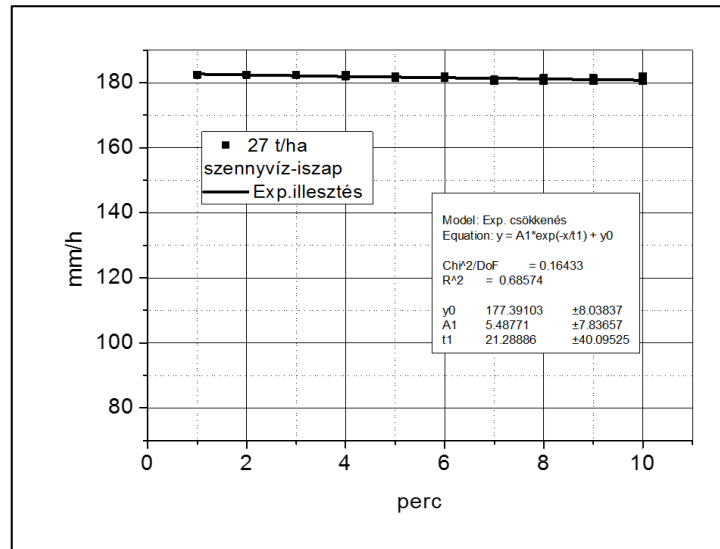
A 18 t/ha szennyvíziszap komposzt kezelés víznyelő- és vízáteresztő képessége 185 mm/óra csapadékinintenzitás esetén



30. ábra

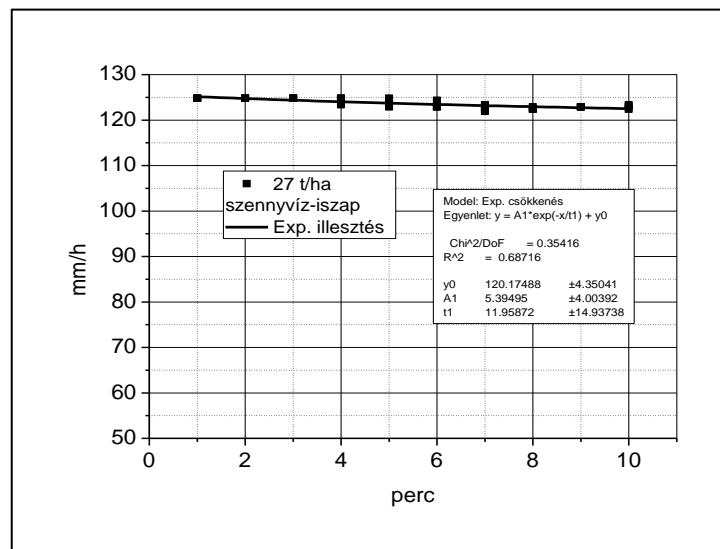
A 18 t/ha szennyvíziszap komposzt kezelés víznyelő- és vízáteresztő képessége 130 mm/óra csapadékinintenzitás esetén

A beszivárgás folyamata a 27 t/ha-os komposzt kezelésben szinte megegyezett a 18 t/ha-os komposzt kezelésben tapasztaltakkal, ami a 31-32. ábrákon jól látható. A víznyelés mértékének csökkenése, azaz a vízáteresztési szakasz elérése a 10 perces mérés során itt sem következett be.



31. ábra

A 27 t/ha szennyvíziszap komposzt kezelés víznyelő- és vízáteresztő képessége 185 mm/óra csapadékkintenzitás esetén



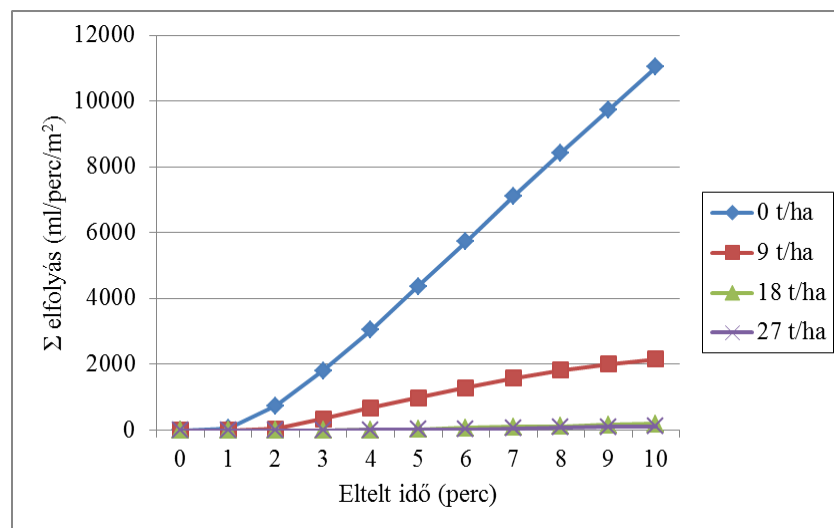
32. ábra

A 27 t/ha szennyvíziszap komposzt kezelés víznyelő- és vízáteresztő képessége 130 mm/óra csapadékkintenzitás esetén

A komposzt kezelés a beszivárgás intenzitásának növelése mellett jellemző módon megváltoztatta a beszivárgási görbe lefutását. Kezelés nélkül még egyértelműen elkülönül a víznyelési- és az állandósult intenzitású vízáteresztési szakasz (25-26. ábra), míg kisebb adagú (9 t/ha és 18 t/ha) komposzt kezelés mellett a két szakasz elkülönülése nem egyértelmű (27-30. ábra). Nagy adagú (27 t/ha) komposzt kezelés hatására tartós, nagyintenzitású vízterhelés mellett sem csökkent a beszivárgás intenzitása az idő függvényében (31-32. ábra).

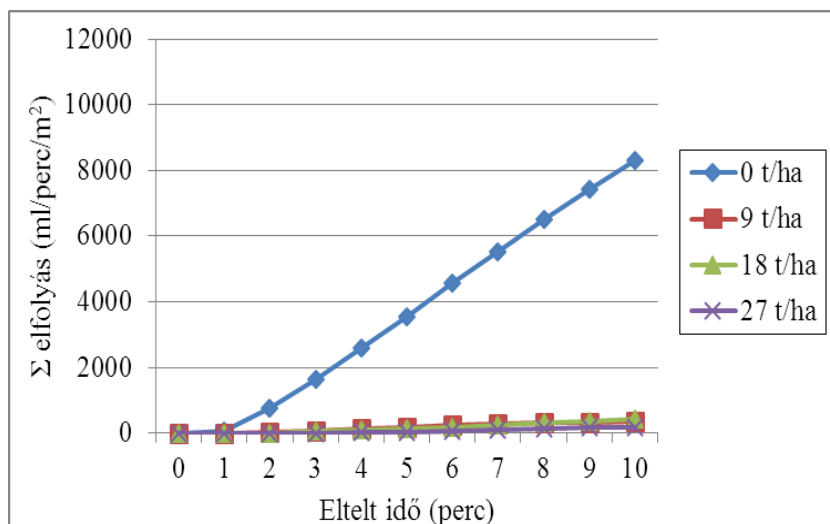
A beszivárgásintenzitás-értékekkel összhangban alakultak az elfolyás értékek. A kontroll (0 t/ha) területen végzett mérések során az elfolyás szinte azonnal megkezdődött az esőztetés megkezdése után és mértéke folyamatosan emelkedett. A 33-34. ábrákról megállapítható, hogy mindkét csapadékintenzitás mellett a kontroll területről folyt el a legnagyobb vízmennyiség.

Lényegesen kisebb az elfolyás mértéke a komposzttal kezelt területeken. A 9 t/ha szennyvíziszap komposzttal kezelt parcellában az elfolyás a második perctől volt mérhető. 185 mm/óra csapadékintenzitás mellett még jelentős elfolyás tapasztalható a 10 perces mérés során, ami 130 mm/óra csapadékintenzitás mellett már lényegesen kisebb. Az elfolyás értékek a 18 t/ha-os és a 27 t/-os komposzt kezeléseknél hasonlóan alakultak mindkét vizsgálat során.



33. ábra

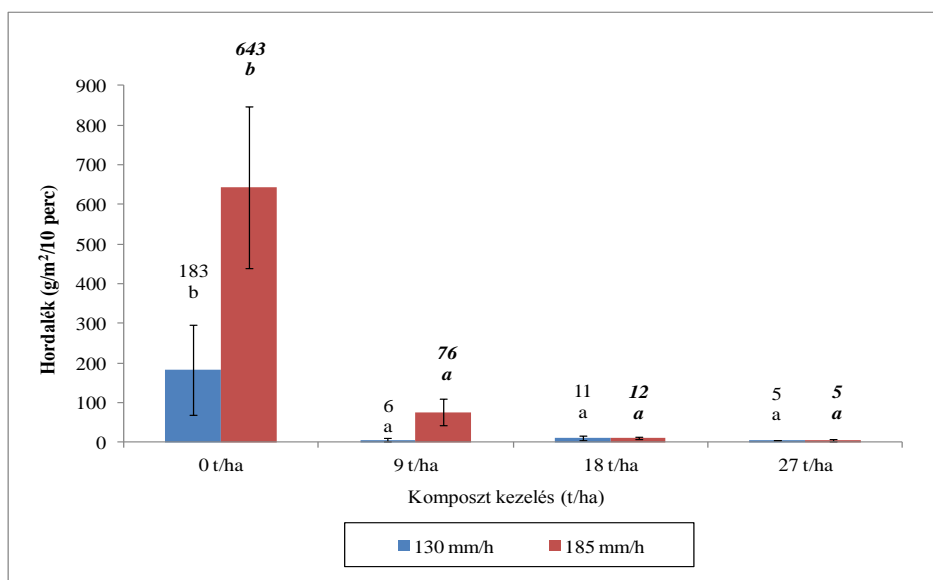
Kumulált elfolyás adatok 185 mm/óra csapadékintenzitás esetén



34. ábra

Kumulált elfolyás adatok 130 mm/óra csapadékinintenzitás esetén

A 35. ábrán feltüntetett hordalékadatok alapján látható, hogy az elfolyt víz mennyiségével arányosan a 27 t/ha-os komposzt kezelésben a legkisebb, a kontroll területen pedig a legjelentősebb az erózió mértéke mindkét csapadékinintenzitás mellett.



35. ábra

A 10 perces esőztető vizsgálat során erodált talaj száraztömege 130 mm/óra, illetve 185 mm/óra intenzitású csapadékterhelés esetén

a-b indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

185 mm/óra és 130 mm/óra csapadékintenzitások mellett a vízzel elszállított hordalék összömege a 27 t/ha komposzt kezelésben volt a legkisebb a 10 perces mérés során.

A 27 t/ha-os kezelésben mért értékekhez képest több mint kétszer nagyobb a hordalék mennyisége a 18 t/ha komposzttal kezelt parcellában mindkét csapadékintenzitás esetén. Lényegesen nagyobb az elfolyás és az erózió mértéke a 9 t/ha komposzttal kezelt területen 185 mm/óra csapadékintenzitás mellett. Ebben az esetben 15-17-szer több az elfolyt víz mennyisége és az elszállított talaj összömege a 27 t/ha-os kezelésben mért értékekhez képest. A kisebb csapadékterhelés mellett nincs jelentős eltérés a 9 t/ha-os és a 27 t/ha-os kezelések között.

A legnagyobb mértékű eróziót a kezeletlen területen tapasztaltam. A tíz perces mérés során erodált talaj összömege több mint százhuszszorosa, illetve harmincszöröse a legnagyobb komposzt dózissal (27 t/ha) kezelt területen mért adatokhoz viszonyítva, a csapadékintenzitástól függően.

A tíz perces mérés során elfolyt víz és a hordalék adatok átlagértékeit, valamint a mérési adatok alapján számított, a talaj erodálhatóságát kifejező ($K_{\text{mért}}$) tényező értékeit a 8. táblázatban foglaltam össze.

8. táblázat

Az esőztető vizsgálatok eredményei

Komposzt kezelés (t/ha)	Szimulált csapadékintenzitás (mm/óra)	Elfolyás (ml/m ² / 10 perc)	Elfolyó/kijuttatott víz aránya (%)	Hordalék (g/m ² /10 perc)	Egységnyi vízmennyiségre jutó erodált talaj mennyisége (g/m ² /mm)	Talaj erodálhatósági ($K_{\text{mért}}$)-tényező
0		11040 b	36,6 a	643 b	21,4 a	0,4493 b
9	185	2164 a	7,2 a	76 a	2,5 a	0,0528 a
18		196 a	0,65 a	8 a	0,3 a	0,0058 a
27		122 a	0,4 a	5 a	0,2 a	0,0035 a
0			8299 b	38,4 a	183 b	8,5 a
9	130	363 a	1,7 a	6 a	0,3 a	0,0094 a
18		424 a	1,9 a	11 a	0,5 a	0,0168 a
27		187 a	0,8 a	5 a	0,2 a	0,0075 a

a-b indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

Az elfolyt víz és az erodált talaj mennyisége a kontroll területen statisztikailag is igazoltan nagyobb volt mindkét esőztetés során, azonban a komposzt kezelések között nincs szignifikáns különbség.

Meghatároztam a talajfelszínen elfolyó vízmennyiségnek a kijuttatott mennyiséghez viszonyított átlagos arányát, mely a kontroll területen közel 40 %-os érték mindkét csapadékintenzitás mellett. Ez az arány 185 mm/óra csapadékintenzitás során még 7 % a 9 t/ha-os komposzt kezelésben, 130 mm/óra csapadékintenzitás mellett csupán 1,7 %. A 18 t/ha és a 27 t/ha-os kezeléseknél az elfolyó/kijuttatott víz aránya 0,4-2 %.

A talaj vízerózióval szembeni érzékenységének jellemzésére az egységnyi kijuttatott vízmennyiség által erodált talaj mennyiségét kifejező értékek jól alkalmazhatók. Ez alapján a kontroll terület talaja a legérzékenyebb az erózióval szemben, és ez az érzékenység nagyobb csapadékintenzitás mellett még jelentősebb. Kisebb, 130 mm/óra csapadékintenzitás mellett a 9 t/ha-os komposzt kezelés jelentősen csökkentette a talaj vízerózióval szembeni érzékenységét, azonban 185 mm/óra csapadékintenzitás esetén ugyanezt a hatást a 18 t/ha komposzt kezeléssel érhetjük el.

A mérési adatok alapján számított, a talaj erodálhatóságát kifejező K-tényező értéke 185 mm/óra csapadékterhelés mellett a kontroll területen volt a legnagyobb, míg a 27 t/ha kezelésben a legkisebb. Ez több mint százszoros eltérést jelent, ami összhangban van az elfolyt víz és az erodált talaj mennyiségével.

Kisebb csapadékterhelés (130 mm/óra) mellett a K-érték szintén a kontroll területen a legnagyobb, azonban ez az érték lényegesen kisebb az első esőztetés során mért értékhez képest.

A 9 t/ha-os komposzt kezelés erózióérzékenysége ötödére csökkent, a 18 t/ha és a 27 t/ha komposzttal kezelt talaj erózióérzékenysége nem változott lényegesen kisebb (130 mm/óra) csapadékintenzitás esetén.

4.8 Terméseredmények

A szennyvíziszap komposzt kísérletben vetésforgóban termesztett három növény (kukorica, tritikálé, zöldborsó) terméseredményeit a 2011 és 2013 közötti időszakban a 9. számú táblázatban foglaltam össze.

9. táblázat

A tesztnövények átlagolt terméseredményei növekvő adagú szennyvíziszap komposzt hatására 2011 és 2013 között

Komposzt kezelés (t/ha)	Kukorica			Tritikálé			Zöldborsó		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013
0	5,46 a	4,82 a	6,21 a	1,89 a	1,81 a	0,95 a	1,00 a	2,85 a	1,75 a
9	7,08 ab	4,61 a	6,70 ab	2,39 ab	2,31 ab	1,31 ab	1,07 a	3,19 a	1,58 a
18	8,21 b	5,17 a	7,28 ab	2,79 b	2,71 b	1,45 ab	1,03 a	3,31 a	1,78 a
27	8,35 b	4,92 a	7,76 b	2,97 b	2,88 b	1,58 b	0,83 a	3,14 a	1,52 a

a-b indexek: a különböző betűk a Tukey-teszt szerint statisztikailag különböző átlagokat jelölik ($p < 0,05$).

A táblázat adatai szerint, 2011-ben a kezelések hatására statisztikailag igazolt terméseredményt csak kukoricánál és tritikálénál volt. Mindkét növénynél a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os kezelésekben volt szignifikáns terméseredmény.

A zöldborsó terméseredményeit tekintve egyik évben sem mutatható ki statisztikailag igazolt kezelés hatás.

2012-ben egyedül a tritikálé terméseredményében mutatható ki kezelés hatás. Statisztikailag igazolt terméseredmény növekedés a két legnagyobb komposzt dózissal kezelt területen volt.

2013-ban szintén a kukorica és a tritikálé terméseredményeire volt statisztikailag igazolt hatása a komposzt kezelésnek. Ebben az évben mindkét növény esetében a 27 t/ha-os kezelésben mértük a legnagyobb hozamot. A 9 t/ha-os és a 18 t/ha-os kezelésekben elért hozamnövekedés azonban nem szignifikáns a kontrollhoz viszonyítva.

4.9 Az eredmények értelmezése

Az eredmények értelmezése során az előzőleg külön alpontokban ismertetett eredményeket igyekszem talajfizikai szempontból egy komplex rendszerben értékelni.

Az Arany-féle kötöttség (K_A) értékek emelkedő tendenciát mutatnak a komposzttal kezelt területeken, azonban a különbség statisztikailag nem szignifikáns. A kötöttségi szám a talaj agyagtartalmával szoros összefüggésben van, mivel a talaj vízfelvevő képessége arányosan nő a finom részecskék mennyiségével (Filep, 1999a). A komposzt ásványi anyag tartalma kismértékben ugyan növelte a kötöttségi számot, azonban a kijuttatott agyagásványok mennyisége nem volt elegendő ahhoz, hogy a különbség statisztikailag igazolható legyen.

A 0-30 cm-es talajrétegben nem volt különbség az egyes szemcsefrakciók százalékos arányában a kontroll és a komposzttal kezelt területeken. Mivel a talaj szemcsőssége nehezen változtatható, az adott talajtípusra jellemző állandó érték (Birkás, 2002), ezért a talaj mechanikai összetétele a várakozásnak megfelelően nem változott a kezelés hatására.

A feltalajban (0-30 cm) mindhárom vizsgálati évben a különböző komposzt adagokkal kezelt területek szervesanyag-tartalma nagyobb volt a kontrollhoz képest. A talaj szervesanyag-tartalmának változása összefüggésben van az alkalmazott komposzt dózissal. A kísérletben felhasznált Nyírkomposzt szervesanyag-tartalma jelentős, mintegy 20-30 m/m%. A rendszeres komposzt kezelés már 9 t/ha dózisban is szignifikánsan növelte a feltalaj szervesanyag-tartalmát. Ezt a 2013-as szervesanyag-tartalom mérés eredményei szintén igazolják.

Szakirodalmi adatok szerint is a komposzt kezelés mintegy 20-30 %-kal növeli a talaj szervesanyag-, illetve összes szerves széntartalmát (Mylavarapu és Zinati, 2009; Arthur et al., 2011, Fehér, 2013). Köhler (1984) bentonittal dúsított komposzt alkalmazásakor szintén a szervesanyag-tartalom növekedését tapasztalta homoktalajon.

A térfogattömeg fontos indikátora a talajtömődöttségnek, emellett a pórusviszonyokról is tájékoztatást ad. A 2011-ben és 2012-ben vett talajminták térfogattömegében nem volt szignifikáns különbség a kezeletlen és a komposzttal kezelt területeken. A kezelést követő évben, 2013-ban már szignifikánsan csökkent a talaj térfogattömege mindhárom komposzt kezelésben a kontrollhoz képest. Ez a megállapítás mindkét vizsgált talajmélységre igaz. Mivel a térfogattömeg a talajszerkezettel szoros kapcsolatban álló paraméter (Birkás, 2002), az eredmények

alapján a komposzt összetevői közvetlenül és közvetve is befolyásolták a talaj szerkezetességének kialakítását. A talajba juttatott szerves anyagok és a bentonit hozzájárulhattak a talajszerkezeti elemek alakításához, ezáltal a porózus talajviszonyok létrejöttéhez. Ezt a regressziószámítás eredménye is megerősíti, miszerint a talaj szervesanyag-tartalma és térfogattömege között a komposzt kezelést követő két évben erős lineáris kapcsolat van. Hasonló összefüggést ($r = -0,75$) találtak Hemmat et al. (2010) a talaj térfogattömege és szerves széntartalma között.

A szerves anyagok már kis mennyiségben is elősegítik az ásványi szemcsék aggregációját és a szerkezetképződést. A homokszemcsék felületét bevonva jelentősen hozzájárulnak a szerkezetképződéshez (Volk és Hensel, 1969). A huminsavak vas (Fe)- és alumínium (Al)-oxidokkal/hidroxidokkal társulva – agyagásványok jelenlétében – szintén tartós szerkezeti elemek kialakulásához vezetnek (Filep, 1999a).

A szerves anyag mellett a szennyvíziszap komposzttal bentonitot is kijuttattunk a talajba. A bentonit magas montmorillonit tartalommal rendelkezik, mely nagy vízkapacitású agyagásvány. A bentonit jelentős adszorpciós képessége révén kedvezően hat a talajok szerkezetére, tápanyag- és vízgazdálkodására (Szendrei, 1998, Tállai, 2011). A bentonit magában csak a különálló homokszemcsék összecementálására képes, és nem alakul ki sejtszerű térhálós mikroszerkezet. Azonban a bentonitot a komposzt összetevőjeként a talajba juttatva, szervesanyag-agyag komplexek és ezeken keresztül térhálós szerkezet alakul ki (Tombác et al, 1998; Lazányi, 2003). Az agyagásványok és a vas- vagy alumínium-hidroxidok egy részét vastagabb vagy vékonyabb humuszártya veszi körül. A montmorillonit a kristályrács rétegei közötti belső felületen is képes a szerves anyagok megkötésére, mely a mikrobiológiai lebontással szemben igen ellenálló (Filep, 1999a).

A talaj szerkezetességének kialakulása révén a talaj mikroszervezeteire is hat. A komposzt kezeléssel párhuzamosan a mikroszkopikus gombák száma is nőtt (Makádi, 2010). A szennyvíziszap komposzt kezelés növelte a talaj mikrobiológiai aktivitását, melyet az invertáz aktivitás és a talajlégzés mérés eredmények is megerősítenek (Fehér, 2013). A komposzt szerves anyagai tápanyagul szolgáltak a mikroorganizmusok élettevékenységéhez, mely elősegítette szaporodásukat. A szerves maradványokat bontó mikroorganizmusok által termelt nyálkaanyagoknak (poliszacharidoknak), bomlástermékeknek és gombafonalaknak jelentős szerkezetstabilizáló hatásuk lehetett, tovább javítva a porózus talajszerkezetet. A komposzt kezelés hatására a talaj kémhatásának közel semleges tartományba tolódása (Aranyos et al., 2013) szintén

serkentő hatással volt a talaj mikrobiológiai aktivitására. Ezen kívül a bentonit nagy fajlagos felülete révén szintén életteret biztosít a talajszerkezet kialakításában jelentős szerepet betöltő talaj mikroorganizmusok számára (Davet, 2004). Ezt igazolja Tállai (2011) is, miszerint a homoktalajon alkalmazott kis dózisú bentonit kezelés növeli az összes baktérium-számot.

2014-ben a talaj szervesanyag-tartalma átlagosan 0,1-0,3 %-kal csökkent a komposzt kezelésekben. A szervesanyag-tartalom talajszerkezetre gyakorolt kedvező hatása ezáltal szintén gyengült. Ennek oka a homoktalajban uralkodó erőteljes mineralizációs folyamatok hatása (Sabrah et al., 1995; Celik et al., 2004).

A 9 t/ha és a 18 t/ha-os komposzt kezelésekben, a szerves anyagok mennyiségének csökkenésével, a meglévő szervesanyag-ásványi komplexek széteshettek. Csak a 27 t/ha-os komposzt kezelés szervesanyag-tartalma volt elegendő a 2013-ban kialakult talajszerkezeti elemek fenntartásához, ezáltal a talaj térfogattömegének csökkenéséhez. Ezen kívül a szerves anyagok mennyiségének csökkenésével feltételezhetően a mikroorganizmusok élettevékenysége is lecsökkent. Ezáltal a tartós szerkezeti elemek kialakulását segítő nyálkaanyagok termelése is mérséklődött. Weber et al. (2014) kísérletükben a talaj szerves szén tartalmát a nagyadagú (36 t/ha) komposzt dózis növelte jelentősen, mely hatása 3 év után is megmaradt. A kisebb dózisú komposzt kezelések hatása a talaj szervesanyag-tartalmára egy év elteltével nem volt érzékelhető. Ezt a mikrobiológiai folyamatok hatására csökkent szervesanyag-tartalommal indokolták. Eredményeik alapján a szerves anyag bomlása a kezelést követő hónapokban volt a legintenzívebb.

Feltételezem, hogy a szerves anyagok mennyiségén túl, azok minőségének is jelentős szerepe volt a talajszerkezeti elemek létrehozásában. Ezt megerősíti Hanász (2014) eredményei, aki az általunk is használt szennyvíziszap komposztálása során végbemenő, szervesanyag-tartalomhoz kapcsolódó paraméterek változását vizsgálta. A humuszfrakció minőségére irányuló vizsgálatai során megállapította, hogy E_4/E_6 hányados az érés során nőtt, azaz a kész komposztban elsősorban a kis molekulájú fulvo- és huminsavak dominálnak. Ismert, hogy a kismolekulájú fulvosavak az ásványi alkotórészekkel gyors, bár nem tartós kötéseket alakítanak ki. Ezzel szemben a nagyobb molekulatömegű huminsavak lassabban kialakuló, de tartósabb komplexek kialakítására képesek (Filep, 1999a). Valószínűsíthetően a talaj szerkezetességének kialakításában a kismolekulájú szerves anyagok vettek részt, melyek mennyisége a kezelést követő második évtől nem volt elegendő a kedvező pórusviszonyok fenntartásához a 9 t/ha és a

18 t/ha-os komposzt kezelésekben. Fehér (2013) eredményei szintén megerősítik feltevésemet, miszerint a talajban lévő humuszanyagok minőségének tanulmányozása során a komposzt kezelés hatásaképp az E_4/E_6 hányados növekvő tendenciát mutattak.

Javasolom tehát a szerves anyag mennyiségi meghatározásán túl, annak minőségi vizsgálatát, mely további információt nyújthat a komposzt kezelés talajfizikai hatásainak értékeléséhez.

A komposzt kezelés tehát az első két évben fejtette ki kedvező hatását a talajszerkezetre, ezáltal a térfogattömegre. Hasonló következtetésre jutottak Weber et al. (2007) és Szegi (2009) is, miszerint a komposztált szerves és szervesetlen anyagokkal való kezelés statisztikailag is igazoltan javította a homoktalaj fizikai tulajdonságait, azonban a komposzt hatása a második évtől már nem volt kimutatható.

Egyéb tanulmányok is az enyémhez hasonló adatokat közölnek, miszerint a komposzt kezelés hatására átlagosan 10-20 %-al csökken a talaj térfogattömege (Sabrah et al., 1995; Zebarth et al., 1999; Tejada és Gonzalez 2006, 2007; Mylavarapu és Zinati, 2009). Az általam mért térfogattömeg értékek sok esetben meghaladták a Birkás (2002) szerint kritikusnak vélt $1,5 \text{ g/cm}^3$ értéket, azonban jóval alatta maradtak az Amerikai Mezőgazdasági Minisztérium (USDA) szaktanácsadási anyaga szerint a homoktalajon gyökérnövekedést akadályozó kritikus $1,8 \text{ g/cm}^3$ térfogattömeg értéknek (forrás: I₁).

Az évek közti különbséget vizsgálva látható, hogy 2014-ben a talaj térfogattömege nagyobb mind a kezeletlen, mind a kezelt területeken, szemben az előző három évhez viszonyítva. Ennek az lehet a magyarázata, hogy a 2014-ben lehullott 539 mm évi csapadékmennyiség közel 100-150 mm-rel több az előző évekhez képest. A nagyobb csapadék pedig jobban tömörítette a feltalajt, ezáltal nagyobb térfogattömeg-értékeket eredményezve. Emellett megfigyelhető, hogy a felső talajsztintben a térfogattömeg kisebb volt, mint a mélyebb talajsztintben. Ennek feltehető oka, hogy a 20-25 cm-es talajrétegben a talajművelés és a feltalaj tömegének tömörítő hatása nagyobb térfogattömeg értékeket eredményezett (Paul és Clark, 1996; Nyakatawa et al., 2001).

A talajminák légáteresztő képessége összhangban alakult a térfogattömeg értékek változásával. Az 5-10 cm-es talajrétegben a 2012-es komposzt kezelést megelőző években nem tapasztaltam eltérést a kontroll és a komposzt kezelések légáteresztése között. Ennek oka, hogy a felső talajrétegben a szerves anyag lebomlott, ezáltal a talaj szerkezetességének kialakításában nem vett részt.

Az első két vizsgálat az értékek nagyfokú szórását mutatta, mely a talaj heterogenitásával, illetve a komposzt kezelés hatásának csökkenésével magyarázható. A 20-25 cm-es talajrétegből vett talajminták légáteresztése 2011-ben a 9 t/ha-os kezelésben, 2012-ben a 27 t/ha-os kezelésben nagyobb a kontrollhoz képest. Ennek oka, hogy a mélyebb talajrétegekben alacsonyabb a hőmérséklet és a talajlevegő oxigéntartalma, mint a feltalajban, ezáltal a szerves anyag bomlása is lassabb (Celik et al., 2004; Kátai, 2011). Ennek következtében a nagyobb adagú komposzt kezelések szervesanyag-tartalma a 20-25 cm-es talajrétegben elegendő mennyiségben állt rendelkezésre a talaj szerkezeti elemeinek, illetve a porózus talajviszonyok kialakításához.

A komposzt kezelést követő évben, 2013-ban már mindhárom komposzt kezelés légáteresztése szignifikánsan nagyobb volt a kontrollhoz viszonyítva mindkét vizsgált talajszintben. Ennek egyértelmű oka, hogy az ásványi és szerves anyagok részt vettek a talaj szerkezetességének létrehozásában, ezáltal csökkentve a talaj térfogattömegét. A kedvező talajszerkezet pedig kellő mennyiségű pórust tartalmazott a levegőmozgás számára, ezzel megfelelő talajállapotot biztosítva. Ezt a megállapítást alátámasztja a talaj térfogattömege és légáteresztő képessége közötti erős ($r^2 = -0,5444$) lineáris kapcsolat.

A légáteresztés növekedése összefüggésben van a pórusok össztérfogatának és a makropórusok mennyiségének növekedésével (Celik et al., 2004). Ezt a megállapítást a víztartó képesség mérés eredményeim szintén megerősítik. Széplábi et al. (2012) szerint a szántóföldi vízkapacitás közeli nedvességtartalmú talajrétegek mért légáteresztő képesség értékei jól korrelálnak a talajok térfogattömegével és a gravitációs pórustér nagyságával. Adataik szerint a térfogattömeg $1,3 \text{ g/cm}^3$ -ről $1,6 \text{ g/cm}^3$ -re való növekedése a légáteresztő képességet harmadára csökkentette.

A talaj mikroorganizmusainak élettevékenysége szintén összefüggésbe hozható a talaj kedvezőbb levegőgazdálkodásával. A komposzttal kezelt talajon az enzimaktivitás jelentősen nőtt (Makádi, 2010). A kataláz aktivitásának növekedését Tejada et al. (2006) a szerves anyag kezelés hatására növekvő porozitással és ezáltal a talaj javuló átszellőzöttségével hozták összefüggésbe.

2014-ben az 5-10 cm-es talajrétegben már csak a 27 t/ha-os kezelés, a 20-25 cm-es talajrétegben pedig a 18 és a 27 t/ha-os komposzt kezelések légáteresztése nagyobb a kontrollhoz képest. Ennek feltehető oka az előzőekben már említett mineralizációs folyamatok hatása, azaz a szervesanyag-ásványi komplexek felbomlása.

A 2013. és 2014. évi eredmények közötti szórás már lényegesen kisebb, és hasonlóan a térfogattömeg értékek változásához, a 18 és a 27 t/ha-os komposzt dózisok kedvező hatását láthatjuk. Az első vizsgálati időpontban az adatok nagyfokú szórása azzal magyarázható, hogy a tritikálé vetése (október) és a mintavételezés időpontja (november) között eltelt idő nem volt elegendő a talajszerkezet konszolidálásához.

Az irodalmi adatokkal összehangban (Weber et al., 2007; Angin et al., 2013), a légáteresztő képesség mérések eredményei igazolták a komposzt kezelés jelentős hatását a talaj levegőgazdálkodására. Az első évben már a kisadagú komposzt kezelés is növelte a talaj átszellőzöttségét. A második évtől azonban, a szerves anyag bomlásának következtében, már csak a nagyobb komposzt dózisok hatása igazolt.

A szakirodalomban ismertetett tanulmányok többsége a komposzt kezelésnek a talaj víztartó képességére, illetve hasznosítható vízkészletére gyakorolt kedvező hatásáról számol be (Sabrah et al., 1995; Celik et al., 2004; Weber et al., 2007). A pF-méréseim eredményei ezt a megállapítást csak részben igazolják.

A talaj összporozitását leginkább befolyásoló tényező a talaj szerkezete. A makro- és mikroaggregátumok kialakulásához, vagyis, hogy a talaj szerkezetes legyen, kolloid ragasztóanyagokra van szükség. Mivel a homoktalajok szerves és ásványi kolloidokban szegények, ezért természetes körülmények között a homoktalajoknál nagyon alacsony összporozitás értékeket tapasztalhatunk (Birkás, 2002). A komposzt szervesanyag-tartalma részt vett a homokszemcsék összereasztásában. Az így létrejött organominerális komplexek pedig jelentősen hozzájárultak a talaj szerkezetességének kialakításához.

A talaj összporozitása (pF-0) mind a négy vizsgálati évben közel 50 % értékre nőtt a komposzt kezelés hatására. Növekedés mindkét vizsgált talajszintben elsősorban a 18 t/ha és a 27 t/ha-os komposzt kezeléseknél volt. Harrach et al. (1983) a 40-50 % közötti összporozitást homok fizikai féleségű talajok esetén magas kategóriába sorolták.

Az évek közti különbséget vizsgálva látható, hogy 2014-ben kisebb a talaj összporozitása mind a kezeletlen, mind a kezelt területeken, szemben az előző három évhez viszonyítva. Ez szintén azzal magyarázható, hogy a 2014-ben lehullott 539 mm évi csapadékmennyiség közel 100-150 mm-rel több az előző évekhez képest. A nagyobb csapadékmennyiség jobban tömörítette a feltalajt, nőtt a térfogattömeg, ezáltal csökkent a pórusok ösztérfogata.

Az összpórustér változása nagyrészt a makropórusok mennyiségének változása révén következett be. A regressziószámítás eredménye ezt szintén megerősíti, miszerint

a talaj térfogattömege és nedvességtartalma közt alacsony tenziótartományban (pF-0,4) közepesen erős lineáris összefüggés van. Az összpórustér és makropórusok részarányának növekedése jelentős hatást gyakorolt a talaj levegőgazdálkodására. Ezt a légáteresztés mérés eredményei is alátámasztják.

A pF-mérések alapján megállapítható, hogy a komposzt kezelés hatására kevésbé változott a vízvisszatartásban fontos szerepet játszó mikropórusok mennyisége. A talaj vízgazdálkodását (vízvezetését és víztartó képességét) befolyásoló kapilláris-gravitációs, illetve a növények vízfelvételét szolgáló kapilláris pórusok nem, vagy csak csekély mértékben alakultak ki. Ennek feltehető oka, hogy a komposzttal kijuttatott szerves és ásványi kolloidok mennyisége és minősége nem volt elegendő a növényi vízfelvételben jelentős szerepet játszó mikrokapillárisok létrejöttéhez.

Marinari et al. (2000) is arról számolnak be, hogy a komposzt kezelés hatására nő az összporozitás, mely véleménye szerint elsősorban a szerves anyag mennyiségétől függ. Celik et al. (2004) több mint 20 %-os összporozitás növekedést tapasztaltak a komposzttal kezelt területeken. A kezelés növelte a talaj víztartó képességét és hasznos vízkészletet, amit a mikropórusok számának növekedésével indokoltak. Ezzel szemben Haynes és Naidu (1998) szerint habár javult a talaj víztartó képessége, az nem eredményezte a hasznos vízkészlet mennyiségének növekedését, mivel a holtvíztartalom is jelentősen nőtt.

A szabadföldi vízkapacitás, illetve a hasznosítható vízkészlet mennyisége a komposzt kezelést követő első két évben nőtt kismértékben. A komposzttal kijuttatott szerves anyagok jelentős vízmegkötő képessége alapvető fontosságú a talaj vízgazdálkodásában, vízmegtartásában (Filep, 1999a; Stefanovits, 1999). A talaj víztartó képességét nemcsak szerkezetkialakító szerepük révén, hanem közvetlenül is befolyásolták. Nagy adszorpciós képességüknel fogva javították a homoktalaj vízgazdálkodását. A szerves anyagban gazdag talaj így több vizet tudott megkötni és a megkötött vízmennyiséget tovább tárolta.

Sabrah et al. (1995) komposztált városi hulladékot használtak homoktalaj javítására. A kísérlet eredményeként statisztikailag is igazoltan nőtt a talaj szabadföldi vízkapacitása, a növények számára hasznosítható víz mennyisége, valamint a víztartó pórusok mennyisége. 33 t/ha komposzt dózis mellett a szabadföldi vízkapacitás 12,6 %-ról 15,9 %-ra, a diszponibilis víz mennyisége pedig 10,3 %-ról 13,4 %-ra emelkedett a komposzt kezelés első évében. A talaj hidraulikus vízvezető képessége csaknem felére csökkent. A kezelés kedvező hatását annak tulajdonították, hogy elegendő mennyiségű

szubsztrát állt rendelkezésre a mikroorganizmusok élettevékenységéhez. Ezáltal fokozódott a makroaggregátumok képződése, javítva a talaj szerkezetességét.

Szegi (2009) szintén a szerves anyagok, illetve a bentonit a talaj víztartó képességére gyakorolt jelentős szerepét emelte ki. Véleménye szerint a fenti anyagok a talajok nedvességmegkötő képességét valószínűleg a talajok szerkezetességére kifejtett hatáson keresztül növelték. Megállapította, hogy a növekvő ásványi kolloid tartalommal növekszik a talajminták nedvességtartó képessége. Legjobban a szerves anyagot, agyagásványt, kalcium-karbonátot tartalmazó minták tartották vissza a nedvességet. A minták vízmegkötő képessége akkor adta a legnagyobb értékeket, amikor a nagy adagú szerves és szervesetlen adalékanyagok hozzáadását mészszip hozzáadásával kombinálta. A hozzáadott bentonit és a minták nedvesség visszatartási képessége között erős ($r=0,891$) lineáris kapcsolatot mutatott ki. Ha pedig szerves komponenst is adott a talajokhoz, a kapcsolat szorossága elérte a 0,965 értéket.

Kísérletünkben pF-2,0–4,2 tenziótartományban a komposzt kezelések víztartó képessége nem változott. Magasabb szívóerő-tartományban a mért nedvességtartalomra már nincs hatása a talaj szerkezetének, mivel a vízvisszatartást elsősorban a felületeken lejátszódó adszorpciós jelenségek befolyásolják (Filep, 1999a). Mivel kísérletünkben a talaj szemcseösszetétele nem változott, ezért a komposzt kezelés nem volt hatással a talaj holtvíztartalmára. Ellenben Mylavarapu és Zinati (2009) méréseik során pF-2–4,2 szívóerő-tartományban a komposzt kezelések több vizet tartottak vissza.

2014-ben, a 2012-es kezelést követő második évben már csak a 18 t/ha és a 27 t/ha-os komposzt dózisok voltak kedvező hatással a talaj víztartó képességére. Hasonló következtetésre jutottak Weber et al. (2007) is. A kísérlet során a szabadföldi vízkapacitás 40 %-kal, a hasznosítható vízkészlet 45 %-kal nőtt az első hónapban. Fél év után már csak a legnagyobb komposzt kezelések növelték a víztartó képességet. Egy év elteltével pedig nem tapasztaltak kezelési hatást. Nőtt az összporozitás is, azonban a második és harmadik évben a komposzt kezelés már nem eredményezett változást. A kezelés rövid távú befolyásoló hatását a mineralizációs folyamatok eredményeként csökkent szerves anyag mennyiségével indokolták. Ugyanerre a megállapításra jutottak De Leon-Gonzales et al. (2000), miszerint a komposzt kezelés talajtulajdonságokra kifejtett hatása a gyors mineralizációs folyamatok következtében rövid időre korlátozódik.

Megfigyelhető, hogy alacsony tenziótartományban a mért adatok szórása (0,3-2,1) lényegesen nagyobb, mint a magasabb tenziótartományban mért szórás értékek

(0,04-0,5). Ennek oka, hogy pF-0–2,5 tenziótartományban a talaj víztartó képessége elsősorban a talajszerkezettől függ, míg pF-3,4–4,2 tenziótartományban inkább a mechanikai összetétel függvénye (Filep, 1999a).

A talaj aktuális nedvességtartalmát nagymértékben befolyásolják az időjárási körülmények, azonban a mérési eredmények alapján elmondható, hogy elsősorban a 18 t/ha és 27 t/ha-os komposzt kezelések hatására nőtt a talaj víztartó képessége.

A talaj felszínére hullott csapadék a beszivárgás (infiltráció) révén jut a talajba, melyet elsősorban a talaj fizikai jellemzői határoznak meg. A homoktalajok víztartó képessége csekély, víznyelő- és vízvezető képessége általában nagy. Kivételt képez, amikor a felszínen kialakult tömörödött kéreg miatt nagymértékben lecsökken a csapadék talajba szivárgása (Várallyay, 1984).

Az esőztető szimulátorral végzett kísérletek elsődleges célja a komposzt kezelésnek a talajszerkezetre, a talaj víznyelő- és vízáteresztő képességére gyakorolt hatásának megállapítása volt. A talaj vízbefogadó képessége egyértelműen nőtt a komposzt kezelés hatására.

A víznyelési szakasz kezdetén a kezeletlen talaj szerkezeti elemei még épek voltak, mely lehetővé tette a víz beszivárgását az alsó talajszintekbe. Ez a folyamat azonban csak nagyon rövid időre korlátozódott. Az esőcseppek becsapódása miatt a talaj meglévő szerkezeti elemei szétestek. A homokszemcsék eltömítették a gravitációs pórusokat, elzárva a csapadékvíz elől a beszivárgás útját a mélyebb talajrétegekbe. Ebben az állapotban a felszínről csak annyi víz szivárgott a talajba, amennyi a rétegből lefelé eltávozni képes. A talaj szerkezeti elemeinek szétesése után számottevő elfolyás indult meg a lejtő irányába, magával ragadva a talajrészecskéket (Szabó, 2002).

A szerkezeti elemek stabilitása az egyik legfontosabb indikátora az intenzív csapadékkal és erózióval szembeni ellenállásnak. A talaj aggregátumainak stabilitását elsősorban az agyagtartalom, a szerves anyag mennyisége és minősége befolyásolják. A szerves anyagok nagymértékben növelik a talajszerkezet vízállóságát. A talajszerkezet szempontjából legkedvezőbb a szervesanyag-agyag komplexek. Stabil, vízálló, porózus morzsákat alakítanak ki, mivel a huminsavak két vegyértékű fémionokkal alkotott sói vízben nem oldódnak, csak duzzadnak (Filep, 1999a; Füleky, 2011). A komposzttal kezelt talajban a szerves anyagok és a bentonit hatására tartósabb szerkezeti elemek jöttek létre, melyek ellenálltak az esőcseppek üté hatásával szemben. A beszivárgás a makropórusok részarányának növekedésével és a szerkezeti stabilitással fokozódott. Az esőztetés során a nagyobb összporozitás szintén elősegítette a beszivárgást a feltalajba

(Bazzoffi et al., 1998). Az ellenállóbb szerkezeti egységek pedig csökkentették a csepperózió mértékét (Arhur et al., 2011).

Számos kutatásban arról számolnak be, miszerint a komposzttal kijuttatott szerves anyag jelentősen növelte a talaj aggregátum stabilitását (Tisdall, 1994; Aggelides és Londra, 2000; Nyamangara et al., 2001). Tejada et al. (2008) azt javasolták, hogy a talaj erodálhatóságát (K) leíró egyenletben (USLE) a talaj szervesanyag-tartalmának kémiai összetételét és a talaj szerkezeti stabilitását is figyelembe kell venni. Véleményük szerint az aggregátum stabilitás a huminsavak mennyiségével szorosabb összefüggésben áll, mint a fulvosavak mennyiségével. Kutatásom során a szerves anyagok minőségét nem vizsgáltam, ezért csak feltételezem az előbbi összefüggést. Ezzel szemben, Albiach et al. (2001) véleményük szerint a komposzt kezelés hatására megnövekedett szervesanyag-tartalom nem növeli az aggregátum stabilitást.

Az agyagásványok mennyiségének növekedésével a talaj szerkezeti elemeinek stabilitása is nőtt azáltal, hogy részt vettek a talaj mikrostruktúrájának kialakításában (Marshall et al., 1996).

A sűrűbb gyökérszövetnek szintén jelentős jelentős aggregáló szerepe lehetett. A terméseredmények alapján a komposzt kedvező hatással volt a termesztett növények fejlődésére és termésátlagára. A növények gyökerei, a mikorrhizák (a gombák és a növények között kialakult szimbiózis) és gombafonalak jelentős szerepet játszanak a mechanikai elemek összekapcsolásában (Tisdall, 1994; Ortas, 2002). A rhizoszférában a talajbaktériumok bevonják, a mikorrhiza gombafonalak pedig átszövik a mikro- és makroaggregátumokat (Miller és Jastrow, 2000). Az így létrejött biológiai szerkezet nem tartós, mert ha a talajban élő mikroorganizmusok szaporodása és élettévékenysége csökken, a szerkezetstabilizáló hatás is gyengül vagy teljesen megszűnik (Filep, 1999a).

A komposzt kezelés növelte a talaj szervesanyag-tartalmát, mely által javult a szerkezeti elemek vízállósága. Aggelides és Londra (2000) szerint ez a mikroorganizmusok tevékenységének köszönhető, melyek aktivitása a könnyen bomló szerves anyagok közvetlen hatásaként jelentősen nőtt. A komposzt kezelés hatására megnövekedett mikrobiológiai aktivitás (Makádi, 2010; Fehér, 2013) kedvezően befolyásolhatta a szerkezeti elemek tartósságát. A mikorrhizák által termelt poliszacharidok szintén a talajkolloidok ragasztóanyagaiként szolgálnak (Tisdall, 1994). Sutton és Sheppard (1976) megállapították, hogy a homoktalaj aggregáltsága ötször nagyobb mikorrhiza kezelés hatására, mint a kezeletlen talajé. Bethlenfalvay et al.

(1999) pozitív összefüggést találtak a vízálló aggregátumok mennyisége és a talajban lévő gombák száma között. Ezzel szemben De Leon-González et al. (2000) azt tapasztalták, habár a komposzt kezelés hatására jelentősen megnövekedett az 1 mm-nél nagyobb makroaggregátumok aránya, azonban ezek kevésbé álltak ellen az esőcseppek mechanikai ütéhatásának.

Kertész és Richter (1997) az általam vizsgált talajtípushoz leginkább hasonlítható, erodált barna erdőtalajon 0,007 értéket kaptak a K tényezőre természetes esőzés és mesterséges esőztetés után. Centeri (2002) 0,009 értéket közöl a talaj erodálhatósági értékeként Ramann-féle barna erdőtalaj esetében 130 mm/óra intenzitású mesterséges esőztetés során. Jakab és Szalai (2005) 1,19 % humusztartalmú barnaföldön, 130 mm/óra csapadékintenzitás mellett a K erodálhatósági tényező átlagos értékeként $K=0,019$ kaptak eredményül. A nemzetközi szakirodalomban Rejman et al. (1999) 0,0176 és 0,0385 közötti K értékeket közölnek barna erdőtalajon végzett kísérletben. Ezek az értékek csak nagyságrendileg felelnek meg az általam mért értékeknek.

A talaj termékenysége, nedvességállapota, víz- és levegőgazdálkodása nagymértékben befolyásolja a termesztett növények fejlődését, ezáltal hat a biomasszaprodukcióra. A talajjavításra felhasznált különféle anyagok alkalmazása akkor eredményes, ha a talajtulajdonságokban bekövetkező változás nem jár együtt a termesztett növények termésmennyiségének csökkenésével, vagy káros, veszélyes anyagoknak a növényi biomasszában történő megjelenésével (Filep, 1999b; Füleky, 2011). Ezen oknál fogva szükséges a szennyvíziszap komposzt a növényi biomasszaprodukcióra kifejtett hatását is megvizsgálni.

A komposzt kezelés elsősorban a kukorica és a tritikálé terméshozamára volt kedvező hatással. A kutatók véleménye szerint a komposzttal talajba juttatott szerves anyagok pozitívan befolyásolják a magvak csírázási erélyét, a növényi gyökök és hajtások növekedését és fejlődését (Van Noordwijk et al., 1993). A talajtermékenység javulását többnyire a nagyobb szerves szén mennyisége eredményezte (Adani et al., 2009-ben; Barral et al., 2009). A komposzt kezelés általában kedvezően befolyásolta a tritikálé hozamát és minőségét (Eriksen et al., 1999; Lillywhite et al., 2009). Weber et al. (2014) 2-2,8 t/ha tritikálé termést értek el a kezelt területeken szemben a kontroll 1,3-1,45 t/ha-os termésátlagához. Kísérletünkben a tritikálé terméshozama közel hasonló volt a komposzttal kezelt területeken.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Doktori értekezésem fő célkitűzése az volt, hogy megvizsgáljam a szennyvíziszap komposzt, mint talajjavító anyag felhasználásának talajtani hatásait. A négy évben elsősorban a talaj fizikai tulajdonságaiban bekövetkező változásokat követtem nyomon laboratóriumi és terepi mérésekkel. Vizsgálataim a komposzt kezelés a talajszerkezetre és a talaj vízgazdálkodási tulajdonságaira gyakorolt hatásainak megállapítására irányultak.

A szennyvíziszap komposzt szervesanyag- és bentonit tartalma közvetlenül és közvetve is hozzájárult a talaj szerkezetességének kialakításához. A térfogattömeg a talajszerkezettel szoros kapcsolatban álló paraméter, fontos indikátora a talajtömődöttségnek. A térfogattömeg értékek alapján a megismételt kezelések utáni első két évben statisztikailag igazolt a komposzt kezelések tömődöttséget csökkentő hatása mindkét vizsgált talajsztintben.

A komposzt kezelést követő harmadik évben azonban statisztikailag igazolt térfogattömeg-változás nem volt kimutatható. Ennek feltehető oka a homoktalajban uralkodó erőteljes mineralizációs folyamatok hatására csökkenő szervesanyag-tartalom.

Feltételezem, hogy a szerves anyagok mennyiségén túl, azok minőségének is jelentős szerepe volt a talajszerkezeti elemek létrehozásában. Javaslom tehát a szerves anyag mennyiségi meghatározásán túl, annak minőségi vizsgálatát, mely további információt nyújthat a komposzt kezelés talajfizikai hatásainak értékeléséhez.

A négy év térfogattömeg mérés eredményei alapján a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os komposzt dózisok a kezelt parcellákban egyértelmű térfogattömeg csökkenést okoztak, mely hatás leginkább a kezelést követő első két évben mutatkozott.

A térfogattömeg értékek csökkenésével összhangban, a talaj a légáteresztése jelentősen nőtt a rendszeres komposzt kezelés hatására. A komposzt kijuttatást követő első évben mindhárom komposzt kezelés légáteresztése szignifikánsan nagyobb volt a kontrollhoz viszonyítva mindkét vizsgált talajsztintben. Ennek oka, hogy az ásványi és szerves anyagok részt vettek a talaj szerkezetességének létrehozásában ezáltal csökkentve a talaj térfogattömegét. A kedvező talajszerkezet pedig kellő mennyiségű pórust tartalmazott a levegőmozgás számára, ezzel megfelelő talajállapotot biztosítva. Ezt a megállapítást alátámasztja a talaj térfogattömege és légáteresztő képessége közötti erős ($r^2 = -0,5444$) lineáris kapcsolat. Az 1. táblázatban közölt értékeket figyelembe véve a vizsgált talaj még $1,6 \text{ g/cm}^3$ térfogattömeg-értéknél is „nagy” áteresztő

képességű. A homoktalajban a transzport folyamatok (víz- és levegő átérésztés) még nagyobb térfogattömeg esetén is jelentősek.

A komposzt kezelést követő második évben már csak a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os komposzt kezeléseknél volt szignifikánsan nagyobb a talaj légáteresztése. Ennek oka, hogy a felső talajrétegben a szerves anyag lebomlott, ezáltal a talaj szerkezetességének kialakításában nem vett részt. A komposzt kezelés hatására a makropórusok mennyiségének növekedése jobb légáteresztő képességet eredményezett, melynek negatív visszacsatolása a gyorsabb szerves anyag lebomlás.

A további ismeretszerzés céljából terepi légáteresztő képesség vizsgálatokat tervezek, hogy összevethessem az adatokat a laboratóriumi mérések során tapasztaltakkal. Várhatóan a terepi mérések is alátámasztják a komposzt kezelés hatását, valamint kiküszöbölhető a mintavételezés hibája.

A víztartó képesség mérés eredményei alapján a talajban lévő pórusok össztérfogata mind a négy vizsgálati évben közel 50 % értékre nőtt a komposzt kezelés hatására. Az összpórustér változása nagyrészt a makropórusok mennyiségének növekedése révén következett be, ami jelentős hatást gyakorolt a talaj levegőgazdálkodására.

A komposzt kezelés hatására kevésbé változott a víztartásban fontos szerepet játszó mikropórusok mennyisége. Ennek feltételezhető oka, hogy a komposzt összetevői, a szerves és ásványi kolloidok mennyisége és minősége nem volt elegendő a növényi vízfelvételben jelentős szerepet játszó mikropórusok kialakulásához. A hasznosítható vízkészlet mennyisége kismértékben a komposzt kezelést követő évben nőtt. A talaj vízgazdálkodási tulajdonságainak javítása tehát további kutatásokat igényel.

A komposzt kezelés egyértelműen javította a talaj vízbefogadó képességét, csökkentve ezzel az elfolyó víz és az erodált talaj mennyiségét. A beszivárgás a makropórusok mennyiségének növekedésével és a szerkezeti stabilitással jelentősen nőtt a komposzttal kezelt területeken. Nagy intenzitású (130 mm/óra és 185 mm/óra) vízterhelés mellett sem csökkent a beszivárgás intenzitása az idő függvényében. Már a 9 t/ha és a 18 t/ha-os komposzt adagok is jelentős hatással voltak a talaj vízbefogadó képességére, azonban a 27 t/ha-os dózis már nem okozott további beszivárgás-intenzitás-növekedést.

A komposzt kezelés a beszivárgás növelése mellett jellemző módon megváltoztatta a beszivárgási görbe lefutását. Kezelés nélkül még egyértelműen

elkülönül a víznyelési és az állandósult intenzitású vízáteresztési szakasz, míg a komposzt kezelés hatására a két szakasz elkülönülése a tíz perces mérés során nem következett be, az infiltrációs ráta a mérés során gyakorlatilag változás nélkül magas maradt.

A komposzt pozitív hatása a jövőben még felértékelődhet a klímaváltozás hatásaként a Kárpát-medencében a nagyobb gyakoriságú és nagy intenzitású csapadékesemények következtében, amelyek jelentős eróziós károkat okozhatnak a homokkal fedett dombvidékeken is.

A vizsgálati eredmények alapján levonható legfontosabb következtetés tehát az, hogy a szennyvíziszap komposzt kezelés előnyösen befolyásolja a talaj fizikai tulajdonságait, azonban a kezelés hatása csak két évre tehető. Ebből kifolyólag, a komposzt két évente történő felülkezelését javaslom.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kutatásom során talajjavító anyagként alkalmazott komposztált szennyvíziszap gyenge termékenységű, szélsőséges vízgazdálkodású homoktalaj egyes fizikai tulajdonságaira gyakorolt hatását tanulmányoztam. A négy évben mértem a talaj légáteresztését, térfogattömegét, víztartó képességét, vízvezető képességét és erózióérzékenységét.

Új tudományos megállapításaim a következők:

1. A komposzt kezelés hatására a gravitációs vízmozgásért felelős makropórusok mennyisége nőtt jelentősen és kevésbé változott a víztartásban szerepet játszó mikropórusoké.
2. A diszponibilis víz mennyisége kismértékben a komposzt kijuttatását követő első két évben növekszik statisztikailag igazolhatóan a kezelt parcellákban.
3. A talaj térfogattömege a komposzt kezelés utáni első évben szignifikánsan csökkent mindkét vizsgált talajszintben. A második évtől a hatás már csak a 18 t/ha és a 27 t/ha komposzt dózissal kezelt területeken volt mérhető. A harmadik évtől a kezelésnek nem volt kimutatható hatása.
4. Bizonyítottam a komposzt kezelésnek a talaj levegőgazdálkodására gyakorolt hatását. A komposzt kezelés hatására a makropórusok mennyiségének növekedése jobb légáteresztő képességet eredményezett, melynek negatív visszacsatolása lehet a gyorsabb szerves anyag lebomlás.
5. Homoktalaj esetében az egységnyi (1 g/cm^3) térfogattömeg csökkenés/növekedés átlagosan 30 %-os légáteresztés növekedést/csökkenést eredményez.
6. A komposzt kezelés nagymértékben növeli a talajszerkezet vízerózióval szembeni ellenállását, illetve nagy intenzitású csapadék esetén a talaj vízbefogadó képességét.

7. A komposzt kezelésre a homoktalaj transzport folyamatai (víz- és levegő áteresztés növekedés) javul, de a víztartó képesség és a hasznos vízkészlet alig változik.
8. A térfogattömeg, a légáteresztő képesség és a víztartó képesség mérés eredmények alapján a komposzt tartamhatása két évre tehető.
9. A víz- és levegő áteresztés mérések alapján kimutattam, hogy a vizsgált talaj kritikus tömődöttsége $1,5 \text{ g/cm}^3$ -nél nagyobb érték.

7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

1. A hulladéknak minősülő szennyvíziszap ártalmatlanítása komposztálás során, illetve a komposzt talajjavító anyagként történő felhasználása a mezőgazdaságban környezetkímélő módon.
2. A nagy szervesanyag-tartalmú szennyvíziszap komposzt, az állatállomány csökkenésének következtében egyre kevesebb mennyiségben termelődő istállótrágya mellett, felhasználható a talajok szerves anyag pótlására.
3. A komposzt kezelésnek a talaj levegőgazdálkodására gyakorolt kedvező hatása hozzájárulhat a gazdasági növények termésének, illetve a termésbiztonság növeléséhez.
4. A komposzt kezelés hatására kialakult kedvezőbb talajviszonyok nagymértékben hozzájárulhatnak a vízerózió okozta károk csökkentéséhez.

8. ÖSSZEFOGLALÁS (magyar nyelven)

A Nyírségben fellelhető homoktalajok túlnyomó része kedvezőtlen víz-, hő-, levegő- és tápanyag-gazdálkodással rendelkezik. A megfelelő termékbiztonság elérése érdekében emiatt mindenképpen javításra szorulnak. A szakirodalom szerint a komposztált szennyvíziszap magas szervesanyag-tartalmának következtében alkalmas lehet e talajok tápanyag-utánpótlására, szerkezetének és termékenységének javítására. Emellett a hulladéknak minősülő szennyvíziszap elhelyezése is környezetbarát módon megoldható.

A DE ATK Nyíregyházi Kutatóintézet területén 2003-ban kezdték el a szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági felhasználásának vizsgálatát. A beállított tartamkísérletben vizsgáltam a Nyírkomposzt (a Nyírségvíz ZRt-vel közösen kifejlesztett szennyvíziszap komposzt készítmény) rendszeres alkalmazásának talajfizikai hatását.

A kísérleti terület jellegzetes talajtípusa a kovárványos barna erdőtalaj. A kísérletben használt komposzt alkotói: szennyvíziszap 40 % (m/m), szalma 25 % (m/m), riolit 30 % (m/m) és bentonit 5 % (m/m). A szennyvíziszap komposzt összeállításakor és felhasználásakor a 36/2006. (V.18.) FVM rendeletben előírt határértékeket vettük figyelembe. A komposztot eddig 5 alkalommal juttattuk ki, az istállótrágyához hasonlóan három évente 0, 9, 18 és 27 t/ha (sz.a.) dózisban. A komposzt bedolgozása a talajba középmező (20-25 cm) szántással történt. A kísérlet kiterített vetéskörében vetett növényei a tritikálé (*x Triticosecale* Wittmack), a kukorica (*Zea mays* L.) és a zöldborsó (*Pisum sativum* L.).

Dolgozatomban arra kerestem a választ, hogy kovárványos barna erdőtalajon alkalmazott szennyvíziszap komposzt hogyan befolyásolja a talaj egyes fizikai tulajdonságait. A kutatás során a talaj térfogattömegének, légáteresztő képességének, víztartó- és vízvezető képességének változását vizsgáltam 2011 és 2014 között.

A talajfizikai laboratóriumi méréseket a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézetében végeztem. A mérésekhez 100 cm³-es bolygatatlan talajmintákat vettem az 5-10 cm-es és a 20-25 cm-es mélységekből, 5 ismétlésben.

Az eredeti szerkezetű talajminták térfogattömegét 24 órás 105 °C-on történő szárítás után határoztam meg. A talaj nedvességtartalmának meghatározását 105 °C-on, súlyállandóságig, gravimetriás (szárítószekrényes) módszerrel végeztem.

A talaj légáteresztő képességének meghatározására Eijkelkamp típusú légátjárhatóság mérő készüléket használtam. A különböző talajnedvesség-tartalmak okozta hiba kiküszöbölésére a légátjárhatóságot egységesen pF-2,3 nedvességtartalom mellett határoztam meg.

A talaj víztartó képességét pF-0–4,2 tenziótartományban a homokágy-, a homok/kaolinágy-, valamint a nyomásmembrános készülékekkel mértem.

A talaj vízvezető képességének mérésére és a talaj erózióérékenységének jellemzésére Eijkelkamp típusú esőztető berendezést használtam. A méréseket minden esetben 10 percen keresztül folytattam 185 mm/óra és 130 mm/óra csapadékintenzitások mellett

A négy év vizsgálati eredményei alapján a szennyvíziszap komposztnak a talaj fizikai tulajdonságaira kifejtett hatása leginkább a komposzt kezelést követő első két évben mutatkozott.

A szennyvíziszap komposzt szervesanyag- és bentonit tartalma közvetlenül és közvetve is hozzájárult a talaj szerkezetességének kialakításához. A térfogattömeg a talajszerkezettel szoros kapcsolatban álló paraméter, fontos indikátora a talajtömődöttségnek. A térfogattömeg értékek alapján a megismételt kezelések utáni első két évben statisztikailag igazolt a komposzt kezelések tömődöttséget csökkentő hatása mindkét vizsgált talajsíntben.

A komposzt kezelést követő harmadik évben azonban statisztikailag igazolt térfogattömeg-változás nem volt kimutatható. Ennek feltehető oka a homoktalajban uralkodó erőteljes mineralizációs folyamatok hatására csökkenő szervesanyag-tartalom.

A légáteresztő képesség mérések eredményei alapján a komposzt kezelés jelentősen befolyásolta a talaj levegőgazdálkodását. A térfogattömeg értékek csökkenésével összhangban a talaj légáteresztése jelentősen nőtt a rendszeres komposzt kezelés hatására. A komposzt kijuttatást követő első évben mindhárom komposzt kezelés légáteresztése szignifikánsan nagyobb volt a kontrollhoz viszonyítva mindkét vizsgált talajsíntben. Ennek oka, hogy az ásványi és a szerves anyagok részt vettek a talaj szerkezetességének létrehozásában, ezáltal csökkentve a talaj térfogattömegét. A kedvező talajszerkezet pedig kellő mennyiségű pórust tartalmazott a levegőmozgás számára, ezzel megfelelő talajállapotot biztosítva. Ezt a megállapítást alátámasztja a talaj térfogattömege és légáteresztő képessége közötti erős ($r^2 = -0,5444$) lineáris kapcsolat. A kísérleti terület talaja még $1,6 \text{ g/cm}^3$ térfogattömeg-értéknél is „nagy”

áteresztő képességű, tehát a levegő transzport ennél a térfogattömeg értéknél sem korlátozott a vizsgált homoktalajban.

A komposzt kezelést követő második évben már csak a 18 t/ha-os és a 27 t/ha-os komposzt kezeléseknél volt szignifikánsan nagyobb a talaj légáteresztése. Ennek oka, hogy a felső talajrétegben a szerves anyag lebomlott, ezáltal a talaj szerkezetességének kialakításában nem vett részt. A komposzt kezelés hatására a makropórusok mennyiségének növekedése jobb légáteresztő képességet eredményezett, melynek negatív visszacsatolása a gyorsabb szerves anyag lebomlás.

A talajban lévő pórusok ösztérfogata mind a négy vizsgálati évben közel 50 % értékre nőtt a komposzt kezelés hatására. Az öszpórustér változása nagyrészt a makropórusok mennyiségének növekedése révén következett be, ami jelentős hatást gyakorolt a talaj levegőgazdálkodására.

A komposzt kezelés hatására kevésbé változott a víztartásban fontos szerepet játszó mikropórusok mennyisége. Ennek feltételezhető oka, hogy a komposzt öszteveői, a szerves és ásványi kolloidok mennyisége és minősége nem volt elegendő a növényi vízfelvételben jelentős szerepet játszó mikropórusok kialakulásához. A hasznosítható vízkészlet mennyisége kismértékben a komposzt kezelést követő első két évben nőtt.

A komposzt kezelés javította a talaj vízbefogadó képességét, csökkentve ezzel a dombokról lefolyó víz által okozott eróziót. A beszivárgás a makropórusok mennyiségének növekedésével és a szerkezeti stabilitással jelentősen nőtt a komposzttal kezelt területeken. Extrém csapadékintenzitás (130 mm/óra és 185 mm/óra) mellett sem csökkent a beszivárgás intenzitása az idő függvényében. Már a 9 t/ha és a 18 t/ha-os komposzt adagok is jelentős hatással voltak a talaj vízbefogadó képességére, azonban a 27 t/ha-os dózis már nem okozott további beszivárgás-intenzitás-növekedést. Ezzel szemben a kontroll területen jelentős erózió lépett fel az esőztetés hatására.

A komposzt kezelés kedvező hatása a jövőben még felértékelődhet a klímaváltozás hatásaként a Kárpát-medencében a nagyobb gyakoriságú és nagy intenzitású csapadékesemények következtében, amelyek jelentős eróziós károkat okozhatnak a homokkal fedett dombvidékeken is.

A négy év eredményei alapján a szennyvíziszap komposzt alkalmas a gyenge termékenységű homoktalajok javítására. A komposzt kezelés közvetlen hatása a talajszerkezet, illetve a talaj vízgazdálkodási feltételeinek javulásában nyilvánul meg.

Közvetett hatásaként a talaj fizikai állapotában bekövetkező erőteljes javulás miatt javul a talaj víz- és levegőgazdálkodása, mely a terméseredményekben is megmutatkozik.

A vizsgálati eredmények alapján levonható legfontosabb következtetés tehát az, hogy a szennyvíziszap komposzt kezelés előnyösen befolyásolja a talaj fizikai tulajdonságait, azonban a kezelés hatása csak két évre tehető.

9. ÖSSZEFOGLALÁS (angol nyelven)

The large part of sandy soils in the Nyírség region have unfavourable water-, heat-, air management and nutrient supply. To ensure the suitable crop safety requires the improving of their soil structure. Results have shown that the sewage sludge compost, due to its high organic matter content, is suitable for nutrient supply and improving structure and fertility of these soils. Sewage sludge, which is considered as a waste, also can be placed in an environmentally-sound way.

The experiment was established in 2003 at the Research Institute of Nyíregyháza of the University of Debrecen CAS in Hungary to study the utilization of sewage sludge compost in agriculture. In the experiment I studied the long-term effect of Nyírkomposzt (sewage sludge compost developed in cooperation with Nyírségvíz Ltd) application on physical properties of soil.

The characteristic soil type of the experiment is Arenosol (Lamellic Arenosol, Dystric). The applied compost contained sewage sludge 40 (m/m %), straw 25 (m/m %), bentonite 5 (m/m %) and rhyolite 30 (m/m %). The quality of sewage sludge compost met the limit values of the Hungarian regulation (36/2006. (V.18.) Decree of the Ministry of Agriculture). The compost has already re-treated five times as the farmyard manure every 3rd years in the following amounts: 0, 9, 18 and 27 t ha⁻¹ of dry matter. Compost was ploughed into the 20-25 cm soil layer. Test plants were triticale (*x Triticosecale* Wittmack), maize (*Zea mays* L.) and green pea (*Pisum sativum* L.), which were sown in a crop rotation in every year.

The aim of my study was to determine the effects of the application of sewage sludge compost on physical properties of sandy soil. In this research the changes of bulk density, air permeability, water retention and hydraulic conductivity of soil were measured between 2011 and 2014.

Measurements were carried out in the soil physical laboratory of Karcag Research Institute of the University of Debrecen CAS. For measurements undisturbed soil samples of 100 cm³ volumes were collected in five replicates from the 5-10 cm and 20-25 cm soil layers.

The bulk densities of undisturbed soil samples were measured after 24^{hr} drying at 105 °C. The moisture content of soil was determined at 105 °C by drying chamber method.

The air permeability of soil was measured by the Eijkelkamp type air permeability apparatus. To eliminate the effect of different moisture content, the air permeability was measured at the uniform moisture content of pF 2.3.

For determination the soil water retention over the complete range from pF 0 to pF 4.2; the sandbox, the sand/kaolin box and the pressure membrane apparatus were used.

For measuring the hydraulic conductivity of soil and to characterize the erodibility of soil Eijkelkamp type rainfall simulator was used. Measurements have continued for 10 minutes, the intensities of the simulated rainfall were 185 mm hour⁻¹ and 130 mm hour⁻¹.

According to the results of the four years, the effects of compost application on the physical properties of soil could be proved in the first two years after compost re-treatment.

The organic matter and the bentonite component of composted sewage sludge formed directly and indirectly the soil structure. Bulk density depends on soil structure and it is an indicator of soil compaction. Based on the bulk density values it was found, that the compost application had an impact on soil compaction in the first two years after compost re-treatment in both studied soil layers.

However, in the 3rd year after compost application it was not found any statistically significant change in bulk density, probably because the organic matter was degraded due to the rapid mineralization processes taking place in sandy soil.

Based on the results of air permeability measurements, the compost application had a significant effect on the air management of the soil. In accordance with the decrease in bulk density, the air permeability of soil increased after compost re-treatment. The air permeability was significantly higher in the compost treatments than in control in both studied soil layers in the 1st year after compost re-treatment, because the addition of organic and mineral materials to soil improved soil structure and reduced soil bulk density. The air management of sandy soil was improved as well by the increased quantity of pores, thereby ensuring a good soil condition. This claim is confirmed by a strong ($r^2 = -0.5444$) linear correlation between bulk density and air permeability of the soil. The studied soil had a "high" permeability at 1.6 g cm⁻³ bulk density, indicating that the air transport function of the investigated sandy soil is not limited at this bulk density value.

The air permeability was significantly higher in the 18 t ha⁻¹ and 27 t ha⁻¹ compost treatments in the second year after compost application. The reason is that the organic matter was degraded in the upper soil layer, so it did not contribute to the improvement of soil structure. The air management of sandy soil was improved by the increased quantity of macropores after compost application, but its negative effect is the rapid mineralization of organic matter.

The total porosity of soil increased to 50 V/V% in all studied years after compost re-treatment. The total porosity was increased by the increased quantity of macropores, which had a significant effect on air management of soil.

The rate of capillary pores was changed less after compost application, because the quantity and quality of organic and mineral materials of compost were not enough to form the microcapillaries, which play an important role in water sorption of plants. The plant-available water content (PAWC) was slightly increased but only in the first two years after compost application.

The water infiltration into soil was improved by the compost application therefore reducing the water erosion from the sandy hills. The rate of infiltration was increased in the compost treatments by the increased rate of macropores and the water stable soil structure. The intensity of infiltration was not decreased by the extreme high intensity rainfalls (130 mm h⁻¹ and 185 mm h⁻¹). The 9 t ha⁻¹ and 18 t ha⁻¹ compost doses already had a significant effect on water infiltration, but the 27 t ha⁻¹ compost dose did not result in further increase of the infiltration intensity. However, in the control plot there was significant water erosion.

The beneficial effect of compost application on soil structure can be more expressed in the future, when, as the impacts of climate change in the Carpathian Basin, the increasing frequency of the high-intensity precipitation events could cause major erosion damage on sand hills.

Based on the results of the four studied years, the composted sewage sludge is suitable for improving the structure of sandy soils with low fertility. The direct effects of sewage sludge compost application were the improved soil structure and water management. The indirect effects of sewage sludge compost application were the improved soil physical condition, which effected on the water and air management, and therefore had a positive impact on the yields as well.

According to the results it can be concluded, that the composted sewage sludge influenced positively the soil physical properties, but the duration of the effect can be expected only up to two years.

10. IRODALOM

- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M., Wessolek, G.: 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*. 202–203: 183-191.
- Adani, F., Tambone, F., Genevini, P.: 2009. Effect of compost application rate on carbon degradation and retention in soils. *Waste Management*. 29: 74–179.
- Aggelides, S. M., Londra, P. A.: 2000. Effect of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties. *Bioresource Technology*. 71: 253–259.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., Ingelmo, F.: 2001. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Environmental Pollution*. 76: 125–129.
- Alim, A., Nishigaki, Chegbeleh, M., L. P., Akudago, J. A., Komatsu, M.: 2009. Determination of Soil-Water Characteristic Curves of Unsaturated Sandy Soils Using Membrane Filter with Stainless Wire Mesh. *Journal of the Faculty of Environmental Science and Technology*. 14. 1: 13-16.
- Alexa L., Dér S.: 1998. A komposztálás elméleti és gyakorlati alapjai. Bio-Szaktanácsadó Bt., Gödöllő.
- Alexa L., Dér S.: 2001. Szakszerű komposztálás. Profikom Kft., Gödöllő.
- Almássy E.: 1977. Hidrológia-hidrográfia. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Al-Zaidyeen, S. M., Al-Qadi, A. N. S.: 2015. Effect of Phosphogypsum As a Waste Material in Soil Stabilization of Pavement Layers. *Jordan Journal of Civil Engineering*. 9. 1: 1-7.
- Angin, I., Aksakal, E. L., Oztas, T., Hanay, A.: 2013. Effects of municipal solid waste compost (MSWC) application on certain physical properties of soils subjected to freeze thaw. *Soil and Tillage Research*. 130: 58–61.
- Aranyos, T., Tomócsik, A., Orosz, V., Blaskó, L., Makádi, M.: 2013. Changes in physical and chemical soil properties after 10 years of compost application. *Növénytermelés*. 62: 201-206.
- Arthur, E., Cornelis, W. M., Vermang, J., De Rocker, E.: 2011. Effect of compost on erodibility of loamy sand under simulated rainfall. *Catena*. 85: 67-72.
- Arthur, E., Tuller, M., Moldrup, P., de Jonge, L.W.: 2015. Effects of biochar and manure amendments on water vapor sorption in a sandy loam soil. *Geoderma*. 243–244: 175-182.

- Badalíková, B., Bartlová, J.:* 2014. Effect of various compost doses on the soil infiltration capacity. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 62: 849-858.
- Bakr, N., Weindorf, D. C., Zhu, Y., Arceneaux, A. E., Selim, H. M.:* 2012. Evaluation of compost/mulch as highway embankment erosion control in Louisiana at the plot-scale. *Journal of Hydrology*. 468-469: 257-267.
- Ball, B. C.:* 1981. Modelling of soil pores as tubes using gas permeabilities, gas diffusivities and water release. *Journal of Soil Science*. 32: 465–481.
- Balogh I.:* 2001. A talajjavító anyagok választékbővítésére vonatkozó kutatások főbb eredményei. Habilitációs tézisek. Kézirat, Karcag.
- Barral, M. T., Paradelo, R., Moldes, A. B., Domínguez, M., Díaz-Fierros, F.:* 2009. Utilization of MSW compost for organic matter conservation in agricultural soils of NW Spain. *Resources, Conservation and Recycling*. 53: 529–534.
- Bayer, A., Vogel, H. J., Roth, K.:* 2004. Direct measurement of the soil water retention curve using X-ray absorption. *Hydrology and Earth System Science*. 8: 2-7.
- Bazzoffi, P., Pellegrini, S., Rocchini, A., Morandi, M., Grasselli, O.:* 1998. The effect of urban refuse compost and different tractors tyres on soil physical properties, soil erosion and maize yield. *Soil and Tillage Research*. 48: 275–286.
- Benedek P.:* 1977. A szennyvíziszap elhelyezése és mezőgazdasági hasznosítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Benedek P.:* 1990. Biotechnológia a környezetvédelemben. Műszaki Könyvkiadó. Budapest.
- Berente, I., Antal, J., Fülöp, T.:* 2010. Biomasszahamuból talajjavító szer. *Hulladéksors*, XI.: 42-44.
- Bethlenfalvay, G. J., Cantrell, I. C., Mihara, K. L., Schreiner, R. P.:* 1999. Relationships between soil aggregation and mycorrhizae as influenced by soil biota and nitrogen nutrition. *Biology and Fertility of Soils*. 28: 356–363.
- Birkás M.:* 2002. Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Akaprint Kiadó, Budapest.
- Birkás M.:* 2004. Talajhasználat–Műveléshatás–Talajnedvesség. SzIE MKK. Quality-Press Nyomda és Kiadó Kft., Gödöllő.
- Borsy Z.:* 1961. A Nyírség természeti földrajza. Budapest.
- Buzás I.:* 1993. Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv I. In da 4231 kiadó, Budapest.

- Centeri Cs.: 2002. Az általános talajveszteség becslési egyenlet (USLE) K tényezőjének vizsgálata. Doktori értekezés. Szent István Egyetem, Gödöllő.
- Centeri, Cs., Pataki, R., Bíró, Zs., Császár, A.: 2003. Az eróziós térképek kategóriáinak értékelése. *Agrokémia és Talajtan, Szemle*. 52: 443-454.
- Celik, I., Ortas, I. és Kilic, S.: 2004. Effects of composts, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of Chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research*. 78: 59–67.
- Cerdà, A., Jurgensen, M. F.: 2011. Ant mounds as a source of sediment on citrus orchard plantations in eastern Spain. A three-scale rainfall simulation approach. *Catena*. 85: 231–236.
- Chamindu, D. T. K. K., Moldrup, P. Schjønning, P., de Jonge, L. W., Kawamoto, K., Komatsu, T.: 2011. Density-corrected models for gas diffusivity and air permeability in unsaturated soil. *Vadose Zone Journal*. 10: 226–238.
- Chen, W., Wolf, B., Zheng, X., Yao, Z., Butterbach-Bahl, K., Brüggemann, N., Liu, C., Han, S.; Han, X.: 2011. Annual methane uptake by temperate semiarid steppes as regulated by stocking rates, aboveground plant biomass and topsoil air permeability. *Global Change Biology*. 17: 2803–2816.
- Cogger, C. G.: 2005. Potential compost benefits for restoration of soils disturbed by urban development. *Compost Science and Utilization*. 13. 4: 2-5.
- Corey, A. T.: 1986. Air permeability. [In: Klute, A. (szerk.) *Methods of Soil Analysis*. Part 1.]. ASA and SSSA. Madison, 1121–1136.
- Csubák, M., Mahovics, B.: 2008. A kommunális szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosításának tapasztalatai. *Talajvédelem*. Különszám: 217-226.
- Davet, P.: 2004. *Microbial ecology of the soil and plants growth*. Science Publishers, Inc. Enfield, Plymouth.
- De León-González, F., Hernández-Serrano, M. M., Echevers, J. D.: 2000. Short-term compost effect on macroaggregation in a sandy soil under low rainfall in the valley of Mexico. *Soil and Tillage Research*. 56. 3-4: 213–217.
- De O'na, J., Osorio, F., Garcia, P. A.: 2009. Assessing the effects of using compost-sludge mixtures to reduce erosion in road embankments. *Journal of Hazardous Materials*. 164: 1257-1265.
- Di Gléria, J., Klimes-Szmik, A., Dvoracsek, M.: 1957. *Talajfizika és talajkolloidika*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

- Dömsödi J.: 1988. Ásványi anyagok, kőzetőrlemények felhasználása talajjavításra, tápanyagvisszapótlásra. Budapest.
- Dunai, A., Makó, A., Hernádi, H., Miókovics, E., Széplábi, G.: 2008. A talajok légáteresztő képességének laboratóriumi vizsgálata. *Talajvédelem*. Különszám: 73-80.
- Dunai, A., Makó, A., Barna, Gy.: 2013. A talajok légáteresztő képessége. *Agrokémia és Talajtan*. 62: 415-426.
- Egerszegi, S.: 1953. Homokterületeink termőképességének megjavítása „altalajtrágyázással”. *Agrokémia és Talajtan*. 2: 97-107.
- Epstein, E., Taylor, J. M., Chancy, R. L.: 1976. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. *American Society of Agronomy*. 5. 4: 422-426.
- Epstein, E.: 1997. The science of composting. Technomic Publishing Company Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA.
- Eriksen, G. N., Coale, F. J., Bollero, G. A.: 1999. Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agronomy Journal*. 91. 6: 1009–1016.
- Fehér B.: 2013. Szennyvíziszap komposzt rendszeres alkalmazásának hatása a homoktalaj szervesanyag-tartalmára és enzimaktivitására. Diplomaterv, Debrecen.
- Filep Gy.: 1999a. Talajtani alapismeretek I. Debrecen.
- Filep Gy.: 1999b. Talajtani alapismeretek II. Debrecen.
- Fister, W., Iserloh, T., Ries, J. B., Schmidt, R.-G.: 2011. Comparison of rainfall characteristics of a small portable rainfall simulator and a combined portable wind and rainfall simulator. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 55. 3: 109-126.
- Fodor, N., Rajkai, K.: 2005. Számítógépes program a talajok fizikai és vízgazdálkodási jellemzőinek egyéb talajjellemzőkből történő számítására (TALAJTANonc1.0). *Agrokémia és Talajtan*. 54: 25–40.
- Fodor, N., Blaskó, L., Éri, L., Rajkai, K.: 2009. Hidraulikus vezetőképesség mérési és becslési eredmények összehasonlítása homoktalajra. *Agrokémia és Talajtan*. 58: 369-380.
- Foster, G. R., Mccool, D. K., Renard, K. G., Moldenhauer, W. C.: 1981. Conversion of the USLE to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*. 36. 6: 355-359.
- Füleky Gy.: 2011. Talajvédelem, talajtan. Pannon Egyetem-Környezetmérnöki Intézet, Veszprém.

- Gardner, G.:* 1998. A szerves hulladék újrahasznosítása. [In: Brown R. L., Flavin C., French H. (szerk.) A világ helyzete.] Föld Napja Alapítvány, Budapest. 110-128.
- Gál, A., Rétháti, G., Simon, B.:* 2013. Effect of differently aged charcoal on soil fertility. *Növénytermelés*. 62: 265-268.
- Góczán, L., Kazó, B.:* 1969. A mérnökgeológiai–vízgazdálkodási térképezés új módszerei és felhasználási területei. *Földrajzi Értesítő*. 18: 409–417.
- Groenevelt, P.H., Kay B.D. és Grant C.D.:* 1984. Physical assessment of a soil with respect to rooting potential. *Geoderma*. 34: 101-114.
- Gruiz, K., Vaszita, E., Feigl, V., Klebercz, O., Anton, A.:* 2012. Environmental risk assessment of red-mud contaminated land in Hungary. *Geo-Congress 2012*: 4156–4165.
- Hajas, J., Kertész, L.:* 1951. A talaj szerkezetének vizsgálata talajlégjárhatóság mérővel. *Agrártudomány*. 3: 98.
- Hamamoto, S., Moldrup, P., Kawamoto, K., Komatsu, T.:* 2009. Effect of particle size and soil compaction on gas transport parameters in variably saturated, sandy soils. *Vadose Zone Journals*. 8: 986–995.
- Hanász A.:* 2014. A kommunális szennyvíziszap komposztálása során végbemenő szervesanyag-tartalomhoz kapcsolódó paraméterek változása. Szakdolgozat. Debreceni Egyetem, Debrecen.
- Hargitai, L.:* 1978. A nitrogénleadás és a humifikáció fokának összefüggése kertészeti tőzegeknél. *Kertészeti Egyetem Közleményei*. XL. 2: 105-107.
- Harrach, T, Dumbeck, G., Vorderbrügge, T.:* 1983. Direkte und indirekte Wirkung verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf das Bodengefüge. *Tagungsbericht zum Symposium Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen*. 43-64.
- Harrison, R. B., Grey, M. A., Henry, C. L., Xue, D.:* 1997. Field Test of Compost Amendment to Reduce Nutrient Runoff. *College of Forestry Resources*. 1-53.
- Haynes, R. J., Naidu, R.:* 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 51: 123–137.
- Hemmat, A., Aghilinategh, N., Rezajnejad, Y., Sadeghi, M.:* 2010. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil & Tillage Research*. 108: 43–50.

- Horn, R., Fleige, H.: 2003. A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. *Soil and Tillage Research*. 73: 89–99.
- Horton, R. E.: 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*. 56: 275-370.
- Iserloh, T., Fister, W., Ries, J. B., Seeger, M.: 2010. Design and calibration of the small portable rainfall simulator of Trier University. *Geophysical Research Abstracts*. 12: 2769.
- Iserloh, T., Fister, W., Ries, J. B., Cerdá, A., Echeverría, M. T., Geissler, C., Kuhn, N. J., León, F. J., Peters, P., Schindewolf, M., Schmidt, J., Scholten, T., Seeger, M.: 2012. Comparative measurements with seven rainfall simulators on uniform bare fallow land. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 57. 1: 11–26.
- Iversen, B. V., Schjønning, P., Poulsen, T. G., Møldrup, P.: 2001. In-situ, on-site and laboratory measurements of soil air permeability. Boundary conditions and measurement scale. *Soil Science*. 166: 97–106.
- Jakab, G., Szalai, Z.: 2005. Barnaföld erózióérzékenységének vizsgálata esőztetéssel a Tetves-patak vízgyűjtőjén. *Tájökológiai Lapok*. 3. 1: 1-12.
- Jeffery, S., Meinders, B. J., Stoof, C. R., Bezemer, T. M., van de Voorde, T. F. J., Mommer, L., van Groenigen, J. W.: 2015. Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. *Geoderma*. 251–252: 47–54.
- Juhász J.: 2002. Hidrogeológia. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Kazó, B.: 1966. A talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak meghatározása mesterséges esőztető készülékkel. *Agrokémia és Talajtan*. 15: 329-252.
- Kazó, B.: 1981. Homoktalajok melioratív javítása hígtrágya, barnaszén, zeolit dezaggregátumokkal. *Agrokémia és Talajtan*. 30. 1-2: 199-201.
- Kazó, B., Barna, J.: 1978. Hígtrágyák barnaszén meddőekkel való dezaggregálása a környezetvédelem és a mezőgazdasági hasznosítás szempontjából. *METESZ Környezetvédelmi Bizottság Kiadványa*.
- Kazó, B., Karucka A., Kocsis, I.: 1982. Homoktalajok termékenységének fokozása zeolit tartalmú talajjavító anyag felhasználásával. [In: Hlavay J., Jánossy A., Olaszi V., Pataki K. (szerk.) Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása.]. MTA Veszprémi Akadémiai Bizottsága, Veszprém. 5-305.
- Kádár I.: 1999. Tápanyaggazdálkodás Magyarország homokjain. International Potash Institute, Basel; MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, Budapest.

- Kádár I., Szemes I.:* 1994. A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve. MTA–TAKI, Budapest. 25.
- Kádár I., Németh T., Szemes I.:* 1999. A nyírlugosi tartamkísérlet 1998. évi eredményei. Kézirat. Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete, Budapest.
- Kádár I., Szemes I., Loch J., Láng I.:* 2011. A nyírlugosi műtrágyázási tartamkísérlet 50 éve. Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete, Budapest.
- Kátai, J.:* 1994. Javítóanyagok hatása a gyep talajára. [In: Nagy G. (szerk.) A gyepgazdálkodás az állattartás szolgálatában, tudományos tanácskozás előadásai.]. Debreceni Gyepgazdálkodási Napok 12. Tudományos Közlemények, Debrecen, 229-247.
- Kátai, J., Lazányi J., Lukácsné Veres E.:* 2004. Bentonit hatása a talaj mikrobiológiai jellemzőire. „Innováció, a tudomány és a gyakorlat egysége az ezredforduló agráriumban” konferencia összefoglalók. Debrecen. 97-98.
- Kátai J.:* 2011. Alkalmazott talajtan. Debreceni Egyetem, Debrecen.
- Kerényi A.:* 1991. Talajerózió. Akadémia Kiadó, Budapest.
- Kerényi, A.:* 1994. Talajerózió–talajvédelem. [In: Varga E. (szerk.) Természeti és társadalmi környezetünk.]. ELTE TTK, Budapest, 72-97.
- Kerényi, E.:* 1990. Környezetvédelem. *Műszaki Értelmező Szótár.* 69: 7-16.
- Kertész, Á., Richter, G.:* 1997. Plot measurements under natural rainfall. *ESSC newsletter.* 15–17.
- Khalifa, N., Yousef, L. F.:* 2015. A Short Report on Changes of Quality Indicators for a Sandy Textured Soil after Treatment with Biochar Produced from Fronds of Date Palm. *Energy Procedia.* 74: 960-965.
- Klebercz, O., Mayes, W. M., Anton, Á., Feigl, V., Jarvis, A. P., Gruiz, K.:* 2012. Ecotoxicity of fluvial sediments downstream of the Ajka red mud spill Hungary. *Journal of Environmental Monitoring.* 14. 8: 2063-71.
- Kléh, Gy., Szücs, L.:* 1954. A Nyírség talajviszonyai. *Agrokémia és Talajtan.* 3. 1-2: 47-65.
- Kmoch, H. G.:* 1961. Die Bestimmung der Luftdurchlässigkeit des Bodens und ihre Bedeutung für einige ackerbauliche Probleme. Verlag Gebrüder Bornträger, Berlin.
- Kocsis I.:* 2005. Komposztálás. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Kocsis I.:* 2011. Komposztálás, biogáztermelés. Szent István Egyetem, Gödöllő.

- Kovács, K.: 1961. A hazai előfordulású káliumtrachit közvetlen mezőgazdasági hasznosításának lehetőségeiről. *Kísérletügyi közlemények*. 57-88.
- Köhler, M.: 1984. A homoktalajok termőképességének növelése dúsított agyagos komposzttrágyák felhasználásával. *Agrokémia és Talajtan*. 33: 214-216.
- Köhler, M.: 2003. Bentonitos meddő és a riolittufa őrlemény felhasználása a növény-, a zöldség-, a gyümölcs-, és a szőlőtermesztésben. Tápanyaggazdálkodás. *Őstermelő gazdálkodók lapja*. 38-39.
- Kreybig L.: 1956. Az agrokémia tényezői és irányelvei. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Kroulík, M., Brant, V., Masek, J., Kavaríček, P.: 2010. Influence of soil tillage treatment and compost application on soil properties and water infiltration. Czech University of Life Sciences: Trends in agricultural engineering 2010, Prága, Csehország, 343-349.
- Laghari, M., Mirjat, M. S., Hu, Z., Fazal, S., Xiao, B., Hu, M., Chen, Z., Guo, D.: 2015. Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth. *Catena*. 135: 313-320.
- Lazányi J.: 2001. A homoki gazdálkodás fenntartható rendszere. Debreceni Egyetem Kutató Központ, Nyíregyháza.
- Lazányi, J.: 2003. Bentonitos tufa a homoktalajok javításában. Agrárgazdaság Vidékfejlesztés és Agrárinformatika az évezred küszöbén (AVA), Debrecen, 4-8.
- Leroy, B. L. M., Herath, M. S. K., De Neve, S., Gabriels, D., Bommele, L., Reheul, D., Moens, M.: 2008. Effect of vegetable, fruit and garden (VFG) waste compost on soil physical properties. *Compost Science and Utilization*. 16: 43-51.
- Lillywhite, R. D., Dimambro, M. E., Rahn, C. R.: 2009. Effect of five municipal waste derived composts on a cereal crop. *Compost Science and Utilization*. 17. 3: 173–179.
- Makádi M.: 2010. Ásványi és szerves adalékanyagok hatása a nyírségi homoktalajok mikrobiológiai tulajdonságaira. Doktori Értekezés. Gödöllő.
- Makled, F. M. A.: 1967. A réteges homokjavítás hatása a lucerna terméshozamára az Egyesült Arab Köztársaság El Tahreer Tartományában. *Agrokémia és Talajtan*. 16. 1-2: 179-182.
- Makó, A., Elek, B., Dunai, A., Hernádi, H. 2009. Comparison of nonaqueous phase liquids' conductivity and air permeability of different soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 40: 787–799.
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., Grego, S.: 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*. 72: 9–17.

- Marshall T. J., Holmes J. W., Rose C. W.: 1996. Soil Physics. Cambridge University, Cambridge, Anglia.
- Martens, D. A., Frankenberger, W. T.: 1992. Modification of infiltration rates in an organic-amended irrigated soil. *Agronomy Journal*. 84: 707–717.
- Márton, Á.: 1984. Gyengén savanyú homoktalaj termékenységének növelése tarlón visszamaradt szalmatrágyával. *Agrokémia és Talajtan*. 33: 195-198.
- Miller R. M., Jastrow J. D.: 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. [In: Kapulnik Y., Douds, D. D. (szerk.) *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*.] Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Hollandia, 3-18.
- Mckissock, I., Gilkes, R. J., Walker, E. L.: 2002. The reduction of water repellency by added clay is influenced by clay and soil properties. *Applied Clay Science*. 20: 225-241.
- Moldrup, P., Olesen, T., Komatsu, T., Schjønning, P., Rolston, D. E.: 2001. Tortuosity, diffusivity, and permeability in the soil liquid and gaseous phases. *Soil Science Society of America Journal*. 65: 613–623.
- Moldrup, P., Yoshikawa, S., Olesen, T., Komatsu T., Rolston, D. E.: 2003. Air permeability in undisturbed volcanic ash soils: predictive model test and soil structure fingerprint. *Soil Science Society of American Journal*. 67: 32-40.
- Müller, G.: 1991. Az agroökológia talajmikrobiológiai kérdései és az intenzív mezőgazdasági termelés. *Agrokémia és Talajtan*. 40: 263-272.
- Mylavarapu, R. S., Zinati, G. M.: 2009. Improvements of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. *Scientia Horticulturae*. 120: 426-430.
- Nyakatawa, E. Z., Reddy, K. C., Sistani, K. R.: 2001. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. *Soil and Tillage Research*. 58: 69–79.
- Nyamangara, J., Gotosa, J., Mpofu, S. E.: 2001. Cattle manure effects on structural stability and water retention capacity of a granitic sandy soil in Zimbabwe. *Soil and Tillage Research*. 62: 157–162.
- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G., Børresen, T.: 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil and Tillage Research*. 155: 35-44.
- Ortas I.: 2002. Biological, degradation. [In: Lal R. (szerk.) *Encyclopedia of Soil Science*.] Marcel Dekker, USA, 264–267.

- Papp B.*: 2011. Vörösiszappal elárasztott talajok környezeti kockázatának felmérése. Diplomamunka összefoglaló. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék, Budapest.
- Paul E. A., Clark F. E.*: 1996. Soil Microbiology and Biochemistry II. Academic Press, San Diego, USA, 340.
- Petróczki F.*: 2004. Kommunális szennyvíziszapból készült komposzt hatása a növényi fejlődésre és a beltartalomra. Doktori (PhD) Értekezés. Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely.
- Pit R., Lantrip J., Harrison R., Henry C. L., Xue D.*: 1999. Infiltration Through Disturbed Urban Soils and Compost-Amended Soil Effects on Runoff Quality and Quantity. Research Report. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC., USA, 6-20.
- Prettenhoffer, L.*: 1981. Futóhomok-talajok javítása helyben kitermelhető anyagokkal. *Agrokémia és Talajtan*. 30: 196-198.
- Rajkai, K., Várallyay, Gy., Pacsepszikij, J. A., Scserbakov, R. A.*: 1981. A pF-görbék számítása a talaj mechanikai összetétele és térfogattömege alapján. *Agrokémia és Talajtan*. 30: 409–438.
- Reichert, J. M., Brandt, A, Horn, R. Reinert, D. J., Gubiani, P. I.*: 2009. Mechanical properties and air and water permeability of three subtropical soils under different soil uses. ISTRO 18th Triennial Conference Proceedings, Izmir, Törökország. 3-6.
- Rejman, J., Usowicz, B., Debicki, R.*: 1999. Source of errors in predicting siltsoil erodibility with USLE. *Polish Journal of Soil Science*. 32. 1: 13-22.
- Reynolds, W. D., Elrick, D. E.*: 1986. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity-pressure head relationship. *Ground Water Monitoring and Remediation*. 6: 84-95.
- Réyháti, G., Czinkota, I., Tolner, L., Füleky, Gy., Gál, A.*: 2013. Zn megkötődés változása talaj-bioszén rendszerben. Második Környezetkémiai Szimpózium, Dobogókő.
- Sabrah, R. A. E.; Magid, Abdel, H. M. A., Abdel-Aal, S. I.; Rabie, R. K.*: 1995. Optimizing physical properties of a sandy soil for higher productivity using town refuse compost in Saudi Arabia. *Journal of Arid Enviroments*. 29: 253-262.

- Sanchez-Giron, V., Andreu, E., Hernanz, J. L.*: 1998. Response of five type of soil to simulated compaction in the form of confined uniaxial compression test. *Soil Tillage*. 48: 37-50.
- Simon, L., Prokisch, J., Győri, Z.*: 2000. Szennyvíziszap komposzt hatása a kukorica nehézfém-akkumulációjára. *Agrokémia és Talajtan*. 49: 247-255.
- Simon L., Vincze Gy.*: 2015. Szennyvizek és szennyvíziszapok hasznosítása a régió fenntartható mezőgazdaságáért. Nyíregyházi Főiskola, Nyíregyháza, 8-9.
- Solti G.*: 1987. Az Alginit. Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa, Budapest.
- Stefanovits P.*: 1977. Talajvédelem, környezetvédelem. Biológiai Környezetünk védelme. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Stefanovits, P., Fekete, J.*: 1984. A lápföldes homokjavítás értékelése. *Agrokémia és Talajtan*. 33: 199-206.
- Stefanovits P., Filep Gy., Fülekgy Gy.* 1999. Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Sutton, J. C., Sheppard, B. R.*: 1976. Aggregation of sand-dune soil by *Endomycorrhizal* fungi. *Canadian Journal of Botany*. 54: 326–333.
- Suzuki, S., Noble, D. A., Ruaysoongnern, S., Chinabut, N.*: 2007. Improvement in water-holding capacity and structural stability of a sandy soil in Northeast Thailand. *Arid Land Research and Management*. 21. 1: 37-49.
- Szabó A.*: 2011. Az ajkai vörösiszap-szennyezés hatása a talajra – Talajoszlop kísérlet. Diplomamunka összefoglaló. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék, Budapest.
- Szabó, Sz.*: 2002. A környezetvédelem sajátos területe: a talajvédelem. *Debreceni Szemle*. 4: 663-680.
- Szegi T.*: 2009. Ásványi és szerves adalékanyagok hatása a nyírségi homokterületek fizikai és kémiai tulajdonságaira. Doktori (Ph. D) értekezés. Gödöllő.
- Széplábi, G., Szeglet, P., Makó, A., Bencze, B.* 2012. Soil porosity investigations in truffle orchards. *Georgikon for Agriculture*. 15. 65-76.
- Szendrei G.*: 1998. Talajtan. Egyetemi jegyzet. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- Szűcs, L., Tuba, G., Czibalmos, R., Zsembeli, J.*: 2015. A PRP-SOL talajkondicionáló szer hatása a talaj hidraulikus tulajdonságaira hagyományos és redukált talajművelési rendszerekben. Környezetkímélő talajművelési rendszerek Magyarországon. MTA CSFK FTI, Budapest, 111–121.

- Szűcs P.: 2012. Az erózió lépték függése. Doktori (PhD) Értekezés. Pannon Egyetem, Georgikon Kar Növénytermesztési és Talajtani Tanszék, Keszthely.
- Tamás J.: 1998. Szennyvíztisztítás és szennyvíziszap elhelyezés. Egyetemi jegyzet. Debreceni Egyetem, Debrecen.
- Tamás J., Blaskó L. 2008. Környezettechnológia. Elektronikus tankönyv (<http://www.tankonyvtar.hu>).
- Tang, A. M., Cui, Y-J. C., Richard, G., Défossez P.: 2011. A study on the air permeability as affected by compression of three French soils. *Geoderma*. 162: 171-181.
- Tállai M.: 2011. Bentonit és zeolit hatása savanyú homoktalajok tulajdonságaira és biológiai aktivitásának változására. Doktori értekezés. Debrecen.
- Tejada, M., Gonzalez, J. L.: 2006. Influence of organic amendments on soil structure and soil loss under simulated rain. *Soil and Tillage Research*. 91: 186-198.
- Tejada, M., Gonzalez, J. L.: 2007. The relationships between erodibility and erosion in a soil treated with two organic amendments. *Soil and Tillage Research*. 93: 197-205.
- Tejada, M., Gonzalez, J. L., Garcia-Martinez, A. M., Parrado, J.: 2008. Application of a green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: Effects on soil properties. *Bioresource Technology*. 99: 4949–4957.
- Tisdall, J. M.: 1994. Possible role of soil micro-organisms in aggregation of soils. *Plant Soil*. 159: 115–121.
- Tombácz, E., Szekeres, M., Baranyi L., Micheli, E.: 1998. Surface modification of clay minerals by organic polyions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 141: 379-384.
- Tomócsik, A, Makádi, M., Orosz, V., Aranyos, T., Fehér, B., Mészáros, J., Füleky, Gy.: 2015. A homoktalaj kémiai tulajdonságainak változása szennyvíziszap komposzt kezelés hatására 2009 és 2012 között. *Talajvédelem*. Különszám: 251-258.
- Tóth J. Á.: 1969. A nyírségi homoktalajok javítása és trágyázása. Nyírségi Nyomda, Nyíregyháza.
- Turner, M. S., Clark, G. A., Stanley, C. D., Smajstrla, A. G.: 1994. Physical characteristics of a sandy soil amended with municipal solid waste compost. *Proceedings - Soil & Crop Science Society of Florida*. 53: 24-26.
- Ujaczki, É., Klebercz, O., Feigl, V., Gruiz, K.: 2012. Vörösiszappal kevert talajok környezettoxikológiai elemzése mikrokozmosz kísérletekben. Konferencia Kiadvány. Műszaki Kémiai Napok 2012, Veszprém, 193.

- Van Groenewoud, H.*: 1968. Methods and apparatus for measuring air permeability of the soil. *Soil Science*. 106: 275–279.
- Van Noordwijk, M., Schhonderbeek, D., Kooistra, M. J.*: 1993. Root–soil contact of grown winter wheat. *Geoderma*. 56: 277–286.
- Várallyay, Gy.*: 1973a. Berendezés bolygatatlan szerkezetű talajoszlopok hidraulikus vezetőképességének meghatározására. *Agrokémia és Talajtan*. 22: 23-36.
- Várallyay, Gy.*: 1973b. A talaj nedvességpotenciálja és új berendezés annak meghatározására az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban. *Agrokémia és talajtan*. 22: 1–22.
- Várallyay, Gy., Rajkai, K., Pacsepszikij, J. A., Mironenko, E. V.*: 1979. pF-görbék matematikai leírása. *Agrokémia és talajtan*. 28: 15–38.
- Várallyay, Gy.*: 1981. Kedvezőtlen vízgazdálkodás-korlátozott talajtermékenység. *Agrokémia és Talajtan*. 30: 151-161.
- Várallyay, Gy.*: 1982. Korszerű talajnedvesség szabályozás. *Magyar Mezőgazdaság*. 37. 50: 10-11.
- Várallyay, Gy.*: 1984. Magyarországi homoktalajok vízgazdálkodási problémái. *Agrokémia és Talajtan*. 33: 159-169.
- Várallyay, Gy.*: 2001. A talaj vízgazdálkodása és a környezet. *Magyar Tudomány*. 46. 7: 799-815.
- Várallyay Gy.*: 2005. Soil water management and the environment. [In: Láng I. (szerk.) *Environmental Science and Technology in Hungary*.]. 249–259.
- Várallyay, Gy.*: 2008. A klímaváltozás várható hatásai Magyarország talajaira. [In: Harnos Zs., Csete L. (szerk.) *Klímaváltozás: környezet–kockázat–társadalom*.]. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Veres J.*: 2015. Térségünk szennyvíz-csatornázásának és szennyvíz-tisztításának helyzete. [In: Simon L., Vincze Gy. (szerk.) *Szennyvizek és szennyvíziszapok hasznosítása a régió fenntartható mezőgazdaságáért*.]. Nyíregyházi Főiskola, Nyíregyháza, 39-47.
- Verheijen F. G. A., Jeffery S., Bastos A. C., van der Velde M., Diafas I.*: 2010. Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

- Vér F.: 1982. A talajszerkezet vizsgálatának és javításának fontossága növénytermelés szempontból. A Keszthelyi Agrártudományi Egyetem, a Somogy megyei Tanács és az egyetem Termelésfejlesztési Intézetének közös kiadványa, Keszthely.
- Volk, G. M., Hensel, D. R.: 1969. Aggregation of mineral and organic matter in Rutlege, Ona, and Leon fine sands of the Southeastern Coastal Plains. *Soil Science*. 110: 333-338.
- Wang, L., Tong, Z., Liu, G., Li, Y.: 2014. Characterization of biomass residues and their amendment effects on water sorption and nutrient leaching in sandy soil. *Chemosphere*. 107: 354-359.
- Weber, J., Karczewska, A., Licznar és M., Drozd, J., Jamroz, E., Kocowicz, A.: 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology and Biochemistry*. 39: 1294-1302.
- Weber, J., Kocowicz, A., Bekier, J., Jamroz, E., Tyszka, R., Debicka, M., Parylak, D., Kordas, L.: 2014. The effect of a sandy soil amendment with municipal solid waste (MSW) compost on nitrogen uptake efficiency by plants. *European Journal of Agronomy*. 54: 54– 60.
- Westsik V.: 1951. Homoki vetésforgóinkkal végzett kísérletek eredményei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Wischmeier W. H., Smith D. D.: 1978. Predicting rainfall erosion losses. USDA Agriculture Handbook 537. Washington D. C., USA, 58.
- Zebarth, B. J., Neilsen, G. H., Hogue, E., Neilsen, D.: 1999. Influence of organic waste amendments on selected soil physical and chemical properties. *Canadian Journal of Soil Science*. 79: 501–504.
- Zinati, G. M., Li, Y. C., Bryan, H. H.: 2001. Utilization of compost increases organic carbon and its humin, humic and fulvic acid fractions in calcareous. *Compost Science & Utilization*. 9: 156–162.
- Zsigrai, Gy., Balling, P., Zsembeli, J.: 2015. Két hegyaljai szőlőültetvény talajának erózióérzékenységi vizsgálata. *Szőlő-levél*. 5. 1: 1-5.

Internetforrások:

I₁: <http://www.nrcs.usda.gov>

I₂: <http://www.uni-miskolc.hu>

I₃: <http://www.soilutil.hu>

I₄: <http://www.ksh.hu>

I₅: <http://www.ejkelkamp.com>

I₆: <http://fft.szie.hu/fizika>

I₇: <http://www.itenviro.hu>

I₈: <https://www.google.hu/maps>

Hivatkozott jogszabályok:

2000. évi XLIII. törvény a hulladékgazdálkodásról.

50/2001. (IV.3.) Kormányrendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól.

36/2006. (V. 18.) FVM rendelet a termélnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról.

11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/21/2016.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Aranyos Tibor
Neptun kód: M4PRGD
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Növénytermesztési- és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10032203

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (1)

1. Makádi M., Tomócsik A., Orosz V., **Aranyos T.**, Demeter I., Hadházy Á.: Talajtani kutatások.
In: Nyíregyházi Kutató Intézet, 85 éve a nyírségi növénynevelés és növénytermesztés
szolgálatában. Szerk.: Romhány László, DE AGTC Kutint. és Tangazd. Nyíregyházi Kutint.,
Nyíregyháza, 153-172, 2012. ISBN: 9786155183188

Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (4)

2. **Aranyos T.**, Tomócsik A., Orosz V., Makádi M., Antal K., Blaskó L.: A légáteresztő képesség
mérése szennyvíziszappal kezelt homoktalajok tömödöttségének jelzésére tartamkísérletben.
Agrókém. Talajt. 63 (2), 269-282, 2014. ISSN: 0002-1873.
3. **Aranyos T.**, Makádi M., Tomócsik A., Blaskó L.: Szennyvíziszap komposztal kezelte nyírségi
homoktalaj fizikai tulajdonságainak vizsgálata.
Talajvédelem. Különszám, 17-25, 2013. ISSN: 1216-9560.
4. **Aranyos T.J.**, Blaskó L., Tomócsik A., Makádi M.: Komposzt kezelés hatása homoktalaj fizikai
tulajdonságaira.
Agrártud. Közl. 51, 67-70, 2013. ISSN: 1587-1282.
5. **Aranyos T.J.**, Makádi M., Tomócsik A.: A talaj toxikus elem tartalmának alakulása szennyvíziszap
kezelés hatására egy energiafűz ültetvényen.
Agrártud. Közl. 46, 7-10, 2012. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (3)

Cím: 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. ☐ Postacím: 4010 Debrecen, Pf. 39. ☐ Tel.: (52) 410-443
E-mail: publikaciok@lib.unideb.hu ☐ Honlap: www.lib.unideb.hu



6. Tomócsik, A., Makádi, M., **Aranyos, T.**, Orosz, V., Demeter, I., Füleky, G.: Effect of long-term sewage sludge compost treatment on the Co, Cu, Ni and Pb content of soil and plant. *Hung. Agric. Res.* 2, 34-37, 2014. ISSN: 1216-4526.
7. **Aranyos, T.**, Tomócsik, A., Orosz, V., Blaskó, L., Makádi, M.: Changes in some physical and chemical soil properties after 10 years of compost application. *Növénytermelés.* 62 (Suppl.), 201-204, 2013. ISSN: 0546-8191.
8. Tomócsik, A., Orosz, V., **Aranyos, T.**, Makádi, M., Füleky, G.: Toxic elements in the sewage sludge - soil - plant chain. *Eur. Chem. Bull.* 1 (11), 480-484, 2012. ISSN: 2063-5346.

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (6)

9. Tomócsik A., Makádi M., Orosz V., **Aranyos T.**, Fehér B., Mészáros J., Füleky G.: A homoktalaj kémiai tulajdonságainak változása szennyvíziszap komposzt kezelés hatására 2009 és 2012 között.
In: A talajok térbeli változatossága, elméleti és gyakorlati vonatkozások : Talajtani Vándorgyűlés : Keszthely, 2014. szeptember 4-6. Szerk.: Hernádi Hilda, Sisák István, Szabóné Kele Gabriella, Talajvédelmi Alapítvány, Budapest, 251-258, 2015. ISBN: 9789639639805
10. **Aranyos T.J.**, Makádi M., Tomócsik A., Blaskó L.: Kovárványos barna erdőtalaj fizikai tulajdonságainak változása komposzt kezelés hatására.
In: A talajok térbeli változatossága, elméleti és gyakorlati vonatkozások : Talajtani Vándorgyűlés : Keszthely, 2014. szeptember 4-6. Szerk.: Hernádi Hilda, Sisák István, Szabóné Kele Gabriella, Talajvédelmi Alapítvány, Budapest, 133-141, 2015. ISBN: 9789639639805
11. **Aranyos T.**, Makádi M., Tomócsik A.: A szennyvíziszap komposzt tartamhatásának vizsgálata szántóföldi kultúrákban.
In: Szennyvizek és szennyvíziszapok hasznosítása a régió fenntartható mezőgazdaságáért. Szerk.: Simon László, Vincze György, Nyíregyházi Főiskola, Nyíregyháza, 89-95, 2015. ISBN: 9786155545023





12. **Aranyos T.**, Tomócsik A., Makádi M., Blaskó L.: Talajtani vizsgálatok a Nyírségben.
In: Interdiszciplinaritás a Régiókutatásban Fiatal kutatók nemzetközi konferenciája IV.
Elektronikus Tanulmánykötet. Szerk.: Bartha Ákos, Szálkai Tamás, 145-157, ISBN:
9789637238529
13. **Aranyos T.**, Makádi M., Tomócsik A., Blaskó L.: Komposztkezelés hatása egyes talajtulajdonságokra.
In: Tavasz Szél = Spring Wind : XVI. Tavasz Szél Konferencia. Szerk.: Keresztes Gábor,
Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 154-161, 2013. ISBN: 9789638956026
14. **Aranyos T.**, Makádi M., Tomócsik A., Blaskó L.: Szennyvíziszap komposzttal kezelt nyírségi homoktalaj fizikai tulajdonságainak vizsgálata.
In: Talajtani Vándorgyűlés 2012.08.23-2012.08.25., Miskolc : Az előadások és poszterek összefoglalója. [s.n.], [s.l.], 34, 2012.

Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (5)

15. Makádi, M., Tomócsik, A., **Aranyos, T.**, Demeter, I., Szegi, T., Boros, N., Fehér, B.: Increasing the organic matter content of sandy soils using sewage sludge compost.
In: Abstracts of Oral Presentations on the ORBIT 2014 Scientific Conference. [s.n.], [s.l.], 45, 2014.
16. **Aranyos, T.**, Tomócsik, A., Orosz, V., Makádi, M., Blaskó, L.: Soil physical measurements in a long-term sewage sludge compost experiment.
In: 9th International Scientific Conference ORBIT2014. World's Largest Scientific International Conference on Organic Resources 2014.06.26-2014.06.28., Gödöllő : Abstracts of the Poster Presentations on ORBIT 2014 Scientific Conference. [s.n.], [s.l.], 10, 2014.
17. Tomócsik, A., Makádi, M., Orosz, V., **Aranyos, T.**, Füleky, G.: Using of organic wastes for regular nutrient supply.
In: International Conference Biochars, Composts, and Digestates 2013.10.17-2013.10.20., Bari, Olaszország : Abstracts. [s.n.], [s.l.], 190, 2013.
18. Tomócsik, A., Makádi, M., Orosz, V., **Aranyos, T.**, Mészáros, J., Füleky, G.: Effect of composted sewage sludge on heavy metal content of the soil and plants.
In: ORBIT 2012 8th International Conference 2012.06.12-2012.06.15., Rennes, Franciaország. [s.n.], [s.l.], 205-212, 2012.



19. Tomócsik, A., Makádi, M., Orosz, V., **Aranyos, T.**, Füleky, G.: Changes in soil chemical properties after the second application of composted sewage sludge.
In: 4th International Congress Eurosoil 2012.07.02-2012.07.07., Bari, Olaszország. [s.n.], [s.l.], 1345, 2012.

Ismeretterjesztő, népszerűítő cikk(ek) (2)

20. **Aranyos T.**, Tomócsik A., Makádi M.: Termékenység növelésének lehetőségei homoktalajon.
Óstermelő. 19 (4), 63-65, 2015. ISSN: 1418-088X.
21. **Aranyos T.**, Blaskó L., Tomócsik A., Makádi M.: Talajjavítás szennyvíziszap komposzttal.
Mezsgye Fórum. 1, 3-4, 2013. ISSN: 2060-5994.





További Közlemények

Magyar nyelvű könyvrészlet(ek) (1)

22. Henzsel I., **Aranyos T.**, Tomócsik A., Papp A., Smit G., Banateanu C., Kurtinecz P.: Tápanyag-utánpótlás hatása a mitigációra =Effect of nutrient supply on mitigation.
In: A talaj-növény rendszer szénforgalmának vizsgálata = Study of the carbon cycle of the soil-plant system. Szerk.: Romhány László et al., DE AGTC KIT Nyíregyházi Kutintézet, Nyíregyháza, 47-61, 2012. ISBN: 9789634734314

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (4)

23. Demeter I., Makádi M., **Aranyos T.**, Tomócsik A., Posta K.: Nyírségi talajok mikrobiális aktivitásának szezonális dinamikája eltérő gazdálkodási rendszerekben.
In: A talajok térbeli változatossága, elméleti és gyakorlati vonatkozások : Talajtani Vándorgyűlés : Keszthely, 2014. szeptember 4-6. Szerk.: Sisák István, Homor Anna, Hernádi Hilda, Pannon Egyetem, Veszprém, 44, 2014.
24. Makádi M., **Aranyos T.**, Orosz V., Demeter I., Tomócsik A.: A talajlégzés dinamikájának változása fermentlé+zeolit kezelés hatására.
In: A talajok térbeli változatossága, elméleti és gyakorlati vonatkozások : Talajtani Vándorgyűlés : Keszthely, 2014. szeptember 4-6. Szerk.: Sisák István, Homor Anna, Hernádi Hilda, Pannon Egyetem, Veszprém, 128, 2014.
25. Tomócsik A., Henzsel I., Orosz V., **Aranyos T.**, Demeter I., Zsembeli J., Makádi M.: A Westsik tartamkísérlet jelentősége a klímaváltozás kutatásában.
In: Környezeti problémák a Kárpát-medencében II. : nemzetközi klímakonferencia : tanulmánykötet. Szerk.: Schmidt Petra, IDRResearch Kft. : Publikon, [Pécs], 111-116, [2013]. ISBN: 9786155001895
26. Makádi M., Tomócsik A., Orosz V., **Aranyos T.**, Demeter I., Henzsel I.: A talajlégzés intenzitásának változása a Westsik-tartamkísérlet vetésforgóiban.
In: A Magyar Mezőgazdaság - lehetőségek, források, új gondolatok : XXXIV. Óvári Tudományos Nap. Szerk.: Kovácsné Gaál Katalin, Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Mosonmagyaróvár, 497-502, 2012. ISBN: 9789639883932



Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (2)

27. Makádi, M., **Aranyos, T.**, Kasi, F., Bongár, K., Tomócsik, A., Molnár, Z., Ördög, V.: Modified plant nutrition effect of a new tablet with algae.
In: Microalgae and Seaweed Products in Plant. Contributor: "Contribution of sustainable agriculture" Mosonmagyaróvár, Hungary, June 24-25, 2013 : Book of abstracts, [s.n.], [s.l.], 29, 2013.
28. Simon, L., Makádi, M., Vincze, G., Szabó, B., Szabó, M., **Aranyos, T.**: Impact of ammonium nitrate and rhyolite tuff soil application on the photosynthesis and growth of energy willow.
In: Proc. of the International Multidisciplinary Conference, 10th Edition. Ed.: Sikolya László, Bessenyei Publishing House, Nyíregyháza, 143-146, 2013. ISBN: 9786155097669

Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikk(ek) (1)

29. **Aranyos T.**, Tomócsik A., Makádi M.: Energiafűz ültetvényvel történő szennyvíziszap hasznosítás.
Östermelő. 16, 110-111, 2012. ISSN: 1418-088X.

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

Debrecen, 2016.02.03.



12. NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 20.....

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Aranyos Tibor József doktorjelölt 2010-2013 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányítással/irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

Debrecen, 20.....

.....

a témavezető(k) aláírása

13. MELLÉKLETEK



36. ábra

A szennyvíziszap komposzt kísérlet műholdas látképe (forrás: I₈)



37. ábra

Bolygatatlan talajmintavétel (forrás: saját)



38. ábra

Eijklkamp típusú légátjárhatóság mérő készülék (forrás: saját)



39. ábra

Eijklkamp típusú homokágy készülék (forrás: saját)



40. ábra

Eijkelkamp típusú nyomásmembrános készülék (forrás: saját)



41. ábra

Eijkelkamp 09.06 esőztető szimulátor (forrás: saját)

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Blaskó Lajos professzor úrnak munkám során nyújtott szakmai és emberi segítségéért, támogatásáért.

Köszönöm Dr. Rajkai Kálmán tudományos tanácsadó úr és Dr. Tóth Zoltán egyetemi docens úr opponensi észrevételeit és szakmai tanácsait, mellyel hozzájárultak a doktori értekezés végleges formájának elkészítéséhez.

Dolgozatom nem jöhetett volna létre közvetlen munkatársaim: Dr. Makádi Marianna, Tomócsik Attila, Kasi Ferencné, Demeter Ibolya, Fehér Bernadett, Bongár Klára és Orosz Viktória nélkül, akik aktívan részt vettek kutatásom különböző fázisaiban. Köszönöm nekik dolgozatom elkészüléséhez nyújtott segítségüket, tanácsaikat.

Köszönetet mondok Dr. Zsombik Lászlónak, a Debreceni Egyetem Nyíregyházi Kutatóintézet igazgatójának, és a további munkatársaknak, amiért kutatásomat támogatták és segítették.

Köszönet illeti Dr. Zsembeli Józsefet, a Debreceni Egyetem ATK Karcagi Kutatóintézet igazgatóját, és Dr. Antal Károly laborvezetőt, akik a szakmai segítségen túl infrastrukturális háttérrel is biztosították méréseim elvégzéséhez. Külön köszönöm Popovits Sándornak és Éri Lászlónak, az intézet alkalmazottjainak, a laboratóriumi mérések kivitelezése során nyújtott segítségüket.

Köszönöm Dr. Riczu Péternek, a Debreceni Egyetem MÉK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet munkatársának a dolgozatom elkészítéséhez nyújtott szakmai segítségét, hasznos tanácsait.

Köszönöm †Dr. Ferenczy Antalnak a statisztikai kiértékeléshez nyújtott segítségét.

Végül, de nem utolsó sorban, hálás köszönetem fejezem ki családom önzetlen támogatásáért, türelméért és megértéséért.