

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

GORLICZAY EDIT

**DEBRECEN
2021.**

DEBRECENI EGYETEM
ÁLLATTENYÉSZTÉSI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

DR. KOMLÓSI ISTVÁN
egyetemi tanár
az MTA doktora

TÉMAVEZETŐ:

PROF. DR. TAMÁS JÁNOS D.SC.
egyetemi tanár

BAROMFITRÁGYA ALAPÚ KOMPOSZT TERMÉKEK
ELŐÁLLÍTÁSÁNAK ÉS HASZNOSÍTÁSÁNAK
ÉRTÉKELÉSE

Készítette:

GORLICZAY EDIT
doktorjelölt

Debrecen
2021.

BAROMFITRÁGYA ALAPÚ KOMPOSZT TERMÉKEK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK ÉS HASZNOSÍTÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE

**Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
az állattenyésztési tudományok tudományágban**

Írta: GORLICZAY EDIT okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola
(Állattermék-előállítás doktori programja) keretében

Témavezető(k): Dr. Tamás János D.Sc.

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
.....
.....

A bírálóbizottság:

	név	fokozat	aláírás
elnök:
tagok:

titkár:

Az értekezés védésének időpontja: 20.... ..

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	6
1. TÉMAFELVETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS	10
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	11
2.1. Az állattartás melléktermékei, hulladékaik és környezeti hatásaik	11
2.2. A baromfitartás melléktermékei, hasznosítási lehetőségei	17
2.3. A szerves anyagok és a baromfitrágya hasznosítása komposztálással.....	18
2.3.1. A komposztálást befolyásoló tényezők, a komposztálás szakaszai.....	19
2.3.2. Üvegházhatású gázok keletkezése a komposztálás során	25
2.3.3. A komposztáláshoz alkalmazott adalékanyagok	28
2.4. Komposztálási technológiák	31
2.5. A komposztérettség vizsgálatára alkalmazott módszerek.....	34
2.5.1. Fizikai, fiziko-kémiai komposztérettségi vizsgálatok	36
2.5.2. Kémiai komposztérettségi vizsgálatok	40
2.5.3. Biológiai komposztérettségi vizsgálatok	42
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	44
3.1. Kísérleti beállítások	44
3.1.1. Komposztálási előkísérletek	44
3.1.2. Komposzt szuszpenziók előállítására	45
3.1.3. Komposzt szuszpenzió természetstechnológiai alkalmazhatóságának vizsgálata ..	46
3.2. Felhasznált alapanyagok jellemzése	48
3.2.1. Baromfitrágya és tyúktrágya jellemzői.....	48
3.2.2. Komposzt szuszpenziók alapanyagainak jellemzése	50
3.2.3. Adalékanyagként alkalmazott zeolit jellemzése	50
3.3. Elvégzett vizsgálatok és alkalmazott eszközök.....	52
3.3.1. Komposztálási előkísérletek során elvégzett vizsgálatok.....	52
3.3.2. Előállított komposzt szuszpenziók szerves kémiai paramétereinek vizsgálata ..	54
3.3.3. Komposzt szuszpenziók tesztelése során elvégzett vizsgálatok	54
3.4. Eredmények statisztikai elemzése	56
4. EREDMÉNYEK.....	61
4.1. Komposztálási előkísérlet eredményei.....	61
4.1.1. Nedvességtartalom alakulása	61
4.1.2. Hőmérséklet alakulása	63

4.1.3. Kémhatás alakulása.....	67
4.1.4. Fajlagos elektromos vezetőképesség alakulása	70
4.2. Spektrális vizsgálatok eredményei.....	72
4.2.1. Alapanyagok spektrális jellemzői	72
4.2.2. Komposztok spektrális tulajdonságai 400-1000 nm hullámhossz tartományban ...	74
4.2.3. Komposztok spektrális tulajdonságai 1000-2500 nm hullámhossz tartományban .	80
4.3. Komposzt oldatok előállítás, szervetlen kémiai paramétereinek vizsgálata	85
4.3.1. Komposzt oldat előállítása tág komposzt:víz arányokkal	86
4.3.2. Komposzt oldat előállítása szűkített arányokkal	87
4.3.2.1. Korreláció vizsgálatok	92
4.3.3. Komposzt szuszpenziók tesztelése káposzta tesztnövényel	94
4.3.4. Komposzt szuszpenziók tesztelése paprika tesztnövényel	103
4.3.5. Komposzt szuszpenziók tesztelése során kapott eredmények összehasonlító elemzése	112
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	114
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	118
7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA	119
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	120
9. SUMMARY	124
10. IRODALOMJEGYZÉK	127
11. MEGJELENT SAJÁT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK	150
12. NYILATKOZATOK.....	154
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	155
13. MELLÉKLETEK.....	157

BEVEZETÉS

A földművelési rendszerek közül a 19. században a tápanyagutánpótlást istállótrágyára alapozták, azonban az iparszerű rendszerek megjelenésével, az állattenyésztés és a növénytermesztés elkülönülésével a tápanyagutánpótlás a műtrágyahasználatra alapozódott. A növekvő fogyasztás és a népességnövekedés a növénytermesztésben az egységnyi területre jutó hozamokat növelte, ezzel szemben az állattenyésztés volumene az elmúlt évtizedekben (közel) a felére csökkent. Az állattenyésztési ágazatok közül a baromfitenyésztés egyre nagyobb mértékben növekszik, mivel intenzív fehérjeforrást biztosít, valamint az intenzifikáció miatt nagy mennyiségű biológiailag bontható hulladék illetve melléktermék keletkezik (GARG, 2012), melyek közül a keletkező szerves trágya mennyisége jelentős. Európában - becslések szerint - 2011-ben 1,4 mrd tonna szerves trágya keletkezett (FOGGED et al, 2012), melyben az elsődleges makroelemek mennyisége a következőképpen alakult: 7,1 Mt nitrogén, 1,8 Mt foszfát és 8,0 Mt kálium (EHLERT et al, 2015). Hazánkban ~4 millió tonna istállótrágya képződik évente, melyet 250.000 ha-on használnak fel. Az egyre szigorodó állategészségügyi előírások miatt a szerves trágya "környezetszennyező anyag", amitől az állattartók igyekeznek megszabadulni. Ugyanakkor a körforgásos gazdaság koncepciója kiemeli az állati trágya megkerülhetetlen szerepét a talajgazdálkodásban, amely mindig is alapvető kapcsolat volt az állattenyésztés és a növénytermesztés között a mezőgazdaságban. Olyan biológiailag lebomló szervesanyag-gazdálkodási rendszert kell létrehozni, amely a talaj termékenységének hosszú távú fenntartása érdekében a szerves anyag körforgására összpontosít, és közös érdekeltséget teremt a növénytermesztők és az állattenyésztők között az állati trágya felhasználásában (HERMAN OTTÓ INTÉZET, 2020).

A szerves trágya jogszabályi besorolása, mely szerint a trágya melléktermék-e vagy hulladék, kettősséget mutat, ugyanis a hulladékjegyzékről szóló 72/2013 (VIII. 27.) VM rendelet, amely tartalmazza a hulladékjegyzék főcsoportjait, alcsoportjait és az egyes hulladéktípusokat, a trágyát a 02-es azonosító kódú „mezőgazdasági, kertészeti, akvakultúrás termelésből, erdőgazdálkodásból, vadászatból, halászatból, élelmiszer-előállításból és -feldolgozásból származó hulladékok” közé sorolja. A hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény (a továbbiakban: Ht.) nem tér ki csak a biológiailag lebomló hulladék fogalmkörére, mely „minden szervesanyag-tartalmú hulladék, amely aerob vagy anaerob úton biológiailag lebomlik vagy lebontható, ideértve a biohulladékot is”. Ezzel szemben a 2014-2020 között hatályos Országos Hulladékgazdálkodási Terv (a továbbiakban: OHT) azon túl, hogy bevezeti a hulladékhierarchia fogalmát, meghatározza, hogy mely esetben tekinthető egy anyag mellékterméknek. A melléktermék fogalmát abból a célból vezették be, hogy a termelés során

a főtermék és a melléktermék keletkezése elkülöníthető legyen. A korábbi, 2009-2014 között hatályos OHT a szerves trágyát a mezőgazdasági és élelmiszeripari növényi melléktermékek és hulladékok közé sorolta. A jelenleg hatályos OHT szerint a keletkező mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékok mennyiségének 23%-os csökkenése (többek között) azzal magyarázható, hogy „2007-től már nem szerepelnek a hulladékstatisztikában azok a növényi, állati melléktermékek, melyek közvetlenül visszaforgatásra kerülnek a termelési folyamatokban”. A hatályos OHT szerint melléktermék minden olyan anyag, amelynek (1) további felhasználása biztosított, (2) előállítását követően közvetlenül felhasználható, (3) az előállítási folyamat szerves részeként állították elő, (4) a környezetet és az emberi egészséget hátrányosan nem érinti és (5) további felhasználása jogszerű, azaz megfelel a környezet- és egészségvédelemre vonatkozó összes jogszabályi előírásnak. Ezek és az OHT-ben leírtak alapján a szerves trágya mellékterméknek minősül, ugyanis megfelel a melléktermékké sorolás feltételeinek.

A szerves trágya további felhasználása biztosított, hiszen a hazai mezőgazdaságról elmondható, hogy a növénytermesztési ágazatokban nincs elegendő szerves anyag, ezzel azonban szemben áll az, hogy az istállótrágyák használata jelentősen csökkent. A mezőgazdasági termelésben a tápanyagok a korlátozó tényezők. A tápanyagok nélkülözhetetlenek a biomassza termelésben, a növénytermesztési ágazatokban. Világszerte nagyjából 112 Mt tápanyagot használtak fel 2013-ban, s ez 2018-ban (a FAO statisztikái alapján) 120 Mt-ra növekedett. A tápanyagok nem csak műtrágyákkal pótolhatók, hanem szerves trágyákkal, amelyeknek nem csak makroelem, hanem mikroelem-tartalma is jelentős. Azonban ahhoz, hogy a szerves trágyák kiválthassák a műtrágyákat szükség van arra, hogy kezelése oly módon történjen, hogy könnyen illó nitrogéntartalmának jelentős része ne távozzon légszennyező anyagként. A szerves trágyák feldolgozása azonban lassan épül be a mezőgazdasági gyakorlatba, ugyanis 2010/11-ben a keletkező szerves trágyának mindössze 7,8%-át kezelték valamilyen eljárással (aerob vagy anaerob fermentációval) (FOGGED et al, 2012). A talajtermékenység fenntartása, növelése megoldható növényi melléktermékek talajba forgatásával is, azonban az állati eredetű szerves trágyák hiánya olyan kedvezőtlen hatásokat indukál a talajban, mint a csökkenő termésbiztonság, valamint a termőképesség romlás. Emellett az állati eredetű trágyák, illetve komposztok alkalmazása hozzájárul a talajban a szén körforgásának fenntarthatóságához is.

A szerves trágyákra a gazdák egyre inkább problémaként tekintenek, ugyanis az állattartó telepeken állategészségügyi szempontok miatt nem tárolható, azonban a trágya környezetszennyezővé válhat a helytelen tárolás, illetve kijuttatás esetén. Éppen ezért lényeges, hogy keressünk olyan módszereket, melyekkel a körforgásos gazdálkodás megvalósítható: az

állattartó telepen keletkező istállótrágyából előállított termékek a növénytermesztési technológiák esetén szerves tápanyagutánpótlásra alkalmazhatóak legyenek, s így a gazdaságon belül tarthatók legyenek a mezőgazdasági tevékenységek során keletkező melléktermékek.

A vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges cselekvési program részletes szabályairól, valamint az adatszolgáltatás és nyilvántartás rendjéről szóló 59/2008 (IV. 29) FVM rendelet (a továbbiakban: Nitrát-direktíva) előírásai szerint ideiglenes trágyakazal (trágyaszarvas) létesíthető a mezőgazdasági táblán, így a kijuttatásra kerülő szerves trágya érlelése megoldható, s az érlelés kiváltható komposztálással is. A komposztálás növeli a nyers almos trágya minőségét és csökkenti a kijuttatásból eredő környezeti kockázatot (BRAKE, 1992; HAGA, 1999), emellett a folyamat során a trágya térfogata és tömege csökken, a kórokozók és a gyommagvak elpusztulnak, valamint csökkennek a kellemetlen szagok és stabil szerves- és tápanyag-tartalmú komposzt állítható elő végtermékként (MICHEL et al, 1996; PARKINSON et al, 2004). A komposztálás a szerves anyagok spontán biológiai lebontása, mely során az aerob körülmények dominálnak (BERNAL et al, 2009). A komposztálás fontos szerepet tölt be a hulladék- és melléktermék-gazdálkodásban. A mezőgazdaságban keletkező biomasszának mindössze egy része jelenik meg hulladékként, ugyanis egyre jelentősebb szerepe van mind a fenntartható energiagazdálkodás, mind a körforgásos gazdálkodás területén. A Hulladékgazdálkodási Információs Rendszer (a továbbiakban: HIR) adatbázisa alapján az újrahasznosított, komposztált, energiahasznosítás során égetéssel vagy biogáz előállítással kezelt biomassza mennyisége 2011-ben 744 ezer tonna volt, ez a mennyiség a 2004-ben kezelt biomassza mennyiségének mindössze 12%-át jelenti, azonban 2009-2011 között az újrafeldolgozással, komposztálással hasznosított biomassza mennyisége ismét nőtt. A hatályos OHT egyik specifikus cselekvési iránya szerint „jó megoldást jelenthet továbbá a mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladék és melléktermék komposztálása, közvetlen visszavezetése a biológiai körfolyamatba”. Ezek alapján tehát elő kell segíteni a melléktermékek - beleértve az istállótrágyát is – szervesanyag-körforgásba történő be- illetve visszakerülését.

Mindezekkel összhangban az Európai Unió egyik legfontosabb intézkedése az, hogy a lineáris (egyutas) gazdasági modell helyett be kell vezetni a körforgásos gazdaság fogalmát, melynek középpontjában az áll, hogy a hulladéklerakókra kerülő vagy égetéssel ártalmatlanított biológiailag lebontható biomassza jelentős mennyiségű potenciális másodnyersanyagot jelenthet, ha azt a lerakás helyett megfelelő módon kezelik, azaz (elsősorban) komposztálják, s így értékes, magas hozzáadott értékű tápanyagot hoznak létre belőle (BÉRES et al, 2017). Ezt a szemléletet kell a jelenlegi mezőgazdasági gyakorlatban központba helyezni, ugyanis a talaj

termékenysége fenntartható komposztokkal is a műtrágyák helyett. Amennyiben az istállótrágyát a körforgásos gazdaság szempontjait figyelembe véve kezelik, úgy csökken a keletkező üvegházhatású gázok mennyisége, a komposzt mezőgazdasági alkalmazásával a talajban raktározott szén mennyisége nő, valamint a keletkező istállótrágya a keletkezés helyén hasznosul, valamint csökken a műtrágya felhasználása is, ugyanis az Európai Unió évente nagyjából 6 millió tonna foszfortrágyát importál, melynek jelentős részét (közel 30%-át) - többek között - az istállótrágyából történő kivonással is ki lehetne váltani (I₁).

1. TÉMAFELVETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A kutatásom során a hazai állattenyésztés és növénytermesztés között fennálló ellentmondásokat szeretném feloldani, enyhíteni azzal, hogy az állati eredetű, elsősorban a baromfitartás során keletkező szerves melléktermékek kezelésére, tápanyagutánpótlásban történő alkalmazásának innovatív lehetőségeire fektetem a hangsúlyt.

A kutatásom első hipotézise, hogy fizikai, kémiai és biológiai paraméterek segítségével modellezhetőek a baromfitrágya komposztálása során zajló folyamatok üzemi és laboratóriumi körülmények között.

A kutatásom második hipotézise, hogy gyártástechnológiailag egy baromfitrágya alapú, szerves tápanyagutánpótlásra alkalmas folyékony terméket (komposzt oldatot) hozzak létre. Feltételezem, hogy ez a talajéletet növelni fogja, és szántóföldi, kertészeti kultúrákban nem jelent levegőszennyezési kockázatot, mivel az oldat retard hatású tápanyag-szolgáltató képességgel bír és fokozza a talajéletet.

A kutatásom harmadik hipotézise hogy a meghatározott komposztálási technológiai (azaz az elérhető legjobb technika (Best Available Technique, a továbbiakban: BAT) paraméterek alkalmasak lesznek a komposzt, valamint termésfejlesztési eljárások bevezetésére. Munkahipotézisem szerint a speciális tulajdonságokkal bíró baromfitrágya alapú termékek különböző termesztési technológiában eltérő technológiákat igényelnek és ezeket kutatásaim alapján lehet optimalizálni.

A doktori értekezésem kutatási céljai az alábbiak:

1. Megvizsgálni, hogy az általánosan használt prizmás komposztálási rendszer során hogyan alakulnak a fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságok a technológiák, valamint a lehetséges kiindulási, illetve adalékanyagok függvényében.
2. Elemezni és modellezni a prizmás komposztálási rendszerben a hőmérséklet, kémhatás, fajlagos vezetőképesség és a nedvességtartalom folyamat módosító hatását.
3. Meghatározni a nem levegőztetett körülmények között előállított komposzt oldatok kulcsfontosságú előállítási paramétereit, valamint azok hatását a szerves kémiai paraméterekre.
4. Meghatározni a baromfitrágya alapú folyékony termékek optimális termesztéstechnológiai paramétereit talaj-növény rendszerben, különböző kertészeti tesztnövények, dózisok és talajtípusok alapján.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Az állattartás melléktermékei, hulladékai és környezeti hatásai

Jelenleg 7,6 milliárd ember él a Földön. A FAO (az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezete) előrejelzései szerint 2050-re elérjük a 9,1 milliárd főt (FAO, 2012). A világ gyorsan növekvő népességéhez az élelmiszertermelésnek is növekednie kell – akár 70%-kal is – hogy megfelelően biztosítsák az élelmiszer-ellátást. Kisebb, vagy változatlan kiterjedésű földterületeken kell nagyobb mennyiségű élelmiszert megtermelni (EUFIC, 2015). A fejlett országokban állandósult a túltermelés – manapság is -, ezzel szemben a fejlődő országokban élelmiszerhiány mutatkozik. Ezek a tények, előrejelzések mind-mind a jövő kihívásai.

A világ népességének gyarapodása várhatóan felgyorsítja az igényt a nagy mennyiségű, de jó minőségű élelmiszerek iránt, amely az iparszerű mezőgazdaság fejlődésének felgyorsulását hozza magával. Ugyanakkor ez a fejlődés magával hozza azt is, hogy az egyre intenzívebbé váló technológiák növelik a környezet terhelését és esetenként a szennyeződés potenciális veszélyét (GAÁL, 2011). A növekvő fogyasztói igények magukkal „hozták” azt is, hogy egyre inkább az intenzív fajták kerültek előtérbe, s ezzel együtt az intenzív tömegtermelés is (BÉRI, 2011). A világ teljes állattenyésztésében, valamint az élelmiszer előállításban a baromfitenyésztés tekintélyes helyet foglal el, s a baromfihús fogyasztás a világ húsfogyasztásában évek óta első helyen áll. Ez a tendencia azzal magyarázható, hogy a baromfihús nagy a biológiai értéke, alacsony zsírtartalma, könnyen emészthető, valamint több életfontosságú ásványi anyagot és vitamint tartalmaz (MIHÓK, 1992). Hazánk lakosságának állati termékekkel szembeni igényeinek kielégítésében a szarvasmarha, sertés, juh és baromfi vesz részt. A baromfihús- valamint tojástermelés növelését és jelentőségét nem csupán a növekvő igények magyarázzák, hanem a termelés gazdaságossága is (BÖGRE et al, 1964). Ez az oka annak, hogy a baromfiágazat növekedése az elmúlt évtizedekben már eltávolodott hagyományos gazdálkodástól és egyre intenzívebbé vált, iparosodott. Ennek következménye az, hogy a szerkezeti átalakulások végett több hulladékot, valamint mellékterméket termelnek, mint ami az egyes telepeken elhelyezhető. Mindez azt eredményezte, hogy megnőtt a környezeti kockázatok bekövetkezésének valószínűsége, valamint egyre több üvegházhatású gáz jut a légkörbe (DE VRIES et al, 2012). A tömegtermelés hatására háttérbe szorulnak olyan szempontok is, mint a fenntarthatóság és a környezetvédelem, ugyanis ezek figyelembe vétele többletköltséggel jár. Az állattartó telepeken keletkező hulladékok és melléktermékek terhelhetik, sőt akár károsíthatják is a környezetet.

A brojlercsirke nevelés intenzifikálásával azonban az egyre nagyobb mennyiségben keletkező állati eredetű hulladékok, melléktermékek keletkezésével is számolni kell. A legnagyobb volumenben keletkező melléktermék a trágya (istállótrágya, hígtrágya) (BÉRI, 2011). Az intenzív baromfitelepeken a baromfitrágya nagy mennyiségben és könnyen hozzáférhető helyen gyűlik össze. A trágyatermelés évente egy-egy tojótyúk után átlagosan 50-60 kg, még a pecsényecsirkék esetén 4-5 kg. A baromfitrágya közel háromszor annyi nitrogént és foszfort tartalmaz, mint a szarvasmarha, ló vagy sertés trágyája, ezért hasznosítása az eddiginél jóval nagyobb figyelmet érdemel (BÖGRE et al, 1964). A baromfitartás során keletkező mélyalmostrágya melléktermék, de versenyképes hasznosításához elengedhetetlen az is, hogy tárolása, kezelése korszerű, környezetkímélő módon történjék, majd a mezőgazdasági talajokra történő hasznosítása se okozzon környezeti terhelést (VARGA et al, 1975), ugyanis az istállótrágya kétszeresen környezetszennyező anyagnak minősül. Azért beszélhetünk kétszeres környezetszennyezésről, mert egyrészt a kezeletlen trágyában lévő tápanyagok, patogén mikroorganizmusok potenciálisan veszélyeztethetik a felszíni és felszín alatti vizeket, másrészt pedig a szerves trágya helyettesítésére használt műtrágya is okozhat környezeti problémákat (GERBER et al, 2007; KOCSIS, 2005). Az almos trágyát azonban nem lehet azonnal felhasználni, hanem a kijuttatásig érlelni kell, amely azt jelenti, hogy a mineralizációs folyamatokat szabályoznunk kell.

Az állati hulladékok fogalma alatt „olyan állattenyésztésben keletkező anyagot értünk, amely a tevékenység járulékos következménye, de nem annak közvetlen előállítására volt a cél” (KOVÁCS, 2011). Az állati melléktermékekről szóló 1069/2009/EK rendelete (a továbbiakban: 1069/2009/EK rendelet) szerint a trágya a haszonállatok ürüléke és/vagy vizelete alommal keverve vagy alomanyag nélkül. A rendelet a továbbiakban meghatároz egy tágabb definíciót is az állati eredetű szerves trágyák körét illetően: „a növényi tápanyagellátás, valamint a talajok fizikai és kémiai tulajdonságainak és biológiai aktivitásának fenntartására és javítására – akár külön-külön, akár együttesen – felhasznált állati eredetű anyagok; a trágyát, a nem mineralizált madárürüléket, az emésztőtraktus-tartalmat, a komposztot és a lebomlási maradékokat is beleértve”. A rendelet emellett rendelkezik az állati eredetű anyagok talajokon történő alkalmazására is kitér, mely megába foglalja a komposztot és a biogáz emésztési maradványokat, melyek egyéb állati melléktermékekből állnak (I₂). Ezzel összhangban van a jelenleg hatályos, az élelmiszerláncról és hatósági felügyeletéről szóló 2008. évi XLVI. törvény is, melyben a terméknövelő anyagok definíciója a következőképpen lett meghatározva: „a növények tápanyagellátását szolgáló vagy a talajok tápanyag-szolgáltató képességét, termőképességét befolyásoló (kivéve a víz, a szén-dioxid és az adalékanyag nélküli, kezeletlen

istállótrágya), természetes eredetű vagy fizikai, kémiai, biológiai, illetve egyéb mesterséges úton előállított anyagok, valamint ezek kereskedelmi céllal összeállított kombinációja”. Mindezek mellett a termésknövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 36/2006 (V.18.) FVM rendelet definíciója alapján engedélyköteles szerves trágyának nevezi a növények tápanyagellátását, illetve a talaj szerkezetének javítását szolgáló, növényi vagy állati eredetű szerves anyagból iparilag feldolgozott, meghatározott beltartalmú termésknövelő anyagot. A trágyától eltérő szerves trágyákról és talajjavító szerekről a 181/2006/EK rendelet rendelkezéseit kell figyelembe venni. Az állati melléktermékek termőföldön történő esetén a termésknövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 36/2006 (V.18.) FVM rendeletben foglalt engedélyeztetési eljárás eredményeként, mely esetben az engedélyezési eljárást a NÉBIH Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatósága végzi. Ezen engedélyezési eljárás alapján termőföldön kizárólag engedélyezett termésknövelő anyag, valamint a 2007. évi CXXIX, a termőföld védelméről szóló törvény által meghatározott talajvédelmi engedély nélkül kezeletlen istállótrágya használható fel. A kezeletlen istállótrágyát kijuttatás előtt nem kell az állati eredetű melléktermékekre vonatkozó előírás szerint ártalmatlanítani (előkezelti) de csak abban az esetben, ha alkalmazásuk során nem merül fel állategészségügyi, illetve közegészségügyi kockázat. Az 1069/2009/EK rendelet alapján az állati melléktermékek nagyrészt az emberi fogyasztásra szánt állatok levágásakor keletkeznek, melyek forrásuktól függetlenül kockázatot jelenthetnek az emberi és állati egészségre és a környezetre. Ezen melléktermékeket biztonságosan kell ártalmatlanítani, vagy szigorú feltételek mellett, minimális egészségügyi kockázat mellett hasznosítani kell. Ártalmatlanítás után az állati eredetű melléktermékeket (nem kizárólag a trágyát, hanem más melléktermékeket is, például vérplazmát, csontokat, bőrt, szőrt, tollat, csontenyvet, vérlisztet, szarut, ipari zsírokat) hasznosítani lehet. Ezen melléktermékek hasznosításra számos módszer áll rendelkezésre: a humán élelmiszeriparban zselatin, étkezési zsír, élelmiszer adalékok, a vegyiparban enyv, ragasztó, vízzáró betonadalék, a kozmetikai iparban mosószer, szappanok, még a mezőgazdaságban állatifehérje takarmány, takarmány-zsír, állateledel, virágföld (komposzt) állítható elő, de ezen kívül számos olyan terület létezik, ahol a melléktermékek másodnyersanyagot jelenthetnek (HEGEDŰS et al, 1998).

Az állattenyésztésben különböző hulladékok és melléktermékek keletkeznek, melyeket Kovács (2011) az alábbi szempontok szerint csoportosított:

- a.) **Keletkezési hely szerint** beszélhetünk állattartó telepről, vágóhídról, élelmiszeriparból származó hulladékokról, emellett pedig ebbe a csoportba tartoznak még a lakosság által tartott állatok tetemei is.
- b.) **Veszélyesség szerint** három alcsoportot különböztetünk meg:
 - b1.) TSE-ben (transzmisszibilis spongiform encephalopáthia) azaz fertőző szivacsos agyvelőbántalomban megbetegedett állatok hullái vagy különböző veszélyes anyagok és ezen anyagokat tartalmazó állatok tetemei
 - b2.) Az állattartó telepeken, vágóhidakon keletkező trágya, hígtrágya, bendő- és gyomortartalom.
 - b3.) Vágóhídon levágott állatok részei, melyet a hatósági állatorvos emberi fogyasztásra alkalmatlannak minősített.
- c.) A **fizikai-kémiai tulajdonság szerinti** kategorizálás pedig általában zsírtartalom alapján történő csoportosítást jelent, mely alapján megkülönböztetünk zsíros hulladékokat (pl. baromfivágás hulladékai) illetve nem zsíros hulladékokat (pl. toll, vér, tojáshéj).

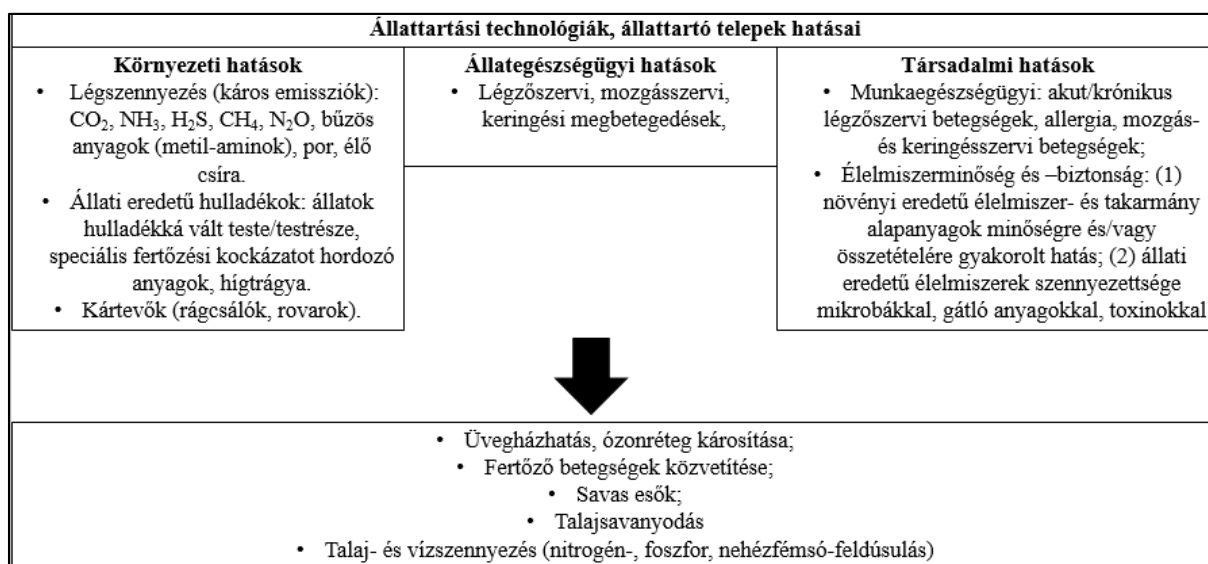
Az 1069/2009/EK rendelet három kategóriát különböztet meg az állati eredetű melléktermékek esetén és a 2. kategóriába tartozik (többek között) a trágya, a nem mineralizált madárürülék és az emésztőtraktus-tartalom. Ezen kategóriába tartozó anyagok esetén meghatározza az alkalmazandó ártalmatlanítás és felhasználás módját is:

- a.) égetés útján, hulladékként kell ártalmatlanítani (közvetlenül előzetes feldolgozás nélkül vagy a feldolgozást követően, nyomással történő sterilizálás révén);
- b.) ha a 2. kategóriába tartozó anyag hulladék, együttégetés útján kell ártalmatlanítani vagy hasznosítani
- c.) nyomással történő sterilizálással való feldolgozás során ártalmatlanítják, tartósan megjelölve a keletkező anyagot, majd engedélyezett hulladéklerakóban elföldelve ártalmatlanítják;
- d.) szerves trágyák vagy talajjavító szerek előállítására használják és (...) hozzák forgalomba nyomással történő sterilizálást követően, és adott esetben a keletkező anyagot tartósan megjelölve;
- e.) komposztálják vagy biogázzá alakítják át;**
- f.) feldolgozás nélkül a talajra juttatva, trágya, az emésztőtraktustól elkülönített emésztőtraktus-tartalom, tej, tejalapú termékek és kolosztrum esetében, ha azok az illetékes hatóság véleménye szerint nem jelentik semmilyen súlyos fertőző betegség terjedésének kockázatát
- g.) vízi állatokból származó anyagok esetében silózzák, komposztálják vagy biogázzá alakítják;

h.) előzetes feldolgozással vagy e nélkül éghető tüzelőanyagként használják fel.

A baromfiiparban két jelentős ágazatól beszélhetünk, egyik a hústermelés, másik pedig az étkezési tojástermelés. A baromfihús-előállítás legnagyobb része a brojlersirkéből származik (MIHÓK, 1992). A baromfitenyésztés során azonban a fő termékeken, a tojáson és húson kívül jelentős mennyiségben keletkeznek olyan melléktermékek, amelyek hasznosíthatók, illetve speciális technológiával jelentős hozzáadott értéket képviselnek. A baromfitartás melléktermékei közül kiemelt jelentőségű a toll, melyből toll-lisztet állítanak elő, a vágóhídi hulladék, melyet az állateledel előállítás során használnak fel, valamint a nagy mennyiségben keletkező trágya – túlnyomórészt mélyalmos trágya – mely talajjavító anyagként kerül felhasználásra (HORN et al, 2011). Emellett a trágyához adagolt alományag (szalma, faforgács), az elhullt állatok tetemei, a törött tojások (tojáshéj) is melléktermékként jelentkeznek (KELLEHER et al, 2001).

Az állattartás során keletkező hulladékok és melléktermékek potenciális környezetszennyező hatásai mellett az állattartó telepeknek is vannak környezetszennyező hatásai, amelyek azonban elsősorban a nem megfelelően szigetelt trágyatárolókkal magyarázható (KOZÁK, 2007). Az állattartó telepek és az állattartás környezeti hatásait az 1. ábrán mutatom be.



1. ábra: Az állattartás és az állattartó telepek környezetre és társadalomra gyakorolt hatásai (Forrás: Saját szerzés, RAFAI, 2003 alapján)

Az állattartó telepeken (különösen a baromfitelepeken) jellemzőek a káros emissziót okozó légszennyező anyagok. Ezen anyagok egy része az állatok anyagcseréjéből származik (CO₂), másik része pedig a technológiai folyamatokból ered (NH₃, H₂S, CO, por, baktériumok). A légszennyező anyagok koncentrációjának csökkentése a felhígításon alapszik, azaz intenzív levegőztetéssel csökkentik a koncentrációt (MÉSZÁROS, 1976). A baromfik intenzív

anyagcseréje miatt az oxigénszükségletük nagyobb, mint a többi haszonállaté, s ebből következik, hogy CO₂-leadása is jóval nagyobb. A tyúk CO₂-leadása 772 ml/kg/h, a szarvasmarháé 320 ml/kg/h, még a sertésé 336 ml/kg/h. Szén-dioxid az intenzív anyagcserén kívül még a mélyalomból is származik, mely a húgysav baktériumos bomlásának eredménye. Húscsibe-nevelőházakban akár mérgező koncentráció is keletkezhet lezárt ablakok, öreg alom mellett. Nagyüzemi nevelőházakban zárt ablakok és leállított szellőzőberendezések mellett 5-6 óra alatt a 0,7%-os CO₂-koncentrációt mérték, mely messzemenően meghaladja a 0,3%-os határértéket. A magas szén-dioxid koncentráció negatív hatásai az állatokra a következők: étvágytalanság, aluszékonyság, kedvezőtlen takarmányértékesítés, rossz tollasodás. Tojóházakban a tojástermelés csökken, nagyon magas CO₂ koncentráció esetén a tojánhéj el is vékonyodhat. Emellett az extrém magas CO₂-koncentráció hatására a légutak nyálkahártyájának kémhatása elsavanyodik, ez pedig légzőszervi megbetegedésekhez vezet, valamint az állatok anyagcseréjének intenzitása is csökkenést mutat. A baromfik által kilélegzett levegő fiziológiás CO₂-koncentrációja 6,5-7,0 % között alakul. Ha a baromfiistállóban nincsen légmozgás, akkor a padozat fölött gyűlik össze a CO₂, ugyanis fajsúlya nagyobb (1,977 g/1,0°C-on és 760 Hgmm nyomáson), mint a levegőé (MÉSZÁROS, 1976). A szén-dioxid mellett kiemelt jelentőségű a szén-monoxid koncentráció és annak alakulása az istállókban. A CO-mérgezés azokban az időkben volt jellemző a baromfiistállókban, amikor még az épületeket szilárd tüzelőanyagokkal (szénnel) fűtötték. A szén-monoxid azért veszélyes, mert 250-szer nagyobb az affinitása a vörösvérsejtek hemoglobinjához, mint az oxigéné, így azokhoz kapcsolódva lehetetlenné teszi a gázcserét. A baromfi akár a 110 ppm-es CO-koncentrációt is elviseli, mely koncentráció már az emlősállatok mérgezését okozza. A mérgezés tünetei az imbolygó járás, a légszomj, az epileptoid görcsök és a bódultság (MÉSZÁROS, 1976).

Az ammónia az állattartó telepek jellemző „szagkomponense”, szúrós szagú gáz, mely a nitrogén-tartalmú ürülék baktériumos bomlásából származik. A bomlásnak induló trágya és alomanyag okozta jellegzetes istállószagot főleg az ammónia okozza (BÖGRE et al, 1964). A mélyalmos baromfitartás során keletkezett trágya nitrogén-tartalmú vegyületekben gazdag, mely a kémhatás lúgos irányba tolja el, s ez a baktériumok elszaporodásának kedvez, ugyanis ha a kémhatás savanyú irányban csökken, akkor az akadályozza a baktériumok szaporodását, s ezzel csökken az ammóniaképződés (ezért alkalmaztak a mélyalmos baromfiistállókban szuperfoszfátot 50-60 g/m² dózisban). Mélyalmos tartásban 6-8. héttől kezdve megnövekedhet az ammónia-koncentráció, s ezen istállókban a baromfik esetén jellemző a kötőhártya- és szaruhártya-gyulladás, a mikoplazmózis is, ugyanis ha a levegő 10 napon át 50 mg/l ammóniát

tartalmaz, az már észrevehetően befolyásolja a peccenyecsirkék növekedését (BÖGRE et al, 1964; MÉSZÁROS, 1976). Az ammónia-koncentráció és a kémhatás összefüggését SCHIRTZ, (1971) vizsgálta, és úgy találta, hogy savanyú kémhatás esetén (pH 6), nem képződik ammónia, még a kémhatás emelkedésével egyenes arányban növekszik az ammónia-koncentráció: pH 9 esetén 20 ppm, még pH 11 esetén már 100 ppm volt az ammónia-koncentráció. Az ammóniaképződés technológiai folyamat eredménye, képződésének megelőzésére alkalmas az alom szellőztetése, az alom kémhatásának beállítása, itatóberendezések csorgásának megakadályozása. A magas ammónia-koncentráció nem csak állatokra, hanem az istállóban dolgozó személyzetre is veszélyes, ugyanis az ammónia a nedves nyálkahártyán oldódva ammónium-hidroxiddá alakul át, a kémhatás növekszik, s mindez kötőhártya-gyulladásához és bronchitiszhez vezet (MÉSZÁROS, 1976).

2.2. A baromfitartás melléktermékei, hasznosítási lehetőségei

A különböző termékek állati eredetű melléktermékekből történő előállításához az adott mellékterméket sterilizálni kell (HEGEDŰS et al, 1998) (*1. melléklet*). A húsipari melléktermékeket, illetve hulladékokat izolálják: csont, hús, vér, toll. A csont közvetlenül trágyaként nem hasznosítható, viszont komposztálással kezelhető (KOVÁCS et al, 2007). A csontról lekerülő húspépet az élelmiszeripar hasznosítja, a nem hasznosítható húsrészekből húsliszt készül, még a vérből vérliszt (vérkészítmény) készíthető (HEGEDŰS et al, 1998), azonban a toll- illetve vérliszt takarmányként való felhasználása, etetése tiltott. Az 1774/2002/EK rendelet szerint „egy állatfajnak sem adható olyan takarmány, amely a vele azonos fajba tartozó állatokból származik”, valamint nevezett rendelet értelmében „azok az állati melléktermékek, melyekről az egészségügyi vizsgálat kimutatta, hogy emberi fogyasztásra alkalmatlan állatokból származnak, nem kerülhetnek be a takarmányláncba”. A vágóhídi hulladékokat, az állateledel előállítás során használják fel, még a nagy mennyiségben keletkező trágya – túlnyomórészt almos trágya - talajjavító anyagként kerül felhasználásra (HORN et al, 2011). Emellett a trágyához adagolt alomanyag (szalma, fáforgács), az elhullt állatok tetemei, a törött tojások (tojáshéj) is melléktermékként jelentkeznek (KELLEHER et al, 2001). Az állattartásban keletkező szerves melléktermékek hasznosítása, felhasználása sokoldalú, azonban alapkövetelmény, hogy az adott anyag sterilizált legyen. Az élelmiszeripar, vegyipar, bőripar, könnyűipar, gyógyszeripar és a mezőgazdaság egy-egy hasznosítási területet, illetve irányt jelent. A mezőgazdaságban elsősorban a szerves trágyát hasznosítják, mely aerob fermentáció után trágyázásra, talajjavításra alkalmazható, s a növénytermesztési rendszerekben kiválthatók vele a nagy költségekkel járó műtrágyák. A baromfitrágya kezeletlen módon szántóföldekre

történő kijuttatása a környezetre káros üvegházhatású gázokat bocsát ki, ezért lenne szükséges a baromfitrágya komposztálással történő előkezelése, ugyanis a kedvezőtlen tulajdonságai a kezelési idő alatt átalakulnak és a megfelelő technológia végeredményeként a nitrogén feltárhatóbb formába kerül, valamint a beltartalmi értékek aránya javul. Emellett magas szervesanyag-tartalmú, alacsony nedvességtartalmú, föld-szerű terméket kapunk. A baromfitrágya nem stabil melléktermék, ugyanis rendelkezik egy olyan mikroflórával, amely a könnyen bomló szerves anyagokat lebontja, akkor is, ha megfelelően tároljuk, illetve kezeletlenül hagyjuk. Ezt a folyamatot spontán mineralizációnak is nevezhetjük, amely nagy anyagvesztéssel jár, elsősorban N-tartalom tekintetében (KOC SIS, 2005). BRAKE (1992) és HAGA (1999) szerint az almos trágya kezelésének egyik módja a komposztálás, mely növeli a nyers almos trágya minőségét és csökkenti a kijuttatásból eredő környezeti kockázatot. A komposztálási folyamat során a trágya térfogata és tömege csökken, a kórokozók és a gyommagvak elpusztulnak, valamint csökkennek a kellemetlen szagok (TIQUIA-TAM, 1998), valamint a tápanyagok és a szerves anyagok stabilizálódnak (MICHEL et al, 1996).

2.3. A szerves anyagok és a baromfitrágya hasznosítása komposztálással

Az elmúlt években hatalmas mennyiségű szerves hulladék keletkezett, amely veszélyeztetheti az emberi életet és az ökológiai környezetet. A szerves hulladékok, mint például az állati eredetű trágya, a szennyvíziszap, a mezőgazdasági hulladékok és települési szilárd hulladékok szervesanyagokban és tápanyagokban gazdagok, amelyek használhatók tápanyagutánpótlásra illetve talajjavító anyagként (OWOSI et al, 2017). A szerves hulladékok nem megfelelő kezelése súlyosbíthatja a környezetszennyezést, valamint közegészségügyi kockázatot is jelenthet. A szerves hulladékok és melléktermékek ártalmatlanítása válhat a világ minden táján fontos megoldandó problémává vált. A világon a szerves hulladékok és melléktermékek kezelésére, hasznosítására a legszélesebb körben alkalmazott módszerek a biogáz előállítás és a komposztálás (WANG et al, 2019). Tekintettel a hulladéklerakókból származó másodlagos szennyeződésre, a hulladéklerakók szerves hulladékkezelése egyre inkább alkalmatlanná válnak. Az anaerob kezelési módszerek jól alkalmazhatók a szerves hulladékok és melléktermékek energiává történő átalakításához, azonban a magas beruházási és karbantartási díjak, valamint a kevésbé hatékony metántermelés korlátozza az anaerob technológiák alkalmazását. A többi módszerhez képest a komposztálási technológiákat sok fejlődő országban kedvezőbb lehetőségnek tekintik, az alacsonyabb beruházási és üzemeltetési költségek, a tudományos szakértelem igénye és a műszaki összetettsége miatt (OWOSI et al, 2017, BERNAL et al, 2015). A komposztálási technológia szerves hulladék ártalmatlanítására és

újrahasznosítására való felhasználása széles körben elismert (BERNAL et al, 2015, OIAN et al, 2014). A komposztálás során a szerves anyagok átalakulnak, s a végeredményeként biztonságos és stabil melléktermék (komposzt) állítható elő, mely a műtrágyához hasonlóan kijuttatható a szántóföldekre (LI et al, 2013). HAUG (1993), valamint BUENO et al, (2007) szerint a komposztálás olyan biológiai folyamat, amely a szerves hulladékokat, melléktermékeket szabályozott körülmények között átalakítja, s melynek végeredményeképp létrejött termék a talajkondicionálásban, tápanyag-visszapótlásban alkalmazható. A komposztálási folyamat során a trágya térfogata és tömege csökken, (TIQUIA-TAM, 1998), valamint a tápanyagok és a szerves anyagok stabilizálódnak (MICHEL et al, 1996). „A komposztálás egy ember által irányított folyamat, amely során a szerves anyagok a talajmikroorganizmusok segítségével levegő jelenlétében lebomlanak, átalakulnak, majd belőlük az érés során nagy molekulájú huminvegyületek épülnek fel, a hulladék szerves frakciója humusszá és ennek különböző formáivá alakul”. Olcsó eljárás, melynek alkalmazásával az emisszió is csökkenthető (KOVÁCS-FÜLEKY, 2016). A komposztálandó anyagok bomlási sebessége és a végtermék minősége a komposztálás kiindulási anyagaitól függ. Következésképpen elengedhetetlen az alapanyag tulajdonságainak (beltartalmának) és a komposztálás paramétereinek ismerete. Az intenzív állattartásból származó trágya nitrogén- és foszfortartalma 3,3–14%, illetve 0,4–5,8% között mozog. Az állati trágyában az olyan tápanyagok, mint a nitrogén, a foszfor és a kálium, a tápanyagok 70,9%-nak, 89,8%-nak és 25,1%-nak feleltek meg ugyanazon időszakban. Az állati trágyából előállított komposztok általában gazdagok szerves anyagokban és tápanyagokban. A komposztálás egy olcsó és hatékony eljárás a szerves hulladékok kezelésére és ártalmatlanítására, azonban az alapanyagok eltérő tulajdonságai miatt a komposztálás paramétereit folyamatosan monitorozni kell a sikeres komposztálás érdekében. A legnagyobb veszteségek az állati eredetű trágya komposztálásakor lépnek fel (elsősorban nitrogén-tartalom tekintetében), s ezáltal csökken a trágya gazdasági értéke. Ezért lényeges a komposztálás, ugyanis megváltoztatja a hulladék természetét, jellemzőit is (TIQUIA-TAM, 2000). A trágyából származó ammónia-kibocsátás az aerob és anaerob baktériumok tevékenységéből származik (ZHANG et al, 1991).

2.3.1. A komposztálást befolyásoló tényezők, a komposztálás szakaszai

A komposztálás a szerves anyagok természetes lebomlási folyamata, amelyet számos környezeti tényező szabályoz, beleértve a kémhatást, a nedvességtartalmat, az oxigén ellátottságot, a porozitást, a szén-nitrogén arányt (BERNAL et al, 2009). A komposztálás során fontosabb befolyásoló tényezők és azok optimum, valamint szélsőértékeit az *1. táblázatban* mutatom be.

1. táblázat: A komposztálást befolyásoló tényezők optimum-, és szélsőértékei

Befolyásoló tényező	Optimum értéke	Szélsőértékei
C/N arány	25-30:1	20-40:1
Nedvességtartalom	40-60 m/m%	40-60 m/m%
Porozitás	35-45%	30-50%
Oxigén-koncentráció	>10%	>5%
Sűrűség	-	<640 kg/m ³
Kémhatás	6,5-8,0	5,5-9,0

Forrás: NRAES, 1992, WILKINSON et al, 2001 és KEENER et al, 2006. alapján

Ezen tényezők optimalizálásával kiváló minőségű érett komposzt érhető el, azonban ha a feltételek nem kedvezőek, akkor az a komposzt minőségét negatívan befolyásolja. Ezen befolyásoló tényezők ellenőrzése azonban a különböző komposztálási módszerektől is függ. BERNAL et al, (2009) szerint azonban a komposztálást befolyásoló tényezők két csoportra oszthatók: az egyik csoportba tartozó tényezők a komposzt alapanyagkeveréktől függenek, ilyen például a tápanyagtartalom (tápanyag-egyensúly, mely a C/N arányt jelenti), a kémhatás, a szemcseméret, porozitás és a nedvességtartalom; a másik csoportba tartozó tényezők a folyamatmenedzsmentől függenek, ilyen például az oxigén-koncentráció, a hőmérséklet és a nedvességtartalom.

Oxigénellátottság, levegőztetés

A befolyásoló tényezők között a legfontosabb a levegőztetés (amely nagy hatással van a végtermékként keletkező komposzt minőségére). A levegőztetés mértéke befolyásolja a mikrobiális aktivitást, a szerves anyagok degradációjának sebességét és a hőmérséklet változását a komposztálási folyamat során (KUTER et al, 1985). A túl kevés oxigén (levegőztetés) anaerob körülmények kialakulásához, még a túl sok oxigén (túlzott keverés) a prizma lehüléshez vezethet, s így a termofil fázis nehezen vagy nem érhető el a komposztálás folyamatában (AHN et al, 2007).

Nedvességtartalom

A megfelelő nedvességtartalom fontos a komposztáláshoz szükséges aerob körülmények kialakításához. A pórusterben lévő nedvesség mennyisége határozza meg a szerves anyag mikrobiális lebontásához rendelkezésre álló oxigén mennyiségét. A komposztáláshoz megfelelő nedvességtartalom 55-65 m/m% között alakul (WANG et al, 2019). A komposztálás során közreműködő mikroorganizmusoknak szükségük van a nedves környezetre, ugyanis ezen mikrobák a szerves anyagot körülvevő nedvességben élnek (RICHARDS et al, 2002). Az optimális nedvességtartalmat (SERRA-WITTLING et al, 1996) és a forgatási gyakoriságot azonban jelentősen (szingifikánsan) meghatározza a komposztálandó alapanyag típusa

EPSTEIN, 1997; LIANG et al, 2003). LEI et al, (2011) vizsgálatai alapján a szarvasmarhatrágya komposztálása során a 65 m/m% körüli nedvességtartalom, még sertétrágya esetén 65 m/m% feletti nedvességtartalom esetén ment végbe a komposztálás a leghatékonyabban. A nagyon magas nedvességtartalom (65-70 m/m%) a prizmában anaerob feltételeket hoz létre, amely a kedvezőtlen szagok megjelenésével és a hőmérséklet csökkenésével jár együtt. Az élelmiszer-hulladékok, trágya és szennyvíziszapok esetén, melyek nedvességtartalma meghaladja a 70 m/m%-ot, száraz szerves anyag, például fűrészpor vagy száraz széna adagolását tehetik szükségessé annak érdekében, hogy a keverék összes nedvességtartalma 55 m/m%-ra csökkenjen, s ezzel megkönnyítsék a degradációs folyamat végbemenetelét. A száraz adalékanyagok hozzáadása jobb struktúrát teremtenek a komposzt prizmában/reaktorban, és ez jobb oxigén ellátottságot eredményez a mikrobiális lebontáshoz (GALAJAKSHMI et al, 2008). RYNK et al, (1991) vizsgálatai szerint a komposztálás során 40-60% között kell tartani a nedvességtartalmat.

C/N arány

A szén- és nitrogénforrások nélkülözhetetlen tápanyagok mind a talajban, mind pedig a komposztálás során a mikrobiális növekedéshez és szaporodáshoz. A kiegyensúlyozott C/N arány nagyon fontos tényező a komposztálás során. A rendkívül magas és alacsony C/N arányok lelassíthatják a mikrobiális aktivitást, ami hosszú komposztálási folyamatot eredményez. Baromfihulladék esetén az alacsony C/N arány hozzájárul a nagy N-vesztéshez (elsősorban ammónia-tartalom tekintetében) (GRAY et al, 1971). Általában a komposztáláshoz optimális C/N arány 25-35:1 között kell hogy legyen (BERNAL et al, 2009, HUANG et al, 2006, 2004). Az ezen ajánlott tartományon kívüli C/N-arányú nyersanyagok komposztálását szénben gazdag anyagokkal, mint például fűrészpor, faforgács és karton, vagy nitrogénben gazdag anyagokkal, például szójabab-maradványokat és trágyát kell beállítani (OIAN et al, 2014, GALAJAKSHMI et al, 2008, HUANG et al, 2006, 2004).

Kémhatás

A komposztáláshoz optimális kémhatás (pH 7,5-8,5) biztosításával a mikroorganizmusok szaporodásához megfelelő élettér hozható létre a komposztban. A kémhatás nagyban befolyásolja a komposztálás folyamatát, ezért annak hatékony szabályozása illetve a komposztálás során történő folyamatos ellenőrzése kiemelkedően fontos. Az olyan alapanyagok, mint az élelmiszerhulladék, kémhatása alacsony, a mikrobiális lebontási folyamatot lassítja, s ezzel acidotermofil komposztálási körülményt hoz létre (CHAN et al, 2016, WANG et al, 2016). A lúgosító anyagok, mint például a mész, szén, a kémhatást

csökkenti, normalizálja és ezzel a komposztálásnak megfelelő körülményeket hoz létre (CHAN et al, 2016, WANG et al, 2016, ZHOU et al, 2016).

Hőmérséklet

A hőmérséklet a komposztálás egyik legfontosabb leíró paramétere, mellyel meghatározható a mikrobiális aktivitás a komposztálás különböző szakaszaiban. A mikrobiális tevékenység hőt termel, ez eredményezi a hőmérséklet növekedését a prizmában, reaktorban. A hőmérséklet változása (növekedése, csökkenése) a mikroorganizmusok különböző csoportjainak alakít ki megfelelő életteret, mellyel az adott szakaszban aktív mikrobák (baktériumok, gombák) a szerves anyagok gyors lebontására képesek. Az 50-55°C és afeletti hőmérséklet hatására a patogén mikroorganizmusok, gyommagvak elpusztulnak. Amennyiben a komposzt prizmában ezt a magas hőmérsékletet 5-7 napig tartani tudjuk, akkor a komposzt higienizálása következik be (WANG et al, 2019). A biohulladék kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről szóló 23/2003 (XII. 29.) KvVM rendelet (a továbbiakban KvVM rendelet) meghatározza azt, hogy milyen hőmérsékletet kell elérni a különböző komposztálási technológiákban a higiénizáció érdekében (2. melléklet). A KvVM rendelet szerint „a komposztálási folyamat irányítása során olyan körülményeket kell kialakítani, amelyek a termofil baktériumok hőmérsékleti igényei szempontjából megfelelőek, nagyfokú biológiai aktivitást, megfelelő nedvesség- és tápanyagtartalmat, valamint optimális szerkezetet és levegőzést biztosítanak”. A komposzt érése exoterm (hőfejlődéssel járó) folyamat, mely során – hőmérséklet-változás szerint – négy szakaszt különböztetünk meg: pszichrofil, termofil, mezofil, érés szakasza. Más szakirodalmak (CHEN-IMBAR, 1993; CASTALDI et al, 2005) azonban a komposztálás két nagyobb szakaszát különítik el:

1. szakasz: intenzív mikrobiális aktivitás, biológiailag könnyen bontható anyagok bomlása.
2. szakasz: humifikálódás vagy humifikációs szakasz, az első szakasz után visszamaradó szerves anyagok humuszanyagokká történő alakítása.

A hőmérséklet a mikroorganizmusok, illetve a mikrobák anyagcseréjére, populációdinamikájára (összetételére és sűrűségére) van nagy hatással (SULER-FINSTEIN, 1977; ARSLAN et al, 2011). A komposztálás kezdeti szakaszában a hőmérséklet gyorsan növekszik (IQUBAL et al, 2010), azonban szükség van egy bizonyos kiindulási hőmérsékletre a folyamat beindulásához. A termofil szakaszban, illetve azt követően a környezeti hőmérsékletnek jelentős befolyásoló hatása nincs (MARTINSON, 1990). A termofil szakasz elérése után a rendszer hőmérséklete fokozatosan csökken, stabilizálódik, míg végül eléri a

környezet (külső) hőmérsékletet (IQBAL et al, 2010). Azonban ha a hőmérséklet eléri a 82°C-ot, a mikroorganizmusok tevékenysége csökken (LIANG et al, 2003; MIYATAKA-IWABUCHI, 2005). A magas hőmérséklet korlátozza a mikrobák tevékenységét, melynek hatására lassul a szerves anyag lebontása, emellett a 70°C feletti hőmérséklet növeli az öngyulladás kockázatát és az ammónia-kibocsátás is fokozódik (BERTOLDI et al, 1983; PONSÁ, 2010).

Mikroorganizmusok

A komposztálási folyamatban különböző mikrobák vesznek részt. A komposztálási folyamat során a mikroorganizmusok populációja és mennyisége megváltozik a szerves anyagok fokozatos lebontásával. A komposztálási folyamat folyamán a különböző szakaszokban domináns mikrobiális populációk jelentősen eltérnek. A komposzt halomban lévő mikroorganizmusok két forrásból erednek: (1) maga a szerves hulladék nagy mennyiségben tartalmaz mikroorganizmusokat, beleértve a különféle baktériumokat, gombákat és protozoákat (WANG et al, 2016, BERNAL et al, 2009), (2) másrészt a komposztálás különböző szakaszaiban más és más mikrobacsoportok dominálnak a hőmérséklettől, valamint a rendelkezésre álló bontható szerves anyag hozzáférhetőségétől függően (GALAJASHMI et al, 2008). A komposztálás során közreműködő mikroorganizmusok megfelelő körülmények között a szerves anyag gyors lebontására képesek, emellett jellemzi még az erős aktivitás, a gyors szaporodás, mely felgyorsíthatja a komposztálási folyamatot és rövidítheti a komposztálási időt (ONWOSI et al, 2017). Az elmúlt évtizedekben a komposztálás során külső forrásból is juttattak mikrobákat a komposzt halomra, például cellulózbontó baktériumokat (LEI et al, 2011, MATHUR, 1991). A különböző üvegházhatású gázokat az oxigénfogyasztó, szerves anyagot bontó baktériumok termelik akkor, amikor a komposztálás során anaerob feltételek uralkodnak (ez elsősorban a komposzt prizma mag zónájában fordulhat elő) (WANG et al, 2014, FILLINGHAM et al, 2017). A komposztálás aerob folyamat, mely során a szerves anyagok a mikroorganizmusok tevékenysége következtében lebomlanak (DANON et al, 2008). A komposztálás során különböző mikrobák, mikroorganizmusok működnek közre. TANG et al, (2006) közleményükben arról számolnak be, hogy a szerves anyagok bomlása a komposzt érése során csökkentette a C/N arányt és a mikrobák sűrűségét. RYCKEBOER et al, (2003) megvizsgálták, hogy a komposztálás fázisaiban mely mikroorganizmusok illetve mikroba csoportok dominálnak. Eredményeik azt mutatták, hogy a termofil fázisban a baktériumok voltak túlsúlyban, még a gombák, a *Streptomyces* és az élesztőgombák elterjedése csak korlátozottan volt megfigyelhető (a korlátozó tényező a nagyon magas hőmérséklet volt a

termofil fázisban). A termofil és a mezofil fázisban egyaránt a baktériumok jelentek meg nagy számban. A termofil fázis „csúcán” – ahol a hőmérséklet eléri a maximumát – a *Bacillus*-ok elterjedése volt megfigyelhető, a lehülési-érési szakaszban a Gram-pozitív és Gram-negatív baktériumok száma fokozódott (RYCKEBOER et al, 2003). CAHYANI et al, (2003) tanulmányozták a különböző mikroba-közösségeket rizs-szalma komposztálása során. Vizsgálataik alapján az alapanyagokban *Alpha Proteobacteria* fordul elő a legnagyobb sűrűségben. A komposztálás fázisaiban a hőmérséklet csökkenés és emelkedés hatására különböző mikroorganizmusok (mikroorganizmus populációk) végzik a lebontást (RYCKEBOER et al, 2003). KUTZNER (2001) vizsgálta a komposztálás folyamatában részt vevő mikroorganizmusokat. Eredményeik alapján a bevezető szakaszban (vagy első mezofil szakaszban) még sokszínű mikroba „népesség” jellemző. A kezdeti biodegradációért és a hőtermelésért a baktériumok a felelősek. Mezofil baktériumok, gombák, mikrogombák szaporodnak el, s elkezdik lebontani/átalakítani a könnyen bontható illetve hozzáférhető tápanyagokat. A lebomlási (vagy termofil) szakaszban a hőmérséklet emelkedés hatására felgyorsulnak a biokémiai folyamatok is. Ebben a fázisban elpusztulnak a patogének, azonban a lignocellulóz degradációja is megkezdődik. A termofil szakaszban spóráképző fajok például a *Bacillus spp.*, *Thermus* nemzetség képviselői szaporodnak el. Ezen szakasz elején, 40-55°C körüli hőmérsékleti tartományban szaporodnak el és vannak jelen a komposztban a termofil gombák. Az átalakulási (vagy második mezofil) szakasz elején a hőtermelés-hőleadás kiegyenlítődik, a termofil mikroorganizmusok tevékenysége, valamint a hőmérséklet csökken, a mezofil szervezetek dominálnak (baktériumok és gombák egyaránt). Az utolsó, azaz az érési szakaszban a mezofil gombák lebontó-átalakító-stabilizáló tevékenysége fontos, ugyanis ezen mikroorganizmusok bontják a lignint, a szerves anyagokat humusszá alakítják, valamint a komposztot stabilizálják.

Szemcséösszetétel

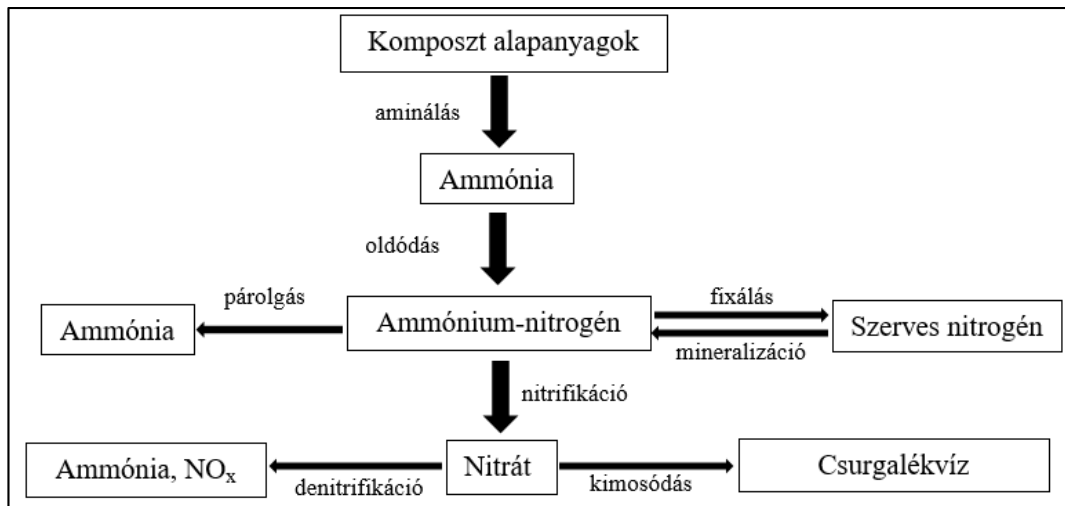
LÓPEZ et al, (2002) települési szilárd hulladék szerves frakcióját komposztálták, s vizsgálták a különböző frakciók tulajdonságait, mint a kémhatást, vezetőképességet, szerves anyag-tartalmat, szerves szén-tartalmat, Kjeldahl-N-tartalmat, elemösszetételt. Eredményeik alapján a <2 mm frakció jobb beltartalmi paraméterekkel rendelkezett: a vezetőképessége, nátrium-tartalma alacsonyabb volt, nagyobb volt a stabilitása, érettsége, valamint magasabb volt a tápanyagtartalma. Úgy találták, hogy a 0,5 – 2 mm közötti frakció a nehézfémeket is könnyebben akkumulálja, amely a kis méretből következő nagyobb fajlagos felülettel magyarázható. ZHAO et al, (2012) szintén települési szilárd hulladék szerves frakciójából

készített komposzttal dolgozott. Vizsgálataik a következő paraméterekre terjedtek ki: pH, porozitás, szerves anyag-tartalom, kalcium-, vas, magnézium- és mangán-koncentráció. Eredményeik alapján a 0,4 mm-es szemcsefrakció nitrogén-tartalma magasabb volt, mint a 0,8 mm, illetve afeletti szemcsefrakcióban. A Ca-, Fe-, Mg- és Mn-tartalom a 0,8 mm feletti frakcióban koncentráldott, még a kálium a 0,4 mm alatti frakcióban volt jelentős koncentrációban detektálható. Összességében eredményeik alapján elmondható, hogy a komposzt minták szemcsefrakciói között szignifikáns különbség volt tapasztalható, és a nagyobb szemcsék talajjavító anyagként jobban alkalmazhatóak, mint a kisebb szemcseméretű frakciók.

2.3.2. Üvegházhatású gázok keletkezése a komposztálás során

Az aerob körülmények között a szerves anyagot bontó mikroorganizmusok szén-dioxidot állítanak elő. A szén-dioxid kibocsátás (emisszió) a komposztálás során a termofil fázisban termelődik. A CO₂ kibocsátás változása nem csak a szerves anyagok lebontásának sebességét, hanem az aerob komposztálás előrehaladását is tükrözi. A termofil fázisban nagy mennyiségű szerves anyag lebontása történik magas hőmérsékleten, mely nagy mennyiségű CO₂ termelődésével jár együtt. A felszabaduló CO₂ mennyisége függ a komposzt prizmában lévő oxigén mennyiségétől, a forgatás gyakoriságától és a szerves szén mennyiségétől. A komposztálás kezdeti szakaszában az oxigén-koncentráció negatív korrelációban van a szén-dioxid mennyiségével, azonban a termofil fázisban ez a tendencia változik: az oxigén-koncentrációja csökken, még a szén-dioxid koncentráció növekedik, amíg a mikroorganizmusok számára bontható szerves szén (vagy szénforrás) mennyisége le nem csökken. Az aerob komposztálás a nitrogén-monoxidok egyik forrása. A nitrifikáció és a denitrifikáció az N₂O előállításának két fő folyamata. Aerob körülmények között a baktériumok szerves anyag bontásának hatására az NH₄⁺ NH₂OH-vá (hidroxil-aminná) alakul, majd az NH₂OH hidroxil-amin-oxidoreduktázzal nitríté oxidálódik, majd nitrit-oxidoreduktáz jelenlétében a nitrit nitráttá alakul át (HE et al, 2001). Az ammónium-ion nitráttá alakulása tulajdonképpen nem más, mint nitrifikáció. Az N₂O a nitrifikáció mellékterméke, és a nitrifikáció a nitrogén átalakítás egyik fő módja a komposztálási folyamatban, ez az oka annak, hogy az N₂O-kibocsátás elkerülhetetlen a komposztálási folyamatban. A denitrifikáció következményeképp a nitrát elemi nitrogénné alakul át (HAO et al, 2004). Következésképpen tehát a dinitrogén-oxid a denitrifikáció mellékterméke, amelyet a nitrát-koncentráció és az oxigén-koncentráció mennyisége gátol. A komposztálás során olyan a feltételek alakulnak ki, amely megfelelnek a dinitrogén-oxid keletkezéséhez, azonban a komposzt prizmában lévő

egyenetlen oxigéneloszlás, valamint a mag zónában lévő anoxikus és a kéreg zónában lévő aerob körülmények változatos környezetet hoznak létre, emiatt a dinitrogén-oxid keletkezésének komposztbéli helye kihívások elé állítja a szakembereket. A komposztálás során felszabaduló üvegházhatású gázok többféle módon csökkenthetők, megköthetők: komposzthoz kevert adalékanyagokkal, gyakori levegőztetéssel, érett komposzt fedőanyagként való alkalmazásával. Adalékanyagok hozzáadásával a komposzt prizma szerkezet javul, s így a mag zónában nem alakulnak ki anoxikus körülmények, s nem keletkezik metán. Adalékanyag lehet például a fűrészpor (YANG et al, 2013), a faforgács (MAULINI-DURAN, 2014) vagy a kukoricacsutka (JIANG et al, 2015) is. JIANG et al, (2015) komposztálási kísérletet végzett a különféle (folyamatos és szakaszos) szellőztetési módszerek és a szellőztetési sebességek (0, 0,18, 0,36 és 0,54 l*[kg szárazanyag/perc]) hatására az üvegházhatást okozó gázkibocsátásra sertéstrágya komposztálásakor. Az eredményeik azt mutatták, hogy az üvegházhatású gázkibocsátást jelentősen befolyásolhatja a levegőztetési módszer és a levegőztetési sebesség. A magasabb levegőztetési sebesség csökkentheti a metán-kibocsátást, azonban növelte az NH₃ és N₂O kibocsátását. A folyamatos levegőztetéssel összehasonlítva az időszakos levegőztetés csökkentette az NH₃ és a CH₄ kibocsátást, de növelte az N₂O termelést. A magas hőmérsékleten történő komposztálás hatékony eszköz a szerves hulladék mennyiségének csökkentésére, és olyan termék előállítására, mely a környezetre nem jelent veszélyt és az állattartó telepeken keletkező hulladékok és melléktermékek tárolásának, felhasználásának problémáját megoldja. A trágya komposztálása során azonban nagy a nitrogénvesztesség, melynek jelentős részét a könnyen illó ammónia felszabadulása jelenti, amely a végtermékként keletkező komposzt nitrogén-tartalmát csökkenti, a légkört szennyezi, valamint veszélyeztetheti a felszíni és felszín alatti vizeket (WANG et al, 2016, CHAN et al, 2016). A nitrogénformák változása a komposztálás során elsősorban a mikrobiális tevékenység eredménye. A nitrogén a komposztálási folyamat során többféle formában fordul elő, beleértve a szerves nitrogént, az ammónia-nitrogént, a nitrát-nitrogént, a nitrit-nitrogént, az ammóniát, a dinitrogén-oxidot és a nitrogént. A nitrogén átalakulásának négy fő módja van: ammonifikáció, nitrifikáció, denitrifikáció és bioabszorpció. A komposztálási folyamat fő nitrogén-átalakulási és -vesztési útvonalait a 2. ábra szemlélteti (HUANG et al, 2001).



2. ábra: A nitrogén átalakulása a komposztálás során (Saját szerkesztés, 2020; HUANG et al, 2001 alapján)

A komposztálás során közreműködő mikroorganizmusok a komposztban lévő szerves nitrogént ammonifikációval ammóniává alakítják, majd az ammóniagáz feloldódik a pórusvízben ammónium-nitrogént képezve. A hőmérséklet és a pH hatására az ammónium-nitrogén változása négy különböző útvonalon haladhat (HUANG et al, 2004, CHAN et al, 2016) (1) a szerves anyagok lebontása során keletkező nitrogén ammónia formájában kerül a légkörbe; (2) a szerves nitrogént mikroorganizmusok immobilizálják; (3) denitrifikációval nitrogénné és dinitrogén-oxiddá alakul; (4) az esőzések révén oldatba kerül (csurgalékvízbe) és kiszivároghat. A szerves nitrogén (ammónium-nitrogén és nitrát-nitrogén) és a szerves nitrogén a nitrogén egyik formája a komposztban, melyből a szerves nitrogén adja a komposztban lévő nitrogén 90% -át. A nitrogéntartalmú gázok (ammónia, nitrogén és dinitrogén-oxid) képezik a nitrogén veszteségének fő formáját a komposztban. A tanulmányok kimutatták, hogy a komposztálás során a teljes szerves nitrogén 9,6–46%-a ammónia formájában elillan a légkörbe (YANG et al, 2013). Az ammónium-nitrogén fő forrása a nitrogén-tartalmú szerves anyag bomlása ammonifikáció közben. A komposztálás kezdeti szakaszában a szerves anyag lebomlása során ammónium-nitrogén keletkezik, és éri el a maximális koncentrációját. Ezután az ammónium-nitrogén csökken és stabilizálódik a késő komposztálási szakaszban. A nitrát-nitrogén az ammónium-nitrogénből nitrifikáció során keletkezik, és a nitrát-koncentráció a komposztálás mezofil szakaszában növekedik. A szerves nitrogén teljes mennyisége először csökkent, majd emelkedett és stabilizálódott. Egyes tanulmányok kimutatták, hogy a komposztálás végén a nitrát-nitrogéntartalom jelentősen megnőtt, míg az ammónium-nitrogén, a szerves nitrogén és az összes nitrogén tartalma különböző mértékben csökkent, és a nitrogénvesztés elérte a 4,3%-ot (WANG et al, 2016, ZHOU et al, 2016, WONG et al, 2012). A nitrogénvesztés két

fő tényező befolyásolja: (1) komposztálandó alapanyagok tulajdonságai (C/N arány, a nedvességtartalom, pH, szemcseösszetétel); (2) környezeti tényezők (hőmérséklet, oxigénellátottság, mikroorganizmusok szaporodása). A hőmérséklet befolyásolja a mikroorganizmusok szaporodását és szaporodását, valamint a komposztálás időtartamát. A magas hőmérséklet szintén fontos mutató a komposzt érettségének értékelésében. A komposztálás korai szakaszában a komposzt halom hőmérséklete nem magas, s ekkor az elillanó ammónia mennyisége alacsony. Amikor a hőmérséklet emelkedik (termofil fázisban), az elillanó ammónia mennyisége egyenes arányban emelkedik. Ezért fontos a komposztálás termofil szakaszának monitorozása, illetve olyan adalékanyagok komposzt prizmába történő bekeverése, amely elősegíti a nitrogén veszteségének csökkentését. Ugyanakkor a komposztálás termofil fázisában lévő magas hőmérséklet gátolja a nitrifikációt. A pH szintén befolyásolhatja a mikroorganizmusok növekedését, ugyanis a legtöbb mikroorganizmus az enyhén savas vagy semleges környezetet részesíti előnyben. A komposztálás kezdeti szakaszában a szerves anyag bomlása során szerves savak (tejsav, vajsav) keletkezik, ezáltal csökken a pH-érték, és így kevesebb az elillanó ammónia. Azonban a hőmérséklet emelkedésével a szerves savak fokozatosan lebomlanak, s ezáltal növekedni kezd a pH, ami viszont serkenti az ammónia elillanását a komposzt prizmából. A lúgos pH-érték csökkentheti a mikrobiális lebontást és az anyagcserét, és befolyásolhatja a nitrogén mikrobiális asszimilációját. A levegőztetés/forgatás szintén fontos tényező, amely befolyásolja a komposztálást. Forgatással a prizmába oxigén kerül, azonban forgatással a prizma nedvességtartalma csökken, szén-dioxid keletkezhet és a hőmérséklet is szabályozható, azonban forgatás során még több ammónia illan el a prizmából. A forgatás csökkentése a termofil fázisban csökkentheti az elillanó ammónia mennyiségét. Reaktor típusú komposztálás esetén az időszakos levegőztetés jelentősen csökkentheti a komposzt nitrogénvesztését, mint a folyamatos szellőzés (CHOWDHURY et al, 2014). HUANG et al, (2001) megállapították, hogy kétnaponkénti forgatás lerövidíti a komposztálás idejét a naponta történő forgatással szemben.

2.3.3. A komposztáláshoz alkalmazott adalékanyagok

A komposztálandó szerves anyagokat gyakran bekeverik különböző térfogatnövelő anyagokkal (adalékanyagokkal) annak érdekében, hogy a folyamathoz szükséges feltételek kialakuljanak (PROIETTI, 2016). Adalékanyagokat (térfogatnövelő szereket) használnak a komposztálás (szerves trágyák komposztálása) során. Az adalékanyagok javítják a komposzt halom (prizma) levegőzöttségét, javítják az optimális térfogatsűrűségét (STEINER et al, 2014), emellett

adalékanyagok segítségével állítják be a nedvességtartalmat, javítják a C/N arányt, valamint alkalmazásukkal csökkenthető az üvegházhatású gázok kibocsátása, illetve az ammónia-veszteség (CHOWDHURY et al, 2014). Az alkalmazott adalékanyag lehet talaj, tőzeg, gabonaszalma, fűrészpor, mészkőpor, zeolit, lignit, faforgács, kukoricaszár, kerti hulladék, gyümölcs és zöldség hulladék (KOC SIS, 2005; ADHIKARI et al, 2008; GEA et al, 2007). CHANG-CHEN (2010) élelmiszerhulladék komposztálása során vizsgálta az adalékanyagként a prizmához adott rizshéj és fűrészpor hatását, és eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy az adalékanyagok fokozták a szerves anyag degradációját, valamint a komposzt minősége is jobb lett, mint adalékanyag alkalmazása nélkül. BATHAM et al, (2013) tanulmányukban különböző adalékanyagok hatását vizsgálták a komposztálás főbb paramétereire. Eredményeiket a 2. táblázatban tüntettem fel.

2. táblázat: Adalékanyagok hatása a komposztálás paramétereire

Adalékanyag	Paraméter, melyet befolyásol
fűrészpor	pH érték, hőmérséklet, C/N arány
rizshéj, kukoricaszár	nedvességtartalom
szalma	térfogatsűrűség

Forrás: Saját szerkesztés, BATHAM et al, 2013. alapján

Az ásványi eredetű adalékanyagok nitrogén-megkötő képessége a komposztban elsősorban az adalékanyagok ioncserélő képességétől függ. Az ásványi adalékanyagok, például a zeolit, bentonit, a bioszén, a vermikulit nagy fajlagos felülettel rendelkeznek. A 3. táblázat bemutatja a különböző komposzt alapanyagokhoz hozzáadott adalékanyagok ammónia-megkötő hatását.

3. táblázat: Adalékanyagok ammónia-megkötő képessége különböző komposzt alapanyagok esetén

Komposzt alapanyag	Adalékanyag	Adalékanyag kijuttatási aránya	Nitrogénmegkötő képesség mértéke (%)
Baromfitrágya	szuperfoszfát	10 %	74%
Baromfitrágya	Réz-szulfát és mangán-szulfát keveréke	0,5% réz-szulfát és 2% mangán-szulfát keveréke	39,32%
Sertés trágya	Magnézium-klorid	-	58%
Szarvasmarhatrágya	Zeolit	6,25%	50%
Baromfitrágya	Zeolit	15%	49,13%
Élelmiszerhulladék	Aktivált szén és zeolit keveréke	2% aktivált szén és 2% zeolit keveréke	79%
Szennyvíziszap	Biochar és zeolit keveréke	-	58,03-63,8%

Forrás: Saját szerkesztés, 2019; WANG et al, 2019. alapján

Az ásványi adalékanyagok biztonságosan alkalmazhatók a komposzt nitrogénveszteségének csökkentésére, ám a nagyobb bekeverési arányoknak már vannak hátrányai, azonban ha az

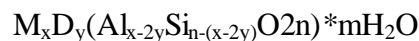
ásványi eredetű adalékanyagokat valamilyen mikrobiális szerekkel és kémiai adalékanyagokkal együtt keverjük a komposztba, akkor sokkal jobb eredményeket tudunk elérni (JIANG et al, 2016, TURAN, 2009).

Zeolit

A természetes zeolitok a szilikátok osztályába, a térhálós (tekto-) szilikátor alosztályába tartoznak. A szilikátok esetén a kristályrácsban összetett anion, a zeolitok esetében szilikát-anion található. A központi ion a szilícium, mely négy oxigénnel alkot tetraédert, s ezek összekapcsolódva adják a szilikátok vázát. A tektoszilikátok esetén azonban a szilícium-iont alumínium-ion is helyettesítheti, ekkor viszont negatív töltésfeleslegről beszélhetünk, melynek semlegesítésére valamilyen alkáli- és alkáliföldfémionok lépnek a rácsba (KUCSÁK, 2009). A zeolitok természetes kristályos, túlnyomórészt hidratált Na- Ca- Al-szilikátok. Természetes ásvány, nem talajidegen, adszorbens anyag, amely a komposztálódás sebességét módosítja (KOCSIS, 2005). A természetes zeolitokra jellemző a szelektív gázabszorpció, az ioncsere, a felület- és pórustér-aktivitás, illetve a savállóság (MÁTYÁS, 1984). Mikropórusos anyagok, néhány tized mm-es pórusátmérővel. A természetes zeolitok nem tisztán fordulnak elő, kísérő kőzetként előfordul kvarc, földpát illetve agyagásvány is mellettük (HANNUS, 2012).

A zeolitok általános képlete a következő:

1. egyenlet



ahol

M= Na⁺, K⁺

D= Ca²⁺, Mg²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺

A zeolitokat többnyire állati takarmány-kiegészítőként, állattartó létesítmények szagtalanítására, kommunális és ipari szennyvizek kezelésére (szennyvizek ólom-, kadmium-, cink-, mangán- illetve, ammónium-tartalmának eltávolítása) vegyi és biokémiai reakciók katalizálására alkalmazzák (3. melléklet) (ZORPAS et al, 1999). A zeolitok növelik a talaj mikroelem készletét, elősegítik a növények vízfelvételét, javítják a talajok vízháztartását (SIMON, 2001). ZORPAS et al, (1999) vizsgálatai bizonyították, hogy a szennyvíziszap komposztálása során adagolt zeolit illetve klinoptilolit csökkenti a nehézfém-tartalmat a komposztban. CSIBA et al, (2012) is zeolitot illetve egyéb anyagokat (kalcium-kloridot, alumínium-szulfátot) alkalmaztak a baromfi trágya ammónia-kibocsátásának mérséklésére.

Eredményeik alapján mindhárom anyag alkalmazása eredményesnek bizonyult az ammónia-koncentráció csökkentésére (4. táblázat).

4. táblázat: Baromfitrágya ammónia kibocsátásának csökkentésére alkalmazott anyagok

Alkalmazott adalékanyag	Ammónia-kibocsátás csökkentés
Zeolit (5tf%-ban hozzáadva)	86,11%
Alumínium-szulfát (5tf%-ban hozzáadva)	81,96%
Kalcium-klorid (5tf%-ban hozzáadva)	16,82%

Forrás: Saját szerkesztés, CSIBA et al,2012.

PORTEJOIE et al, (2002) sertéstrágya tárolása során különböző anyagokat alkalmazott ammónia-koncentráció csökkentésre (tőzeg, olaj, zeolit), mely anyagokkal lefedte a tárolt sertéstrágyát (4. melléklet). KITHOME et al, (1999) eredményeik alapján rávilágítottak arra, hogy a trágyában lévő magas nitrogén-koncentráció, és az alacsony C/N arány okozza az ammónia-vesztést, s az ammónia-koncentráció csökkentésére adszorbens anyagot, zeolitot használtak.

2.4. Komposztálási technológiák

a.) Nyílt rendszerű komposztálás

A „klasszikus” nyílt prizmás komposztálás nyílt téren megy végbe, a prizmák leggyakrabban háromszög keresztmetszetűek és hosszan elnyúlók (BARÓTFI, 2000). Ezen technológia esetén a szellőzés természetes úton biztosított, illetve a gázcsere forgatással megoldott. Gyakori forgatást igényelnek a halmok (a prizma külső részei beljebb kerüljenek), ugyanis a belseje a legmelegebb, s kifelé haladva csökken a hőmérséklet (GRÜNEKLEE, 1998). Az oxigéntartalom, a nedvességtartalom, hőmérséklet ellenőrzése a komposztálás során folyamatos. A nedvességtartalom 60% körüli értéken tartása öntözéssel oldható meg (ZHANG et al, 2012), sokszor előfordul az is, hogy a keletkező csurgalékvizet a prizmák nedvesítésére használják fel (GRÜNEKLEE, 1998). A prizmák méretei eltérőek, de magasságuk általában 1,5-1,8 méter, még szélességük 2,4-36 méter között változik (üzemi körülmények között) (RUSSEL, 1985). KOCSIS (2011) szerint nyílt rendszerű komposztálásnál a komposztálandó anyagot 1,5-2 méter magas, alján 3-6 méter széles, tetején 0,7-1,2 méter széles prizmákba rakják. A nyílt rendszerű komposztálás lehet passzív, forgatásos vagy levegőztetett is. Passzív technológia esetén az alapanyagokat halomba rakják, majd a komposztálás végéig semmilyen beavatkozás nem történik, emiatt az érés ideje 6 hónaptól egészen 3 évig terjedhet. Forgatásos technológia esetén viszont rendszeresen átkeverik a prizmákba rakott alapanyagokat, s így az érési idő 7-9 hét, még a levegőztetett prizmakomposztálásnál (ASP - Aerated Static Pile) perforált csöveken pumpa, vagy ventilátor használatával juttatják be a levegőt a prizma

belsejébe, s itt az érés ideje mindössze 6-8 hét, sőt akár 3-5 hétre is csökkenthető a komposztálás ideje (CZUPY-VÁGVÖLGYI, 2011; KOCSIS, 2011). A levegőztetett prizmakomposztálásnál csőrendszert építenek ki a prizma alá, s a komposztprizmák „megépítése” előtt egy réteg faforgács vagy szalma kerül, s így a levegőztetés hatékonyságát javítják (GOVERNMENT OF CANADA, 2013).

A szerves hulladékok kezelésére többféle eljárást alkalmaznak, de van két Japán rendszer, amely gyors, intenzív aerob fermentáció végrehajtását biztosítja: az egyik módszer a Hosoya, a másik pedig az Okada. A két rendszer között az a különbség, hogy még a Hosoya tartálya ovális alakú, addig az Okada rendszeré egyenes (GEORGAKAKIS-KRINTAS, 2000). A továbbiakban a Hosoya rendszert szeretném ismertetni. A Hosoya rendszer egy intenzív fermentáláson alapuló technológia, melyet kifejezetten trágya kezelésére hoztak létre. Maga a rendszer egy háromfázisú folyamatot foglal magába: kétfázisú aerob fermentációt, szárítást illetve végszárítást (HOSOYA & CO., 1996).

A különböző fázisok a következőképpen épülnek fel:

1. fázis – fermentáció: Az első fázisban egy sekély, ovális beton medence található, mely hosszában két egyenlő félre van osztva: a medence egyik oldalán gyenge, még a másik oldalán erős fermentáció zajlik, 70°C körüli kezdő hőmérséklettel. A kád szabványos hosszúsága 60 m. A medencébe a trágya betáplálása folyamatos. A nedvességtartalmat a rendszer folyamatosan ellenőrzi, illetve a levegőztetés a medence alján található csövekkel megoldott. A medencében egy kettős rotorokkal ellátott keverőszerkezet jár körbe. Ez a tartály (vagy medence) nagy mennyiségű trágya kezelésére alkalmas egyidejűleg. A fermentáció kezdetekor a betáplált trágya szárazanyag-tartalma 30% körül alakul, majd a folyamat végére átalakul granulátummá, melynek szárazanyag-tartalma 80-85%, és jelentős mennyiségű organikus elemet is tartalmaz. Ez a fázis 13-14 napot vesz igénybe.

2. fázis – fermentáció és szárítás: Boxokban történik a szárítás, melyek a mellső oldalukon nyitottak, s minden box alján levegőztető csövek vannak beépítve a fermentáció gyorsítása céljából. Ezen fázis 15-20 napig tart, a trágya szárazanyag-tartalma ~75%. Ebben a fázisban már granulátum fázisban van a trágya.

3. fázis – végszárítás: A végszárítás tálcaszerű kádakban történik, melynek méretei (hosszúság x szélesség x falmagasság): 60m x 60m x 10 m. Szellőztető csövek vannak beszerelve a tálcák aljára a trágya szárításának gyorsítása céljából. A trágya szárazanyag-tartalma 80-85% (SZABÓ, 2016; CSIBA-FENYVESI, 2012).

b.) Félig zárt rendszerű komposztálás

A félig zárt rendszerű komposztálási technológiánál a folyamat egy zárt helyen zajlik, nyílt prizmákban, csatornában, vagy cellákban. A csatornákat falak választják el egymástól, s a kisebb csatornákat nevezik celláknak. A félig zárt prizmás komposztálás hasonlít a nyílt prizmás komposztáláshoz, azonban ebben az esetben zárt helyen történik, illetve levegőztető rendszereket alkalmaznak (BOLDRIN et al, 2009). GORE-TEX fedést alkalmaznak a komposztálás során, illetve levegőztetik, sőt akár melegítik is a prizmákat a bomlási folyamat sebességének gyorsítása végett (FAZEKAS et al, 2011). A GORE-TEX egy membrán, amely a vizet nem, azonban a levegőt és a vízgőzt átengedi, s így csökkenthető az emisszió, valamint egy olyan klíma alakul ki a prizmában és annak környezetében, hogy az aerob folyamat lejátszódása biztosított, és nem rothadással alakul át a szerves anyag (HUNYADI, 2012).

A szerves hulladékok kezelésére többféle eljárást alkalmaznak, de van két Japán rendszer, amely gyors, intenzív aerob fermentáció végrehajtását biztosítja: az egyik módszer a Hosoya, a másik pedig az Okada. A két rendszer között az a különbség, hogy még a Hosoya tartálya ovális alakú, addig az Okada rendszeré egyenes (GEORGAKAKIS-KRINTAS, 2000). A továbbiakban a Hosoya rendszert szeretném ismertetni. A Hosoya rendszer egy intenzív fermentáláson alapuló technológia, melyet kifejezetten trágya kezelésére hoztak létre. Maga a rendszer egy háromfázisú folyamatot foglal magába: kétfázisú aerob fermentációt, szárítást illetve végszárítást (HOSOYA & CO., 1996).

A különböző fázisok a következőképpen épülnek fel:

1. fázis – fermentáció: Az első fázisban egy sekély, ovális beton medence található, mely hosszában két egyenlő félre van osztva: a medence egyik oldalán gyenge, még a másik oldalán erős fermentáció zajlik, 70°C körüli kezdő hőmérséklettel. A kád szabványos hosszúsága 60 m. A medencébe a trágya betáplálása folyamatos. A nedvességtartalmat a rendszer folyamatosan ellenőrzi, illetve a levegőztetés a medence alján található csövekkel megoldott. A medencében egy kettős rotorokkal ellátott keverőszerkezet jár körbe. Ez a tartály (vagy medence) nagy mennyiségű trágya kezelésére alkalmas egyidejűleg. A fermentáció kezdetekor a betáplált trágya szárazanyag-tartalma 30% körül alakul, majd a folyamat végére átalakul granulátummá, melynek szárazanyag-tartalma 80-85%, és jelentős mennyiségű organikus elemet is tartalmaz. Ez a fázis 13-14 napot vesz igénybe.

2. fázis – fermentáció és szárítás: Boxokban történik a szárítás, melyek a mellső oldalukon nyitottak, s minden box alján levegőztető csövek vannak beépítve a fermentáció gyorsítása

céljából. Ezen fázis 15-20 napig tart, a trágya szárazanyag-tartalma ~75%. Ebben a fázisban már granulátum fázisban van a trágya.

3. fázis – végszárítás: A végszárítás tálcaszerű kádakban történik, melynek méretei (hosszúság x szélesség x falmagasság): 60m x 60m x 10 m. Szellőztető csövek vannak beszerelve a tálcák aljára a trágya szárításának gyorsítása céljából. A trágya szárazanyag-tartalma 80-85% (SZABÓ, 2016; CSIBA-FENYVESI, 2012).

c.) Zárt rendszerű (Reaktor típusú) komposztálás

A reaktor típusú komposztálás esetén a hőmérséklet, a nedvességtartalom illetve a levegőzés szabályozható. A folyamat több hét, sőt akár hónap alatt zajlik le, azonban nagy előnye, hogy hideg időjárás esetén is alkalmazható, kevés csurgalékvíz keletkezik, és nem termelődnek kellemetlen szagok a zárt rendszernek köszönhetően, azonban drága eljárásnak tekinthető (BOLDRIN et al, 2009). Állati eredetű melléktermékek komposztálással történő kezelése során gyakran alkalmazzák.

2.5. A komposztérettség vizsgálatára alkalmazott módszerek

A komposztérettség a komposzt minősítését jelenti, a komposzt alkalmasságának meghatározását, s kapcsolatban van a komposztálási folyamattal (BREWER-SULLIVAN, 2001). A komposzt-érettség és komposzt-stabilitás összefüggő definíciók. Ha ugyanis a komposzt nem stabil, akkor a tárolás, használat során még bűzös szagokat termel illetve penészedés is gyakran előfordulhat. Az éretlen komposztokat magas mikrobiológiai aktivitás jellemzi, aminek következménye lehet a fitotoxikus vegyületek keletkezése is (ZUCCONI et al, 1985), emellett ha a komposzt nem érett, akkor nem alkalmas arra a célra sem, amire szánják. Amikor egy éretlen, instabil komposztot alkalmaznak növényi tápközegeként, vagy tápanyag-utánpótlás céljából, akkor a hirtelen megnőtt mikrobiális aktivitás csökkentheti az oxigénkoncentrációt a talajban, vagy a nitrogén-immobilizálás miatt a növényeknek nem jut elegendő nitrogén és hiánytünetek jelentkeznek (ZUCCONI et al, 1981).

Ezek alapján azt mondhatjuk, hogy a komposzt stabilitása és a mikrobiális aktivitás erősen összefügg (HUE-LIU, 1995). A stabil komposzt létrehozása elsősorban gyakorlati szempontból lényeges, és a fogalmat a mechanikai-biológiai hulladékkezelés hatékonyságának az ellenőrzésénél használják. A komposzt stabilitás többféleképpen jellemezhető (1) a mikrobiális aktivitás mérőfokával, valamint (2) a komposztálás során lezajló szervesanyag átalakulás fokával (STEINFORD, 2002; KOVÁCS-FÜLEKY, 2016). A komposztérettség vizsgálatának módszereit az 5. táblázatban összegeztem.

5. táblázat: Komposztérettség vizsgálatának módszerei

Módszerek csoportjai	Vizsgálható tulajdonságok
Fizikai, fiziko-kémiai	Hőmérséklet, szemcseösszetétel, szín, szag, inert anyagok, spektroszkópiai tulajdonságok
Kémiai	Szén- és nitrogén-vizsgálatok, C/N arány a szilárd és folyékony frakcióban
	Kationcsere kapacitás - CEC, CEC/összes szerves szén arány
	Vizes kivonatokból mérhető paraméterek (kémhatás, fajlagos vezetőképesség, oldott szerves szén-tartalom – DOC, ion-koncentrációk)
	Ásványi nitrogén-tartalom vizsgálatok (NH ₄ -N-tartalom, NH ₄ -N/NO ₃ -N arány)
	Szerves anyag minősége, humifikáció foka, poliszacharidok és humuszanyagok mennyisége, funkcionális csoportok
Biológiai	Respiráció (O ₂ -felvétel/fogyasztás, CO ₂ -termelődés), kémiai oxigénigény (KOI), biológiai oxigénigény (BOI), mikrobiális biomassza
	Enzimaktivitás vizsgálatok
	ATP-tartalom
	Nitrogén mineralizáció-immobilizációs potenciál, nitrifikáció foka
	Csírázási és fitotoxicitási tesztek, ökotoxicitási tesztek

Forrás: Saját szerkesztés, KOVÁCS-FÜLEKY, 2016; BREWER-SULLIVAN, 2001; BERNAL et al, 2009. alapján

A komposztálás folyamatának monitorozására, valamint a komposzt érettségének meghatározására fizikai, kémiai és biológiai módszerek egyaránt alkalmasak. Kémiai módszer például a redoxpotenciál változásának mérése, vezetőképesség mérés, NH₄⁺/NO₃⁻ arány, a komposzt prizma/reaktor oxigénigénye (TIQUIA et al, 1996), kationcserélő kapacitás (HARADA-INOKO, 1980), szervesanyag- és tápanyag-tartalom (TIQUIA, 2003, BADDI et al, 2004; GRIGATTI et al, 2004), C/N arány (BERTOLDI et al, 1983; KAUSHIK-GARG, 2004) vizsgálata szilárd fázisban (BERNAL et al, 1998a; IGLESIAS-JIMENEZ, 1992; PEREZ-GARCIA, 1992), valamint folyékony fázisban (CHANYASAK-KUBOTA, 1981; HUE-LIU, 1995). A fitotoxikus anyagok, fenolsavak és illékony zsírsavak jelenléte (KIRCHMANN-WIDEN, 1994) éretlen komposztokra utalnak. Biológiai módszerek közé sorolhatók a fitotoxicitási vizsgálatok (TIQUIA-TAM, 1998) és a mikrobiológiai vizsgálatok (TIQUIA, 2005). Fizikai módszer például a komposzt hőmérséklet vizsgálata (FLYNN-WOOD, 1996), a hőtermelő képesség (RYNK et al, 1992) (komposztban termelődő hő alapján kategorizálható az anyag érettségi foka), spektroszkópiai vizsgálati módszerek.

2.5.1. Fizikai, fiziko-kémiai kompozttérettségi vizsgálatok

A fizikai jellemzők közül elsősorban a komposzt színe, szaga és hőmérséklete már egy általános képet ad a komposztról, de további vizsgálatok szükségesek az érettség meghatározásához. A komposzt (szerves anyagainak) vizsgálata nagyrészt olyan paraméterek mennyiségi meghatározására terjed ki, mint például az izzítási veszteség (loss of ignition, LOI), valamint az összes szerves szén (TOC). A biológiai vizsgálatok (pl. légzési aktivitás, specifikus oxigénfelvételi sebesség) a szerves anyag „viselkedését” írják le, és ezért közvetett módon adnak információt a reaktivitásról és a stabilitásról. Ebben az esetben az egyes anyagok azonosítása nincs szükség, csak a biológiai bonthatóság és a mikrobiális közösségekkel való kölcsönhatás releváns. A humin- és humuszanyagok mennyisége és minősége a komposztálás egyik fő paramétere, azonban meghatározása hagyományos módszerekkel időigényes. Ezen célra alkalmasak lehetnek a spektroszkópiai módszerek, melyek gyorsak, roncsolásmentesek, s a mérés során kapott spektrum a minta kémiai összetételére utal, s ily módon a szerves anyagok átalakulási foka is megállapítható. Előnyeik közé tartozik, hogy nem igényelnek hosszadalmas mintaelőkészítést, és az egyes folyamatok aktuális eredményeit azonnal meghatározhatjuk. Hátránya azonban hogy a referencia mintákon meghatározott pontos kalibrációt igényel.

WANG et al, (2004) szerint azonban a különböző környezeti minták analízise során a spektroszkópiai módszereknek (NIR, MIR, FTIR) jelentős szerepük van. Alkalmasak például a trágák komposztálása során a fizikai és a kémiai paraméterek meghatározására (MALLEY et al, 2005; HUANG et al, 2008), C/N arány meghatározására szennyvíziszap és zöldhulladék komposztálása során (ALBRECHT et al, 2008), valamint a nitrogéntartalom monitorozására baromfitrágya komposztálása során (FUJIWARA-MURAKAMI, 2007). Továbbá alkalmas még az infravörös spektroszkópia a talajok szervesanyag-tartalmának vizsgálatára, különösen a különböző mezőgazdasági tevékenységek, földművelési rendszerek és talajjavítások következtében bekövetkező szervesanyag-változások elemzésére is (HABERHAUER et al, 2000), ugyanis mind a talajok, mind a komposztok esetén az eredményül kapott spektrumok fontos biokémiai információkat hordoznak a funkciós csoportok (-CH, -OH, -NH) karakteréről és számáról.

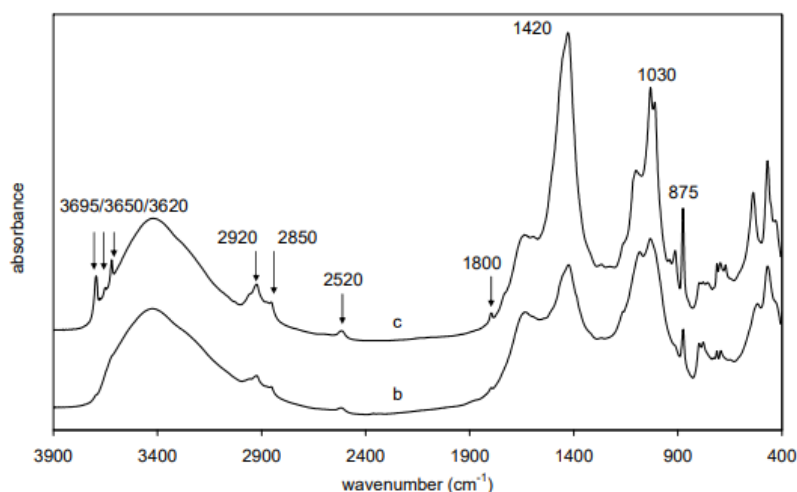
A spektroszkópiai módszerek közül a látható és a nem látható fény-hullámhosszokat alkalmazó VIS-NIR technika az egyik olyan módszer, mely alkalmazható a kompozttérettség meghatározására, mint non-destruktív módszer. Egyik nagy előnye a gyors mérés lehetősége, valamint az egyszerű (roncsolásmentes) mintaelőkészítés és vizsgálat. A VIS-NIR módszert alkalmazták a trágából előállított komposztok fizikai és kémiai tulajdonságainak a detektálására is (MALLEY et al, 2005, HUANG et al, 2008), C/N arány meghatározására

szennyvíziszap és zöldhulladék komposztálása során (ALBRECHT et al, 2008) és a baromfitrágya nitrogéntartalmának a meghatározására is (FUJIWARA-MURAKAMI, 2007). A fizikai módszerek közé sorolható még a Fourier-transzformációs spektrometria (FTIR), mellyel széles hullámhossz-tartományban lehetséges adatokat gyűjteni, s így képet kaphatunk a poliszacharidok és az aromás polimerek szintézisének fokáról (KOVÁCS-FÜLEKY, 2016). Az FTIR-spektroszkópiát a komposztálási folyamat leírására, a komposzt érettségének meghatározására (OUATMANE et al, 2000; SMIDT et al, 2005; TSENG et al, 1996), valamint a komposzt huminanyagainak jellemzésére használták (SANCHEZ-MONEDERO et al, 2002; FILIP et al, 2000; OUATMANE et al, 2002). CASTALDI et al. (2005) a szerves anyagok alakulását vizsgálták a komposztálás során a települési szilárd hulladékok változó huminsav-tartalma alapján. Az ismeretlen anyagok azonosítását ismert spektrumkönyvtárral való összehasonlítással oldották meg (OUATMANE et al, 2000). A komposzt mikrobiológiai vizsgálatára is alkalmasak a spektroszkópiai módszerek, ezt bizonyítja NAUMANN et al. (1996) is, akik a komposztban lévő baktériumokat FTIR spektroszkópia segítségével vizsgálták.

A talajok, kőzetek és ásványok esetén nagy mennyiségű spektrális adat áll rendelkezésre, melyeket a spektroszkópiai vizsgálatoknál összehasonlításként alkalmaznak. A kőzetek, ásványok kémiai összetétele állandónak tekinthető, azonban a talajok szervesanyag-tartalma nem stabil, dinamikája összefügg az időben változó tényezőkkel. A szervesanyag-tartalmú minták jellemző spektrális görbét (legyen az friss, szárított vagy komposztált trágya) az időtényező figyelembevétel mellett kell elemezni, értelmezni (PARTON et al, 1994). A talaj szerves anyagai az elpusztult állati és növényi részek, valamint a talajlakó élőlények anyagcseretermékeinek keveréke, melyek különböző érettségi, stabilitási állapotban van. A talaj szerves anyagait, minőségét, mennyiségét a mikroorganizmusok aktivitása nagyban meghatározza, s ugyanez jellemző a komposztáláskor is, ahol a mikroorganizmusok aktivitása befolyásolja a humuszanyagok jellemzőit (BEN-DOR et al., 1997).

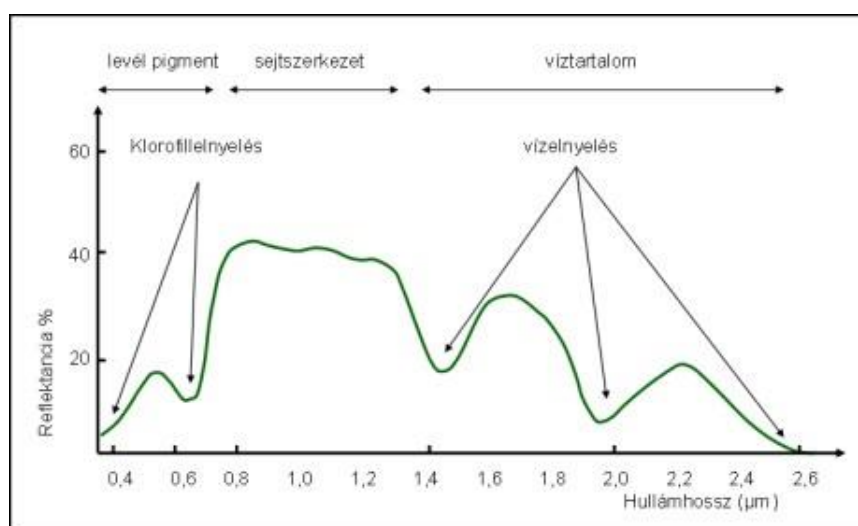
BONIFAZI et al. (2008) rámutattak arra, hogy a hiperspektrális vizsgálatok a talajok szervesanyag-, agyag-, valamint szén- és nitrogén-tartalmának meghatározása mellett alkalmasak a komposztálás esetén bekövetkező anyagösszetételbeli változások detektálására is. A vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a NIR-technika megfelelő módszer lehet az állati eredetű trágyák, és az abból előállított komposztok számos fizikai-kémiai tulajdonságának, például a nedvességtartalom, szervesanyag, makroelemek mennyiségi elemzésére, becslésére is. HUANG et al. (2007) eredeti állapotú és szárított, komposztált baromfitrágya mintákat vizsgált 1000-2500 nm hullámhossz tartományban és meghatározták a minták

nedvességtartalmát, kémhatását, fajlagos vezetőképességét, összes szén-tartalmát, C/N arányát, összes foszfor és összes nitrogén-tartalmát, Ca- és Mg-tartalmát klasszikus és NIR-módszerrel. Eredményeik alapján a vizsgált minták nedvességtartalma, fajlagos vezetőképessége, összes szén-, összes nitrogén- és vas-tartalma pontosan meghatározható a NIR-módszerrel. TAKASHI et al, (1993) szarvasmarhatrágyából készült komposztokat vizsgált, és eredményeik alapján az összes nitrogén-, összes szén- és nyers hamu-tartalom meghatározására alkalmas a NIR-spektroszkópia. NAKATAMI-HARADA et al, (1995) állati eredetű melléktermékekből előállított komposztokat vizsgáltak 1100-2500 nm hullámhossz tartományban, és a komposztok beltartalmi paramétereinek mennyiségi vizsgálata során meggyőző eredményeket kaptak. BONIFAZI-SERRANTI (2008) különböző komposzt minták reflektanciáját vizsgálta 400-1000 nm hullámhossz-tartományban. Eredményeik alapján megállapítható, hogy komposzt mintákra 400-1000 nm hullámhossz tartományban növekvő reflektancia jellemző, 900 nm-en elhelyezkedő helyi maximummal (csúccsal). A különböző szemcseméretű komposzt minták közötti spektrális különbségek 700-1000 nm (NIR) tartományban érzékelhetők leginkább. Emellett a szemcseméret nagyban meghatározza a reflektancia alakulását, ezért van szükség minden mérés esetében az azonos szemcsefrakciójú minták mérésére. BEN-DOR et al, (1997) borászati melléktermékek, valamint növényi hulladékok és hígtrágya (szarvasmarhatrágya) keverékét komposztálták nyílt prizmában, majd a különböző mintavételi napokban vett mintákat szárítás után spektrálisan megvizsgálták 400-2500 nm hullámhossz tartományban. Eredményeik alapján elmondható, hogy szignifikánsan két mintavételi nap különül el egymástól: a komposztálás kezdetén (éretlen komposztból) mért reflektancia, valamint a komposztálás utolsó szakaszában (érett komposztból) vett minta reflektanciája. Hasonló eredményekről számolt be BÖHM (2009) is, aki FTIR spektroszkópiát alkalmazott a komposztálás során végbemenő anyagátalakulási folyamatok vizsgálatára, majd modelleket állított elő a komposztból mért fizikai-kémiai paraméterek becslésére (3. ábra).



3. ábra: Komposzt spektrális jellemzőinek alakulása (Forrás: BÖHM, 2009)

Eredményei alapján elmondható (3. ábra), hogy az anyagkeverék (komposzt) spektrális tulajdonságai a komposztálás előrehaladtával változtak, és a komposztálási kezdetén jellemző spektrális hullámhosszak (hullámhossz csúcsok) a folyamat során (szinte) teljesen eltűntek. Azonban bizonyította azt is, hogy mivel az infravörös spektrumok molekuláris szintű információt szolgáltatnak, kimutathatók a komposzthoz hozzáadott egyéb összetevők, például ásványi vegyületek vagy szennyvíziszap is, melynek jellemző spektrális ujjlenyomatai vannak. A talajok, ásványok, kőzetek és a komposztok mérése mellett a spektroszkópiai módszerek alkalmasak a növényzet reflektanciájának meghatározására is, s ezen mérések eredményeként kapott reflektancia görbéken több jellegzetes helyi minimum és maximum érték is megfigyelhető (4. ábra).



4. ábra: A növényzet reflektanciáját meghatározó tényezők, helyi minimum és maximum értékek (Forrás: WOJTASZEK, 2010)

Az egészséges vegetáció zöld színű, a zöld hullámhossz tartományban sugárzott energiát visszaveri, még ha a növényt valamilyen károsodás éri, akkor a helyi minimum és maximum értékek helyei megváltoznak, illetve akár szemmel láthatóvá is válik a károsodás (a növény levelei sárgulnak) (WOJTASZEK, 2010). A NIR-tartományban látható helyi minimum értékek (vagy elnyelési sávok) 1,4 és 2,7 μm -nél a vízabszorpciót jelzik, melyek a levelekben megtalálhatók. Vegetáció esetében a levelek fotoszintetikus pigmentjeinek fényelnyelése a vörös sávban történik meg, a klorofill a 450-670 nm közötti hullámhossz tartományt nyeli el. Ezzel szemben a talajban lévő nedvesség hatására csökken a reflektancia - ez a hatás a nedvességre érzékeny hullámhossz tartományokban a legnagyobb (1,4, 1,9, 2,2 és 2,7 μm). A víz, a tápanyagok és a szén a 400-2500 nm hullámhossz tartományban mérhetőek.

A fenti módszereken túl számos fiziko-kémiai és spektroszkópiai módszert alkalmaznak ahhoz, hogy meghatározzák a komposzt kémiai és szerkezeti összetételét, a funkciós csoportokat, ilyen módszer például az E4/E6 arány vizsgálat (465 és 665 nm hullámhosszon mért abszorbancia hányadosa), a molekulatömeg-eloszlás, elektroforézis, a GC-MS vizsgálat, illetve mágneses magrezonancia vizsgálat (NMR) (MORAL et al, 2009).

2.5.2. Kémiai komposztérettségi vizsgálatok

A C/N arány a komposztálási technológiától függetlenül csökkenést kell, hogy mutasson a komposztálás előrehaladtával. Az 1:10-15 arányt stabilnak tekinthetjük (NAMKOONG et al, 1999; CHEFETZ et al, 1996), azonban a végső C/N arány a kiindulási anyagoktól és a N-tartalomhoz alkalmazott mérési módszertől függ (HUE-LIU, 1995). A vizes kivonatból mért $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ arányt szintén javasolják a komposztérettség meghatározására (MATHUR et al, 1993), azonban a nitrát-tartalom végső értéke függ a kiindulási anyagoktól is, valamint nincs olyan nitrát/ammónium arányszám, amely megfelelően jelezné a komposzt érettségét (BERNAL et al, 1998a). A nitrát-koncentráció növekedése a komposztálás hosszától is függ, ugyanis nehéz meghatározni hogy melyik az az időpont, amikortól csökkenni kezd a nitrát-koncentráció. A komposztálás termofil fázisában mérhető a lemagasabb $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentráció, mely azonban a komposztálás előre-haladtával csökken. A termofil fázisban a szervesanyag bomlás, $\text{NH}_4\text{-N}$ képződés és az oxigénigény a maximumon van, a pH általában $>7,5$ feletti, a nitrifikáció pedig nem valósul meg, ugyanis a magas hőmérséklet gátolja a nitrifikáló baktériumok tevékenységét (BERTOLDI et al, 1983; TIQUIA, 2002). A nitrifikáció döntő része a komposztálás érési szakaszában megy végbe, s emiatt az $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ arány alacsony az érett komposztban (BERNAL et al, 1998a). Amikor az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentráció csökken és az $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentráció mérhetővé válik, akkor a komposztok késznek tekinthetők (FINSTEIN-MILLER, 1985). A magas $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentráció olyan anyagokat jelez, melyek nem

stabilizáltak. ZUCCONI és BERTOLDI (1987) vizsgálataik eredményeképpen megállapították a 0,04%-os határértéket az $\text{NH}_4\text{-N}$ esetén. BERNAL et al, (1998a) az $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ arány esetén a 0,16-os határértéket állapították meg és ezt javasolják, mint a komposzt érettségi indexe. A vízoldható szerves-C/szerves-N arány több szakirodalomban is alkalmazott komposztérettségi index (GARCIA et al, 1991; HUE-LIU, 1995; BERNAL et al, 1998a; FANG et al, 1999). CHANYASAK et al, (1983), valamint JIMENEZ-GARCIA (1989) vizsgálataik alapján megállapították, hogy ezen arány vizsgálatánál a küszöbérték <5-6 érett komposztokra vonatkoztatva. Ezt az érettségi arányszámot csak abban az esetben használhatjuk, ha minden szerves nitrogénforma mennyisége meghatározásra kerül, azaz nincsen nitrogén-veszteség a vizsgálat során. Több olyan érettségi index is létezik, mely a humifikáción alapul, ezen indexekhez azonban a komposzt lúgban oldható frakcióit kell vizsgálni. Ezen oldható frakciók magukba foglalják az összes huminanyag mennyiségét a szerves anyag %-ban, a fulvosavakat, a huminsavakat, a huminsav/fulvosav arányt és a nem humuszanyagok/humuszanyagok arányát. Ezeknek az indexeknek a többsége egyértelmű tendenciát mutat a komposztálás során, de abszolút értékeik nagymértékben különböznek a különféle alapanyagú komposztok között (CHEN et al, 1996). A szerves anyagok humifikációs fokának meghatározása a komposztálás során azért fontos, mert a komposzt minőségének meghatározásakor ez az egyik agronómiai előírás. A komposzt agronómiai értéke nő, ha a szerves anyagok humuszosodtak (SENESI, 1989). A komposztálás során több indikátort is alkalmaznak a humifikáció szintjének megállapítására (ROLETTO et al, 1985; SENESI, 1989) (1) humifikációs hányados (humification rate, HR), (2) humifikációs index (HI), (3) huminsavak aránya, (4) polimerizációs index.

Az oldott szerves szén vagy vízoldható szén (dissolved organic carbon, DOC) az a paraméter, melynek csökkenése figyelhető meg a komposztálás során. Számos oldott szerves szén-tartalom határérték javasolt az érettség mutatójaként: 10 g/kg⁻¹ (HUE-LIU, 1995), 17 g/kg (BERNAL et al, 1998b). A vízoldható szerves szén-tartalom szoros összefüggést mutat a respirációval (CHICA et al, 2003) és érettségi paraméterként javasolható az adott komposzt alapanyagra történő kalibrációt követően (HELFRICH et al, 1998). A kezdeti DOC-koncentráció a különböző komposztoknál 5,5-35 g/kg között alakult (az alkalmazott komposzt-alapanyagok a következők voltak: települési hulladék szerves része, szeparált szarvasmarha trágya, biohulladékok). Azonban a DOC-koncentráció alakulása mindegyik komposztnál hasonlóan alakult. Szintén mindegyik komposztra igaz, hogy a DOC-koncentráció hirtelen csökkent a komposztálás bevezető szakaszában, s a folyamat végére kiegyenlítődték az értékek. Az érési szakaszban 4 g/kg körüli értékeket mértek mindegyik alapanyagánál, s a komposztálás végére 2

g/kg alatt volt a vízoldható szerves szén-koncentrációja. A komposzt vizes-kivonatok abszorbanciája 465 nm hullámhosszon erősen korrelál a vízoldható szerves szén-koncentrációval, ugyanis az R^2 értéke 0,819-0,994 között alakult.

2.5.3. Biológiai komposztérettségi vizsgálatok

A komposztérettség a komposzt minőségével, stabilitásával szorosan összefügg, ezért ezen fogalmaknak tükröznie kell a felhasználási területet is, valamint a növény választását is, melynek meghatározására csírázási és növény-növekedési tesztekkel használnak. A komposztérettség és a növény-növekedési tesztek eredményei közötti összefüggések még nem tisztázottak teljes mértékben. Ennek oka az, hogy a komposztok só-tartalma más (alapanyagtól függően), valamint, hogy az alkalmazott növényfajták jellemzői eltérőek (NAHUM et al, 2005).

A mikrobiális aktivitás, a mikrobaszám és a mikrobiális biomassza azok a kulcsparaméterek, melyekkel a komposztálási folyamat biológiai-mikrobiológiai szempontból leírható, magyarázható (TIQUIA et al, 2002a, MONORI et al, 2009). Emellett a mikrobiális oxigénfogyasztás, a nitrifikációs potenciál, az adenzin-trifoszfát-tartalom (a továbbiakban: ATP-tartalom) és az enzimaktivitás szintén jól alkalmazható a komposztérettség meghatározására (FORSTER et al, 1993; IANNOTTI et al, 1994; TIQUIA, 2002; TIQUIA et al, 2002b; RYCKEBOER et al, 2003). Ezekben a tanulmányokban a legtöbb esetben a mikroorganizmusok aktivitását monitorozták a komposztálási folyamat során. Azonban azt is fontos megjegyezni, hogy ezen tanulmányok egyike sem foglalkozott a mikrobiális aktivitás és a humifikáció összefüggéseivel. A komposztálás előrehaladtával a huminanyagok százalékos aránya nő az összes szerves anyag teljes tömegéhez viszonyítva (WU-MA, 2002). TIQUIA (2005) olyan mikrobiológiai paramétereket vizsgált, melyek alkalmasak a komposztérettség meghatározására. Ezen paraméterek a következők: összes-baktérium szám, oxigénfogyasztási ráta, ATP-tartalom, dehidrogenáz aktivitás, mikrobiális biomassza (C és N) komposztálás során. Ezek a humifikációs paraméterek (huminsavak, fulvosavak, huminsav/fulvosav arány), valamint a hőmérséklet közötti kapcsolatokat vizsgálják. Eredményei alapján elmondható, hogy a hőmérséklet növekedése és csökkenése befolyásolja a mikrobiológiai tulajdonságokat. A humifikációs paraméterek szintén szignifikáns korrelációt mutatnak a mikrobiológiai tesztek eredményeivel. A huminsavak és az összes aerob baktériumszám, mikrobiális biomassza (C, N) között pozitív korrelációt, míg a huminsavak és az O_2 -fogyasztási ráta, ATP-tartalom, dehidrogenáz aktivitás között negatív korrelációt állapított meg. A fulvosavakat vizsgálva a dehidrogenáz aktivitás és a mikrobiális biomassza (C, N) kivételével egyik tényezővel sem volt semmilyen korreláció kimutatható. A huminsav/fulvosav arány és az

összes aerob baktériumszám, a dehidrogenáz aktivitás és a mikrobiális biomassza (C, N) között rendre pozitív szignifikáns korrelációt mutattak ki. Széleskörben alkalmazzák a komposzt stabilitásának meghatározására a respirációt, amely mérhető az O₂-felvétellel, illetve a CO₂-termeléssel. A respiráció méréséhez jól kontrollált mérési körülmények szükségesek hőmérséklet és nedvességtartalom szempontjából, valamint kerülni kell az anaerob feltételeket (IANNOTTI et al, 1994). WU et al, (2000) vizsgálataik alapján bebizonyították, hogy az alacsony CO₂ képződés nem feltétlen indikátora a nem fitotoxikus komposztoknak.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A laboratóriumi kísérleti vizsgálatokat a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Szervesanyag Kutató Központjában végeztem.

3.1. Kísérleti beállítások

3.1.1. Komposztálási előkísérletek

A komposztálási kísérletek során alkalmazott brojler- és tyúktrágya a Baromfi Coop Kft. Nyírájkői telephelyéről származott. A „Többcélú organikus biofermentum termékcsalád kidolgozása és piaci bevezetése” elnevezésű, GINOP-2.2.1-1-2017-00043 azonosítószerű projekt keretében a Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet a Baromfi-Coop Kft-vel konzorciumi partnerként működött együtt. A projekt egyik célkitűzése a komposzt alapanyagok értékelése, valamint a félintenzív komposztálási fermentáló kádak optimalizálása volt.

A nyírájkői baromfitrágya feldolgozó üzemben a cég a baromfi telepről, a vágó üzemeiből, valamint a továbbfeldolgozó üzemből származó melléktermékeit (brojlertrágyát, tyúktrágyát, víztelenített iszapot és biológiai tisztítás után keletkezett préselt iszapot) komposztálással hasznosítja, majd ezeket másodnyersanyagként alkalmazva tápanyagutánpótlásra alkalmas, magas hozzáadott értékű termékeket állít elő belőlük (5. melléklet). A Nyírájkón található üzemben három darab Japán HOSOYA típusú trágyafermentáló berendezést üzemeltetnek, amely egy folyamatos üzemű félig zárt technológia. A fermentorokban ellenőrzött és szabályozott fermentáció zajlik. A keverőberendezéssel ellátott ovális kádakban az év minden napján 30 tonna nyersanyagot dolgoznak fel (egyszeri 1,5 tonna nyersanyagot - brojler- és tyúktrágya keverékét – tároznak be). A fermentáció 10-14 nap alatt zajlik le, mely során, a nyersanyagot 4 óránként átkeverik és levegőt juttatnak be fűvókákon keresztül a rendszerbe. A beérkező nyersanyag nedvességtartalma 20-40 m/m% a nyersanyag típusától függően. Ahhoz, hogy az komposztálási folyamat intenzív legyen, a nyersanyagot víz hozzáadásával 40-45 m/m%-os nedvességtartalomra kell beállítani. Az alapanyagot egyszer 150 liter vízzel nedvesítik meg, amikor a fermentorokba töltik. Az erjedés végén (10-14 nap elteltével) az fermentált anyag nedvességtartalma 22-28 m/m%-ra csökken. A következő technológiai folyamat a fermentum intenzív szárítása 22-28 m/m% nedvességtartalomról 10-11 m/m% nedvességtartalomra. Ezt a gyors szárítást 125-130°C-os levegővel érik el 30-35 perc alatt. A 125°C feletti hosszan tartó hőhatás elpusztítja az összes patogén baktériumot. A szárított fermentumot porrá őrlik, és ez lesz a további késztermékek alapanyaga. A végső készterméket

granulált formában csomagolják, de a granulálás előtt a komposztált trágyakeveréket komplex szerves tápanyagokkal egészítik ki.

A prizmás komposztálási előkísérletet azért építettük be a vizsgálatok sorába, mert a komposztálás során keveréssel végzett homogenizálás nagyban befolyásolja a komposzt matrix hő, víz és tápanyaggazdálkodását, azaz végősoron a teljes mikrobiológiai folyamat eredményességét. Ipari körülmények között a mennyiségi és méretbeli hatások miatt nehezebb teljesen homogén teret kialakítani, mivel függ az anyag konzisztenciájától, a reaktor-tér kialakításától és a keverési megoldástól. Így indokolt volt megvizsgálni mi történhet az inhomogén „holt terekben”, ahol a keverés kevésbé hatékony. Az előkísérleti vizsgálat célja a fentiek szerint az volt, hogy a nyírjákói trágyafermentáló Hosoya kádakban esetenként előforduló, az optimálistól eltérő, a keverésből származó környezeti feltételek mennyire befolyásolják az üzemi komposztálás esetén a fermentációs folyamatot. Így modelleztük, hogy milyen folyamatok játszódnak le az üzemi komposztáló keverőberendezése által kevésbé homogenizált komposztterekben. A kísérleti prizmák mérete azonos volt, s ugyanazon 40 kg mennyiségű és 1:3 arányú brojler- és tyúktrágya keverékéből állt, amelyhez 0-1-2-5-7 m/m%-ban növekvő mennyiségben 0,4-2,8 kg közötti zeolítot kevertünk be. Az arányokat úgy választottuk meg, hogy azok megegyeznek a Baromfi-Coop Kft. fermentáló kádjaiban alkalmazott arányokkal. A komposztálási kísérlet ideje 62 nap volt, és a prizmákat három naponta kézzel homogenizáltuk.

3.1.2. Komposzt szuszpenziók előállítása

A komposzt szuszpenziók előállítása során az INGHAM (2005) által meghatározott és kulcsfontosságúnak vélt paramétereket vizsgáltam. Ezek a komposzt:víz aránya, az oldási idő, az oldási hőmérséklet, a keverés és annak intenzitása. Ezen tényezők hatással vannak az előállított szuszpenzió paramétereire. A szuszpenziók előállítása során alkalmazott beállításokat a 6. táblázatban részletezem.

6. táblázat: Komposzt oldatok előállítása során alkalmazott kísérleti beállítások

Komposzt:víz arány	1:2,5 1:5 1:10 1:20 1:30 1:40 1:50
Oldási idő	1 h (abszolút kontroll) 24 h 48 h 72 h
Oldási hőmérséklet	20°C 25°C 35°C 50°C

Forrás: Saját szerkesztés, 2020

A komposzt:víz arányokat ISLAM et al, (2016), valamint ZHANG et al, (1998) vizsgálatai alapján választottuk ki a talajoldatoknál használt arányokat alapul véve. Az oldási idő és az oldási hőmérséklet megválasztásánál INGHAM (2005) alapján a 24-48-72 h, még az 1 órás oldási idővel azért dolgoztunk, hogy meg tudjuk határozni az abszolút kontrollt, azaz a kiindulási állapotot az oldatok előállításánál.

A kísérletek beállításához alkalmazott eszközöket (üvegeszközök, edények) AE-75 DRY típusú autoklávban nedves gőzzel sterilizáltam. A sterilizálást követően a komposztált trágyakeveréket belemértem a 0,7 l térfogatú üvegedénybe, majd az ioncserélt vizet hozzáadtam és összekevertem. Ezek után az Unimax 1010 típusú rázógépen 130 rpm sebességgel rázattam a szuszpenziókat, és az oldási hőmérsékletet a leírtaknak megfelelően állítottam be. Az oldási idő letelte után a szuszpenziókból 50 ml-t centrifugacsőbe mértem és ROTOFIX 32 típusú centrifuga alkalmazásával 3000 rpm sebességgel 3 percig centrifugáltam, s a centrifugált oldatokat használtam a szuszpenziók tápanyagtartalmának meghatározásához, még a kémhatás és a fajlagos vezetőképesség méréséhez eredeti állapotú (centrifugálatlan) oldatokat.

3.1.3. Komposzt szuszpenzió termesztéstechnológiai alkalmazhatóságának vizsgálata

Ezen vizsgálatnál az volt a célunk, hogy meghatározzuk két baromfi- és tyúktrágya alapú komposzt oldat optimális termesztéstechnológiai paramétereit talaj-növény rendszerben, különböző kertészeti tesztnövények, dózisok és talajtípusok alkalmazásával.

A komposzt szuszpenziók termesztéstechnológiai alkalmazhatóságának teszteléséhez tesztnövényként a fehér édes paprikát (*Capsicum annuum* L.), illetve a fejes káposztát (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* provar. *capitata* Dutch) választottuk. Azért választottuk ezen tesztnövényeket, mert egyrészt, két olyan növényről van szó, melyek a kertészeti termesztés

szempontjából fontosak, másrészt a komposzt szuszpenzió teszteléskor elsősorban gazdasági haszonnövényekkel szeretünk volna foglalkozni, harmadrészt olyan növényeket szerettem volna a kísérletbe bevinni, melyek feltétel nélkül öntözhetőek, s így a vízstressz okozta hatások gyorsan kimutathatók, valamint rövid tenyészidejű fajtákat, növényeket szerettem volna kiválasztani a kísérlet gyors kiértékelhetősége miatt.

A futóhomok- vagy jellegtelen homoktalajt és a humuszos homoktalajt azért választottuk, mert a Baromfi-Coop Kft. takarmánytermesztő területei az Alföldön találhatóak, és az Alföld (elsősorban az Észak-Alföld, illetve a Nyírség) egyik jellemző talajtípusa a gyenge termőképességű homoktalaj. A választott talajok a World Base Reference of Soil Resources (a továbbiakban WRB) alapján az „Arenosols” (Homoktalajok) kategóriába tartoznak (6. melléklet). Ezen kategóriába tartozó talajokra jellemző az alacsony a víztartó képessége és magas a vízáteresztő képessége, valamint alacsony tápanyagtartalommal rendelkeznek, s mindezen okok miatt gyorsan alakul ki vízstressz, mely a kutatásom egyik vizsgálati tényezője volt (FAO, 2015). Azok a talajok tartoznak ezen főcsoportba, amelyek gyér növényzettel borítottak, és érzékenyek a szélrózsiára (SPAARGAREN, 2004). Az Arenosol talajokra részben kialakult legfelső talajréteg jellemző, amely alacsony humusztartalmú, és nem jellemző felszín alatti agyagfelhalmozódás. Emellett jellemző még, hogy a finomabb textúrájú rétegek összegzett vastagsága kisebb, mint 15 cm, „a durva törmelék aránya az ásványi talajfelszín fölött számított ≤ 100 cm-en belül minden rétegben < 40 tf%” (MAGYAR TALAJTANITÁRSASÁG, 2020).

A hazai osztályozási rendszer szerint a futóhomok és a humuszos homoktalaj a váztalajok főfőtypusba tartoznak, az ország területének 8,3%-án fordulnak elő ilyen talajok. A váztalajokra jellemző a szervesanyag gyors ásványosodása, a szerves kolloid hiánya, a gyenge vízgazdálkodás, a rossz tápanyagszolgáltató képesség, és az aszályérzékenység. Ezen főfőtypusba tartozó talajok képződésében a biológiai talajképződési folyamatokhoz szükséges feltételek csak rövid ideig adóttak, emiatt a hatásuk is korlátozott.

A szabadföldi vízkapacitás (VKsz) 70%-át (mely a szántóföldi technológiáknál magasabb vízkapacitás szintet jelent) egyrészt a választott teszt növények miatt választottam, másrészt pedig azért, mert palántázáskor – különösen gyökérváltáskor – a növények érzékenyek a vízellátottságra, s így a kísérletemben „luxus” vízellátottságra törekedtem. A VKsz 70% a zárt, üvegházi termesztésben biztosítható, ugyanis szántóföldön az öntözési forduló alacsonyabb vízkapacitás szintet eredményeznek egy üvegházi technológiákkal szemben.

A komposzt oldatok szerves kémiai paramétereit, valamint a vizsgálati növények tápanyagigénye alapján kiválasztottam két oldatot, melyek hatását öntözött formában teszteltem (7. táblázat).

7. táblázat. A tesztelt komposzt oldatok kémiai jellemzői

Paraméterek	1:10 KVA, 24h oldási idejű, 20°C oldási hőmérsékletű komposzt szuszpenzió (I. szuszpenzió)	1:10 KVA, 48h oldási idejű, 35°C oldási hőmérsékletű komposzt szuszpenzió (II. szuszpenzió)
pH	7,16	6,59
EC* (mS/cm)	6,27	14,82
NO ₃ ⁻ (mg/l)	815,55	1002,22
NH ₄ ⁺ (mg/l)	317,77	1426,67
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	268,88	651,11
K ⁺ (mg/l)	1444,44	1000,01

*Fajlagos elektromos vezetőképesség (mS/cm)

Forrás: Saját szerkesztés, 2020

A választott komposzt szuszpenziók töménysége, illetve a vizsgálati növények igényei miatt az szuszpenziókat ötszörös hígításban juttattam ki a teszt növényekre. Az I. és a II. szuszpenzióról egyaránt elmondható, hogy a foszfát a minimumban lévő tápanyag, azonban az étkezési paprika esetében a tápanyagigény a fenológiai fázistól függően más és más: a generatív szakaszban fontos a kálium túlsúly a nitrogénnel szemben (N:K aránya 1:1,5), ugyanis ezen makroelemek megfelelő arányával tartható fenn a vegetatív-generatív egyensúly. TERBE (2014) szerint ha a tápanyagok jelentős része vízdoldható formában van jelen a talajban, akkor a növény tápanyagellátásában részt vesz. Ezzel szemben a II. szuszpenzió esetén a kémhatás alacsonyabb, viszont a II. szuszpenzió fajlagos vezetőképessége (mS/cm) közel 2,5-szer akkora, mint az I. szuszpenzióé, viszont a kálium-tartalma jóval kisebb az I. szuszpenzióhoz viszonyítva.

3.2. Felhasznált alapanyagok jellemzése

3.2.1. Baromfitrágya és tyúktrágya jellemzői

Az első kutatási célkitűzésemhez, amelynek során a prizmás komposztálási rendszer fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait és adalékolását értékeltem előzetesen megvizsgáltam a felhasznált alapanyagok beltartalmi paramétereit a 8. táblázatban mutatok be.

8. táblázat: Felhasznált istállótrágyák tulajdonságai

Vizsgált paraméterek	Brojlertrágya	Tyúktrágya
Száranyagtartalom m/m%	65-70	63-67
pH (10%-os vizes szuszpenzió)	6,91	6,59
Vezetőképesség (mS/cm)	11,10	12,78
Összes nitrogén (m/m%)	2,75	2,14
Izzítási veszteség (m/m%)	58,81	66,18

Forrás: Agrárműszerközpont, 2018

A fenti táblázat alapján megállapítom, hogy a mélyalmos tartás eredményeként a brojlertrágya- és tyúktrágya száranyagtartalma (m/m%) magas, ugyanis a 6 hetes rotáció végére a trágya száranyagtartalma a brojlertrágya esetén lecsökken. A trágyák kémhatása enyhén lúgos, semleges, míg a fajlagos vezetőképesség (mS/cm), valamint az összes nitrogén-tartalom (m/m%) közel azonos volt. Az izzítási veszteséggel (m/m%) a vizsgált alapanyagok szervesanyag-tartalma mutatható ki. A szervesanyag-tartalom – az izzítási veszteség (m/m%) alapján a tyúktrágyában magasabb (+7,37 m/m%) volt a brojlertrágyához képest. A tartástechnológiai különbség nagyobb biológiai aktivitást is mutatott a tyúktrágyák esetében, amely tulajdonság előnyösen használható a bioreaktorok kezdeti fermentációjának felgyorsításához, amelyet az eredmények fejezetben tárgyalok.

A brojler- és tyúktrágya fizikai, kémiai jellemzői mellett a mikrobiológiai jellemzőit (aerob baktériumok és spóras baktériumok legvalószínűbb száma – MPN), is megvizsgáltuk, mely vizsgálatok a Szent István Egyetem Kertészettudományi Kar, Agrárkörnyezettani Tanszékén zajlottak. Az MPN (most probable number, legvalószínűbb csíraseszszám) módszert határhígítási módszernek is nevezik, ugyanis a vizsgálandó anyagokból készített alapsuszpenzióból egy decimális hígítási sort készítünk, s egészen addig hígítjuk a szuszpenziót, amíg a vizsgált mikroorganizmus az utolsó hígítási fokon már nem található meg. A leoltások után kulcsszámot kell megadni, mely egy háromjegyű szám, mely azt jelzi, hogy három egymást követő hígítási szinten mely csövek mutatnak pozitív mikrobaszaporodást. A kulcsszám első számjegye az az utolsó hígítási szint, melyen a pozitív csövek száma még maximális (ez általában három). A második számjegy a következő hígítási lépcsőben található pozitív csövek száma, a harmadik számjegy pedig a nagyobb hígítás pozitív csöveinek számát jelöli. Ezt követően a Hoskins-féle táblázatból ki kell keresni a kapott kulcsszámhoz tartozó alapértéket, majd ezt meg kell szorozni a kulcsszám első tagjához tartozó hígítási fokkal. Az értékeket normál alakba hozva adjuk meg a vizsgálat eredményét CFU/cm³-ben vagy CFU/g-ban (DEÁK et al, 2006). A baromfitrágyában CHEN-JIANG (2014) vizsgálatai alapján a mikroorganizmusok száma nagyon magas, elérheti akár a 10¹⁰ CFU/g nagyságrendet is, és a

Gram-pozitív baktériumok (*Actinomyces, Clostridia/Eubacteria, Bacilli/Lactobacilli*) adják a 90%-át. Hasonló eredményeket közöltek Lu és mtsai. (2003) is, ugyanis eredményeik alapján az aerob baktériumok csíraszám a baromfitrágyában 10^9 CFU/g nagyságrendben volt kimutatható. Az általuk vizsgált baromfitrágyában az *Enterococcus* nemzetséghez tartozó aerob baktériumok voltak túlsúlyban. A kitenyészthető aerob baktériumok csíraszám a tyúktrágyában 10^8 g⁻¹ nagyságrendben volt jelen, még a brojlertrágya esetében három nagyságrenddel, azaz ezerszer kevesebb volt az aerob baktériumok száma (10^5 g⁻¹). Ezzel szemben a spórás baktériumok legvalószínűbb csíraszám mind a brojlertrágyában, mind a tyúktrágyában azonos nagyságrendű volt (10^3 g⁻¹). Emellett még a vizsgálatok alapján az is megállapítható, hogy a mikroszkopikus gombák száma nagyon alacsony volt (10^2 g⁻¹).

3.2.2. Komposzt szuszpenziók alapanyagainak jellemzése

A komposztálási kísérletek mellett komposzt szuszpenziókat is előállítottunk. Azt feltételeztük, hogy a komposztban lévő aktív hatóanyagokat koncentrált és könnyebben kijuttatható oldat formájában tudjuk előállítani, melyre a szakirodalmak alapján (AL-DAHMANI et al, 2003; WELTZIEN, 1992; ISLAM et al, 2016) a világban több próbálkozás is született. A komposzt oldatok előállításához fermentált, szárított, de még nem adalékolt (szerves és szervetlen adalékanyagokkal nem kiegészített) ipari Hosoya komposztot, valamint fermentált, szárított, granulált és húsliszttel dúsított terméket alkalmaztam. A felhasznált komposzt és a granulált termék tulajdonságait a 7. mellékletben mutatom be.

3.2.3. Adalékanyagként alkalmazott zeolit jellemzése

A komposztálás során alkalmazandó adalékanyag és bekeverési arányának kiválasztásánál megvizsgáltam a haza is külföldi szakirodalmakat, valamint kutatási eredményeket. CSIBA (2012) baromfitrágyához különböző adalékanyagokat (kalcium-klorid, alumínium-szulfát, zeolit, faforgács, szalma) keverve vizsgálta azok hatását az ammónia- és szagkibocsátásra, s eredményei alapján az 5 tömeg% zeolit alkalmazása bizonyult eredményesnek. Ugyanezt az adalékanyag bekeverési arányt alkalmazta KITHOME et al, (1999) és LI et al, (2006) is.

A korábbiakban a „Zöld ipari innováció – Élelmiszeripari zöld innovációs program megvalósítása” elnevezésű (HU09-0015-A1-2013 azonosítószámú) Norvég Pályázat keretében a Gastor Baromfi Kft. brojler istállóiból származó mélyalmos baromfitrágyával dolgoztunk. A cég a nagy mennyiségben (11.600 t/év) keletkező baromfitrágyát komposztálással kívánta kezelni, azonban ez a hasznosítási mód nagy veszteségekkel járt, különösen a nitrogén-tartalom tekintetében. Diplomamunkámban (GORLICZAY, 2015) kétféle adalékanyagot teszteltünk annak érdekében, hogy a komposztálás során keletkező ammónia csökkenését számszerűsítsük

zeolit és biochar alkalmazásával, a különböző bekeverési arányok függvényében. Eredményeink alapján az ammónia-koncentráció értékek alapján egyértelműen megállapítható, hogy az adalékanyagok bekeverése a tárolt trágyához nagymértékben csökkentette a szaghatást, és minimalizálta az ammónia-kibocsátást. Emellett azt is megállapítottuk, hogy a zeolit növelte a trágya kémhatását, a folyamat közben stabilizáló szerepet is töltött be, valamint a vezetőképességet is csökkentette. A kutatásom során alkalmazott zeolit Mádról származott. A mádi zeolit jellemzően klinoptilolitos zeolit, melyre jellemző a magasabb (1%-nál magasabb) kalcium-oxid koncentráció (MÁTYÁS, 2005). A zeolit szemcseösszetételéről elmondható, hogy a Geoproduct Kft. biztonsági adatlapja szerint szemcsemérete 0-2 mm, és vizsgálataink alapján mi is ezt az eredményt kaptuk, ugyanis a zeolit 90 m/m%-a a 2,0 mm alatti frakcióba sorolható. Az általunk alkalmazott zeolit tulajdonságait az Agrárműszerközpont és Geoproduct 2018-as mérései alapján a 9. táblázatban összegzem.

9. táblázat: Alkalmazott zeolit beltartalmi paraméterei

Vizsgált paraméterek	Zeolit
Száranyag-tartalom	92-94 m/m%
Kémhatás (10%-os vizes szuszpenzió)	8,49
Fajlagos elektromos vezetőképesség	0,65 mS/cm
Összes nitrogén-tartalom	0,08 m/m%
Szervesanyag-tartalom	1,16 m/m%
Sűrűség	1 kg/dm ³
Oldékonyság vízben	nem oldódik

Forrás: Saját szerkesztés Agrárműszerközpont és Geoproduct, 2018

A fenti táblázat alapján megállapítható, hogy a zeolit száranyag-tartalma magas, 90 m/m% fölötti, kémhatása lúgos (pH 8,49), míg fajlagos elektromos vezetőképessége alacsony (0,65 mS/cm). Nem rendelkezik jelentősebb összes nitrogén- és szervesanyag-tartalommal. A zeolit ásványos összetétele a gyártó alapján: klonoptilolit 43%, krisztobalit 10%, kvarc 10%, Kálföldpát 9%, Montmorillonit 7%, Amorf SiO₂ 5%, Illit 3% (I₄). Főbb összetevőiről elmondható hogy szilícium-oxid tetraéderek alkotják, azonban a rácspontokban olykor alumínium atomok is helyettesíthetik a szilíciumot, ezért döntően szilícium (51,8%) és alumínium (4,8%) alkotja, emellett található még benne nátrium (0,1 %), vas (0,7%), kalcium (0,7%) és magnézium (0,3%) is.

3.3. Elvégzett vizsgálatok és alkalmazott eszközök

3.3.1. Komposztálási előkísérletek során elvégzett vizsgálatok

Mintavétel módja, időpontjai

A mintavételi stratégiát a szerves trágyákra vonatkozó szabvány (MSZ-08-0014-78) szerint alakítottuk ki oly módon, hogy a prizma hossz tengelye mentén mintáztam az első, középső és hátsó prizmateret 15, 35 és 55 cm-es hossz-szelvényben, egyaránt 12 cm-es mélységben. Az analitikai vizsgálatok előtt az egy prizmából származó mintát összekevertem és homogenizáltam. A mintavételi időpontokat úgy határoztuk meg, hogy az első három (0., 1. és 2.) napon naponta történt mintavétel, majd a 3. naptól háromnaponta. A komposztálás meghatározó paramétereit az alábbiak szerint mértük. A mintavételek során a forgatást megelőzően ellenőriztük a nedvességtartalmat gravimetriás módszerrel (MSZ-08-0221-1:1979). A 0. napon átlagmintát vettünk, és meghatároztuk a bekevert anyagok nedvességtartalmát, majd beállítottuk a 60 m/m% nedvességtartalmat. Visszaellenőriztük a nedvességtartalmat a komposztálás 1. és 2. napján, s inentől kezdve háromnaponta ellenőriztük a nedvességtartalom alakulását, s minden alkalommal 60 m/m% nedvességszintig nedvesítettük a prizmákat.

Hőmérséklet mérése

A prizma hossz-szelvényében a mintavételi stratégia kialakításánál alkalmazott három pontban mértük a hőmérsékletet: az első 15 cm-es, a középső 35 cm-es, és az utolsó 55 cm-es hossz-szelvényben, egyaránt 12 cm-es mélységben. A 12 cm-es mélységet a mérőműszer (PT100) hőmérő szondájának hossza határozta meg. Az adatok feldolgozása során a három mérés átlagát és szórását dolgoztam fel és értékeltem.

Kémhatás, fajlagos vezetőképesség mérése

Méréseimet a HANNA HI 2550 laboratóriumi műszerrel végeztem, amely a pH-érték, a redoxpotenciál (ORP), a fajlagos elektromos vezetőképesség (EC), a só tartalom (NaCl), az összes oldott anyag tartalom (TDS), a hőmérséklet és a relatív mV-érték mérésére szolgál. A kémhatás esetében potenciometria, még a fajlagos elektromos vezetőképesség esetén konduktometria volt a vizsgálat típusa. A kémhatás és a fajlagos vezetőképesség (mS/cm) mérését JANCZAK et al, (2017), valamint IRSHAD et al, (2013) vizsgálatai alapján 10%-os ioncserélt vizes szuszpenzióból mértem 24 óra Edmund Bühler KS-15 típusú rázatóalapon történő rázatást követően.

Spektrométeres vizsgálatok

A komposztálási folyamat során a nagy molekulájú vegyületek di- és monoszacharidokra, peptidekre, aminosavakra, zsírsavakra bomlanak hidrolízis és oxidáció révén, s ezen folyamatok monitorozására alkalmasak a spektroszkópiai módszerek. A spektrális, gyorsanalitikai vizsgálatok esetén a célunk az volt, hogy (1) a különböző komposztkeverékek spektrális adataiból a komposztálódási folyamatra, valamint a különböző adalékanyag arányok spektrális tulajdonságokra gyakorolt hatásai non-destruktív módon is kimutathatóvá váljanak, (2) a reflektancia görbe komposztérettségre érzékeny hullámhossz-tartományait (inflexiós pontokat) megkeressük, (3) az inflexiós pontok és a komposztban hagyományos módszerekkel mért kémiai, fizikai paraméterek közötti korrelációt meghatározzuk.

A spektrális vizsgálatokhoz a komposztálási előkísérletek során háromnaponta megvett, tömegállandóságig szárított (MSZ-08-0221-1:1979) mintákat használtunk. A komposzt mintákat Albrecht et al, (2008) ajánlásai alapján azért szárítottuk tömegállandóságig, mert a minták nedvességtartalma a reflektancia görbékben elfedheti a valós fiziko-kémiai jellemzőket, funkciós csoportokat.

A spektroszkópiai mérésekhez kétféle spektrométert használtunk. Az AvaSpec 2048 spektrométert alkalmaztunk 400-1000 nm hullámhossz tartományban, a látható (VIS; 400-700 nm) és közeli infravörös (NIR - Near Infra Red, 700-1000 nm) hullámhossz tartományban, mellyel a komposzt mintákat 0,566 nm felbontással, 1 nm-es pontossággal tudtuk megvizsgálni. Az 1000-2500 nm hullámhossz tartományban végzett vizsgálatokhoz AvaSpec-NIR256-2.5-HSC spektrométert használtunk. A spektrométerek három részből állnak: spektrométerből (detektor), 8 μm átmérőjű száloptikából és egy halogén fényforrásból. A pontos mérés érdekében, valamint hogy kiküszöböljük a fénycsövek okozta elektromágneses sugárzás zavaró hatását, egy zárt laboratóriumi szekrényben végeztük a vizsgálatokat (RICZU, 2015; BÖFKI et al, 2016; NAGY et al, 2012). Az AvaSpec-NIR256-2.5-HSC spektrométer 6,0 nm pontosságú. Mindkét spektrométer esetén fontos, hogy a WS-2 típusú referencia panelt (mely fehér diffúz teflonból készült és 350-1800 nm hullámhossz tartományban a fény 98%-át visszaveri) azonos távolságban kell elhelyezni a száloptika fej részétől, mert ha a minta és a szenzor közötti távolság nem egyezik meg a referencia panel és a szenzor közötti távolsággal, akkor a mért reflektancia értékek torzulhatnak. A méréseket megelőzően a kalibráció során először a fehér referencia panel által visszavert maximális intenzitás értékét, majd a fényforrást kitarva a sötét állapotban mérhető minimális intenzitás értéket kell lemérni. Mindkét spektrométer esetén minden komposzt mintáról 5 darab, egyenként 30 mérés átlagából számított reflektancia

spektrumot rögzítettünk, mely a heterogenitásból származó mérési bizonytalanságok kiszűrése miatt volt lényeges.

3.3.2. Előállított komposzt szuszpenziók szerves kémiai paramétereinek vizsgálata

Kémhatás, fajlagos vezetőképesség mérése

A komposzt oldatok kémhatásának és fajlagos vezetőképességének (mS/cm) meghatározásához a 3.3.1. Komposztálási előkísérletek során elvégzett vizsgálatok, kémhatás, fajlagos elektromos vezetőképesség mérése fejezetben bemutatott műszer használtam.

Tápanyagtartalom mérése

A komposzt oldatok tápanyagtartalmának meghatározásához különböző hígítási fokú komposzt szuszpenziókat, valamint Macherey-Nagel PF-12 Plus típusú fotométert használtunk, mely egy mikroprocesszor vezérlésű filter-fotométer, amely 340-860 nm hullámhossz tartományon belül tesz lehetővé fotometriás méréseket. A fotométer hullámhossz pontossága ± 2 nm, sávszélessége 10-12 nm. A fotométer méréstartománya ± 3 E, fotometriai pontossága $\pm 1\%$, stabilitása $< 0,002$ E/h. A fotometriás mérésekhez VISOCOLOR ECO reagenseket (nitrát, foszfát, ammónium, kálium) használtunk. A mérések során különböző hígítási fokú szuszpenziókkal dolgoztam a tesztek mérési tartományának megfelelően. A kontroll (vak vagy reagensek nélküli minta) minta minden esetben az adott hígítási fokú, de reagensek nélküli minta volt.

3.3.3. Komposzt szuszpenziók tesztelése során elvégzett vizsgálatok

A tenyészedényes kísérletek felszámolása 4 illetve 8 hét után történt, s az alábbi paramétereket vizsgáltuk/határoztuk meg:

- növények magassága** (SLEZÁK, 2001 alapján): mindkét tesztnövény esetében a talaj felszínétől a legerősebb hajtás csúcsáig mértük meg a növények magasságát vonalzóval;
- virágszám, termés szám, levélszám;**
- nedves és száraz hajtás tömeg;**
- terméstömeg, termés szám, termés hossz** (SLEZÁK, 2001 alapján);
- növényi stressz mérése (Fv/Fm, Fv/Fo értékének meghatározása):** A növényi stressz méréséhez az Opti-Sciences cég által kifejlesztett OS30p+ típusú klorofill fluorimétert alkalmaztuk. Ezen hordozható készülékkel meg tudtuk határozni – kalibráció után – a növények leveleire csíptetve az Fv/Fm értékét, mely korrelál a szén-asszimilációval mind a C3-as, mind a C4-es növények esetén, valamint az Fv/Fo értékét, melynek korrelációja nem bizonyított a karbon asszimilációval, azonban mint stressz detektálására alkalmas paraméter, érzékenyebb,

mint az Fv/Fm paraméter. Az Fv/Fm arány számításához a következő összefüggést alkalmaztuk:

2. egyenlet

$$Fv/Fm = (Fm-Fo)/Fm$$

ahol:

Fv = változó fluoreszcencia szintje

Fm= maximális fluoreszcencia (telítési fényimpulzus hatására mért fluoreszcencia)

Fo = alap fluoreszcencia szintje

Az Fv/Fm egy normalizált arány, melyet KITAJIMA-BUTLER (1975) fejlesztett ki, s a növényi stressz mérésének egyik leggyakrabban használt módszere. MAXWELL-JOHNSON (2000) alapján az Fv/Fm értéke egészséges vegetáció esetén 0,79 és 0,89 között van, ennél alacsonyabb érték esetén a növényt stressz éri.

-klorofill- és karotinoid-tartalom meghatározása: a friss növényi mintákat (levélmintákat) 80%-os aceton és kvarchomok segítségével mozsárban homogén állapotúra roncsoltuk, majd 10 ml-es centrifugacsövekben HETTICH ROTOFIC 32A típusú centrifugában 3 percig 3000 fordulat/perc ülepítettem. A centrifugacsövek felső részében lévő tiszta oldatból 2,5 ml-t kvarcküvetába pipettáztam, majd SECOMAN Anthelie Light II. UV-VIS spektrofotométerrel mértem meg a növényi kivonatok abszorbanciáját 470, 644 és 663 nm hullámhosszon. Ezért ezt a három hullámhosszt választottam a spektrofotométeres mérésekhez, mert a 80%-os aceton oldatban 663 nm-en a klorofill a-nak, 645 nm-en a klorofill b-nek, még a karotinoidoknak 440-470 nm hullámhossz tartományban van fényelnyelési maximumuk (ALLAGA és PALÁNKI, 1997). A mérések előtt minden esetben zéró kalibrációt végeztem, melyhez 80%-os acetont használtam. A kapott abszorbancia értékekből DROPPA et al, (2003) képlete alapján számítottam ki az összes klorofill-tartalom értékét:

3. egyenlet

$$KL_{A, B} = (20,2 * A_{644} + 8,02 * A_{663}) * V/w$$

ahol a fenti egyenletben szereplő tényezők a következők:

KL_{A, B}= klorofill A és B µg/g-ban egy gramm friss tömegre vonatkoztatva

A₆₄₄, A₆₆₃= 644 nm-en és a 663 nm-en mért abszorbancia értéke

V= folyékony szövetkivonat térfogata (ml)

w= friss növényi szövetminta tömege (g)

A karotinoid-tartalom számításához LICHTENTHALER et al, (1983) által meghatározott összefüggést alkalmaztam:

4. egyenlet

$$KA = (1000 \cdot A_{470} - 3,27 \cdot (12,21 \cdot A_{663} - 2,81 \cdot A_{644}) - 104 \cdot (20,13 \cdot A_{644} - 5,03 \cdot A_{663})) \cdot V/w$$

ahol a fenti egyenletben szereplő tényezők a következők:

KA= karotinoid-tartalom $\mu\text{g/g}$ -ban egy gramm friss tömegre vonatkoztatva

$A_{470,663,644}$ = 470, 663 és 644 nm-en mért abszorbancia értéke

V = folyékony szövetkivonat térfogata (ml)

w = friss növényi szövetminta tömege (g)

A tenyészedényes kísérletből származó talajminták kémhatásának és fajlagos vezetőképességének ($\mu\text{S/cm}$) méréséhez a 3.3.1 fejezetben már bemutatott HI 2550 típusú kombinált laboratóriumi műszert használtam.

3.4. Eredmények statisztikai elemzése

A vizsgálatok során kapott eredmények kiértékeléséhez többféle statisztikai módszert használtam. Az adatokat minden mért paraméter esetében Microsoft Office Excel szoftverbe vittem be és adatbázist alakítottam ki. A statisztikai elemzéseket R szoftver alkalmazásával R Studio felhasználói környezetben végeztem el (R CORE TEAM, 2017).

Egytényezős varianciaanalízis

A különböző kezelések közti statisztikai különbségek igazolására egytényezős varianciaanalízist végeztem ($p < 0,05$). A varianciaanalízis elvégzése előtt Shapiro-Wilk normalitás tesztet alkalmaztam annak megítélésére, hogy a vizsgált változó normál eloszlású-e vagy sem. Ezen teszt eredménye alapján választottam meg az egytényezős varianciaanalízishez használt post-hoc teszt típusát, ugyanis ha az adatsorom nem normál eloszlású, akkor az alkalmazott teszt az LSD-vel (least significance difference, a továbbiakban: LSD) bővített (nemparaméteres) Kruskal-Wallis próba (MENDIBURU, 2020) még ha normál eloszlású, akkor pedig LSD-vel bővített Duncan-próba. Az LSD értékét a továbbiakban SZD5%-ként (szignifikáns differencia, a továbbiakban: SZD5%) tüntettem fel. Azonban abban az esetben, ha az adatok értékelésénél a fenti tesztek közül egyik sem volt alkalmazható (mert a kísérleti adatok szingularitása miatt ezen számítás a végtelenbe futott), akkor a Student-Newmann-Keuls (a továbbiakban: SNK próba) tesztet alkalmaztam.

Ismételt mérési modell

A nyitott komposztálás mérési eredményeinek értékelésére ismételt mérési modellt (anova with repeated measures factors) alkalmaztam. Az ismételt mérési modell egy párosított t-próba, mely kiterjeszhető kettőnél több időpontra, csoportra. Abban az esetben alkalmazható, ha a függő változó skála típusú adat. Arra a kérdésre kerestem a választ, hogy a különböző paraméterek tulajdonságában beálló időbeli változások várható értékei tekinthetőek-e azonosnak.

5. egyenlet

```
modell=aov(homerseklet ~ kezeles * het + Error(prizma_azonosito/het), data=nyiltkomposzt)
```

ahol a fenti egyenletben szereplő tényezők a következők:

aov (anova) = varianciaanalízis

homerseklet (hőmérséklet) = vizsgált változó

kezeles (kezelés) = fix hatás

het (hét) = véletlen hatás

prizma_azonosito/het (prizma azonosító/hét kölcsönhatás) = véletlen ingadozása

data = adatbázis megnevezése.

A modellel az időben bekövetkező különbséget teszteltem a komposztálási előkísérlet során (HUZSVAI-BALOGH, 2015).

Korrelációs vizsgálatok

A korrelációs vizsgálatokkal két mennyiségi változó közötti lineáris kapcsolat erősségét és irányát határozhatjuk meg. A korrelációs együttható (r) meghatározásához amennyiben a vizsgált adatok normál eloszlásúak Pearson-féle korreláció vizsgálatot, ha nem normál eloszlásúak, Spearman-féle korreláció vizsgálatot végeztem (PEARSON, 1936), mely során a vizsgált tényezőkből az R-ben egy részhalmazt alakítottam ki, s csak a numerikus adatokra futtattam le a korrelációs mátrix parancssorát.

Korrelációs mátrixot készítettem

- az inflexiós pontok és a mért kémiai paraméterek közötti
- a mért paraméterek és a spektrális vizsgálatok alapján alkotott indexek közötti
- a komposzt oldatok laboratóriumi vizsgálata során vizsgált paraméterek közötti kapcsolatok feltárására, számszerűsítésére.

Bináris kódolás, inflexiós pontok meghatározása

BÖKFI et al., (2016) vizsgálataik alapján rámutattak arra, hogy a reflektancia görbék inflexiós pontjainak kiszámítása nagy jelentőséggel bír a keveredettségek vizsgálatok esetén. A vizsgálataim során arra a kérdésre kerestem a választ, hogy a tyúk- és brojlertrágya keverékekben detektálható-e a hozzáadott zeolit mennyisége - nem csak a bekeveréskor illetve a komposztálás kezdeti szakaszában, hanem a komposztálás és a komposzt érés folyamata során. A spektrális görbe változása együtt jár azzal, hogy az inflexiós pontok helye is módosul. Az inflexiós pontok meghatározásához a spektrális görbe első és második deriváltját is alkalmazzák, azonban alkalmazható a bináris kódolás is.

Bináris kódolással a különböző keverékek esetén mért reflektancia görbék inflexiós pontjai meghatározhatók oly módon, hogy az általam alkalmazott szoftver a reflektancia görbét konvex és konkáv értelmezésű görbévé alakítja át. A bináris kódolás tulajdonképpen egy hiperspektrális elemzési módszer (MAZER et al, 1988). Az inflexiós pontokat ENVI (The Environment for Visualizing Images) Classic szoftverkörnyezetben állapítottam meg. A reflektancia görbe komposztérettségre érzékeny hullámhossz-tartományainak meghatározásához a bináris kódolás során kapott adatbázisból leválogattam azokat a hullámhosszokat, ahol a görbe előjelet vált. Arra számítottam (BUITEN, 1993 feltételezése alapján), hogy az inflexiós pontok tolnak majd a vörös hullámhossz tartományban (690-730 nm) a közeli infravörös tartomány felé (700-1000 nm). A reflektancia görbén detektálható vörös és közeli infravörös tartományban található inflexiós pont helyzetéből következtetni lehet például a növények egészségi állapotára, a klorofilltartalomra, valamint a komposzt érettségére is.

Főkomponens analízis (principal component analysis, PCA)

A spektrális adatokból oly módon készítettem adatbázist, hogy a spektrális mérések öt ismétlését vettem, valamint az adatbázishoz hozzáadtam a hőmérséklet, neveléstartalom, kémhatás és fajlagos vezetőképesség adatokat. Az így kapott adatbázisból végeztem derékszögű forgatással, varimax módszerrel (rotációval) főkomponens analízist, melyhez SPSS 24 szoftvert alkalmaztam, mellyel csoportosítottam a vizsgált változókat és meghatároztam a közöttük lévő korrelációt.

Ahhoz, hogy a komposztérettségre, valamint a komposztkeverékek anyagi minőségének meghatározására érzékeny hullámhossz tartományokat meg tudjam határozni és indexeket tudjak képezni, szükségem volt a főkomponens analízis eredményeként kapott főkomponens súlyokra és arra, hogy a vizsgált fizikai-kémiai paraméterek mely főkomponens csoportba

tartoznak. HUZSVAI-VINCZE (2012) alapján a főkomponens súlyok azért fontosak, mert kifejezik a főkomponensek súlyát (jelentőségét) a megfigyelt változók varianciájában.

A főkomponens súlyokat az alábbi összefüggés alapján határoztam meg:

6. egyenlet

$$a_{ij} = u_{ij} \sqrt{\lambda_j}$$

ahol

u_{ij} = sajátvektorok elemei

$\sqrt{\lambda_j}$ = sajátérték négyzetgyöke (szórás).

A főkomponens súlyok számszerű értéke -1 és +1 közötti érték lehet.

RMSE és NRMSE értékek számítása

A reflektancia adatokból képzett indexek és kompozit paraméterek között végzett lineáris regresszió alapján predikciós modelleket alakítottam ki a kompozit gyors, non destruktív monitorozására. Ahhoz, hogy a modellek vagy indexek megbízhatóságát tesztelni tudjam kiszámoltam az átlagos négyzetes hiba négyzetgyökét vagy empirikus szórást (root-mean-square error, a továbbiakban: RMSE), melyhez az alábbi összefüggést alkalmaztam .

7. egyenlet

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

Abban az esetben, ha a becsült érték és a mért érték közel van egymáshoz, az RMSE értéke kicsi lesz, fordított esetben viszont nagy RMSE értékekkel számolhatunk. A nulla az adatok tökéletes illeszkedését jelentené.

Emellett kiszámoltam a normalizált átlagos négyzetes hiba négyzetgyökének (normalized root-mean-square error, a továbbiakban: NRMSE) értékét is. A normalizálásra azért volt szükség, hogy a különböző adatok, változók összehasonlíthatóvá váljanak.

8. egyenlet

$$NRMSE = \frac{RMSE}{(\bar{y})} * 100$$

ahol a fenti egyenletben szereplő tényezők a következők:

y_i = becsült értékek

\hat{y}_i = mért értékek

\bar{y} = átlag

n = mintaszám

Az RMSE és NRMSE olyan validálási lehetőségeket jelent, melyekkel meghatározható a becsült értékek mért értékektől való eltérése, s a módszer további erőssége, hogy az adatokat párban (becsült-mért adatpáronként) elemzi. Az RMSE és az NRMSE értékeket a spektrális vizsgálatok során képzett indexeknél alkalmaztam a predikciós modell alkalmazhatóságának validálására. Ezen eredmények alapján következtettem arra, hogy a modell mennyiben alkalmazható a komposztban mért fizikai-kémiai paraméterek spektrális úton történő detektálására.

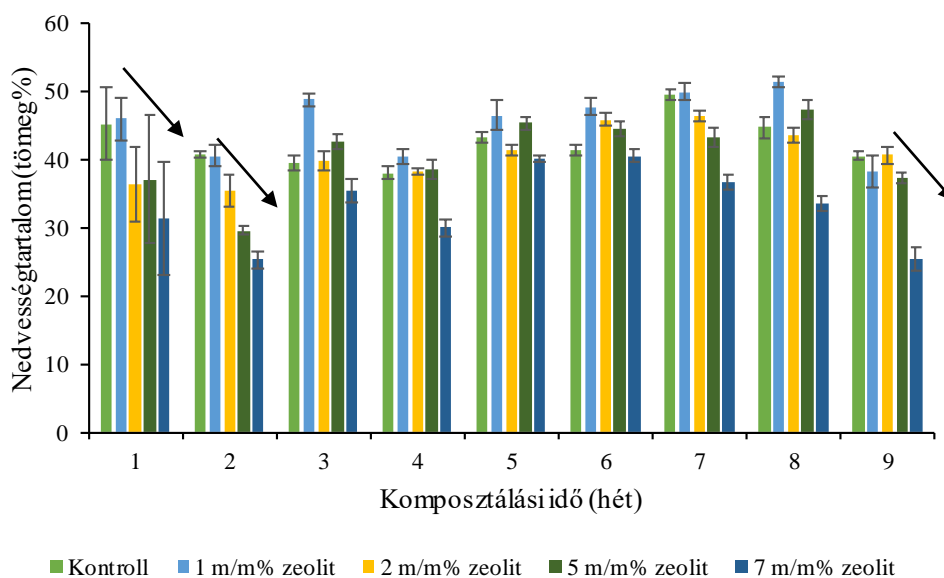
4. EREDMÉNYEK

4.1. Komposztálási előkísérlet eredményei

A nyílt komposztálási kísérlettel az volt a célom, hogy meghatározzam azt, hogy milyen paraméterek segítségével modellezhető a baromfitrágya komposztálása során zajló folyamatok, illetve hogy melyek azok a paraméterek, amelyek a komposztálás alapparaméterei lehetnek, s elegendők az aerob degradációs folyamat leírásához.

4.1.1. Nedvességtartalom alakulása

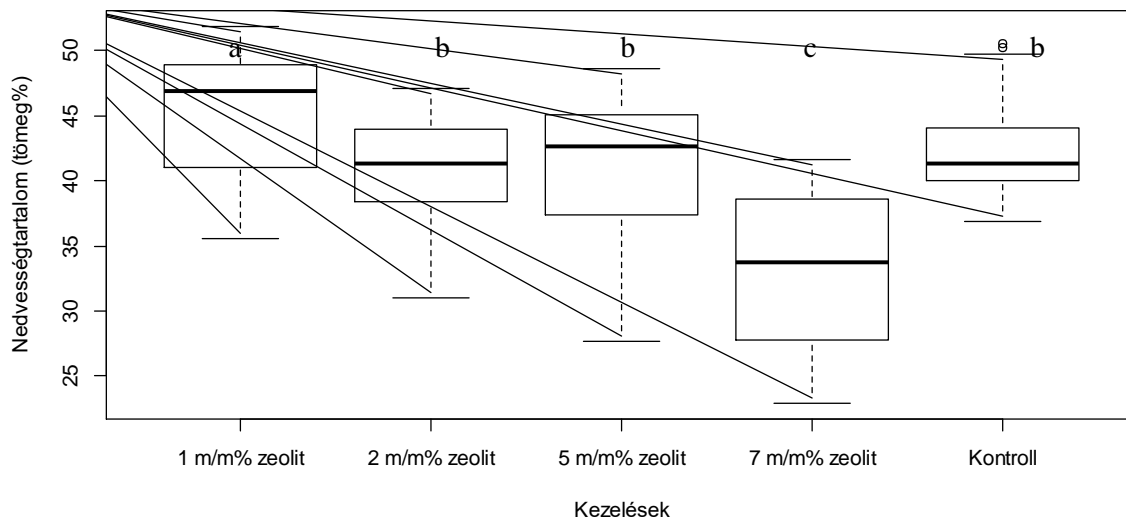
A nyílt kísérlet esetén a nedvességtartalom a komposztálás 62 napjában egyenletesen alakult (5. ábra).



5. ábra: Nedvességtartalom alakulása a nyílt kísérlet esetén

Eredményeim alapján a szakirodalmakban meghatározott 60 m/m% körüli (KOCSIS, 2005) optimális nedvességtartalomtól eltérően, az általam alkalmazott brojlertrágya és tyúktrágya keverék esetén elegendő az 50 tömeg% nedvességtartalom a komposztálási folyathoz. Minél nagyobb arányban került a zeolit bekeverésre, a nedvességtartalom annál alacsonyabb volt a prizmákban. Az 5. ábrán látható, hogy a 7 m/m% zeolittal bekevert prizma nedvességtartalmának alakulása ugyanazt a trendet követi, mint a többi zeolitos bekeverés, azonban ezen kezelés nedvességtartalma minden mérés esetén kisebb volt a többi prizmához képest. Ez azzal magyarázható, hogy a zeolit (különösen az a zeolit, amelyik dehidratált) nagy mennyiségű vizet képes megkötni, ugyanis a kis szemcséknek nagy a fajlagos felülete, s emiatt volt megfigyelhető az is, hogy hiába nedvesítettük minden alkalommal 60 m/m% nedvességtartalomig a 7 m/m% zeolittal bekevert prizmát, mindig szárazabb volt a másik négy

prizmánál. Annak bizonyítására, hogy a nagyobb mennyiségű zeolit bekeverésének hatására a nedvességtartalom csökken, egytényezős varianciaanalízist végeztem a 9 hét átlagos nedvességtartalmai közötti szignifikáns különbségek bizonyítására (6. ábra).



6. ábra: Kezelésenkénti nedvességtartalom alakulása

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A kontroll esetén két kiugró érték is volt, a medián, illetve a minimum-maximum érték elhelyezkedése a zeolit növekvő arányú bekeverésével változik, amelyet az egytényezős varianciaanalízis és az analitikai mérések is alátámasztanak.

Az egytényezős varianciaanalízis eredménye alapján elmondható, hogy a kontroll, az 2 m/m% zeolit és az 5 m/m% zeolit azonos statisztikai csoportba sorolható, ezt erősíti meg a keveréskor illetve a mintavételkor tapasztaltak is, mely során ez a három kezelés nedvesebb volt, a prizma külső rétege (kéreg) összetapadt. A 7 m/m% zeolit és az 1 m/m% zeolit statisztikailag önálló, de külön csoportokat alkot. A nedvességtartalom kilenc hét alatti átlag értékei a 10. táblázatban láthatók.

10. táblázat: Kezelések átlagos nedvességtartalma az egytényezős varianciaanalízis alapján

Kezelés elnevezése	9 hét átlagos nedvességtartalma (m/m%)
Kontroll	42,537 ^b
1 m/m% zeolit	45,466 ^a
2 m/m% zeolit	40,837 ^b
5 m/m% zeolit	40,585 ^b
7 m/m% zeolit	33,127 ^c

$p < 0,05$; Forrás: Saját, 2019

Mind a gravimetriás mérések, mind a statisztikai tesztek alapján a kezelések között ($p < 0,05$) szignifikáns különbségek vannak, amelyet az SZD_{5%} értéke is alátámaszt. A nedvességtartalom alakulásának statisztikai értékelésére ismételt mérési modellt alkalmaztam, melynek eredményét a 11. táblázatban összegeztem.

11. táblázat: Nedvességtartalom esetén alkalmazott ismételt mérési modell eredménye

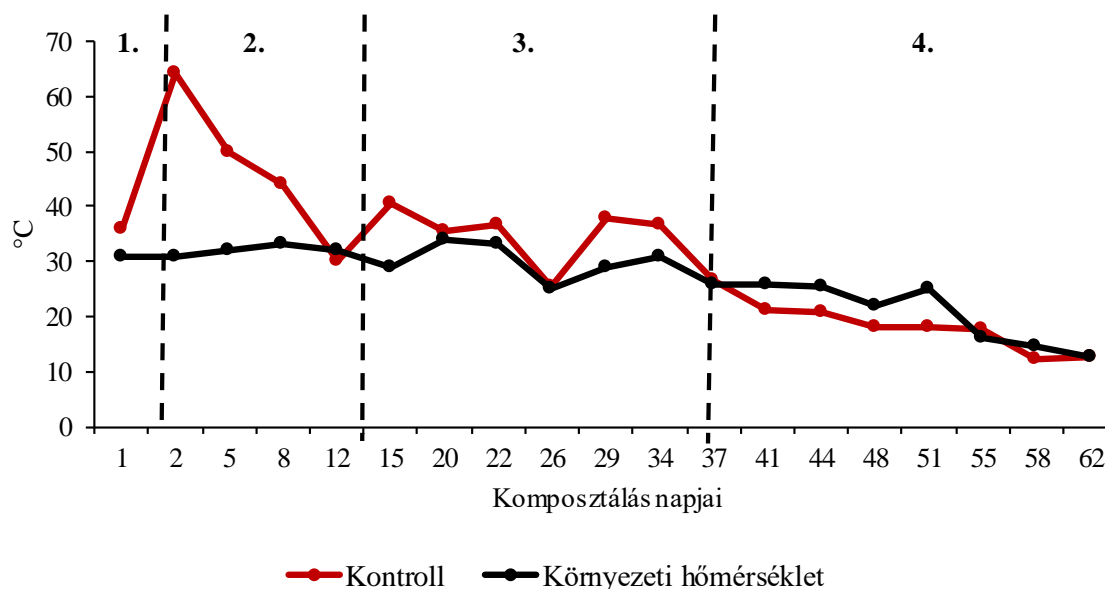
Vizsgált tényező	Szabadságfok	F-érték	p-érték
kezelés	4	65,71	3,85e ^{-07*}
hét	8	38,196	<2e ^{-16*}
kezelés:hét	32	4,229	8,95e ^{-08*}

*p<0,05; Forrás: Saját, 2019

Az alkalmazott statisztikai modell eredménye alapján elmondható, hogy a kezelés tényező szignifikánsan befolyásolja a prizmák nedvességtartalmának alakulását. Ez azt jelenti, hogy a kontroll és a zeolittal kezelt prizmák nedvességtartalmának alakulásában különbségek vannak, melyeket a gravimetriás mérésekkel is bizonyítottam. Összességében elmondható az ismételt mérési modell eredményei alapján, hogy a zeolit befolyásolja a prizmák nedvességtartalmának alakulását a komposztálás különböző szakaszaiban.

4.1.2. Hőmérséklet alakulása

A komposzt hőmérséklete nem csak a lebontás miatt fontos, hanem a patogén mikroorganizmusok és paraziták szempontjából is. A nyílt kísérlet esetén minden prizma hosszszelvényére vonatkozóan három ponton történt a hőmérséklet mérése. Ezeket a pontokat úgy neveztük, hogy a prizma eleje, közepe és vége. A diagramokon a prizma középső részén mért maghőmérséklet értékeket tüntettem fel minden esetben. A kontroll prizma esetén mért maghőmérséklet alakulását a 7. ábrán szemléltetem.



7. ábra: Maghőmérséklet alakulása a kontroll prizmában a környezeti hőmérséklethez képest (Forrás: Saját, 2018)

A kontroll prizma esetén jól látható, hogy a belső (mag-) hőmérséklet alakulása követte a külső hőmérséklet alakulását, azonban azt is elmondhatjuk, hogy a prizma (meghőmérséklet alapján) függetlenné vált a környezeti hőmérséklettől. Az ábrán szaggatott vonallal elválasztott és

számozott szakaszok a komposztálás szakaszait jelölik. A kontroll prizma esetében az első napon (24-36 órában) zajlott a bevezető szakasz. A 2-15. nap között a termofil fázis látható, ekkor a prizma hőmérséklete meghaladta a környezeti hőmérsékletet. A 16-37. napig a mezofil fázis figyelhető meg, mely során a hőmérséklet fokozatosan csökken, a hőmérséklet a prizmában 37,8-25,6°C között alakult. A 38. naptól az érés fázisa figyelhető meg, mely során a prizma átvette a környezet hőmérsékletét, és fokozatosan abbamaradt a hőtermelés.

Az egyes prizmák hőmérsékletét oly módon osztottam fel (komposztálási) szakaszokra, hogy egytényezős varianciaanalízist végeztem (12. táblázat), mely során az volt a feltételezésem, hogy a statisztikai csoportok alapján meghatározható, hogy az egyes napokon mért átlaghőmérsékletek melyik komposztálási szakaszba osztható.

12. táblázat: Hőmérséklet alakulása komposztálási szakaszonként

Kezelések	Bevezető szakasz	Termofil szakasz	Mezofil szakasz	Érés szakasz	SZD _{5%}
Kontroll	2. nap ^a	1. nap; 5-15. nap ^b	20-37. nap ^c	41-62. nap ^d	7,58°C
1 m/m% zeolit	2. nap ^a	1. nap; 5-22. nap ^b	26-37. nap ^c	41-62. nap ^d	4,33°C
2 m/m% zeolit	2. nap ^a	1. nap; 5-22. nap ^b	26-37. nap ^c	41-62. nap ^d	6,43°C
5 m/m% zeolit	2. nap ^a	1. nap; 5-26. nap ^b	29-44. nap ^c	48-62. nap ^d	5,94°C
7 m/m% zeolit	2. nap ^a	1. nap; 5-29. nap ^b	34-44. nap ^c	48-62. nap ^d	5,99°C

Forrás: Saját, 2020; p<0,05

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség (p<0,05)

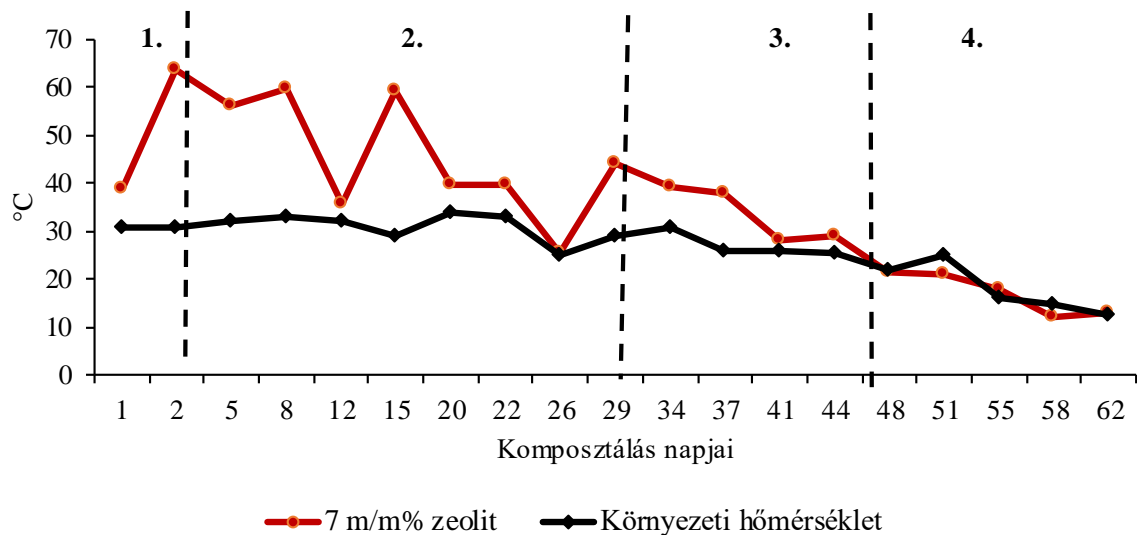
Az egytényezős varianciaanalízis eredménye alapján elmondható, hogy a 2. nap statisztikailag külön betűindexet kapott minden prizma esetén, melynek oka az, hogy ezen a napon mértem a legmagasabb hőmérsékletet a prizma mindhárom szelvényében. Az 1. nap a termofil fázishoz tartozik, és a termofil fázisba tartozó többi mérési nappal együtt azonos betűindexet kapott. Jól látható a 12. táblázatban is az a tendencia, hogy a termofil fázis hossza nőtt a zeolit növekvő mennyiségben történő bekeverésével. A szignifikáns differencia értékek 4,33 és 7,58°C között alakultak.

A nulladik napi bekeverést egy mintavétel követte, mely alapján meghatároztuk a 60 m/m%-ig történő nedvesítéshez szükséges víz mennyiségét. A nedvesítést követően indult meg a hőtermelés, ahogy az az 1. napon mért hőmérséklet alapján is megfigyelhető. Ezek alapján az 1. napon a komposztálás bevezető szakasza figyelhető meg, amely gyors hőmérsékletnövekedéssel jár együtt. A szórás alapján azonban elmondható, hogy a prizma

három szelvényében a hőmérséklet értékek heterogének voltak, ez okozza az átlaghőmérsékletben a szórás magas értékét. A 12. napig egy nagyon intenzív hőtermelő fázis volt jelen a prizmában, a legmagasabb hőmérsékletet a 2. napon mértük ($64,1^{\circ}\text{C}$). A maghőmérséklet görbében lévő minimum pontokat azon pontokat jelölik, ahol nagy mennyiségű víz kijuttatása történt a prizmákra, s a nedvesítéssel, valamint a keveréssel lehűtöttük a prizma hőmérsékletét. Ezen feltételezést statisztikai elemzésekkel bizonyítottuk, melyek alapján bizonyítást nyert a feltételezésünk. A nedvességtartalom és a hőmérséklet közötti összefüggések bizonyítására korrelációs vizsgálatot alkalmaztam. A korrelációs vizsgálat alapján az R^2 értéke $-0,519$, amely fordított arányosságra utal a két változó között. A 62. napra a prizma hőmérséklete lecsökkent, s felvette a külső (környezet) hőmérsékletét. Ez jelezte számunkra azt, hogy az érési szakaszba érkezett az anyag. A prizma hőmérsékleti profiljáról ezek alapján elmondható, hogy a komposztálás szakaszai megvalósultak a 62 nap alatt. Az 1 m/m%, 2 m/m% és 5 m/m% zeolit bekeverése esetén azt tapasztaltuk, hogy a termofil fázis hossza nőtt a kontrollhoz képest. Az 1 m/m% zeolitos bekeverési arány esetén a keverés és nedvesítés után megmértük a prizmák hőmérsékletét (1. nap), amely már komposztálás bevezető (pszichrofil) szakaszának felelt meg. A maximum hőmérsékletet a kontrollhoz hasonlóan az 1 m/m% zeolitos prizma esetén a 2. napon mértük (a három mérési szelvény átlaghőmérséklete $55,6^{\circ}\text{C}$ volt).

A 2 m/m% zeolittal kezelt prizma esetén a termofil fázisban a legmagasabb hőmérséklet $62,1^{\circ}\text{C}$ volt, s ezen prizma esetén is megfigyelhető, hogy a szórások a pszichrofil és a termofil szakaszban voltak a legnagyobbak, ezt követően a mezofil szakaszban már homogénebb volt a prizma (hőmérsékleti szempontból), s az érési szakaszban a három szelvény hőmérséklete egyöntetű volt, ezek alapján elmondható, hogy az anyagkeverék a komposztálás utolsó szakaszára homogénebbé vált. Az 5 m/m% zeolittal bekevert prizma esetén a komposztálás szakaszainak alakulása megegyezik az 1 m/m% és a 2 m/m% zeolittal bekevert prizmák esetén kapott eredményekkel: a hőmérsékleti maximumot a 2. napon mértem ($62,06^{\circ}\text{C}$), a pszichrofil és a termofil szakaszban az anyagkeverék heterogén, még a mezofil és az érési szakaszban egyöntetűbb. A termofil fázis a kontrollhoz képest 14 nappal, az 1 m/m% zeolitos prizmához képest 11 nappal, még a 2 m/m% zeolitos prizmához képest 4 nappal volt hosszabb, amely a zeolit kedvező hatásával magyarázható.

A 7 m/m% zeolit bekeverésével kialakított prizmában mért maghőmérséklet a kontrollhoz képest más képet mutat (8. ábra).



8. ábra: Maghőmérséklet alakulása a 7 m/m% zeollittal bekevert prizmában a környezeti hőmérséklethez képest

A 7% zeollittal kezelt prizma esetén a komposztálás szakaszai ugyanúgy megfigyelhetők a prizma maghőmérsékleti profiljában, mint a kontroll esetén, azonban az egyes szakaszok hossza más. A bevezető szakasz (1. szakasz) 24-36 órán keresztül zajlott, mely szintén egybeesik a nedvesítés utáni gyors felmelegedési szakasszal. A termofil fázis (2. szakasz) a 2. naptól egészen a 29. napig tartott, melyben a minimum pontok azokat a pontokat jelzik, ahol a nedvességtartalom 40 m/m% alá csökkent. A termofil fázisban mért maximum hőmérséklet 63,5°C, még a minimum hőmérséklet 25,5°C volt. A 30. naptól a mezofil fázis figyelhető meg, melyet a hőmérséklet fokozatos csökkenése is jelez. A 48. naptól kezdve az érés fázisa látható, mely során a prizma hőmérséklete a környezeti hőmérsékletre csökkent és nincs hőtermelés. A termofil fázis hosszának növekedése a zeolit komposzt alapanyagokra gyakorolt kedvező hatásával magyarázható, ugyanis javította a prizma levegőellátását, s így a hőmérséklet alakulására is pozitívan hatott. Ezen eredmények alapján levonható az a következtetés, hogy az adalékanyag arányának növelésével a termofil fázis hossza növelhető, s magasabb kiindulási hőmérséklet érhető el a megfelelő (esetünkben 50 m/m%) nedvességszint beállítását követően. Statisztikailag is értékeltük a hőmérséklet adatokat egy ismételt mérési modell kialakításával. A modellt úgy alakítottuk ki, hogy a fix hatás a kezelés (kontroll, 1, 2, 5, 7 m/m% zeolit), véletlen hatás az idő, azaz a hetek; a véletlen ingadozása pedig a prizma_azonosító/hét volt. A modell eredményét a 13. táblázatban foglaltam össze.

13. táblázat: Hőmérséklet esetén alkalmazott ismételt mérési modell eredménye ($p < 0,05$)

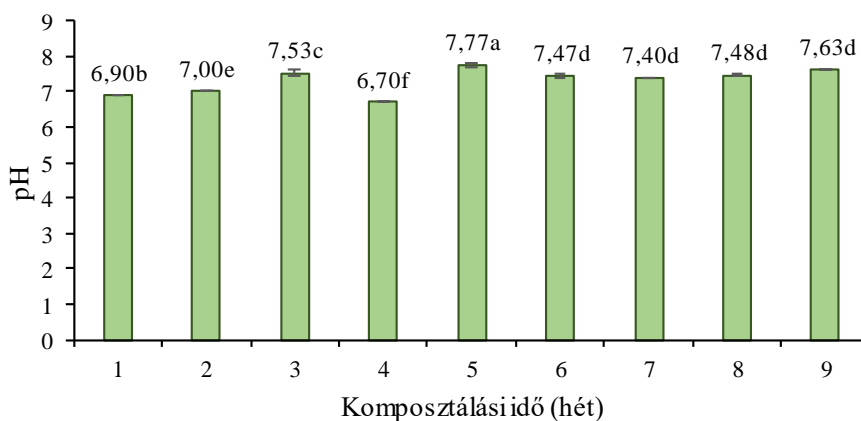
Vizsgált tényező	Szabadságfok	F-érték	p-érték
kezelés	4	5,762	0,116*
hét	8	348,28	$< 2e^{-16}$ *
kezelés:hét	32	54,03	$1,97e^{-06}$ *

$p < 0,05$; Forrás: Saját, 2019;

Az alkalmazott statisztikai modell eredménye alapján elmondható, hogy a kezelés tényező szignifikánsan befolyásolja a prizmak hőmérsékletének alakulását. Ez azt jelenti, hogy a kontroll és a zeolittal kezelt prizmak hőmérsékletének alakulásában vannak különbségek, melyek az in situ mérésekkel is bizonyíthatók. A hét tényező hatása is szignifikáns különbséget igazol, ugyanis az idő előrehaladtával a prizmak hőmérséklete változik (a komposztálás szakaszától függően nő vagy csökken). A komposztálási kísérlet szempontjából a legfontosabb a kezelés:hét kölcsönhatás szignifikanciája. Ezzel azt bizonyítottuk be statisztikailag, hogy a kezelés hatása függ a komposztálási időtől.

4.1.3. Kémhatás alakulása

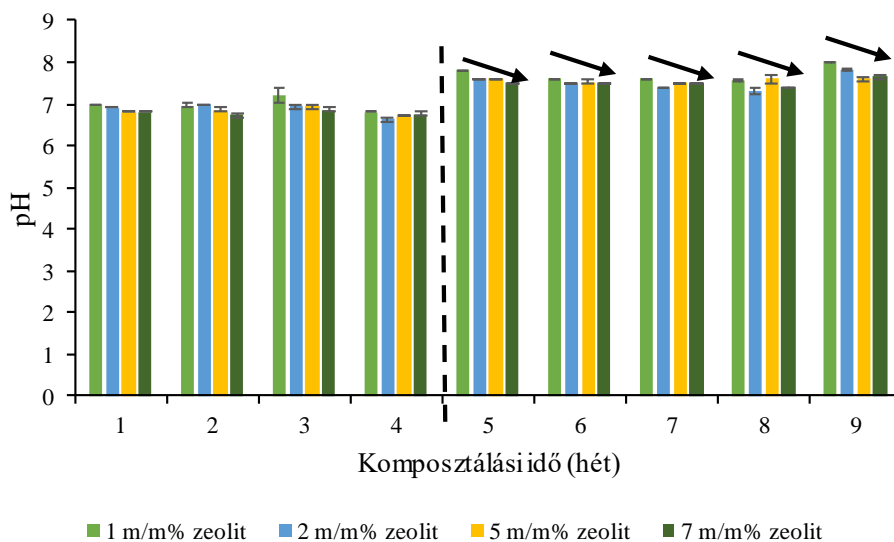
A kémhatás is egyike a legfontosabb tényezőknek, melyek a komposztálásban szerepet játszanak. A pH a komposztálási folyamatban résztvevő mikroorganizmusok aktivitását befolyásolja. CHANG-CHEN (2010), valamint ALBURQUERQUE et al, (2006) bebizonyították, hogy a komposztálási folyamat során optimális pH 6 és 8 között van, ugyanis az erősen lúgos, illetve savanyú kémhatás egyaránt negatívan befolyásolja a biodegradációt. Ha például istállótrágyát komposztálunk, az emelkedő pH hatására ($pH > 8$) nagy mennyiségű ammónia szabadul fel, amely nagy nitrogénvesztéssel és szaghatással jár. Azonban a szerves anyagokhoz (pl. istállótrágyához) kevert adalékanyag hatással van a közeg kémhatására is, pl. a faforgács savanyít, még a zeolit lúgosító hatású. A kontroll prizma esetén mért kémhatás értékek a 9. ábrán láthatók.



9. ábra: Kémhatás alakulása a kontroll prizmában ($p < 0,05$) (Forrás: Saját, 2019)

*az azonos betűvel jelölt kezeléseket között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A kontroll prizmában mért kémhatás értékekről elmondható, hogy a komposztálás kilenc hete alatt egyenletesen alakult, mindvégig a semleges-enyhén lúgos tartományban mozgott. Az első és a harmadik hét között figyelhető meg minimális csökkenés, ami valószínűsíthetően a szerves savak képződése miatt alakult így módon, ugyanis a szakirodalmak alapján a pH a komposztálás során úgy alakul, hogy a komposztálás kezdeti szakaszában a kémhatás csökken a szerves savak képződése miatt, azonban a komposztálás későbbi szakaszában megemelkedik, s a 7-8 közötti optimális tartományban mozog (TURAN, 2009; CHAN et al, 2015). A kémhatás esetén hasonló eredményekről számolt be IRVAN et al, (2018). Eredményeik alapján megállapították, hogy a komposztálás termofil szakaszában kialakuló savanyú kémhatású körülmények gátolják a kórokozók szaporodását, emellett a keverés gyakorisága oly módon befolyásolja a kémhatást, hogy a keverés hatására a komposzt szemcsék közötti szabad térben lévő szén-dioxid távozik a prizmából, s így megakadályozva azt, hogy a felhalmozódó szén-dioxid hatására a kémhatás csökkenjen. Statisztikai szempontból elmondható, hogy a komposztálás első öt hetében szignifikáns különbségek voltak a kémhatás értékek között, még a 6-9. hét statisztikailag egy csoportot alkot, ezek alapján is bebizonyította, hogy a komposztálás első öt hetében az anyagkeverék a pszichrofil és a termofil fázisban nagy átalakuláson esett át, még a 6. héttől stabilizálódott és homogenizálódott a pH, azaz a késői mezofil, valamint az érési szakaszba „érkezett” az anyag. A zeolittal bekevert prizmák esetén mért kémhatást a 10. ábrán mutatom be.



10. ábra: Kémhatás alakulása a zeolittal kezelt prizmákban (Forrás: Saját, 2019)

A zeolittal bekevert prizmák esetén elmondható, hogy a komposztálás 1-4. és az 5-9. hetek között változás következett be. Az első négy hétben a szerves savak mennyiségének növekedése miatt a kémhatás alacsonyabb volt, mint az utána következő hetekben. Emellett az is látható,

hogy minél nagyobb arányban került bekeverésre a zeolit, a kémhatás annál jobban csökkent. Az 1 m/m% zeolit bekeverése esetében a zeolit olyan kis mennyiségben volt jelen a prizmában, hogy abban a brojler- és tyúktrágya keverékének kémhatása volt mérhető, ezzel szemben a nagyobb mennyiségű zeolittal bekevert prizmák esetében a zeolit valószínűsíthetően nem csak ammóniát kötött meg, hanem más kicserélhető ionokat (kationcsere kapacitás). A zeolit esetén gyenge a hidrogén-ion szemcséken való kötődése, emiatt a kötőhelyeken kompetíció lép fel az egyes ionok között. A trágyában lévő más ionok (kalcium-, kálium-ion) zeolit felületén történő megkötődése miatt a hidrogén-ion bekerül a komposztba, amely a közeg savanyodását okozza. Ez az oka annak, hogy a növekvő zeolit mennyiségével a kémhatás csökkent.

Statisztikai szempontból is értékeltem a kémhatást a zeolittal bekevert prizmák esetén. A hőmérséklethez hasonlóan a kémhatás esetében is meghatározhatóvá válnak a komposztálási szakaszok statisztikai csoportok alapján. A kémhatás hetenkénti alakulásáról elmondható, hogy egy-egy zeolitos kezelésen belül a hetek között szignifikáns különbségek vannak ($p < 0,05$), melyet az $SZD_{5\%}$ értéke (14. táblázat) is bizonyít.

14. táblázat: Szignifikáns differencia értékének alakulása a kémhatás esetén

Kezelések	$SZD_{5\%}$
1 m/m% zeolit	0,105
2 m/m% zeolit	0,064
5 m/m% zeolit	0,093
7 m/m% zeolit	0,063

$p < 0,05$, Forrás: Saját, 2020

A $SZD_{5\%}$ értékeiről elmondható, hogy közel azonosan alakult mind a kontroll, mind pedig a zeolittal kezelt prizmák esetén. Statisztikai szempontból a kémhatás értékeket a hőmérséklethez hasonlóan ismételt mérési modellel értékeltük (15. táblázat).

15. táblázat: Kémhatás esetén alkalmazott ismételt mérési modell eredménye

Vizsgált tényező	Szabadságfok	F-érték	p-érték
kezelés	4	86,64	$1,02e^{-0,7*}$
hét	8	856,75	$< 2e^{-16*}$
kezelés:hét	32	16,76	$< 2e^{-16*}$

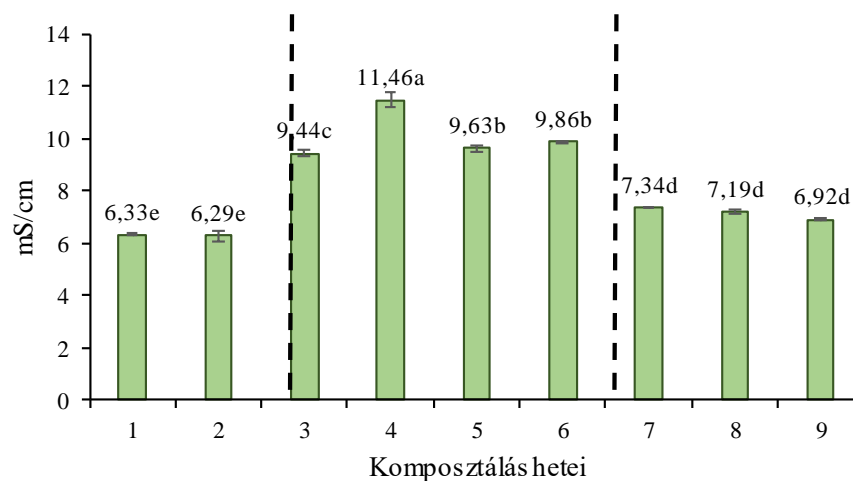
$p < 0,05$, Forrás: Saját, 2019

A kezelésről elmondható, hogy kontroll és a zeolittal kezelt prizmák kémhatás értékeiben statisztikailag és analitikailag is bizonyítható különbségek vannak. A hét tényező hatása is szignifikáns különbséget igazol, ugyanis az idő előrehaladtával a prizmák kémhatása változik (a komposztálás szakaszától függően nő vagy csökken). A komposztálási kísérlet szempontjából a legfontosabb a kezelés:hét kölcsönhatás szignifikanciája. Ezzel azt

bizonyítottuk be statisztikailag, hogy a kezeles hatása függ a komposztálási időtől. A statisztikai értékelés alapján elmondható, hogy mind a kezelés, mind a hét, mind pedig a kezelés:hét kölcsönhatás szingifikanciája igazolódott.

4.1.4. Fajlagos elektromos vezetőképesség alakulása

A komposztáláskor végbemenő biodegradáció miatt a komposzt fajlagos vezetőképességének csökkennie kell, azonban ha nem valósul meg az aerob dominancia a komposztálás során, akkor a szerves anyagok bomlásából felszabaduló ásványi sók és ammónium-ionok a vezetőképesség növekedését okozzák (GAO et al, 2010). A komposzt tápanyagként történő felhasználásakor fontos, hogy a vezetőképesség alacsony legyen (YANG et al, 2015). A komposzt esetében meghatározott maximális vezetőképesség határértékek a szakirodalomban a következőképpen alakulnak: 4 mS/cm (CHOWDHURY et al, 2015), 3 mS/cm (JUÁREZ, 2015), 2,5 mS/cm (MULEC et al, 2016). Ezzel szemben a hazai gyakorlatban a terméskövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló a 36/2006 (V.18) FVM rendelet 3. számú melléklete határozza meg azt, hogy a vízben oldható összes sótartalom a komposztok esetében maximálisan 4 m/m% lehet. A kontroll prizma esetén mért fajlagos vezetőképesség értékeket a 11. ábrán tüntettem fel. A fajlagos vezetőképesség esetén mind a hetek, mind pedig a kezelések között egyaránt kimutathatók a különbségek ananlitikailag és statisztikailag egyaránt.

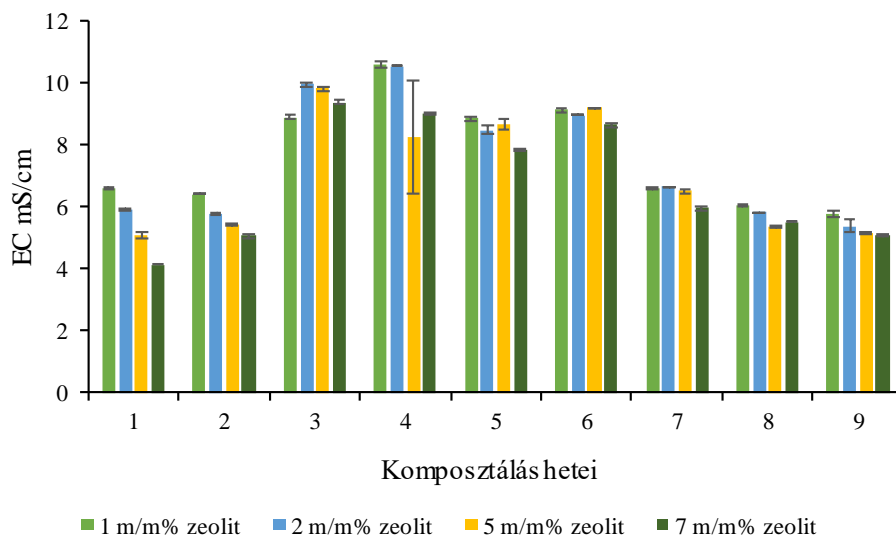


11. ábra: Fajlagos vezetőképesség alakulása a kontroll prizma esetén (Forrás: Saját, 2018)

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A kontroll prizma esetén a kémhatáshoz hasonlóan feloszthatók a komposztálás hetei szakaszokra: az 1-2. hétben alacsony volt a komposzt fajlagos vezetőképessége, ezzel szemben a 3-6. hetek között megnőtt a vezetőképesség, majd a 7-9 hét között értéke csökkenni kezdett. Ezeket a szakaszokat statisztikailag is ki tudtam mutatni, ugyanis az egytényezős

varianciaanalízis eredményeként azt kaptam, hogy az első és második hét statisztikailag egy csoportot alkot, ahogy a 7-9 hét is. A 3-6. hetek között szignifikáns különbségeket mutattam ki, amely a vezetőképesség értékek heterogenitásával magyarázható a termofil-mezofil szakaszban. A vezetőképesség értékének csökkenése a komposztálási folyamatban a megnövekedett nitrát- és nitrit-koncentráció eredménye, ezzel szemben a vezetőképesség értékek növekedését az ásványi sók (például, foszfát- és ammónium-ionok) felszabadulása okozhatja, mely a bomlás során a szerves anyagokból tárodik fel (IRVAN et al, 2018). JAIN et al, (2019) vizsgálataik során települési szilárd hulladék szerves frakcióját komposztálták, és a fajlagos vezetőképesség érték a komposztálási folyamat során nőtt. Az általuk kapott eredmények alapján a hőmérséklet növekedésével a fajlagos vezetőképesség is nő, tehát a termofil fázisban magasabb vezetőképesség mérhető, mint a komposztálás kezdeti vagy mezofil szakaszában, ahogy az a saját eredményeimnél is megfigyelhető. A fajlagos vezetőképesség alakulását a zeolittal kezelt prizmák esetén a 12. ábrán összegeztem.



12. ábra: Fajlagos vezetőképesség alakulása a zeolittal kezelt prizmákban (Forrás: Saját, 2018)

A zeolittal kezelt prizmák esetén elmondható, hogy a kontroll prizmához hasonló tendencia figyelhető meg a vezetőképesség alakulásában, ugyanis az 1-2. hétben a vezetőképesség értékek stagnáltak, majd a 3-6. hét között értéke növekedni kezdett, majd a 7-9. hétre csökkenést mutatott. Megfigyelhető azonban az is, hogy a zeolit növekvő arányú bekeverésével a vezetőképesség értéke csökkent (már az első heti mérés alkalmával is). A komposztálás kilencedik hetére 5,06 és 5,75 mS/cm között alakultak a komposzt vezetőképesség értékei. JAIN et al, (2019), valamint ZHANG-SUN (2016) szerint az adalékanyagok hatására a komposztálási folyamat során a fajlagos vezetőképesség nő, s ezzel párhuzamosan nő a

szervetlen vegyületek koncentrációja is. Az adalékanyagok elősegíthetik a szerves anyagok degradációját, s ezáltal növelik az ionok „felszabadulásának” sebességét. Ez okozhatja azt, hogy a hőmérséklet növekedésével a fajlagos vezetőképesség is nő. Statisztikai szempontból a kémhatáshoz, és a hőmérséklethez hasonlóan a fajlagos vezetőképességet is ismételt mérési modellel értékeltem, melynek eredményét a *16. táblázatban* tüntettem fel.

16. táblázat: Fajlagos vezetőképesség esetén alkalmazott ismételt mérési modell eredménye

Vizsgált tényező	Szabadságfok	F-érték	p-érték
kezelés	4	100,4	4,98e ⁻⁰⁸
hét	8	616,729	<2e ⁻¹⁶
kezelés:hét	32	8,506	4,99e ⁻¹⁵

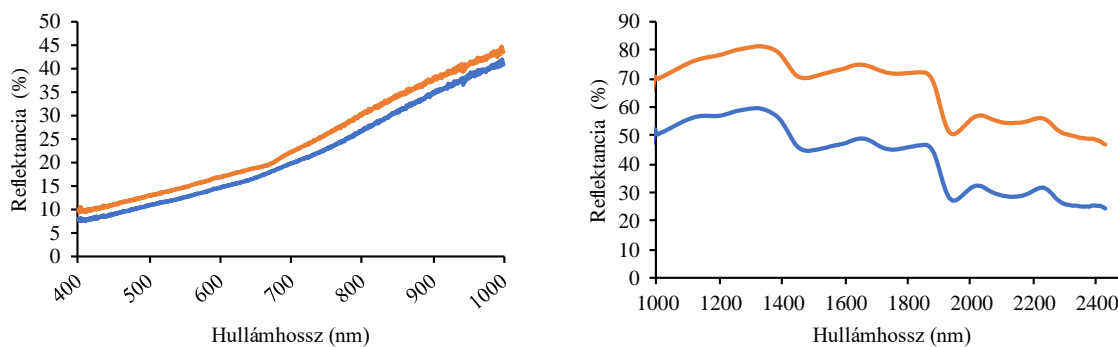
p<0,05; Forrás: Saját, 2019

Az ismételt modellről összességében elmondható, hogy a nedvességtartalom, a hőmérséklet és a kémhatás esetén hasonló eredményeket kaptam, azaz, hogy mindhárom tényező (kezelés, hét, kezelés:hét kölcsönhatás) hatása szignifikánsan befolyásolja a fajlagos vezetőképesség alakulását a prizmában. Az ismételt mérési modell eredménye alapján készített interakciós ábrán is megfigyelhető, hogy a zeolitos kezelések és a kontroll prizma esetén a vezetőképesség azonos lefutású, három nagyobb szakasz különböztethető meg. Az ismételt mérési modell eredményei alapján elmondható, hogy a különböző kezelések, valamint az idő hatására a vezetőképesség változott, s még a kontroll esetében ez a változás minimális csökkenés, addig a zeolitos kezelések esetén a komposztálás előrehaladtával a vezetőképesség csökkent.

4.2. Spektrális vizsgálatok eredményei

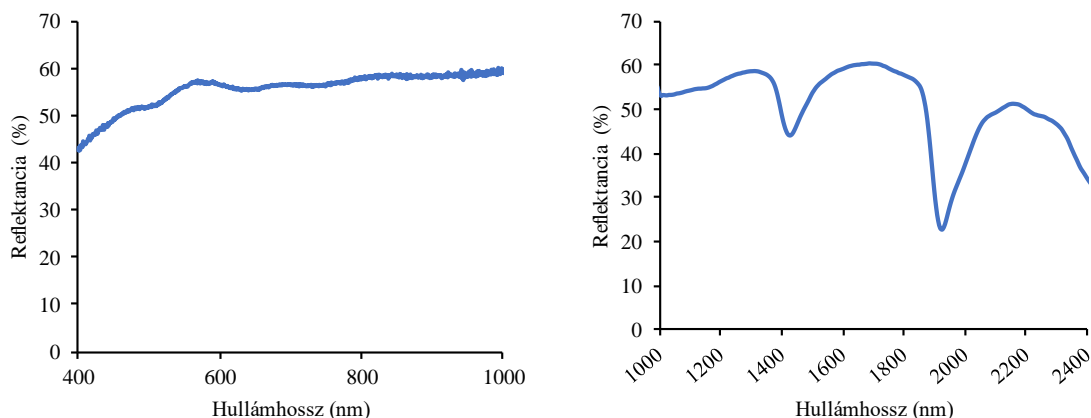
4.2.1. Alapanyagok spektrális jellemzői

A komposzt minták spektrális vizsgálatait előtt a felhasznált alapanyagok (brojler- és tyúktrágya, zeolit) spektrális jellemzőit elemeztem 400-2500 nm hullámhossz tartományban. A kapott eredményeket 400-1000 nm, illetve 1000-2500 nm hullámhossz tartományban ábrázoltam. A brojler- és tyúktrágya a trágyákra, valamint a talajokra jellemző reflektancia görbével írható le (*13. ábra*).



13. ábra: A brojler (kék szín)- és tyúktrágya (narancssárga szín) spektrális profilja 400-1000 nm (a) és 1000-2500 nm (b) hullámhossz tartományban (Forrás: Saját, 2020)

A VIS-NIR tartományban a reflektancia folyamatos emelkedése figyelhető meg, amely egészen 1400 nm-ig állandó marad (13. ábra). A kétféle trágya reflektancia görbéje azonos lefutású, számottevő különbség nem detektálható, azonban mindkét hullámhossz-tartományban a tyúktrágya reflektanciája magasabb értéket mutat a brojlertrágyához képest. Ez a két alapanyag közötti szervesanyag különbséggel magyarázható, mely hagyományos analitikai úton is mérhető volt, ugyanis a brojlertrágya szervesanyag-tartalma 58,81 m/m% volt, addig a tyúktrágyáé 66,18 m/m%. 1000-2500 nm hullámhossz tartományban két minimum pont is látható: 1450 nm-en és 1950 nm-en, amelyek a trágyaszemcsék felszínén lévő víz abszorpciós helyeit jelzik. Ezt a feltételezést megerősítik a Ben-Dor et al, (1997) által vizsgált komposztok reflektancia görbéinek elemése során kapott eredmények is, ugyanis 1460 nm-en és 1930 nm-en valószínűsítették a szervesanyag szemcsék felületén megkötött vízmolekulák helyeit. Azonban ELVIDGE (1990) vizsgálatai rámutattak arra, hogy 1460 nm-en nem csak a vízmolekuláknak, hanem a cellulózmolekulák –OH csoportjainak is fényelnyelési minimum pontja van. 1200 és 1300 nm között a cellulóz, lignin és keményítő-tartalom is detektálható, illetve a ligninben lévő –CH₂ csoportok (WILLIAMS-NORRIS, 1987; MCLELLAN et al, 1991a). 2200 és 2400 nm-en lokális reflektancia minimum pontok határozhatók meg. Ezen hullámhossz tartományokban a brojler- és tyúktrágya spektrális elkülönítése lehetséges, keverési arányainak megállapítására azonban a 2000 nm feletti hullámhossz tartomány lehet alkalmas. A talajok szervesanyag-tartalma esetén a 780-2500 nm hullámhossz tartományban lévő abszorpció az -OH, SO₄ és CO₃ csoportok, valamint a víz és CO₂ tulajdonságaiból, s azok kombinációjából adódnak (CLARK, 1999). A 400-780 nm hullámhossz tartományban a talajok esetén lévő abszorpciós pontok elsősorban a vasat tartalmazó ásványokhoz kapcsolódnak, például a hematithez (MORTIMORE et al., 1984), mely a trágyák esetén nem figyelhető meg. Megvizsgáltam a zeolit spektrális profilját is, amely a 14. ábrán látható.



14. ábra: A zeolit spektrális profilja 400-1000 nm (a) és 1000-2500 nm (b) hullámhossz tartományban (Forrás: Saját, 2020)

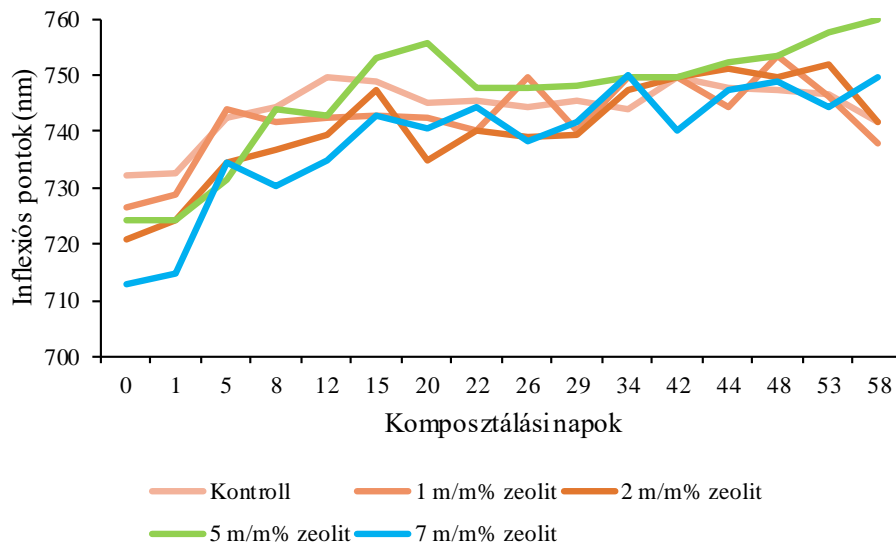
A zeolit szürkésfehér színéből adódóan a reflektanciája magas (55% feletti), amely egészen 900 nm-ig megfigyelhető. 1350 nm-en reflektancia csökkenés figyelhető meg (8-10%), és 1410 nm-en (45% körüli reflektancia), valamint 1950 nm-en (30% körüli reflektancia) lokális minimum pontok vannak. Az 1410-1450 nm, valamint az 1920-1950 nm hullámhossz tartományokban tapasztalható erőteljes csökkenés a kalcium-klorid kristályvíz-tartalmával, valamint ezen hullámhossz tartományok nedvességtartalomra való érzékenységevel magyarázható.

4.2.2. Komposztok spektrális tulajdonságai 400-1000 nm hullámhossz tartományban

Mindegyik mintavételi nap reflektanciája konstans emelkedést mutat, 400-700 nm hullámhossz tartományban jelentősen átfednek a reflektancia görbék, 700 nm hullámhossz tartományban egy töréspont figyelhető meg. A közeli IR tartományban jobban elkülöníthetők a reflektancia görbék. A nulladik napi reflektancia volt a legmagasabb a vizsgált hullámhossz tartományban, a legalacsonyabb reflektanciát pedig a vártakkal ellentétben nem az 58. napi minta esetén, hanem a 44. napi mintában mértem. Az 58. napi minta reflektanciája is csökkenést mutatott a 0. naphoz képest, azonban elmarad a 44. napi minta alacsony reflektanciájától. Ez azzal magyarázható, hogy a porított, szitált mintákba a baromfitelepen alkalmazott mészszemcsék belekerülhettek, s ez az oka annak, hogy az 58. napi minta esetén a trágya érett volt, színe sötétedett, mégis magas reflektanciát mértem. A 7 m/m% zeolit esetében a reflektancia görbe a kontrollhoz hasonló eredményeket mutatott. A zeolit hatására a teljes vizsgálati tartományban magasabb volt a reflektancia a kontrollhoz képest már a 0. napon is, amely a zeolit reflektanciára történő hatásával magyarázható. Ezen kezelés esetén is a 0. napi minta reflektanciája volt a legmagasabb, mely a komposzt éretlenségével magyarázható, s a vizsgálatok során ezt az eredményt vártam. Ebben az esetben a legalacsonyabb reflektanciája az 53. napi mintának volt az 58. napi mintával ellentétben. A komposzt érettsége indokolja a

reflektancia csökkenését a vizsgált tartományban, azaz a komposzt színének sötétedésével a minta reflektanciája csökken.

400-1000 nm hullámhossz tartományban az inflexiós pontok 710 nm és 760 nm között helyezkednek el mindegyik kísérleti beállítás esetén (15. ábra).



15. ábra: Inflexiós pontok alakulása 400-1000 nm hullámhossz tartományban (Forrás: Saját, 2020)

A kontroll esetén megfigyelhető, hogy a komposztálás előrehaladtával az inflexiós pontok helyzete változik (elcsúsznak az inflexiós pontok 732,135 nm-től 741,726 nm között). Ez az elcsúszás 9,591 nm-t jelent, azonban a jelentős változás az 1. és a 8. nap között megy végbe, ugyanis a komposztálás 1. napján az inflexiós pont helyzete 732,7 nm-nél, még a 8. napon 744,544 nm-nél található. Az 1 m/m% zeolit esetén szintén az 1. és a 8. nap között következik be jelentős változás, azonban az inflexiós pontok 11,291 nm-t csúsznak el a 0. és az 58. napok között. A kontrollhoz képest azonban ez az inflexiós pont elcsúszás +1,7 nm-t jelent. Ezek alapján elmondható, hogy az 1 m/m% zeolitos kezelésben a zeolit olyan kis mennyiségben volt jelen, hogy ez számottevő változást nem eredményezett a komposzt spektrális tulajdonságaiban. A 2 m/m% zeolittal történő kezelésnél hasonló tendencia figyelhető meg, mint az 1 m/m% zeolitos kezelés esetén. Az inflexiós pontok helyzetében bekövetkező változás szintén az 1. és a 8. nap között következik be, ezek azok a napok, amelyeknél már a termofil fázisba lépett át az anyagkeverék. Az inflexiós pontok 720,836-741,726 nm között helyezkednek el, amely a komposztálás ideje alatt 20,89 nm elcsúszást jelent. Az 5 m/m% zeolit inflexiós pontjai 724,228-759,744 nm között helyezkenek el, amely 35,516 nm elcsúszást jelent a vörös hullámhossz tartomány felől a közeli infravörös tartomány felé. A 7 m/m% zeolit esetén figyelhető meg a legnagyobb hullámhossz-tartomány, ahol az inflexiós pontok megtalálhatók, ugyanis ezen kezelés esetében 712,918-749,614 nm között helyezkednek el az inflexiós pontok.

Ennél a kezeléskor figyelhető meg a legnagyobb elcsúszás a vörös tartományból a közeli infravörös tartomány felé (39,696 nm). Ezek alapján elmondható, hogy minél nagyobb arányban került a zeolit bekeverésre, az inflexiós pontok annál inkább eltolódnak a közeli infravörös tartomány felé. Azonban megfigyelhető az is, hogy az inflexiós pontok elcsúszása a zeolit növekvő arányával nő, de a kontroll, az 1 és 2 tömeg% zeolit esetében az inflexiós pontok helyzete csökkenő tendenciát mutat a komposztálás 58. napjára, még az 5 és 7 tömeg% zeolit esetén az inflexiós pontok további tolódása figyelhető meg, ezért ezen két kezelés esetén a továbbiakban a korrelációkat nem mutatom be.

400-1000 nm hullámhossz tartományban az inflexiós pontok és a komposztokból mért kémiai tulajdonságok közötti összefüggések bizonyítására Pearson-féle korrelációt végeztem, mellyel meghatároztam a különböző paraméterek közötti kapcsolat erősségét és irányát, valamint azt, hogy az adott összefüggés $p < 0,05$ szignifikancia szint mellett szignifikáns-e. A Pearson-korrelációk esetében kapott eredményeket a 17. táblázatban összegeztem.

17. táblázat: Inflexiós pontok és vizsgált paraméterek közötti összefüggés vizsgálat (400-1000 nm)

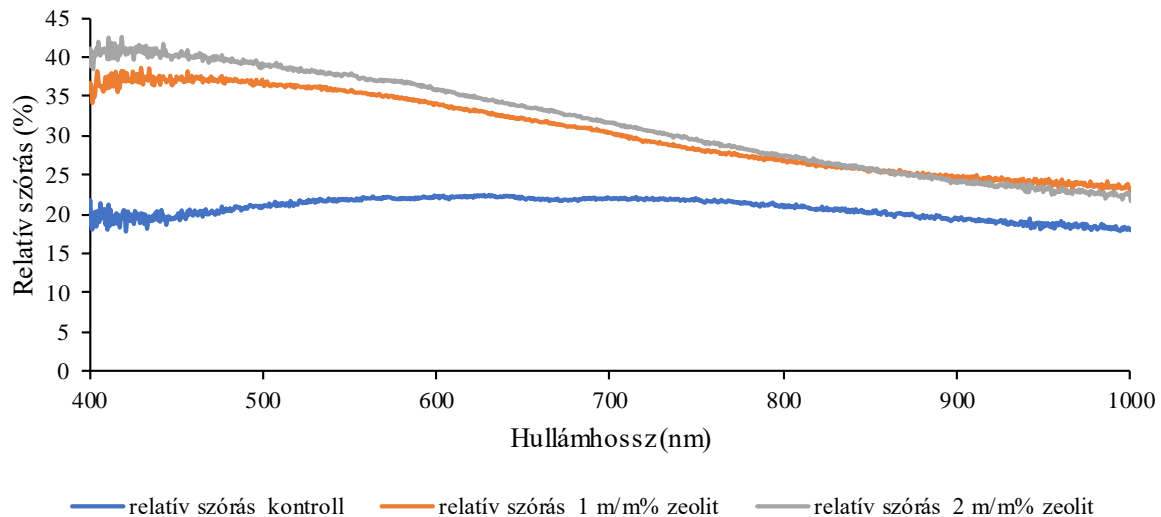
Vizsgált tényezők	Komposzt prizmák elnevezése		
	Kontroll	1 m/m% zeolit	2 m/m% zeolit
Inflexiós pontok - pH	0,05	0,08	0,25
Inflexiós pontok – Fajlagos vezetőképesség	0,22	0,14	0,06
Inflexiós pontok - hőmérséklet	0,25*	0,28*	0,29*
Inflexiós pontok - nedvességtartalom	0,004	0,096	0,44

Forrás: Saját, 2020; * $p < 0,05$ esetén szignifikáns korreláció

A korrelációk meghatározását azért tartottam lényegesnek, mert a spektrométeres vizsgálatokkal csak az adott anyag, esetemben a kétféle trágya és a zeolit keverékének saját és jellegzetes spektrális tulajdonságait tudtam meghatározni, azonban gyakran a korrelációs vizsgálatokkal más vizsgált tényezőkkel való összefüggésük is bizonyítható. A korrelációs vizsgálatok alapján elmondható, hogy az inflexiós pontok és a hőmérséklet között gyenge, pozitív irányú korrelációt állapítottam meg, mely összefüggés mindegyik kezelés és a kontroll esetén is szignifikáns ($p < 0,05$). A kémhatás, fajlagos vezetőképesség és a nedvességtartalom esetén gyenge korrelációt mutattam ki. A kémhatás és a hőmérséklet esetén bár gyenge a korreláció (R^2 értéke 0,14-0,25), a zeolit bekeverési arányának növekedésével a korreláció erőssége nőtt.

Annak érdekében, hogy a komposztálás során végbemenő változások spektrális tulajdonságait értékelni tudjam az adatokat csoportokra bontottam szét reflektancia és a bekevert zeolit mennyisége alapján, és kiszámítottam a reflektancia relatív szórását (16. ábra) kezelésként

kiválasztott hat mintavételi napon. A relatív szórással a valódi egyenlőtlenségek kimutathatóvá válnak, ugyanis a relatív szórás az átlag és a szórás hányadosa.



16. ábra: Kezelések relatív szórása a 400-1000 nm hullámhossz tartományban (Forrás: Saját, 2020)

A relatív szórások alapján elmondható, hogy – amennyiben a tizenhét mintavétel átlagát és szórását veszem figyelembe – a kontroll esetén volt a legkisebb a relatív szórás, azonban nem a bekevert zeolit mennyiségével nőtt a szórás, ugyanis a 2 tömeg% zeolit bekeverése esetén volt értéke a legmagasabb a teljes vizsgálati tartományban. Azon feltevés, mely szerint a zeolit bekeverésével a relatív szórás csökken nem bizonyítható be ezen módszerrel. Az is elmondható, hogy 400-720 nm hullámhossz tartományban érzékelhetők leginkább a különbségek a bekeverések között, amit az inflexiós pontok helyzete is bizonyít.

A különböző komposztkeverékek minőségi vizsgálatára, valamint a vizsgált fizikai-kémiai paraméterek előrejelzésére indexeket alkottam meg. Az indexek esetén főkomponens analízist végeztem (varimax rotációval, derékszögű fordítással) és az elemzés eredményeként kapott főkomponens súlyok alapján határoztam meg, hogy melyek azok a hullámhossz tartományok, amik a komposztérettségre, illetve a komposzt anyagi minőségének vizsgálatára alkalmasak lehetnek. Hasonló vizsgálatokat végzett ABOUELWAFI et al, (2008) is: főkomponens-elemzést (PCA) alkalmaztak a fizikai-kémiai, mikrobiológiai és spektroszkópiai eredmények kiértékelésére. A számított főkomponensek alapján határozták meg a hányadosok számításánál alkalmazott arányokat. A különböző komposztból mért paraméterek, mint például az összes szerves szén-tartalom, összes nitrogén-tartalom, ammónium, nitrát, összes foszfor, pH, fajlagos vezetőképesség és biológiai jellemzők előrejelzéséről a látható-közeli infravörös spektroszkópia segítségével több szerző is beszámolt (HUANG et al, 2007; MALLEY et al, 2005; ALBRECHT et al, 2008; LUDWIG et al, 2006; MICHEL et al, 2006). SHARMA et al,

(2005) kifejlesztett predikciós modelleket az ammónium, a pH, a fajlagos vezetőképesség, a szárazanyag- és az összes nitrogén-tartalom előrejelzésére a NIR és a VIS-NIR hullámhossz tartományban. Ezen szakirodalmak jelentették a kutatásom kiindulópontját, azaz, hogy a komposztból mért fizikai-kémiai paraméterek előrejelzésére predikciós modelleket, és indexeket állítsak fel.

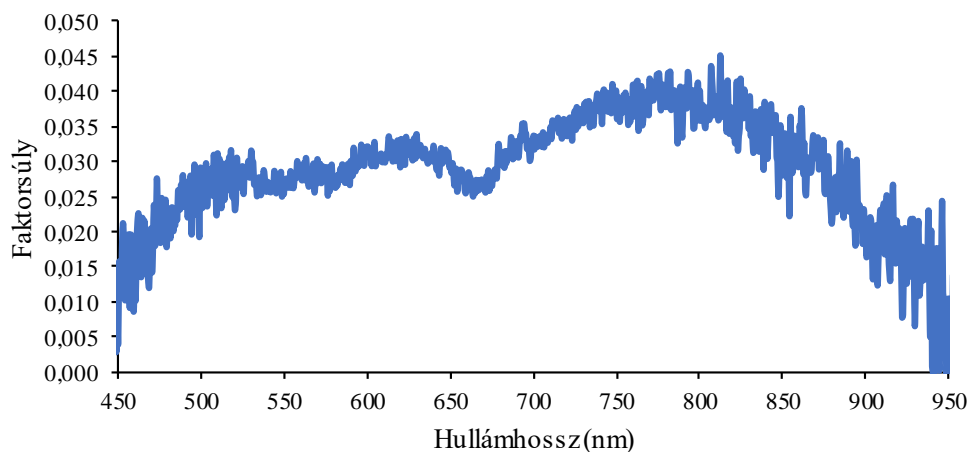
A főkomponens analízis alapján öt főkomponenst tudtam meghatározni a VIS-NIR tartományban, melyet az alábbi táblázatban (18. táblázat) mutatok be.

18. táblázat: Fizikai-kémiai paraméterekkel összefüggő főkomponensek alakulása a VIS-NIR tartományban

Főkomponensek	Elemszám	Variancia (%)
PC1	992,631	93,030
PC2	64,262	6,023
PC3	4,957	0,465
PC4	1,421	0,133
PC5	1,044	0,098

Forrás: Saját, 2021

A főkomponensek alapján elmondható, hogy a variancia több mint 93%-át az első komponensbe (PC1) tartozó változók okozzák, a PC2 a 6,023%-át, a PC3-PC5 komponensek pedig a teljes varianciát minimálisan (0,696%) határozzák meg. A főkomponensek alapján határoztam meg, hogy melyik komponensbe tartoznak az általam vizsgált fizikai-kémiai paraméterek (nedvességtartalom, hőmérséklet, kémhatás, fajlagos vezetőképesség), és a 4. komponensbe tartozó faktorsúlyokkal dolgoztam tovább (17. ábra).



17. ábra: Különböző hullámhosszok faktorsúlyai a vizsgált fizikai-kémiai paraméterekkel összefüggő 4. főkomponens alapján (Forrás: Saját, 2021)

A faktorsúlyok ábrázolásánál csak a 450-950 nm közötti hullámhossz szakaszt vettem figyelembe, ugyanis a 400-450 nm, valamint a 950-1000 nm közötti tartományokban a faktorsúlyok (a reflektanciához hasonlóan) nagy szórást mutattak. A faktorsúlyok alapján határoztam meg azokat a hullámhosszokat, ahol a legnagyobb és a legkisebb volt a faktorsúly, tehát a variancia a két hullámhossz között a legnagyobb volt. Ez a hullámhossz a 812 nm és a 941 nm voltak, melyekből a $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ és a $\lambda_{941}/\lambda_{812}$ hányadosokat számoltam ki. Ezek alapján a vizsgált fizikai-kémiai paraméterek előrejelzésére predikciós indexeket alakítottam ki, melyeket az alábbi táblázatban mutatok be (19. táblázat).

19. táblázat: A VIS-NIR tartományban létrehozott predikciós modellek eredményei

Predikciós modell	R ²	Létrehozott összefüggés	RMSE	NRMSE
Index 1 $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ nedvességtartalom (NT)	0,3998	NT=-65,79*NT+88,93	6,99	16,33%
Index 2 $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ fajlagos vezetőképesség (EC)	0,134	EC=7,133*EC-2,6195	1,38	18,07%
Index 3 $\lambda_{941}/\lambda_{812}$ hőmérséklet (H)	0,4814	H=-108,09*H+190,17	8,34	23,97%
Index 4 $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ kémhatás (pH)	0,3467	pH=-5,5327*+11,168	0,28	3,93%

Forrás: Saját, 2021

A VIS-NIR tartományban képzett predikciós indexekről elmondható, hogy a hőmérséklet esetén képzett Index 3 modellnél számítottam a legmagasabb R² értéket, azonban az RMSE értéke, azaz a mérési hiba ezen modellnél volt a legnagyobb (8,34°C), még a normalizált RMSE értéke, 23,97% volt, tehát 23,97%-kal tér el a modellel becsült hőmérséklet a mért értéktől. Azok a predikciós modellek, melyeknél az NRMSE értéke >20% nem alkalmazhatók megfelelő hatékonysággal az adott paraméter előrejelzésére. Ezek alapján a 400-1000 nm hullámhossz tartományban képzett indexekből az Index 4 a kémhatás előrejelzésére a leginkább alkalmas, ugyanis a kémhatás és a $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ hullámhosszokból képzett hányados alapján számított R² értéke 0,3467, RMSE értéke 0,28, még az NRMSE értéke 3,93% volt. Ezek alapján a modell pontossága pH 0,28, azaz a mért és a becsült érték között 3,93% az eltérés. Az Index 1 a nedvességtartalom becslése esetén is jó eredményt hozott (NRMSE<20%), ugyanis a $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ hányados és a nedvességtartalom közötti determinációs együttható értéke 0,3998 volt, a mérési hiba (RMSE) 6,99 m/m%, még a normalizált RMSE értéke 16,33% volt.

A VIS-NIR tartományban képzett indexekről elmondható, hogy a kémhatás, a nedvességtartalom és a fajlagos vezetőképesség predikciójára alkalmasak a megalkotott

modellek, s ily módon spektrális (gyorsanalitikai) vizsgálatokkal is meghatározhatók a komposzt fizikai-kémiai paraméterei.

4.2.3. Komposztok spektrális tulajdonságai 1000-2500 nm hullámhossz tartományban

A kontroll esetén elmondható, hogy komposztálás napjainak előrehaladtával a komposzt minták reflektanciája csökkent. A 0. napi minta reflektanciája közel 60% volt, még az 58. napi minta reflektanciája mindössze 40% körül mozgott. A vizsgálataim során erre számítottam, hiszen a hipotézisem az volt, hogy a minták reflektanciája a komposzt érésével csökkeni fog, amelyet be tudtam 1000-2500 nm hullámhossz tartományban is bizonyítani. BEN-DOR et al, (1997) hasonló eredményeket kapott szarvasmarhatrágya komposztálása során, ugyanis vizsgálataikkal bebizonyította, hogy a 0. napi (éretlen) komposzt minta és a 147. napi (érett) komposzt minta reflektanciája markánsan különbözik egymástól. A minták közül a legmagasabb reflektanciát a 20. napi minta esetén mértem, amely valószínűsíthetően azzal magyarázható, hogy a vizsgált minta éretlen volt, emellett nagy mennyiségben tartalmazott zeolítot, mely nagyban meghatározza a minta reflektanciáját. Két jellemző hullámhossz tartományt tudtam elkülöníteni a tizenhat mintavételi nap során vizsgált minták reflektancia görbéjéből: 1400-1500 nm és 1900-2000 nm hullámhossz tartományban. BEN-DOR et al, (1997), MCLELLAN et al, (1991), valamint ELVIDGE (1990) rámutattak arra, hogy 1460 és 1930 nm hullámhosszon a vízmolekulák –OH csoportjainak van spektrális ujjlenyomata, ugyanis vizsgálataik során tömegállandóságig szárított komposzt mintákkal dolgoztak, és a szerves anyag szemcsék felületén adszorbeált vízmolekulák mégis megjelennek a spektrális görbén. Emellett 1460 nm-en nem csak a vízmolekulák, hanem a cellulózmolekulák –OH csoportjainak, illetve a ligninmolekulák –CH₂ csoportjai is elkülöníthetők a spektrális görbén. A cellulózmolekulák –OH csoportjainak „jelenléte” az almozásnál alkalmazott szalmapelletre vezethető vissza, mely kis mennyiségben jelen lehetett a komposztált trágyában is. A 7 m/m% zeolittal bekevert prizma esetén (4. melléklet) vizsgált reflektancia görbék esetén is a kontrollhoz hasonló eredményeket kaptam. A nagy mennyiségű zeolít bekeverése mellett sem érzékelhető a reflektanciára való hatása, ugyanis a maximális reflektancia 75% körül mozgott, még a kontroll esetében 78% volt a maximális érték. Jól látható az ábrán, hogy a kontrollhoz viszonyítva a mintavételi napok 2/3-nak a reflektanciája 51% alatti volt, mellyel bizonyítható az, hogy a növekvő zeolít mennyiség hatására a komposzt hamarabb válik éretté, valamint az is, hogy 1000-2500 nm hullámhossz tartományban a zeolít nem befolyásolta a spektrális görbék és a reflektancia alakulását. A kontrollhoz hasonlóan ezen kezelés esetén is meghatározható az 1400-1500 nm és az 1800-2000 nm közötti jellemző görbeszakasz. 1940-1950 nm-en mértem a legalacsonyabb

reflektanciát (1948,615 nm-en 25,24%). A minták közül a legmagasabb reflektanciát a 20. napi minta esetén mértem, mely mintának 1900 nm-ig 50% felett volt a reflektanciája, ez a tendencia a kontroll esetén felsorolt okokra vezethető vissza.

Szakirodalmakat dolgoztam fel azzal kapcsolatban, hogy a közeli infravörös tartományban milyen anyagok spektrális ujjlenyomatai találhatóak meg (19. táblázat).

19. táblázat: 1000-2500 nm hullámhossz tartományban található spektrális jellemzők

Hullámhossz (nm)	Spektrális ujjlenyomat	Szerzők
1367, 1468, 1583 nm	víz molekula –OH csoportja cellulóz, lignin, keményítő	Ben-Dor et al., 1997 Huang et al., 2007 Bishop et al., 1994
1726, 1761, 1769 nm	alifás C-H kötések (cellulóz, lignin, keményítő)	Elvidge, 1990
1200-1300 nm	cellulóz, lignin, keményítő- tartalom + ligninben lévő –CH ₂ csoportok	Williams-Norris, 1987 McLellan et al., 1991
1450 nm	O-H csoportok abszorpciójának helye	Huang et al., 2007
1100, 1600-1800, 2000, 2200- 2400 nm	talaj szerves anyagai, összes nitrogén-tartalom	Ben-Dor-Banin, 1995 Dalal-Henry, 1986
2381 nm	szénhidrátok	Viscama-Rossel-Behrens, 2010
2060, 1500, 1000 nm	aminok	
1930, 1449 nm	karbonsavak	
2033, 1524 nm	amidok	
2137 nm	poliszacharidok	
2335, 2160, 1870-1900 nm	karbonátok	Clark, 1990

Forrás: Saját szerkesztés, 2020

A fenti táblázat alapján megállapítható, hogy a legtöbb feldolgozott szakirodalomban a talaj esetén történő mérésekből vontak le következtetéseket a spektrális görbék alapján, ugyanis a talaj ásványi összetevői adszorbeálják az UV-fényt, a VIS, VIS-NIR és közép-infravörös hullámhosszú fényt is. Emellett több olyan anyag, kötés is található a NIR régióban, melyek több hullámhossz tartományban is detektálhatók, illetve vannak olyan anyagcsoportok, melyek nehezen meghatározhatók. Sok esetben jellemző az, hogy egy-egy anyag spektrális jellemzője nem annyira markáns, nem detektálható egyértelműen, hanem korrelációkkal bizonyítható annak jelenléte.

A reflektancia adatokból bináris kódolással ezen hullámhossz-tartomány esetén is meghatároztam az inflexiós pontok helyeit. Az inflexiós pontok helyzetéből nem lehet olyan következtetéseket levonni 1000-2500 nm hullámhossz tartományban, mint a VIS-NIR régióban. A 1000-2500 nm hullámhossz-tartományban a reflektancia görbéknek több inflexiós pontja is van, melyek minden kezelés és a kontroll esetén is közel azonos helyzetűek, tolódás nem figyelhető meg a zeolit növekvő arányú bekeverésével.

1000-2500 nm hullámhossz tartományban az inflexiós pontok és a komposztokból mért kémiai tulajdonságok közötti összefüggések bizonyítására Pearson-korrelációt végeztem. A Pearson-korrelációból csak a korrelációs együttható értékét kaptam meg, melyet átszámoltam determinációs együtthatóvá (R^2). A kapott R^2 -értékeket a 20. táblázatban mutatom be.

20. táblázat: A vizsgált komposzt prizmák esetén kapott determinációs együttható 1000-2500 nm hullámhossz tartományban

Vizsgált tényezők	Komposzt prizmák elnevezése		
	Kontroll	1 m/m% zeolit	2 m/m% zeolit
Inflexiós pontok - pH	0,49*	0,41*	0,66*
Inflexiós pontok - EC	0,07	0,05	0,07
Inflexiós pontok - hőmérséklet	0,62*	0,59*	0,67*
Inflexiós pontok - nedvességtartalom	0,13	0,06	0,21

Forrás: Saját, 2020; * $p < 0,05$ esetén szignifikáns korreláció

A feldolgozott irodalmak alapján elmondható, hogy többsége a NIR tartományban predikációs modellekkel illetve a korrelációkkal foglalkozik (CHANG et al, 2001; GROENIGER et al, 2003; EHSANI et al, 1999). A NIR-tartományban mért spektrumok és a mért paraméterek közötti R^2 értékek: ásványi nitrogén-tartalom (0,2-0,9 R^2), felvehető kálium-tartalom (0,56-0,83 R^2), kalcium-tartalom (0,75-0,89 R^2), foszfor-tartalom (0,23-0,92 R^2). Az általam mért paraméterek és a NIR tartományban meghatározott inflexiós pontok közötti korrelációkról elmondható, hogy a kémhatás illetve a hőmérséklet esetén tudtam szignifikáns korrelációt kimutatni. Az inflexiós pontok és a kémhatás között közepes pozitív irányú korrelációt, még az inflexiós pontok és a hőmérséklet között szintén közepes erősségű irányú korrelációt tudtam meghatározni. A fajlagos vezetőképesség, valamint a nedvességtartalom esetén gyenge, illetve közepes korrelációt számoltam, azonban $p < 0,05$ mellett nem szignifikáns az összefüggés a vizsgált paraméterek között. Mindezek mellett a kémhatás és a hőmérséklet esetén tudtam szignifikáns korrelációt bizonyítani.

A VIS-NIR tartományban végzett elemzéshez hasonlóan a NIR tartományban is főkomponens analízist végeztem, mely során meghatároztam a főkomponenseket, melyet az alábbi táblázatban (21. táblázat) összegeztem.

21. táblázat: Fizikai-kémiai paraméterekkel összefüggő főkomponensek alakulása a NIR tartományban

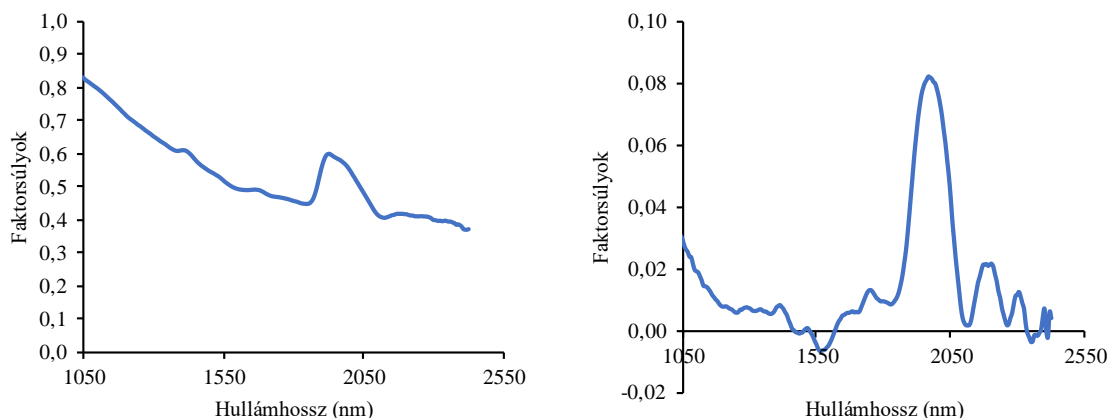
Főkomponensek	Elemszám	Variancia (%)
PC1	213,726	93,33
PC2	8,164	3,565
PC3	3,436	1,500
PC4	1,168	0,510

Forrás: Saját, 2021

A VIS-NIR tartományban végzett főkomponens analízishez hasonlóan 1000-2500 nm hullámhossz tartományban is a PC1 komponens határozza meg a teljes variancia 93,33%-át, a PC2, PC3, PC4 komponensek a variancia mindössze 5,575%-át jelentik.

A NIR tartományban végzett elemzések alapját a talajtani vizsgálatok során alkalmazott módszertan képezte, ugyanis a spektrális adatokból képzett predikciós indexeket talajok esetén a fizikai-kémiai paraméterek becslésére, előrejelzésére is alkalmazhatják. CAPRIEL et al, (1999) a középső infravörös tartományt használták talajok esetén a szén- és nitrogén-tartalmának, valamint a C/N arány előrejelzéséhez. LUDWIG et al, (2008) közeli (NIR) és közép (MIR) infravörös tartományokban (1429-25000 nm) diffúz-reflektancia spektroszkópiát alkalmazva (DRIFT) készített predikciós modelleket. WU et al, (2009) a spektrális görbék első deriváltját használta spektrális görbék feldolgozására. Vizsgálataik során arra a kérdésre keresték a választ, hogy három eltérő tulajdonságokkal rendelkező talaj esetében egy egyszerű, állandó arányossági tényező összefüggésbe hozható-e a különböző nedvességtartalom mellett kapott NIR-spektrumokkal, valamint hogy azonosíthatók-e azok a NIR-spektrumok, amelyeket a nedvességtartalom a legkevésbé befolyásol, és amelyekre más paraméterek, például a szervesanyag-tartalom (SOM) meghatározása alapozható. Eredményeik alapján a NIR-spektrumokban a 1600-1700 nm, 2100-2200 nm és 2300-2500 nm hullámhossztartományok azok a spektrumok, melyek első deriváltja független a talajminták nedvességtartalmától.

A főkomponensek mellett a factorsúlyokat is meghatároztam. A főkomponensek elemzésekor azt tapasztaltam, hogy a vizsgált fizikai-kémiai paraméterek nem ugyanazon főkomponensbe tartoznak, ezért a nedvességtartalom és a hőmérséklet esetén a 2. főkomponensbe tartozó, még a kémhatás és a fajlagos vezetőképesség esetén a 4. főkomponensbe tartozó factorsúlyokkal (18. ábra) dolgoztam.



18. ábra: Különböző hullámhosszok faktorsúlyai a vizsgált fizikai-kémiai paraméterekkel összefüggő 2. (bal oldali ábra) és a 4. főkomponens (jobb oldali ábra) alapján (Forrás: Saját, 2021)

A faktorsúlyok alapján a nedvességtartalom és a hőmérséklet esetén a $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ hányadossal, még a kémhatás és a fajlagos vezetőképesség esetén a $\lambda_{1922}/\lambda_{2127}$ hányadosokkal dolgoztam. A NIR-tartományban predikciós modelleket hoztam létre, melyek eredményeit a következő táblázatban (22. táblázat) mutatok be.

22. táblázat: A NIR-tartományban létrehozott predikciós modellek eredményei

Predikciós modell	R ²	Létrehozott összefüggés	RMSE	NRMSE
Index 1 $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ nedvességtartalom (NT)	0,4980	NT=49,282*NT-6,9059	2,42	5,71%
Index 2 $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ hőmérséklet (H)	0,6512	H= -210,02*H+244,42	7,83	22,47%
Index 3 $\lambda_{1922}/\lambda_{2127}$ kémhatás (pH)	0,4009	pH=-4,1057*pH+11,156	0,28	3,89%
Index 4 $\lambda_{1922}/\lambda_{2127}$ fajlagos vezetőképesség (EC)	0,1360	EC=-9,4741*EC+16,481	1,38	18,11%

Forrás: Saját, 2021

A NIR tartományban a VIS-NIR tartományhoz képest sokkal megbízhatóbb eredményeket kaptam. A legkisebb R² értéket a fajlagos vezetőképesség esetén számítottam (0,1360) és ezen modell esetén a modell által előrejelzett érték és a mért érték közötti NRMSE értéke 18,11% (közepes erősségű) volt, tehát ennyivel tért el a megalkotott modellem a mért értékektől, hiába volt az RMSE értéke 1,38 mS/cm. Ezzel szemben a hőmérséklet és a $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ hányados közötti R² értéke hiába utal szoros összefüggésre a két paraméter között, az NRMSE értéke 22,47% volt, tehát a modellel becsült hőmérséklet értéke 22,47%-kal tér el a mért hőmérséklet értékektől. Emellett a hőmérséklet esetén számítottam a legmagasabb mérési hiba (RMSE) értéket, mely 7,83°C volt.

A nedvességtartalom és a kémhatás esetén számított indexek azonban alkalmasak lehetnek a becslésre. A nedvességtartalom és a $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ hányados közötti R^2 értéke 0,4980 volt, mely pozitív irányú, közepesen erős összefüggésre utal a két paraméter között. Az RMSE (2,42 m/m%) és NRMSE (5,71%) is arra utal, hogy a modell megbízhatóan alkalmazható a nedvességtartalom becslésére. A legjobb értékeket azonban a kémhatás és a $\lambda_{1922}/\lambda_{2127}$ hányados között számítottam, ugyanis a mérési hiba (RMSE) 0,28, még a normalizált RMSE értéke 3,89% volt.

Ezek alapján a NIR-tartományban képzett predikciós indexek közül a nedvességtartalom, kémhatás és fajlagos vezetőképesség modellje alkalmazható az adott paraméter előrejelzésére.

4.3. Komposzt oldatok előállítás, szerves kémiai paramétereinek vizsgálata

Korábbi vizsgálataim alapján bizonyítottam, hogy a levegőztetett és nem levegőztetett komposzt oldatok szerves kémiai paramétereik között nincs szignifikáns különbség, tehát nem oldódik ki több tápanyag a levegőztetés hatására. Ugyanezen következtetésre jutott MOHN DEN et al, (2017) is, akik levegőztetett és nem levegőztetett módon állítottak elő komposzt oldatokat és vizsgálták azok hatását a növényekre. Eredményeik alapján a levegőztetett és nem levegőztetett komposzt oldatok károsítja a tesztnövényre való pozitív hatásait, valamint az oldatok beltartalmi paramétereik között nincsenek szignifikáns különbségek. INGHAM (2005) szerint a levegőztetett oldat amennyiben nem kerül 24 órán belül felhasználásra, nem levegőztetett (anoxikus) komposzt oldattá válik. Ezek alapján kizárólag nem levegőztetett (anoxikus) módon állítottam elő komposzt oldatokat, s ezen oldatok szerves kémiai jellemzőit vizsgáltam laboratóriumi körülmények között. A nem levegőztetett komposzt oldat (non-aerated compost tea, anaerob vagy passzív úton előállított komposzt tea) előállítása során az extrakciót keverés után nem, vagy ha igen csak minimálisan zavarják (SCHEUEREL-MAHAFFEE, 2002). A nem levegőztetett komposzt oldat nem igényel speciális technológiát, előállítása alacsony költségekkel illetve energiafelhasználással jár, még a levegőztetett komposzt oldat előállítása folyamatos keverést illetve levegőztetést igényel (RADOVICH-ARANCON, 2011). Mindezek alapján a célom az volt, hogy meghatározzam azt, hogy melyik az a komposzt:víz arány (a továbbiakban KVA), oldási hőmérséklet, oldási idő kombináció, mellyel magas tápanyagtartalmú oldatot tudok komposztból előállítani. Emellett célom volt továbbá az is, hogy az előállított oldatok szerves kémiai paramétereit és a választott tesztnövények tápanyagigényeit figyelembe véve kiválasszam azt az oldatot, amely talaj-növény rendszerben tesztelésre került.

4.3.1. Komposzt szuszpenziók előállítása tág komposzt:víz arányokkal

A komposzt szuszpenzió előállításának első fázisában 1:10-1:50 KVA közötti oldatokat készítettem, melyek szerves kémiai jellemzőit (kémhatás, fajlagos vezetőképesség (mS/cm), nitrát-, ammónium-, foszfát-, kálium-tartalom (mg/l)) vizsgáltam. A komposzt szuszpenziók előállításának ezen fázisában a KVA és az oldási idő hatását vizsgáltam, az oldási hőmérséklet egységesen 25°C volt.

A 24h oldási idejű komposzt szuszpenziók kémhatása a semleges, illetve az enyhén lúgos tartományban mozgott (pH 7-8,1). Az oldási idő növelésével (48h, 72h) az oldatok pH-ja csökkent, és savanyú irányba tolódott el (pH 6,3-6,7). Ezen eredményekkel összhangban hasonló folyamatról számolt be ISLAM et al, (2016), ahol a komposzt szuszpenziók pH-ja az oldási és tárolási idő előrehaladtával csökkent (pH 8,8-8,1). A ST. MARTIN et al, (2012) által előállított nem levegőztetett komposzt oldatok pH-ja 56h oldási idő után pH 6,08, még 112h oldási idő után pH 5,97 volt. Statisztikai szempontból a 24h és 48h oldási idejű komposzt szuszpenziók esetén vannak szignifikáns különbségek a KVA között, még 72h oldási idő esetén a KVA változásával az oldatok kémhatása nem változott, statisztikailag mindegyik szuszpenzió egy csoportot alkot ($p < 0,05$). A kémhatás oldási idő növelésével történő csökkenése azzal magyarázható, hogy a légköri CO₂, vagy a mikrobiális aktivitás (elsősorban anaerob baktériumok, gombák) (anyagcsere)termékeként keletkező CO₂ a vízben szénssavvá alakult, mely egy gyenge sav, s ez az oldási idő előrehaladásával okozhatja a kémhatás csökkenését. Emellett a pH csökkenése az anaerob körülményekkel is magyarázható, mely rothadáshoz vezetett, valamint az ammónium/ammónia egyensúly eltolódásával is nőhet a savas karakter.

A fajlagos vezetőképességről (mS/cm) elmondható, hogy a KVA növekedésével, azaz az oldat hígulásával a fajlagos vezetőképesség csökkent. Ezek alapján megállapítható, hogy a különböző KVA, illetve oldási idejű komposzt oldatok vezetőképessége eltér egymástól. Az 1:10 arányú oldatok vezetőképessége mutatta a legnagyobb értékeket (12,39 mS/cm), még az 1:50 arányú oldatok esetén nagyságrendekkel kisebb volt a fajlagos vezetőképesség értéke (1,62 mS/cm). A 24h oldási idejű oldatok (kivéve az 1:10 KVA oldatot) vezetőképessége minden esetben alacsonyabb értéket mutatott, mint a 72h oldási idejű oldatok. ST. MARTIN et al, (2012) eredményei alapján a vezetőképesség értéke 3,75-4,86 mS/cm között alakult, azonban KONÉ et al, (2010) különböző alapanyagokból készített komposzt oldatokat, s eredményeik alapján a baromfitrágyából előállított komposzt oldatoknak volt a legmagasabb a fajlagos vezetőképessége. Összességében a nagyobb mennyiségű komposzt alkalmazásával az oldat töményedik, ezzel arányosan nő az oldott anyagok mennyisége, s a vezetőképesség értéke is.

Emellett az oldatban lévő sók vízoldható formában vannak jelen, amely a növények számára felvehető.

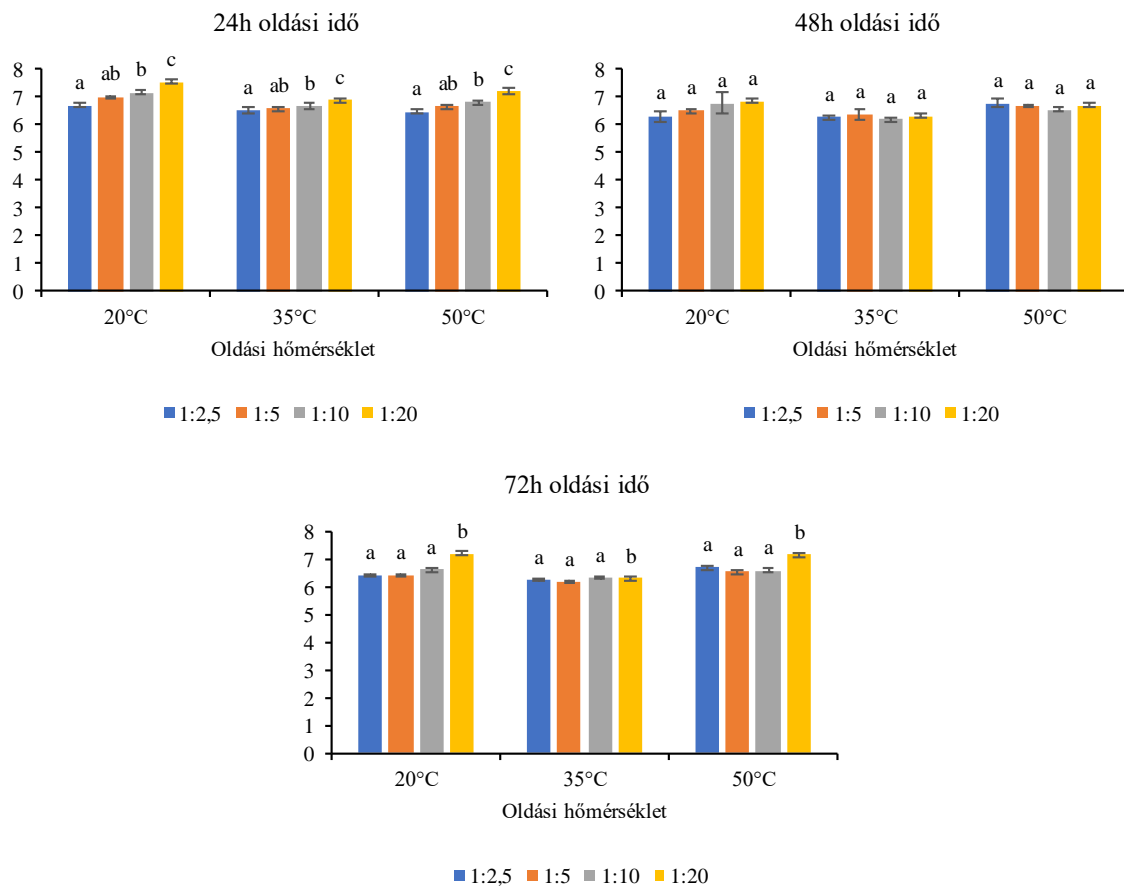
A nitrogén-formák és a fajlagos vezetőképesség esetén számított szoros lineáris összefüggése (R^2 értéke 0,88) alátámasztja, hogy az előállított komposzt oldatban lévő sók közel 90%-át a nitrogén-sók adják. A szerves nitrogén-tartalom értéke 151-580,5 mg/l mozgott, kivételt az 1:10 KVA oldatok jelentettek, ugyanis a 24h, 48h illetve 72h oldási idő mellett a szerves nitrogén-tartalom 1000 mg/l körüli értéken alakult. Mindegyik komposzt oldat esetében elmondható, hogy a nitrogén-tartalom a $\text{NO}_3\text{-N}$ (átlagértéke az oldatokban 90,0 mg/l), és az $\text{NH}_4\text{-N}$ (átlagértéke az oldatban 189,1 mg/l) között oszlik meg, míg a redukált forma, a $\text{NO}_2\text{-N}$ kisebb mennyiségben (átlagértéke az oldatban 0,96 mg/l) volt kimutatható a vizsgált oldatokban. Növénytáplálás szempontjából fontosak a különböző nitrogén-formák, a növény a nitrogént mind nitrát-, mind pedig ammónium-ion formájában képes felvenni. Az azonban lényeges, hogy a nitrogén minél inkább NH_4 -tartalom formájában legyen elérhető, ugyanis az ammónium a talajban sokkal stabilabb, erősebben képes a negatív töltésű talajrészecskékhez kötődni, mint a nitrát (NO_3^-). A nitrát a talajaggregátumokhoz kisebb abszorpciós energiával kötődik, ezért jelenthet jelentősebb talajvízszennyezési kockázatot. A kálium és az ammónium-nitrogén közötti erős lineáris regresszió (R^2 értéke 0,81) azzal magyarázható, hogy a nem levegőztetett oldatokban kialakult oxidatív körülmények hatására a szerves anyag bomlási folyamatok indultak el.

Az 1:10 és 1:20 KVA esetén nagyságrendekkel magasabb volt a kálium-koncentráció, mint az 1:30-1:50 KVA esetén, azonban az oldási idő előrehaladtával a komposztból kioldódott kálium-koncentráció csökkent. Az 1:10 KVA oldat esetén 24h oldási idő elteltével hatszor-, még 48h és 72h oldási idő elteltével mindössze háromszor-négyszer volt magasabb a kálium-koncentráció a nitrogénhez képest. A KVA növekedésével a foszfor-pentoxid-koncentráció nőtt, az 1:50 KVA oldatban háromszor annyi foszfor-pentoxidot mértem, mint az 1:30 KVA oldatban. A vízoldható nitrogén-koncentráció az oldatokban nagyon alacsony, amely az alacsony oldási hőmérséklettel is magyarázható. A KVA esetén az figyelhető meg a tápanyagtartalmat figyelembe véve, hogy az 1:10 KVA oldat a legtöményebb, mint az 1:50 KVA oldat a leghígabb a vizsgált KVA-k között.

4.3.2. Komposzt szuszpenzió előállítás a szűkített arányokkal

Az oldatok előállításának második szakaszában szűkítettem a komposzt:víz arányát (KVA), és az oldási idő mellett az oldási hőmérsékletben is változtattam, ugyanis arra számítottam, hogy az oldási hőmérséklet növelésével magasabb tápanyagtartalmú oldatokat tudok előállítani. A KVA szűkítését PANT (2011) vizsgálatai is megerősítették, ugyanis 1:10-1:100 KVA oldatokat

állított elő és vizsgálata azok hatását vizsgálta talaj-növény rendszerben. Eredményei alapján a legjobb hatású oldatok az 1:10 és 1:20 KVA oldatok voltak, melyek hatására a növények tápanyagellátottsága, összes karotinoid-tartalma, nitrogén-tartalma, illetve a talaj mikrobiális aktivitása jobb volt a többi tesztelt oldathoz képest. Ezek alapján a szűkített arányú oldatok előállításához (a tág arányú komposzt oldatokhoz hasonlóan) ioncserélt vizet használtam, mint gyenge ágens és 1:2,5-1:20 KVA oldatokat állítottam elő. A vizsgált paraméterek megegyeztek a tág arányú komposzt oldatok esetén vizsgáltakkal. Az 1:2,5 KVA esetén az oldatok magas konzisztenciája miatt folyadék fázis nem volt kinyerhető, ezért ezen arány esetén a tápanyagtartalom vizsgálatokra nem volt lehetőségem, csak a kémhatást és a fajlagos vezetőképességet (mS/cm) vizsgáltam az oldási idő és az oldási hőmérséklet függvényében, mely paramétereket mindegyik oldat esetén (a jobb összehasonlíthatóság érdekében) egy-egy diagramban ábrázoltam (19. ábra).

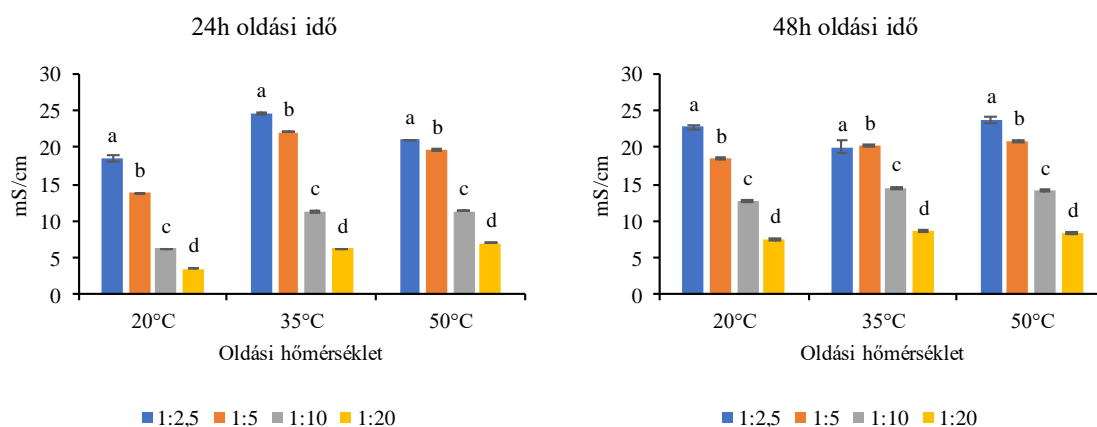


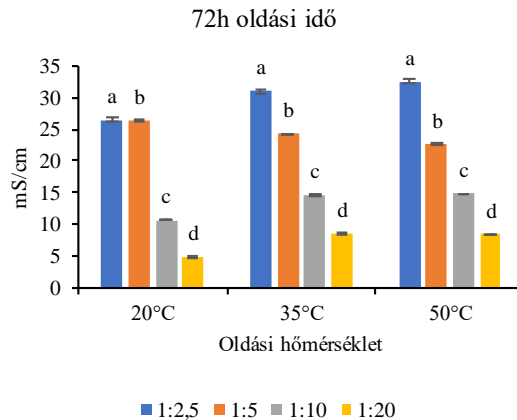
19. ábra: Kémhatás alakulása az oldási idő és az oldási hőmérséklet függvényében 1:2,5-1:10 KVA komposzt szuszpenzió esetén (Forrás: Saját, 2020)

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség (p<0,05)

A kémhatás alakulásáról elmondható, hogy a tág arányú komposzt oldatokhoz hasonlóan ezen komposzt oldatoknál is az oldási idő előrehaladtával a kémhatás csökkent. A kémhatás értékek

24h oldási idő esetén pH 6,47-7,54; 48h oldási idő esetén pH 6,18-6,85, még 72h oldási idő esetén pH 6,17-7,18 között alakultak. Ezek alapján elmondható, hogy az oldási idő (oldási hőmérséklettől és KVA-tól eltekintve) befolyásolja az oldatok kémhatásának alakulását. Az egyes oldási hőmérsékleteken belül a 24h oldási idő esetén szignifikáns különbségek vannak a különböző KVA oldatok kémhatása között. 48h oldási idő esetén az oldási idő nem, még az oldási hőmérséklet befolyásolja a pH alakulását. A különböző oldási hőmérsékleteken (20°C, 35°C, 50°C) belül az egyes KVA-k között nincsenek szignifikáns különbségek. 72h oldási idő esetén mindhárom oldási hőmérsékleten az 1:20 KVA oldatok különböznek szignifikánsan a többi KVA oldattól, ugyanis ezen oldat kémhatása magasabb (lúgosabb) volt. Az alapanyagként alkalmazott komposzt kémhatása (10%-os vizes kivonatban) pH 7,8 volt. Ehhez képest az oldatok kémhatása szignifikánsan csökkent. A kémhatás csökkenése azzal magyarázható, hogy a szerves anyag (komposzt) bomlása során olyan anyagok keletkeztek, melyek csökkentették a kémhatást az oldási idő előrehaladtával. A kémhatás vizsgálatokor ismételt mérési modell alkalmazásával bebizonyítottam, hogy az oldási idő, az oldási hőmérséklet és az oldási idő:oldási hőmérséklet kölcsönhatása egyaránt szignifikánsan befolyásolja a komposzt oldatok kémhatásának alakulását. A fajlagos vezetőképesség alakulását a 20. ábrán szemléltetem az oldási idő és oldási hőmérséklet függvényében.



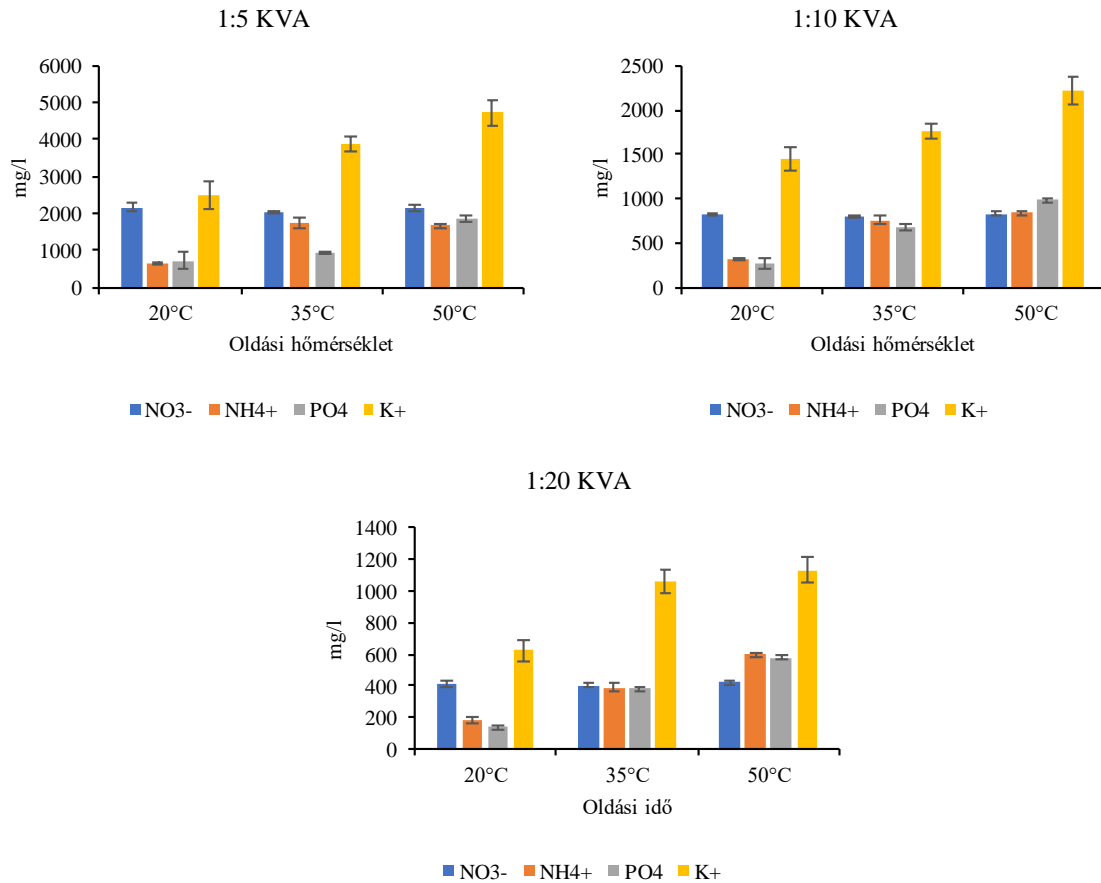


20. ábra: Fajlagos vezetőképesség alakulása az oldási idő és oldási hőmérséklet függvényében 1:2,5-1:10 KVA komposzt szuszpenziók esetén (Forrás: Saját, 2020)

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A komposzt oldatok fajlagos vezetőképességéről elmondható, hogy az oldási hőmérséklet növekedésével az oldatok vezetőképessége nőtt mindegyik KVA esetén. Az 50°C oldási idejű oldatok fajlagos vezetőképessége nagyobb volt, még az 1:20 KVA oldatok esetében is. A vezetőképesség alakulásánál megfigyelhető, hogy szignifikánsan különbözik az oldatok EC-értéke mindhárom oldási idő és oldási hőmérséklet, valamint a KVA változásának hatására is. A fajlagos vezetőképesség esetén ismételt mérési modellt is lefuttattam annak érdekében, hogy statisztikailag is megállapítsam, hogy melyik az a tényező, amely (szignifikánsan) befolyásolja az értékek alakulását. Ezek alapján mind az oldási idő, mind az oldási hőmérséklet, mind az oldási idő:oldási hőmérséklet kölcsönhatás szignifikánsan befolyásolja az oldatok fajlagos vezetőképességét ($p < 0,05$). VEHWAL et al, (2020) a KVA, a hőmérséklet és a tárolási idő hatását vizsgálta a komposzt oldatok kémiai paramétereinek alakulására. Eredményeik alapján a fajlagos vezetőképesség értéke lineárisan növekedett a komposzt oldatok töményedésével, még a KVA csökkenésével a vezetőképesség értéke nő. Emellett bebizonyították, hogy a tárolási hőmérséklet szignifikánsan befolyásolta az oldatok fajlagos vezetőképességét. Ezek alapján elmondható, hogy nem csak a tárolási hőmérséklet, hanem az oldási hőmérséklet is szignifikánsan befolyásolja az oldatok vezetőképességének alakulását, ugyanis ISLAM et al, (2016) rámutatott arra, hogy az oldási, illetve tárolási hőmérséklet növekedése a viszkozitás csökkenését és az ionok koncentrációjának, valamint mobilitásának növekedését okozhatja.

A szűkített arányú komposzt oldatok tápanyagtartalmának alakulásakor az oldatokat oldási időnként csoportosítva mutatom be a könnyebb áttekinthetőség érdekében. A 24h oldási idő esetén mért tápanyagtartalom vizsgálatok eredményeit eltérő KVA-k esetén a 21. ábrán mutatom be.



21. ábra: A 24h oldási idejű komposzt szuszpenziók tápanyagtartalmának alakulása különböző KVA és oldási hőmérséklet esetén (Forrás: Saját, 2020)

24h oldási időt követően a két vizsgált nitrogénforma közül a nitrát-koncentrációja volt a magasabb. A magas (400-2150 mg/l) nitrát-koncentráció azt támasztja alá, hogy a komposzt szuszpenziók előállításakor a komposzt oldatokban se nem anaerob, se nem anoxikus körülmények nem alakultak ki, ugyanis egy anaerob vagy anoxikus közegben kén-hidrogén, és különböző redukált nitrogén-formák keletkeznek, még a nitrát-koncentrációja oxidatív körülményekre utal. A foszfát-koncentrációja az oldási idővel együtt nőtt, a legmagasabb koncentrációja mindegyik KVA esetén az 50°C oldási hőmérsékletű szuszpenziókban volt mérhető. Az alacsony foszfát-koncentráció az alapanyagban is alacsony foszfát-koncentrációval, valamint azzal magyarázható, hogy a foszfát-ion savanyú közegben jobban oldódik, ezért figyelhető meg az a tendencia, hogy a növekvő oldási idő hatására a foszfát-koncentráció nőtt, ugyanis a szuszpenziók kémhatása az idő előrehaladtával csökkent. A kálium-koncentrációja 24h oldási idő esetén az oldási hőmérséklet növelésével nőtt: 20°C-on koncentrációja 2500 mg/l, még 50°C-on koncentrációja 4722,22 mg/l volt. A magas kálium-koncentráció azzal magyarázható, hogy a kálium jól oldódik vizes közegben, és semleges kémhatású oldatokban egyaránt. A növekvő oldási idővel a már 24h oldási idő után kialakult

tendenciák nem változtak markánsan/szignifikánsan, ugyanis a vizsgált tápanyagok többsége esetén hígulási effektus lépett fel.

4.3.2.1. Korreláció vizsgálatok

A komposzt szuszpenziókban mért kémiai komponensek közötti kapcsolat feltárásához Pearson-féle korrelációs mátrixot alkalmaztam ($p < 0,05$). Értékeltem a kémhatás, fajlagos vezetőképesség (EC, mS/cm), nitrát-, ammónium-, foszfát- és kálium-koncentráció (mg/l) közötti kapcsolat alakulását a komposzt oldatokban komposzt:víz arányonként. A korrelációs mátrix alapján elmondható, hogy a legtöbb esetben szignifikáns összefüggéseket tudtam bebizonyítani a komposzt szuszpenziókban mért szerves kémiai paraméterek között (23. táblázat).

23. táblázat: 1:5 KVA komposzt szuszpenziók esetén kapott korrelációs mátrix

<i>Paraméter</i>	<i>pH</i>	<i>EC (mS/cm)</i>	<i>NO₃⁻ (mg/l)</i>	<i>NH₄⁺ (mg/l)</i>	<i>PO₄³⁻ (mg/l)</i>	<i>K⁺ (mg/l)</i>
<i>pH</i>	-	-0,95*	-0,41*	-0,96*	-0,45*	-0,79*
<i>EC (mS/cm)</i>		-	-0,44*	0,96*	0,36	0,74*
<i>NO₃⁻ (mg/l)</i>			-	-0,39*	0,04	-0,05
<i>NH₄⁺ (mg/l)</i>				-	0,55*	0,85*
<i>PO₄³⁻ (mg/l)</i>					-	0,8*
<i>K⁺ (mg/l)</i>						-

Forrás: Saját, 2020; * $p < 0,05$ esetén szignifikáns korreláció

Negatív irányú, de szoros összefüggést találtam a kémhatás és a fajlagos vezetőképesség ($r = -0,95$) között, amely a két paraméter közötti fordított arányosságra utal. A növényi tápanyagok esetén figyelembe kell venni a kémhatást is, mely kulcsfontosságú tényező, ugyanis szabályozza, befolyásolja a tápanyagok oldhatóságát, felvehetőségét (BRATEK et al, 2013). A kémhatás esetében minden paraméterrel ki tudtam mutatni a korrelációt, amely szignifikáns is 5% szignifikancia szinten. A kémhatás és a fajlagos vezetőképesség között fennálló szignifikáns, negatív irányú korreláció fordított arányosságra utal a két paraméter között, ugyanis még az szuszpenziók fajlagos vezetőképessége a szuszpenzióban lévő összes ion koncentrációjától függ, addig a kémhatás a szuszpenzióban lévő oxónium ion koncentrációjától. Azon oldat, melynek kémhatás savanyú, fajlagos vezetőképessége magas lesz, ugyanis ahogy csökken a pH, úgy nő az oxónium-ionok koncentrációja, s a közeg savanyodásának hatására megnövekvő oxónium-ion koncentrációnak pozitív hatása van a vezetőképesség alakulására. Szintén negatív irányú a korrelációs együttható a kémhatás és az ammónium-koncentráció között ($r = -0,96$), valamint a fajlagos vezetőképesség és az

ammónium-koncentráció esetén ($r=0,96$). Mindhárom összefüggés szignifikáns és függvényszerű kapcsolatra utal a vizsgált paraméterek között. A töményebb (1:5 KVA) szuszpenziókban az ammónium és a nitrát-koncentráció között egy közepes negatív irányú korreláció figyelhető meg, mely az 1:10, 1:20 KVA szuszpenziók esetén már gyenge pozitív irányú kapcsolatként jelentkezik (24. táblázat). A töményebb szuszpenziók esetén az ammónium-koncentráció növekedésével a nitrát-koncentrációja csökkent.

24. táblázat: 1:10 KVA kompozit szuszpenziók esetén kapott korrelációs mátrix

<i>Paraméter</i>	<i>pH</i>	<i>EC</i> (<i>mS/cm</i>)	<i>NO₃⁻</i> (<i>mg/l</i>)	<i>NH₄⁺</i> (<i>mg/l</i>)	<i>PO₄³⁻</i> (<i>mg/l</i>)	<i>K⁺</i> (<i>mg/l</i>)
<i>pH</i>	-	-0,76*	-0,24*	-0,55*	-0,52*	-0,15*
<i>EC (mS/cm)</i>		-	0,54*	0,72*	0,64*	0,39
<i>NO₃⁻ (mg/l)</i>			-	0,16*	0,14	-0,07
<i>NH₄⁺ (mg/l)</i>				-	0,88*	0,78*
<i>PO₄³⁻ (mg/l)</i>					-	0,71*
<i>K⁺ (mg/l)</i>						-

Forrás: Saját, 2020; * $p < 0,05$ esetén szignifikáns korreláció

A fajlagos vezetőképesség (mS/cm) és az ammónium-koncentráció (mg/l) közötti magas korrelációs együttható alapján arra következtettek, hogy a tág KVA kompozit szuszpenziókhoz hasonlóan a szűk KVA kompozit oldatok esetén is a vízben oldható sók jelentős részét ammónium-sók adják. A korrelációs mátrix alapján elmondható, hogy a fajlagos vezetőképesség alakulását a kompozit szuszpenziókban lévő ammónium- és kálium-koncentráció nagyban meghatározza (25. táblázat).

25. táblázat: 1:20 KVA kompozit szuszpenziók esetén kapott korrelációs mátrix

<i>Paraméter</i>	<i>pH</i>	<i>EC</i> (<i>mS/cm</i>)	<i>NO₃⁻</i> (<i>mg/l</i>)	<i>NH₄⁺</i> (<i>mg/l</i>)	<i>PO₄³⁻</i> (<i>mg/l</i>)	<i>K⁺</i> (<i>mg/l</i>)
<i>pH</i>	-	-0,74*	-0,43*	-0,56*	-0,7*	0,64*
<i>EC (mS/cm)</i>		-	0,49*	0,68*	0,73	0,58*
<i>NO₃⁻ (mg/l)</i>			-	0,26*	0,31	0,28
<i>NH₄⁺ (mg/l)</i>				-	0,96*	0,87*
<i>PO₄³⁻ (mg/l)</i>					-	0,88*
<i>K⁺ (mg/l)</i>						-

Forrás: Saját, 2020; * $p < 0,05$ szignifikáns korreláció

Mindhárom KVA esetén a korrelációs mátrixban lévő változók közötti korrelációk többsége szignifikáns összefüggésre utal $p < 0,05$ szignifikancia szinten. Jelentős a foszfát és az ammónium-koncentráció közötti korreláció ($r=0,96$), valamint a kálium és az ammónium- ($r=0,87$), valamint foszfát-koncentráció közötti korreláció ($r=0,88$) is. Emellett mindhárom KVA korrelációs mátrixában három korreláció az, amelyik nem szignifikáns: a foszfát-koncentráció és a fajlagos vezetőképesség közötti ($r=0,73$), a foszfát-koncentráció és a nitrát-koncentráció közötti ($r=0,31$), valamint a kálium-koncentráció és a nitrát-koncentráció közötti korreláció ($r=0,28$).

4.3.3. Komposzt szuszpenziók tesztelése káposzta tesztnövényen

A káposzta (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* provar. *capitata* Dutch, fajtája: Autumn Queen F1) tesztnövény esetén kétféle talajjal dolgoztam: homoktalajjal és humuszos homoktalajjal. Az eredményeket mind a növényi biomassza, mind a talaj vizsgálata esetén úgy ábrázoltam, hogy a két felszámolási időt egy ábrában illetve táblázatban mutatom be annak érdekében, hogy összevethetőek legyenek a felszámolási időnként illetve az alkalmazott szuszpenzióként kapott eredmények.

A homoktalajon nevelt káposzta esetén kapott eredményeket négy és nyolc hetes felszámolás, I. szuszpenzióval történő öntözés esetén a 26. táblázatban mutatom be.

26. táblázat: Homoktalajon nevelt káposzta tesztnövény esetén kapott eredmények 4 és 8 hetes felszámolás I. szuszpenzióval történő öntözés esetén

	Kezelés	Levélszám (db)	Hajtás-hossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Összes klorofill-tartalom ($\mu\text{g/g}$)	Összes karotinoid-tartalom ($\mu\text{g/g}$)
4 hetes felszámolás	Kontroll	11,66ab $\pm 0,50$	9,66c $\pm 0,28$	4,86c $\pm 0,50$	0,77a $\pm 0,01$	3,37a $\pm 0,22$	1481,30a $\pm 113,89$	243,21a $\pm 7,54$
	1. dózis	11,66ab $\pm 0,57ab$	10,50abc $\pm 0,00$	5,86b $\pm 0,63$	0,77a $\pm 0,01$	3,53a $\pm 0,23$	1394,28a $\pm 68,07$	250,89a $\pm 14,22$
	2. dózis	13,00ab $\pm 2,00$	10,00bc $\pm 0,86$	6,80b $\pm 0,88$	0,77a $\pm 0,01$	3,44a $\pm 0,19$	1528,28a $\pm 49,33$	267,94a $\pm 21,48$
8 hetes felszámolás	Kontroll	10,00b $\pm 1,73$	10,16abc $\pm 1,04$	4,74c $\pm 0,23$	0,72a $\pm 0,04$	2,68a $\pm 0,59$	1197,52a $\pm 269,88$	190,68a $\pm 69,37$
	1. dózis	14,00a $\pm 2,82$	13,33ab $\pm 3,05$	9,27ab $\pm 4,11$	0,76a $\pm 0,02$	3,25a $\pm 0,48$	1441,31a $\pm 54,41$	241,35a $\pm 17,37$
	2. dózis	14,00a $\pm 1,00$	11,66a $\pm 0,57$	11,48a $\pm 3,26$	0,77a $\pm 0,01$	3,45a $\pm 0,23$	1308,28a $\pm 306,88$	200,59a $\pm 68,73$

Forrás: Saját, 2020

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

Az eredmények alapján elmondható, hogy a vizsgált paraméterek esetében szignifikáns különbségek vannak a 4. és 8. heti felszámolások között. Levélszám esetén a 4. heti felszámolásnál nem voltak statisztikailag igazolható különbségek a kezelések között, azonban a 8. hétre már a kontroll és a kezelt növények között szignifikáns különbségek voltak. Négy

hetet követően a 2. dózis, nyolc hetet követően pedig mind az 1., mind pedig a 2. dózis eredményes volt levélszám, teljes hossz és teljes zöldtömeg tekintetében.

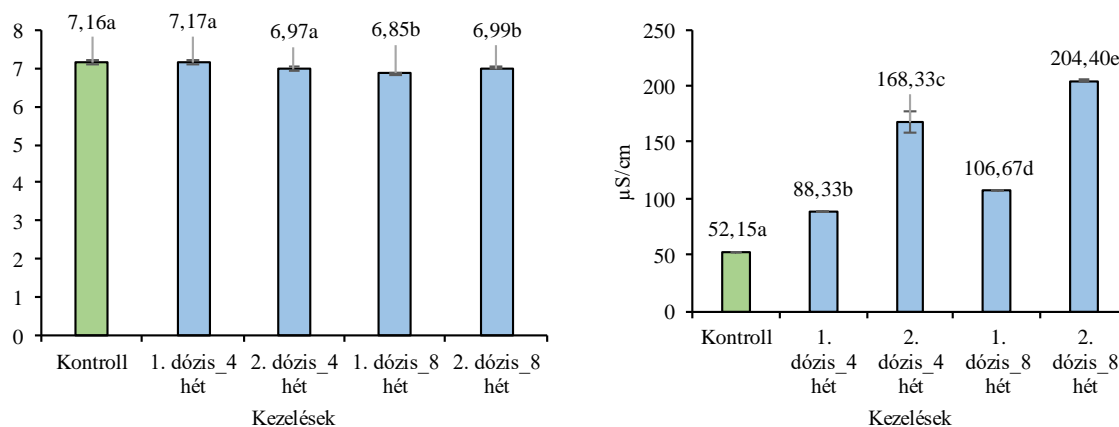
A fotoszintetikus apparátus két állapotjelzője az Fv/Fm és az Fv/Fo hányadosok, melyeket a fotoszintetikus elektrontranszpor állapotát jellemző paraméterek közé sorolhatjuk (KÉRI-SCHMIDTHOFFER, 2018). Meghatározásukhoz figyelembe vettem az alap fluoreszcenciát (vagy O-pontot) (Fo), majd adott fényimpulzus után mértem meg a maximális fluoreszcenciát (Fm) illetve a változó fluoreszcenciát (Fv), s ezután számítottam az Fv/Fm hányadost. BJÖRKMANN-DEMMING és ADAMS (1987) szerint az Fv/Fm hányados értéke ~0,832 azon növények esetében, amelyek optimális fejlődési körülmények között növekednek, fejlődnek, MAXWELL-JOHNSON (2000) vizsgálatai alapján pedig az Fv/Fm értéke 0,79-0,84 között utal egészséges, stresszmentes növényzetre, ezen tartománytól alacsonyabb érték pedig növényi stresszre. VERES et al, (2012) búza esetében vizsgálták, hogy a változó kijuttatási idejű és adagú nitrogén-trágyázás hatására hogyan változik a növények Fv/Fm értéke, azaz a potenciális fotokémiai aktivitása. Eredményeik alapján a kontroll esetén az Fv/Fm értéke ~0,74 alakult, még a nagyobb nitrogén adagok hatására nem növekedett arányosan az Fv/Fm értéke, ugyanis ha a növény túl sok nitrogént kap, a fotokémiai aktivitás csökken.

Esetemben az Fv/Fm értéke mindegyik kezelés és felszámolási idő esetén 0,72-0,77 között alakult, és szignifikáns különbségek nem voltak a kezeléseket, valamint a felszámolási idők között, ezek alapján tehát elmondható, hogy minimális stresszhatás érte a tesztnövényeket, illetve az oldattal való öntözés hatással volt a fotoszintetikus apparátusra is. Az Fv/Fo értékek esetén sem tudtam szignifikáns különbségeket kimutatni sem a kezeléseket, sem pedig a felszámolási idők között. A legalacsonyabb Fv/Fo értéket a nyolc hetes kontrollok esetén mértem ($2,68 \pm 0,59$), amely kezelés esetén a legalacsonyabb Fv/Fm értéket is mértem ($0,72 \pm 0,04$), mely a növényekben korai stressz jeleit tudtam ily módon kimutatni, amely a tápanyaghiánnyal, elsősorban foszforhiánnyal magyarázható.

A tesztnövények összes-klorofill és összes-karotinoid-tartalmát ($\mu\text{g/g}$) is meghatároztam. Az összes-klorofill-tartalom esetén elmondható, hogy statisztikailag a kezeléseket tekintve nincsenek szignifikáns különbségek a négy és a nyolc hetes felszámolások között ($p < 0,05$), ezzel szemben mégis megfigyelhető, hogy a negyedik és nyolcadik heti felszámolások átlagos értékei eltérnek egymástól. A negyedik heti felszámolás során $1467,95 \pm 77,09 \mu\text{g/g}$, még a nyolcadik heti felszámolás során $1315,70 \pm 210,35 \mu\text{g/g}$ volt az összes klorofill-tartalom, mely alapján megállapítható, hogy a felszámolási idők között csökkent a klorofill-tartalom ($-152,25 \mu\text{g/g}$). A nyolcadik heti felszámolás 2. dózisán kívül mindegyik kezelés meghaladta a kontroll összes-klorofill-tartalmát, a legmagasabb összes-klorofill-tartalmat a negyedik heti felszámolás

2. dózisa esetén mértem ($1528,29 \pm 49,33 \mu\text{g/g}$). Az összes-karotinoid-tartalom ($\mu\text{g/g}$) esetén sincsenek szignifikáns különbségek a különböző kezelések és a felszámolási idők között. Az összes-klorofill tartalomhoz hasonlóan ebben az esetben is a legmagasabb karotinoid-tartalmat a negyedik heti felszámolás 2. dózisa esetén kaptam ($267,94 \mu\text{g/g}$), még a legalacsonyabb értéket a nyolcadik heti felszámolás 2. dózisa esetén ($200,59 \mu\text{g/g}$). Az összes karotinoid-tartalom átlagos értékeit tekintve elmondható, hogy az összes klorofill-tartalomhoz hasonlóan ezen paraméter esetében is csökkenés figyelhető meg a felszámolási idők között ($-43,40 \mu\text{g/g}$). A negyedik heti felszámolás során $254,01 \pm 14,41 \mu\text{g/g}$, még a nyolcadik heti felszámolás során $210,87 \pm 51,82 \mu\text{g/g}$ volt az átlagérték. HUSSEIN et al, (2006) és KOPSELL et al, (2007) vizsgálatai szerint a magasabb összes karotinoid mennyisége a nagyobb trágyaadagokkal, illetve a növény által nagyobb mennyiségben felvehető nitrogén adagokkal magyarázhatók. Vizsgálataik alapján a levegőztetett és a nem levegőztetett komposzt oldatok alkalmazásakor megnövekedett összes karotinoid-tartalomban nem volt szignifikáns különbség az oldatok között.

A növényi paraméterek mellett az I. szuszpenzióval öntözött tenyészedényes kísérletek talajainál megmértem a kémhatás és a fajlagos vezetőképességet (mS/cm) (22. ábra).



22. ábra: Homoktalajon nevelt káposzta I. szuszpenzióval történő öntözés, 4 és 8 hetes felszámolás esetén kapott kémhatás (a) és fajlagos vezetőképesség (b) eredmények (Forrás: Saját, 2020)

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

Homoktalaj esetén (22. ábra) a kontrollhoz képest négy hét és nyolc hét felszámolási idő után a kémhatás semleges volt. Statisztikailag a kontroll, a negyedik heti 1. és 2. dózis egy csoportot, még a nyolcadik heti 1. és 2. dózis szintén egy csoportot alkot ($p < 0,05$). Nyolc hetet követően a kémhatás csökkent ($-0,17$ - $0,31$ pH-értékkal), amely a szerves trágyák talajban történő átalakulásakor jellemző talajsavanyodással is magyarázható. LOCH-NOSTICZIUS (2004) szerint ugyanis a nitrifikáció során hidrogén-ionok termelődnek, melyek fokozhatják a

savanyodást. Kísérletemben ez úgy következhetett be, hogy a komposzt oldat, mellyel öntöztem a teszt növényeket, adott NPK-tartalommal rendelkezik, mely ahhoz vezet, hogy a talajban kiegyensúlyozatlanná válhatna a tápelem-arányok. A kiegyensúlyozatlan tápelem-arányok kialakulása egy-egy elem túladagolásával magyarázhatók. A fajlagos vezetőképesség (mS/cm) eredmények alapján megfigyelhető, hogy a kontrollhoz képest (52,15 mS/cm) a kezelések hatására milyen nagymértékben megnőtt a talaj vezetőképesség értéke. A negyedik heti felszámolás esetén az 1. dózis esetén +36,18 mS/cm-rel, még a 2. dózis esetén +116,18 mS/cm-rel nőtt a fajlagos vezetőképesség értéke. A nyolcadik heti felszámolást követően az 1. dózisnál közel kétszer akkora volt a fajlagos vezetőképesség (+54,52 mS/cm-rel több), még a 2. dózisnál +152,25 mS/cm-rel nőtt a fajlagos vezetőképesség. Statisztikai szempontból mindegyik kezelés szignifikánsan különbözik a kontrolltól ($p < 0,05$).

A II. szuszpenzióval történő kezelés, homoktalaj esetén kapott eredményeket a 27. táblázatban mutatom be.

27. táblázat: Homoktalajon nevelt káposzta teszt növény esetén kapott eredmények 4 és 8 hetes felszámolás II. szuszpenzióval történő öntözés esetén

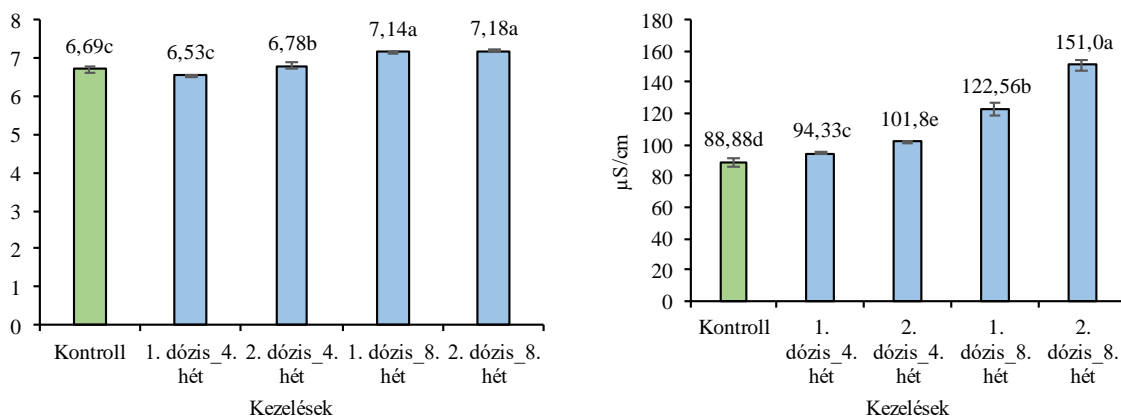
	Kezelések	Levélszám (db)	Hajtás-hossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Összes klorofill-tartalom ($\mu\text{g/g}$)	Összes karotinoid-tartalom ($\mu\text{g/g}$)
4 hetes felszámolás	Kontroll	11,66a $\pm 1,15$	9,16b $\pm 0,57$	6,16ab $\pm 1,25$	0,52a $\pm 0,10$	1,17c $\pm 0,48$	1566,22ab $\pm 31,86$	273,57ab $\pm 5,92$
	1. dózis	13,33a $\pm 2,08$	8,83b $\pm 0,28$	6,13ab $\pm 0,86$	0,76a $\pm 0,20$	3,30ab $\pm 0,36$	2115,51a $\pm 395,52$	372,91ab $\pm 86,18$
	2. dózis	12,0a $\pm 2,64$	9,83ab $\pm 1,04$	5,40ab $\pm 3,04$	0,68a $\pm 0,01$	2,15bc $\pm 0,01$	2292,61a $\pm 265,3$	412,02a $\pm 47,131$
8 hetes felszámolás	Kontroll	7,66b $\pm 1,54$	9,5ab $\pm 0,55$	4,15b $\pm 0,17$	0,73a $\pm 0,03$	2,97ab $\pm 0,43$	940,25b $\pm 92,75$	164,14b $\pm 18,06$
	1. dózis	7,66b $\pm 1,52$	11,0a $\pm 0,55$	8,30ab $\pm 0,95$	0,77a $\pm 0,01$	3,52a $\pm 0,30$	1579,21ab $\pm 234,06$	257,33ab $\pm 56,62$
	2. dózis	12,0a $\pm 3,00$	9,5ab $\pm 1,32$	9,34a $\pm 4,56$	0,53a $\pm 0,44$	2,45bc $\pm 2,12$	2128,32a $\pm 1032,45$	391,63a $\pm 260,94$

Forrás: Saját, 2020

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A II. szuszpenzióval történő öntözésről elmondható, hogy az Fv/Fm és az Fv/Fo kivételével minden vizsgált paraméter esetén szignifikáns különbségeket tudtam bizonyítani a kezelések, illetve a felszámolási idők között ($p < 0,05$), emellett az is elmondható, hogy a kontrollok (mind a 4., mind pedig a 8. heti felszámolás esetén) minden paraméterben elmaradnak a komposzt szuszpenzióval kezelt növényektől. Levélszám esetén a 4. heti felszámolás során az 1. dózis (kontrollhoz képest +1,67 db levél), még a 8. heti felszámolás során a 2. dózis (kontrollhoz képest +4,34 db levél) volt eredményesebb, a legkisebb levélszámot a 8. heti kontroll esetén kaptam, s ezen kezelés statisztikailag egy csoportot alkot a 8. heti felszámolás 1. dózisával.

Hajtáshosszban a 4. heti felszámoláskor a 2. dózis (9,83 cm), a 8. heti felszámoláskor az 1. dózis (11,0 cm) volt eredményesebb. Teljes zöldtömeg esetén a legnagyobb (8. heti felszámolás 2. dózis: 9,34 g) és a legkisebb érték (8. heti felszámolás kontroll: 4,15 g) között volt szignifikáns különbség, statisztikailag a 4. heti felszámolás egy csoportot alkot. Az Fv/Fm és az Fv/Fo értékek esetén nem tudtam szignifikáns különbségeket kimutatni sem a kezelések, sem pedig a felszámolási idők között. A legalacsonyabb Fv/Fm értéket a negyedik heti felszámolás kontroll esetén mértem ($0,52 \pm 0,10$), amely kezelés esetén a legalacsonyabb Fv/Fo értéket is mértem ($1,17 \pm 0,48$). A káposzta tesztnövény összes klorofill-tartalma a 4. heti felszámolás esetén átlagosan $1991,44 \pm 230,89 \mu\text{g/g}$ volt, még a 8. heti felszámolás esetén átlagosan $1549,26 \pm 453,08 \mu\text{g/g}$ volt. A két felszámolási idő között $442,18 \mu\text{g/g}$ -mal csökkent az összes klorofill-tartalom, mely alapján a II. komposzt szuszpenzióval történő 8 hetes öntözés hatására stresszhatás érte a növényeket (talajoldat töményedése), ugyanis az abiotikus és biotikus stressz hatással van a növényi pigmentekre, s csökkenni kezdenek. Az összes karotinoid-tartalomnál hasonló tendencia figyelhető meg. 4 hetes felszámolás esetén a karotinoid-tartalom $352,83 \pm 46,41 \mu\text{g/g}$ volt, még a 8 hetes felszámoláskor átlagértéke $271,03 \pm 111,87 \mu\text{g/g}$ volt. A kezelések hatására a kontrollhoz képest az összes klorofill- és karotinoid-tartalom egyaránt nőtt.



23. ábra: Homoktalajon nevelt káposzta II. szuszpenzióval történő öntözés, 4 és 8 hetes felszámolás esetén kapott kémhatás (a) és fajlagos vezetőképesség (b) eredmények (Forrás: Saját, 2020)

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A homoktalaj kémhatásáról (23. ábra) elmondható, hogy a kezelések hatására szignifikáns különbségeket tudtam bizonyítani. A nyolcadik heti felszámolások talajainak kémhatásra statisztikailag egy csoportot alkot, de szignifikánsan különböztek a kontrolltól, illetve a kezelésektől. A tenyészedényes kísérlet talajairól elmondható, hogy a komposzt szuszpenzióval történő öntözés hatására nőtt a fajlagos vezetőképesség: a kontrollhoz képest a negyedik heti

felszámolás 1. dózisánál +5,45 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -rel, 2. dózisánál +12,92 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -rel, még a nyolcadik heti felszámolás 1. dózisánál +33,68 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -rel, 2. dózisánál +62,12 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -rel nőtt a talajok fajlagos vezetőképessége. Ezek alapján elmondható, hogy a komposzt szuszpenzióban lévő vízben oldott sók növelik a talajoldat fajlagos vezetőképességét. Ez a magas sótartalom azonban a növényekre is rossz hatással lehet. A magas sótartalom okozta stressz a fotoszintetikus rendszerre) a továbbiakban: PSII rendszer gyakorolt hatásairól szóló eredmények azonban ellentmondásosak. Egyes vizsgálatok azt mutatták, hogy a sóstressz gátolhatja a PSII aktivitását (HASEGAWA et al., 2000; MUNNS, 2002; ASHRAF, 2004), míg más vizsgálatok szerint a sótartalomnak nincs hatása erre a paraméterre (MORALES et al., 1992; ABADÍA et al., 1999). JAMIL et al. (2007) vizsgálataik során NaCl-oldatot juttattak ki növekvő koncentrációban, s eredményeik alapján a cukorrépa és a káposzta növekedése szignifikánsan csökkent a sókezelés hatására. A gyökér és a hajtás száraz tömege, valamint a levélfelület szignifikánsan csökkent a sókoncentráció növekedésével. Emellett vizsgálták az Fv/Fm hányados (azaz a PSII maximális kvantumhozamának) alakulását is, és az eredmények azt mutatták, hogy sem a cukorrépa, sem a káposzta esetén a kontrollhoz viszonyítva nem mutathatók ki a sóstressz hatásai.

A homoktalaj mellett humuszos homoktalajon is beállítottam a tenyészedényes kísérletet (28. táblázat).

28. táblázat: Humuszos homoktalajon nevelt káposzta tesztnövény esetén kapott eredmények 4 és 8 hetes felszámolás I. szuszpenzióval történő öntözés esetén

	Kezelés	Levélszám (db)	Teljes hossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Összes klorofill-tartalom ($\mu\text{g}/\text{g}$)	Összes karotinoid-tartalom ($\mu\text{g}/\text{g}$)
4 hetes felszámolás	Kontroll	15,33a $\pm 1,52$	12,50ab $\pm 0,50$	16,10a $\pm 2,53$	0,77a $\pm 0,01$	3,55a $\pm 0,18$	1481,57b $\pm 298,07$	268,68a $\pm 35,04$
	1. dózis	16,66a $\pm 0,57$	11,83ab $\pm 2,02$	15,00a $\pm 2,57$	0,76ab $\pm 0,01$	3,32ab $\pm 0,09$	1534,68b $\pm 103,09$	283,05a $\pm 13,97$
	2. dózis	16,00a $\pm 1,73$	13,33a $\pm 1,04$	15,33a $\pm 0,95$	0,77a $\pm 0,01$	3,43a $\pm 0,14$	1315,65bc $\pm 179,19$	270,97a $\pm 28,79$
8 hetes felszámolás	Kontroll	9,66b $\pm 1,15$	13,66a $\pm 1,04$	16,21a $\pm 1,44$	0,74ab $\pm 0,02$	2,96ab $\pm 0,27$	992,44c $\pm 283,56$	165,09b $\pm 105,91$
	1. dózis	8,66b $\pm 1,25$	13,33a $\pm 2,98$	14,94a $\pm 2,98$	0,75ab $\pm 0,00$	3,13ab $\pm 0,05$	2218,47a $\pm 143,12$	181,10ab $\pm 22,55$
	2. dózis	8,33b $\pm 0,50$	11,00b $\pm 3,89$	9,11b $\pm 3,89$	0,71b $\pm 0,08$	2,44b $\pm 1,19$	1440,98b $\pm 132,16$	250,09ab $\pm 31,94$

Forrás: Sajat, 2020

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A négy hetes felszámolást követően a káposztákra pozitív hatással volt a komposzt oldat mellyel öntöztem, ugyanis levélszám és teljes hossz esetén az 1. dózis, illetve a 2. dózis bizonyult eredményesnek. Teljes zöldtömeg tekintetében a kontroll volt a legjobb. A nyolcadik heti felszámoláskor azonban azt tapasztaltuk, hogy a kezelésekre a káposzták rosszul reagáltak,

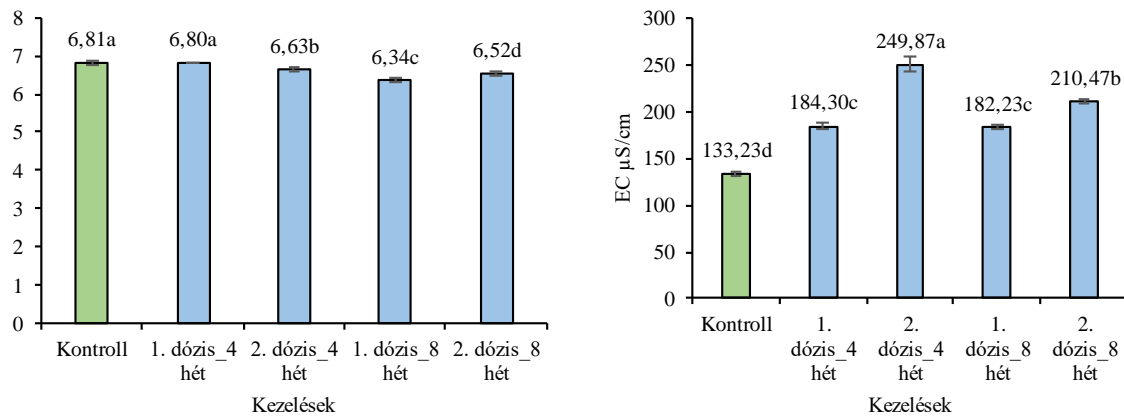
s minden vizsgált paraméterben elmaradtak a kezelt növények a kontrolltól, statisztikai szempontból pedig az 1. dózis a kontrollal azonos statisztikai csoportba sorolható, a levélszám az egyetlen olyan paraméter, ahol a negyedik heti kezelés és a nyolcadik heti kezelés statisztikailag egy-egy csoportot alkot. A Fv/Fm értékekről elmondható, hogy a negyedik és a nyolcadik heti eredmények közel azonosan alakultak, mindössze két kezelés és a negyedik heti kontroll esetén szignifikánsak a különbségek, jelentős csökkenés sem a kezeléseket között, sem pedig a kontrollhoz viszonyítva nem volt megfigyelhető. Ezen eredmények megegyeznek a LUDMERSZKI (2013) által kapott eredményekkel, ugyanis az Fv/Fm adatokban nem kapott szignifikáns különbségeket, csak a kezelés első hetében, azt követően a kezelés nem befolyásolta az Fv/Fm értékek alakulását. A legalacsonyabb Fv/Fm és Fv/Fo értéket a nyolcadik heti felszámolás 2. dózisa esetén mértem, amelyből arra következtettem, hogy a komposzt oldat magas kálium-tartalma befolyásolja a PSII rendszer működését a növényben, s így hatással van az Fv/Fm értékek alakulására is. NAJAR et al, (2018) jutott hasonló következtetésre, amikor a sóstressz hatását vizsgálták *Medicago truncatula* tesztnövényre. Eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a kontroll esetén az Fv/Fm érték 0,77-0,79 között alakult, még a magas koncentrációjú NaCl-oldattal öntözött növények esetén az Fv/Fm értéke szignifikánsan csökkent, s az Fv/Fm értéke mindössze 0,57-0,65 között alakult. Ezek alapján elmondható, hogy a sóstressz a PSII rendszer funkciójának csökkenéséhez vezet.

Az összes klorofill-tartalom esetén elmondható, hogy a legnagyobb értéket a nyolcadik heti felszámolás 1. dózisa esetén mértem ($2218,47 \pm 143,12 \mu\text{g/g}$), amely megegyezik a reflektancia görbék esetén kapott eredményekkel, ugyanis ez volt az a kezelés, ahol a legalacsonyabb volt a reflektancia. A kontroll klorofill-tartalmát a negyedik és nyolcadik heti felszámolás esetén is csak az 1. dózis klorofill-tartalma tudta meghaladni, és ezen kezeléseket statisztikailag is szignifikánsan különböznek a kontrolltól, még az többi kezelés a kontrollal azonos statisztikai csoportba sorolható. A felszámolási idők átlagos összes klorofill-tartalmát figyelembe véve elmondható, hogy a negyedik heti felszámolás során $1443,96 \pm 193,45 \mu\text{g/g}$, még a nyolcadik heti felszámolás során $1550,63 \pm 186,28 \mu\text{g/g}$ volt, mely a két felszámolási idő közötti klorofill-tartalom növekedésre utal ($+106,93 \mu\text{g/g}$).

Az összes karotinoid-tartalomról elmondható, hogy a nyolcadik heti felszámolás 1. dózisa esetén mértem a legmagasabb összes klorofill-tartalmat, s ezen kezelés esetében mértem a legalacsonyabb összes karotinoid-tartalmat ($165,09 \pm 105,91 \mu\text{g/g}$). Statisztikailag az összes klorofill-tartalomhoz hasonló eredményeket kaptam, ugyanis a nyolcadik heti felszámolás és a kontroll egy-egy csoportot alkot, még a többi kezelés (statisztikailag) szintén egy csoportot. A felszámolási időnkénti összes karotinoid-tartalomról elmondható, hogy a negyedik heti

felszámoláskor $274,23 \pm 25,93 \mu\text{g/g}$, még a nyolcadik heti felszámoláskor $198,76 \pm 53,46 \mu\text{g/g}$ volt, mely paraméter csökkenése figyelhető meg ($-75,47 \mu\text{g/g}$) a homoktalajon végzett kísérlethez hasonlóan.

A humuszos homoktalaj esetében is megvizsgáltam a kezelések talaj kémhatására és fajlagos vezetőképességére kifejtett hatását.



24. ábra: Humuszos homoktalajon nevelt káposzta I. oldattal történő 4 és 8 hetes felszámolása esetén kapott kémhatás és fajlagos vezetőképesség eredmények (Forrás: Saját, 2020)
*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A kémhatásról elmondható, hogy értéke mind a négy hetes, mind pedig a nyolc hetes felszámoláskor az enyhén savanyú, savanyú tartományban mozgott. A kezelési idő előrehaladtával a kémhatás egyre inkább csökkent, amely statisztikailag is bebizonyítható, ugyanis a nyolcadik heti kezelések kémhatása nem csak egymástól, hanem a többi kezelés kémhatásától is szignifikánsan különbözik. A fajlagos vezetőképesség a homoktalajhoz hasonlóan alakult. A humuszos homoktalaj fajlagos vezetőképessége 2,5-szerese a homoktalajénak, azonban ebben az esetben is jól megfigyelhető a növekvő dózisok vezetőképességre történő hatása, mely mindegyik felszámolási idő esetén a 2. dózisonál volt a legmagasabb (249,87 illetve 210,47 mS/cm). Statisztikailag szignifikáns különbségek vannak a kezelések között, egyedül a negyedik és nyolcadik heti felszámolás 1. dózisú kezelése alkot egy csoportot. A fajlagos vezetőképesség növekedés háttérében az állhat, hogy az öntözésre alkalmazott komposzt oldat kálium-tartalma magas volt, s ezen kálium-sók vízben oldhatók, ezért mérhető az 1:2,5 arányú ioncserélt vizes kivonatban ilyen magas fajlagos vezetőképesség (6,27 mS/cm).

29. táblázat: Humuszos homoktalajon nevelt káposzta teszt növény esetén kapott eredmények 4 és 8 hetes felszámolás II. szuszpenzióval történő öntözés esetén

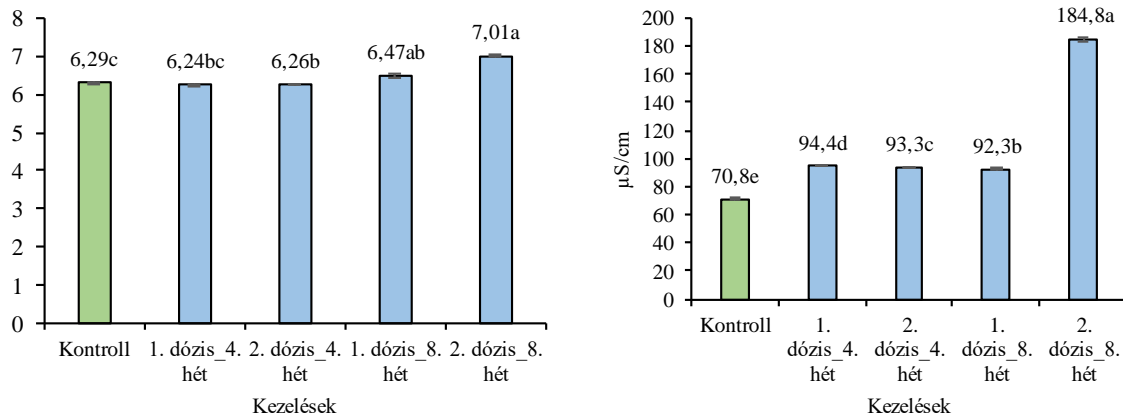
	Kezelések	Levélszám (db)	Teljes hossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Osszes klorofill-tartalom (µg/g)	Osszes karotinoid-tartalom (µg/g)
4 hetes felszámolás	Kontroll	11,0bc ±1,00	8,83c ±0,76	6,43bc ±0,55	0,76b ± 0,01	3,19b ±0,23	2096,98a ±335,92	387,82a ±53,09
	1. dózis	13,66ab ±1,54	9,66bc ±0,76	8,73abc ±0,95	0,77ab ± 0,01	3,41ab ±0,11	2096,22a ±212,54	352,72a ±35,70
	2. dózis	16,0a ±3,60	9,0c ±0,86	10,83ab ±2,77	0,77ab ± 0,01	3,37ab ±0,13	2024,60a ±420,09	360,19a ±49,64
8 hetes felszámolás	Kontroll	7,33d ±0,57	9,66bc ±0,57	6,15c ±0,64	0,73b ± 0,02	2,81b ±0,38	1140,54b ±203,59	209,78b ±26,31
	1. dózis	10,0cd ±1,73	10,83ab ±1,04	11,34abc ±6,66	0,54ab ± 0,42	2,57ab ±0,25	1589,64ab ±139,46	406,13ab ±319,78
	2. dózis	9,0cd ±1,00	11,50a ±0,55	17,37a ±8,81	0,78a ±0,01	3,55a ±0,01	1971,78a ±326,74	324,75ab ±51,66

Forrás: Saját, 2020

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A II. szuszpenzióval történő öntözésről elmondható (29. táblázat), hogy minden vizsgált paraméter esetén szignifikáns különbségeket tudtam bizonyítani a kezelések, illetve a felszámolási idők között ($p < 0,05$), emellett az is elmondható, hogy a negyedik és nyolcadik heti kontrollok (az összes klorofill-tartalom kivételével) elmaradnak a komposzt szuszpenzióval kezelt növényektől. Levélszám esetén a 4. heti felszámolás során a 2. dózis (kontrollhoz képest +5 db levél), még a 8. heti felszámolás során az 1. dózis (kontrollhoz képest +2,67 db levél) volt eredményesebb. A legkisebb levélszámot a 8. heti kontroll esetén kaptam, s ezen kezelés statisztikailag egy csoportot alkot a 8. heti felszámolás 1. és 2. dóziséval. Szignifikánsan csak a negyedik heti felszámolás 2. dózisa különbözik a többi kezeléstől, illetve a kontrolloktól. Hajtáshosszban a negyedik heti felszámoláskor az 1. dózis (9,66 cm), a nyolcadik heti felszámoláskor a 2. dózis (11,50 cm) volt eredményesebb. Teljes zöldtömeg esetén a legnagyobb (8. heti felszámolás 2. dózis: 17,37 g) és a legkisebb érték (8. heti felszámolás kontroll: 6,15 g) között volt szignifikáns különbség, a többi kezelés és a kontroll elkülönítése $p < 0,05$ szignifikancia szinten bizonytalan. Az Fv/Fm és az Fv/Fo értékek esetén szignifikáns különbségeket tudtam kimutatni a kezelések, és a felszámolási idők között is. A legalacsonyabb Fv/Fm értéket a nyolcadik heti felszámolás 1. dózis esetén mértem ($0,54 \pm 0,42$), amely kezelés esetén a legalacsonyabb Fv/Fo értéket is mértem ($2,57 \pm 0,25$). A kapott Fv/Fm értékek alapján a káposzta teszt növényeket nem érte semmilyen stresszhatás, vagyis a PSII rendszer működésére nem hatott negatívan az alkalmazott komposzt szuszpenzió. A humuszos homoktalajon nevelt káposzta összes klorofill-tartalma a 4. heti felszámolás esetén átlagosan $2072,6 \pm 322,85$ µg/g volt, még a 8. heti felszámolás esetén átlagosan $1567,32 \pm 223,26$ µg/g volt.

A két felszámolási idő között 505,28 $\mu\text{g/g}$ -mal csökkent az összes klorofill-tartalom, mely alapján a II. komposzt szuszpenzióval történő 8 hetes öntözés hatására stresszhatás érte a növényeket. Az összes karotinoid-tartalomnál hasonló tendencia figyelhető meg. 4 hetes felszámolás esetén a karotinoid-tartalom $366,71 \pm 46,14$ $\mu\text{g/g}$ volt, még a 8 hetes felszámolásakor átlagértéke $313,55 \pm 132,58$ $\mu\text{g/g}$ volt. A felszámolási időkkel szemben viszont a kezelések hatására a kontrollhoz képest az összes klorofill- és karotinoid-tartalom egyaránt nőtt.



25. ábra: Humuszos homoktalajon nevelt káposzta II. oldattal történő 4 és 8 hetes felszámolása esetén kapott kémhatás és fajlagos vezetőképesség eredmények (Forrás: Saját, 2020)
*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A 25. ábrán a tenyészedényes kísérlet talajainak kémhatása és fajlagos vezetőképessége látható. A humuszos homoktalaj kémhatásáról elmondható, hogy a kezelések hatására a kontrollhoz képest szignifikáns különbségeket tudtam kimutatni. A nyolcadik heti felszámolás 2. dózisú kezelése esetén mértem semleges kémhatást (pH 7,01).

A tenyészedényes kísérlet talajairól elmondható, hogy a komposzt szuszpenzióval történő öntözés hatására nőtt a fajlagos vezetőképesség, melyet statisztikailag is tudtam bizonyítani: a kontrollhoz képest a negyedik heti felszámolás 1. dózisánál $+23,6$ $\mu\text{S/cm}$ -rel, 2. dózisánál $+22,5$ $\mu\text{S/cm}$ -rel, még a nyolcadik heti felszámolás 1. dózisánál $+21,5$ $\mu\text{S/cm}$ -rel, 2. dózisánál $+114,0$ $\mu\text{S/cm}$ -rel nőtt a talajok fajlagos vezetőképessége. A homoktalajon végzett kísérlet esetén ugyanezen szuszpenzióval történő öntözés hatására sokkal kisebb mértékben nőtt a talajok fajlagos vezetőképessége, mint a humuszos homoktalaj esetén.

4.3.4. Komposzt szuszpenziók tesztelése paprika teszt növényen

A paprika esetén homoktalajon végzett tenyészedényes kísérlet eredményeit négy- és nyolc hetes felszámolási idő esetén a 30. táblázatban összegeztem.

30. táblázat: Homoktalajon nevelt paprika tesztnövény esetén kapott eredmények 4 és 8 hetes felszámolás I. szuszpenzióval történő öntözés esetén

	Kezelés	Levélszám (db)	Teljes hossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Összes klorofill-tartalom (µg/g)	Összes karotinoid-tartalom (µg/g)
4 hetes felszámolás	Kontroll	16,00b ±3,61	33,16ab ±2,84	11,20c ±1,14	0,74a ±0,02	2,90a ±0,28	2388,10b ±392,47	564,56c ±105,81
	1. dózis	16,00b ±2,64	32,83b ±4,72	11,76c ±2,34	0,74a ±0,01	3,00a ±0,13	3198,55a ±370,84	665,39c ±91,21
	2. dózis	17,33ab ±0,57	35,66ab ±0,76	18,40a ±4,95	0,74a ±0,02	2,96a ±0,31	2571,92b ±462,19	528,95c ±82,79
8 hetes felszámolás	Kontroll	16,66ab ±2,08	38,16ab ±1,00	17,98bc ±4,63	0,65b ±0,02	1,93b ±0,19	2172,30c ±420,59	449,94b ±79,43
	1. dózis	17,33ab ±1,00	39,16a ±0,50	21,92b ±10,34	0,61b ±0,02	1,66b ±0,21	1938,57c ±99,11	395,02b ±29,97
	2. dózis	20,00a ±0,00	37,33ab ±1,80	16,91bc ±9,61	0,68b ±0,03	2,18b ±0,34	2520,77c ±82,85	514,16a ±27,26

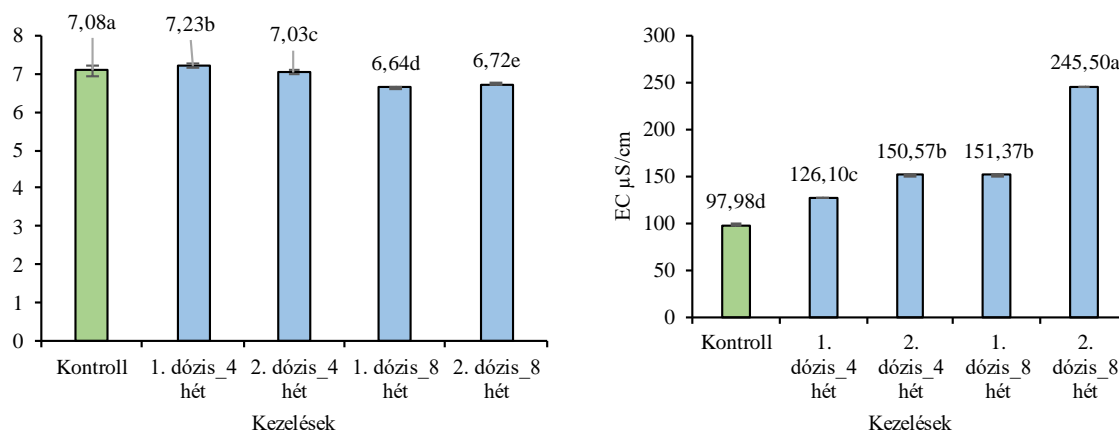
Forrás: Saját, 2020

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A homoktalajon nevelt paprika esetén elmondható, hogy négy hét felszámolási időt követően a 2. dózis, még nyolc hét felszámolási idő esetén az 1. dózis volt kiemelkedő a kezelések közül. A kontrollt minden esetben meghaladták a komposzt szuszpenzióval kezelt növények. A legnagyobb levélszámot a 2. dózis (8 hetes felszámolási idő) esetén kaptam. Ez az erőteljes lombnövekedés HODOSSI et al, (2010) szerint a nitrogén túladagoláshoz vezethető vissza. Teljes hossz tekintetében minimális az eltérés a kezelések között, csak az 1. dózis (mind negyedik, mind pedig nyolcadik heti felszámolás esetén) alkot statisztikailag egy csoportot, a többi kezelés elkülönítése $p < 0,05$ szignifikancia szinten bizonytalan. Teljes zöldtömeg esetén is a komposzt szuszpenzióval kezelt növények esetén kaptam a legmagasabb értékeket. Az Fv/Fm, valamint Fv/Fo esetén a négy hetes és a nyolc hetes felszámolás egy-egy csoportot alkot statisztikailag. Az Fv/Fm értéke a nyolcadik heti felszámolásra csökkent, amely azt jelenti, hogy a növényt érő stressz nőtt, s ezzel párhuzamosan a növényi fotoszintézis csökken. REDONDO-GOMEZ et al, (2007) vizsgálatai alapján az Fv/Fm csökkenése annak tulajdonítható, hogy a növényben a fotoszintetikus rendszer aktivitása csökken, azaz romlik a fotokémiai aktivitás, amely a fotoszintetikus apparátus károsodását jelenti. A káposztával szemben a paprika érzékenyebben reagált a komposzt szuszpenzióval való öntözésre, amely az Fv/Fm értékek alakulásában is megfigyelhető. A négy hetes kezelési időt követően az Fv/Fm értékek a kontroll és a kezelt növények esetén is megegyeztek ($0,74 \pm 0,02$ illetve $0,74 \pm 0,01$), s ugyanez mondható el az Fv/Fo alakulásáról is. Ezzel szemben a nyolcadik heti felszámoláskor már szignifikánsan csökkentek az Fv/Fm és az Fv/Fo értékek, amely a (kontroll és a kezelt) növényeket érő stressz növekedését jelenti.

A negyedik heti felszámolások során magasak voltak a kezelt növények összes-klorofill-tartalom értékei, melyek közül kiemelkedik az 1. dózis összes klorofill-tartalma, mely $3198,55 \pm 370,84 \mu\text{g/g}$ volt. A felszámolási időket figyelembe véve elmondható, hogy a nyolcadik hétre az összes-klorofill-tartalom lecsökkent ($-508,98 \mu\text{g/g}$). A fentiekkel ellentétben az összes karotinoid-tartalom ($\mu\text{g/g}$) a negyedik héthez viszonyítva nem nőtt, hanem csökkenést mutatott ($-133,26 \mu\text{g/g}$). A negyedik heti felszámolás során az összes karotinoid-tartalom $586,3 \pm 93,27 \mu\text{g/g}$, még a nyolcadik heti felszámolás során $453,04 \pm 45,55 \mu\text{g/g}$ volt. A paprika esetén a termések számát, hosszát is figyelembe vettem, azonban négy- illetve nyolc hét után mindösszesen egy-két termést tudtam a vizsgálatokba bevonni (6. melléklet). A termések kötéséhez illetve a bogyók fejlődéséhez foszfort igényel leginkább a paprika. Az általam tesztelt oldatban a foszfor (foszfor-pentoxid) volt a minimumban lévő tápanyag, ugyanis koncentrációja az oldatban mindössze $0,19 \text{ g/l}$ volt. A foszforhiányra a paprika úgy reagál, hogy a termések kötése rossz, valamint a bogyók/termések deformitása következik be. Ez a termésdeformitás a kísérleteim során megfigyelhető volt, így nehézkessé vált a termés hosszának mérése. A foszfor felvételét emellett gátolhatta a kis szuszpenzió-koncentráció mellett az is, hogy HODOSSI et al, (2010), valamint BALÁZS et al, (2004) szerint a kálium-többlet gátolja a foszfor-felvételt is. A magas kálium-tartalom sókártétel formájában jelentkezhetett a paprikánál, ugyanis TERBE (2017) szerint a magas fajlagos vezetőképesség nem csak a gyökérszövet növekedésére hat negatívan, hanem a levél alakját és színét is befolyásolja, méghozzá úgy, hogy a levelek haragos zöld színűek lesznek, alakjuk pedig hosszúság-megnyúlt lesz. A paprikára kijuttatott tápoldat (komposzt szuszpenzió) fajlagos vezetőképessége, s így sótartalma nem csökkent az idő előrehaladtával, ennek hatására a talajoldat töményedett, amelynek hatására a levélszéleken sárgulás is megfigyelhetővé válhat. Ez lehet az oka annak, hogy a négy hetes felszámolási idő esetén a klorofill-tartalom nőtt, még a nyolc hetes felszámolási időre már a karotinoid-tartalom növekedése, s így a klorofill-tartalom csökkenése volt a jellemző. A karotinoid-tartalom növekedését emellett okozhatja az is, hogy nitrogénhiány lépett fel a paprika fejlődésében, amely klorotikus sárgulást is eredményezhet (HODOSSI et al, 2010). PEREZ-LOPEZ et al, (2007) hasonló eredményekről számolt be, ugyanis megfigyelték, hogy a komposztált trágya használata növelte az édes paprika (*Capsicum annuum* L.) összes karotinoid-tartalmát.

A talajkivonatokból a káposzta esetén mért paramétereket a paprikánál is meghatároztam (25. ábra).



25. ábra: Homoktalajon nevelt paprika esetén 4 és 8 hetes felszámolás esetén kapott kémhatás (a) és fajlagos vezetőképesség (b) eredmények I. szuszpenzióval történő öntözés ($p < 0,05$; Forrás: Saját, 2020)

A kémhatásról elmondható, hogy a káposztához hasonlóan a paprika esetén is semleges-enyhén savanyú tartományban mozogtak az értékek, elsősorban a nyolcadik heti kezelése hatására csökkentek a kémhatás értékek, amely a szuszpenzió talajra való hatásával magyarázható. Statisztikai szempontból mindegyik kezelés – legyen szó negyedik vagy nyolcadik heti felszámolásról – szignifikánsan különbözik a kontrolltól és egymástól is.

A káposztához hasonlóan ebben az esetben is a komposzt oldatok hatására a kontrollhoz képest a talaj fajlagos vezetőképessége nőtt. A negyedik heti felszámoláshoz képest a nyolcadik hétre a fajlagos vezetőképesség konstansan növekedett. Statisztikailag a 2. dózis (negyedik hét) és az 1. dózis (nyolcadik hét) egy csoportot alkot, de mindegyik kezelés szignifikánsan különbözött a kontrolltól és egymástól is.

A homoktalajon II. szuszpenzió esetén kapott eredményeket a 31. táblázatban mutatom be.

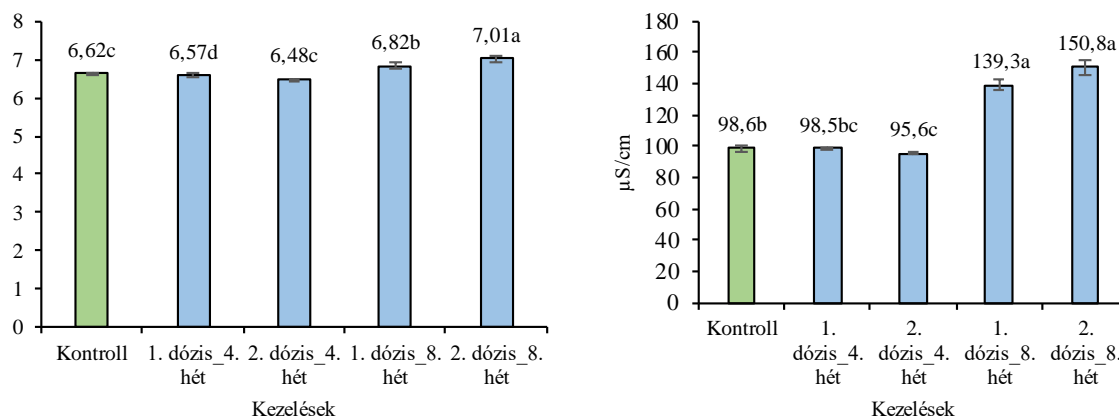
31. táblázat: Homoktalajon nevelt paprika tesztnövény esetén kapott eredmények 4 és 8 hetes felszámolás II. szuszpenzióval történő öntözés esetén

	Kezelések	Levélszám (db)	Teljes hossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Összes klorofill-tartalom (µg/g)	Összes karotinoid-tartalom (µg/g)
4 hetes felszámolás	Kontroll	19,0c ±1,73	38,16a ±2,08	15,76c ±1,25	0,74ab ±0,01	2,88bc ±0,27	3219,15ab ±498,12	660,40a ±132,48
	1. dózis	20,66bc ±3,21	39,50a ±0,00	17,73bc ±1,20	0,72b ±0,02	2,68c ±0,35	3549,55ab ±446,59	737,47a ±473,12
	2. dózis	24,66abc ±5,85	41,0a ±2,64	22,40b ±1,41	0,74ab ±0,02	2,93abc ±0,40	4136,49a ±344,16	777,14a ±41,00
8 hetes felszámolás	Kontroll	37,83bc ±2,02	37,83a ±0,02	16,18c ±4,03	0,73ab ±0,03	2,93abc ±0,19	2871,97b ±186,54	550,31a ±23,30
	1. dózis	40,3a ±2,88	40,33a ±2,88	21,55bc ±0,56	0,76ab ±0,00	3,27ab ±0,12	3028,96ab ±356,25	571,49a ±111,57
	2. dózis	37,66ab ±2,08	37,66a ±2,08	29,92a ±6,20	0,77a ±0,00	3,41a ±0,11	3437,23ab ±1315,68	625,37a ±217,09

Forrás: Saját, 2020

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A II. szuszpenzióval öntözött, homoktalajon nevelt paprika esetén elmondható, hogy négy hét és nyolc hét felszámolási időt követően egyaránt a 2. dózis volt kiemelkedő a kezelések közül. A kontrollt minden esetben meghaladták a komposzt szuszpenzióval kezelt növények. A legnagyobb levélszámot a négy hetes felszámolási időnél a 2. dózis ($24,66 \pm 5,85$ db), nyolc hetes felszámolási időnél pedig az 1. dózis ($40,3 \pm 3$ db) esetén kaptam. Ez az erőteljes lombnövekedés illetve a hajtásnövekedés valószínűleg azzal magyarázható, hogy a II. szuszpenzióban a nitrogén volt a túlsúlyban lévő makroelem, mely szuszpenzió hatására túladagoltam a nitrogént. A nitrogén túladagolás hatására a növény erőteljes lombnövekedéssel és szárvastagodással reagál, a levelek mérete megnő, emellett megvastagodnak, sötétzöldek lesznek, a virágzás késik, a termés kötés rossz. Teljes hossz tekintetében minimális az eltérés a kezelések között ($37,66 - 41,0$ cm), statisztikailag mindegyik kezelés a kontrollokkal egy csoportot alkot ($p < 0,05$). Teljes zöldtömeg esetén is a komposzt szuszpenzióval kezelt növények esetén kaptam a legmagasabb értékeket. A legnagyobb zöldtömeget mindkét felszámolási időnél a 2. dózis esetén mértem, mely szignifikánsan különbözik a kontrolltól és az 1. dózistól. Az Fv/Fm értékek $0,72-0,77$ között alakultak, s a komposzt oldattal kezelt növények esetén mértem nagyobb értékeket. Szignifikánsan a negyedik heti felszámolás 1. dózis és a nyolcadik heti felszámolás 2. dózis különbözik, a többi kezelés (és a kontrollok) elkülönítése $p < 0,05$ szignifikancia szinten bizonytalan. Az Fv/Fo értékeknél az Fv/Fm értékekhez hasonló tendencia figyelhető meg. Az összes klorofill-tartalomról elmondható, hogy négy hetes felszámolási időt követően értéke $3635,06 \pm 429,62$ $\mu\text{g/g}$ volt, még a nyolcadik heti felszámolást követően $3116,05 \pm 132,58$ $\mu\text{g/g}$ volt. A paprika esetén is megfigyelhető az a tendencia, hogy a felszámolási hetek között az összes klorofill-tartalom csökkent ($-519,01$ $\mu\text{g/g}$ -mal). Az egyes felszámolási időkon belül a kontrollhoz viszonyítva azonban nőtt a komposzt szuszpenzióval kezelt növények összes klorofill-koncentrációja. Az összes karotinoid-tartalom esetén is hasonló tendencia figyelhető meg: a negyedik heti felszámolás esetén értéke $725,00 \pm 215,53$ $\mu\text{g/g}$, a nyolcadik heti felszámolás esetén $582,39 \pm 117,32$ $\mu\text{g/g}$ volt, s csökkenés figyelhető meg a felszámolási idők között ($-142,61$ $\mu\text{g/g}$).



26. ábra: Homoktalajon nevelt paprika II. oldattal történő 4 és 8 hetes felszámolása esetén kapott kémhatás és fajlagos vezetőképesség eredmények (Forrás: Saját, 2020)

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A káposztához és az I. szuszpenzióval történő öntözéshez hasonlóan a paprika esetén is a semleges-enyhén savanyú tartományban mozgott a kémhatás, minimális különbségek tapasztalhatók az egyes kezelések, illetve felszámolási idők között. Statisztikai szempontból mindegyik kezelés – legyen szó negyedik vagy nyolcadik heti felszámolásról – szignifikánsan különbözik a kontrolltól és egymástól is.

A kompozit szuszpenziók hatására a kontrollhoz képest a talaj fajlagos vezetőképessége nőtt. A negyedik heti felszámoláshoz és a kontrollhoz képest a nyolcadik hétre a fajlagos vezetőképesség konstansan növekedett: a nyolcadik heti felszámolás 1. dózisánál +40,7 µS/cm-rel, a nyolcadik heti felszámolás 2. dózisánál pedig +52,2 µS/cm-rel, s ezen két kezelés statisztikailag is egy csoportot alkot.

32. táblázat: Humuszos homoktalajon nevelt paprika tesztnövény esetén kapott eredmények négy és nyolc hetes felszámolás I. szuszpenzióval öntözés esetén

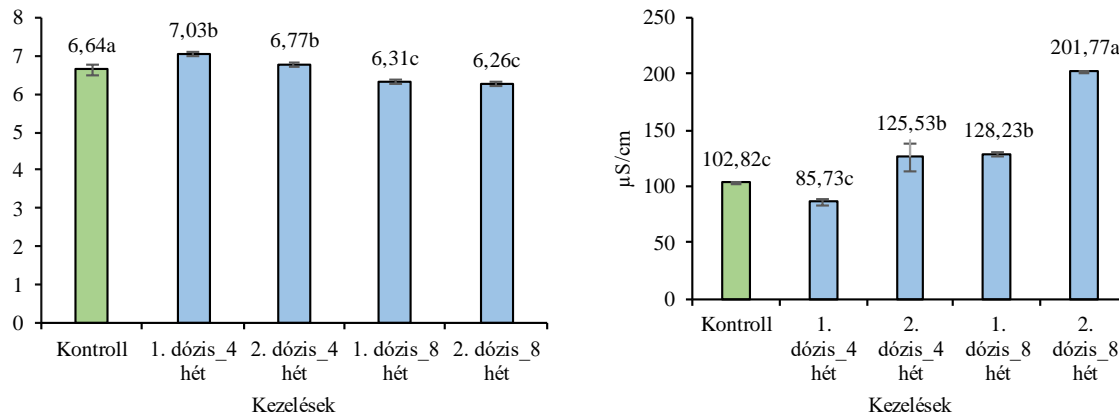
	Kezelés	Levélszám (db)	Teljes hossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Osszes klorofill-tartalom (µg/g)	Osszes karotinoid-tartalom (µg/g)
4 hetes felszámolás	Kontroll	16,00b ±1,32	35,50a ±2,00	16,03a ±2,41	0,70ab ±0,03	2,67a ±0,16	2180,09a ±236,14	531,68c ±127,91
	1. dózis	18,66a ±0,57	36,16a ±1,53	18,76a ±4,55	0,69ab ±0,02	2,29ab ±0,21	2463,72a ±580,45	403,32c ±37,48
	2. dózis	19,33a ±1,53	37,33a ±2,84	17,26a ±2,88	0,72a ±0,03	2,62a ±0,46	2270,95a ±416,78	465,41c ±94,14
8 hetes felszámolás	Kontroll	19,66a ±2,08	38,00a ±1,00	18,89a ±4,63	0,67ab ±0,02	2,09b ±0,18	1723,66b ±354,28	354,28b ±35,31
	1. dózis	20,00a ±1,00	35,00a ±0,50	21,12a ±10,34	0,65b ±0,02	1,95b ±0,21	2222,33b ±185,61	517,84a ±49,44
	2. dózis	20,00a ±0,00	36,00a ±1,81	24,97a ±9,61	0,68ab ±0,03	2,18ab ±0,34	1832,00b ±438,39	378,11b ±89,56

Forrás: Saját, 2020

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A humuszos homoktalajon végzett kísérletről elmondható, hogy a negyedik heti felszámoláskor a 2. dózis volt a kiemelkedő levélszám és teljes hossz esetén, azonban az 1. dózis és a kontroll minimálisan marad el a legjobb dózistól, sőt a teljes zöldtömegben az 1. dózusra adott válasza jobb volt a növénynek. A nyolcadik heti felszámoláskor sem analitikailag sem statisztikailag nem volt különbség a kontroll és a kezelések között sem levélszámban, sem teljes hosszban, sem teljes zöldtömegben. Az Fv/Fm értékek a nyolcadik heti felszámolás esetén szignifikánsan alacsonyabbak voltak, ahogyan az Fv/Fo értékei is. Az egészséges növények esetén a levélben mért Fv/Fm értéke 0,83 körül alakul, ha ez az érték csökken ($<0,8$), akkor a fotoszintetikus apparátus (PS II) állapota romlik, amely bekövetkezhet magas hőmérséklet erős fény, vízhiány illetve valamelyik tápanyag hiánya miatt is (SKRIBANEK et al., 2016). A homoktalajon nevelt paprika esetében az Fv/Fm és az Fv/Fo értékek csökkentek a 4. és 8. felszámolási hét között, illetve a kontrollhoz viszonyítva is. Mindez az öntözéshez használt oldat alacsony foszfor-koncentrációjával magyarázható, ugyanis ez volt a minimumban lévő tápanyag, s a növény ezekre a foszforhiányos állapotokra a fotoszintetikus aktivitás csökkenésével reagálhatott. Emellett a magas kálium-koncentráció is okozhatta azt, hogy a fotoszintetikus apparátust valamilyen stressz érte, ugyanis a paprika igényli a magas kálium-koncentrációt, de a kálium ronthatja a növény foszfor felvételét is.

A komposzt szuszpenzióval öntözött növények összes klorofill-tartalma meghaladta a kontroll klorofill-tartalmát mindegyik felszámolási hét esetén. Azonban ha a felszámolási időnkénti átlagos összes klorofill-tartalmat vesszük figyelembe, akkor csökkenés figyelhető meg ($-378,93 \mu\text{g}$): a negyedik heti felszámoláskor $2304,92 \pm 411,12 \mu\text{g/g}$, még a nyolcadik heti felszámoláskor $1925,99 \pm 326,09 \mu\text{g/g}$ -ot mértem. Az összes karotinid-tartalomról elmondható, hogy azon kezelések esetén kaptam a legnagyobb karotinoid-tartalom eredményeket, amely kezelések klorofill-tartalma is magas volt. A legalacsonyabb karotinoid-tartalmat a nyolcadik heti felszámolás kontroll esetén mértem ($354,28 \pm 35,31 \mu\text{g/g}$), s ezen kezelés esetén volt a klorofill-tartalom is a legalacsonyabb. A felszámolási időnkénti összes karotinoid-tartalmat tekintve elmondható, hogy a negyedik heti felszámolás során $466,80 \pm 86,51 \mu\text{g/g}$, még a nyolcadik heti felszámolás során $416,74 \pm 58,10 \mu\text{g/g}$ volt az értéke, s $-50,06 \mu\text{g}$ volt az összes karotinoid-tartalom csökkenés.



27. ábra: Humuszos homoktalajon nevelt paprika esetén 4 és 8 hetes felszámolás esetén kapott kémhatás és fajlagos vezetőképesség eredmények (Forrás: Saját, 2020) I. szuszpenzió
*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A kezelések talajainak kémhatásáról elmondható, hogy a homoktalajhoz, valamint a káposzta tesztnövényhez hasonlóan ebben az esetben is a semleges-enyhén savanyú tartományban mozogtak. A paprika tápanyagutánpótlásakor (intenzív termesztés esetén) a kémhatás értéke 6 körül ideális (TAKÁCSNÉ, 2014), ahogy a nyolc hetes felszámolási idő esetén mértem. Statisztikailag a kontroll önálló csoportot alkot, és a kezelések felszámolási időnként egy-egy csoportot alkotnak ($p < 0,05$). A fajlagos vezetőképesség esetén az eddigiekhez hasonló eredményeket kaptam, ugyanis a komposzt oldat dózisének, valamint a felszámolási idő növelésével a vezetőképesség nőtt. A termésekről elmondható hogy mindegyik kezelés és mindegyik felszámolási idő esetén tudtam terméseket számolni, és megmérni azok tömegét és hosszát (7. melléklet). A nyolcadik heti felszámoláskor a 2. dózisú kezelésnél már 3 db termést tudtam számolni, azonban nem csak ezen termések, hanem a többi termésnél is tapasztaltam deformitást, amely a homoktalajon végzett kísérlethez hasonlóan a foszforhiánnyal vagy a túlzott kálium-koncentráció miatt fellépő foszfor-felvétel gátlásával magyarázható. A 35. táblázatban a II. szuszpenzióval való öntözés eredményeit mutatom be humuszos homoktalajon, paprika tesztnövény esetén.

33. táblázat: Humuszos homoktalajon nevelt paprika tesztnövény esetén kapott eredmények négy és nyolc hetes felszámolás II. szuszpenzióval öntözés esetén

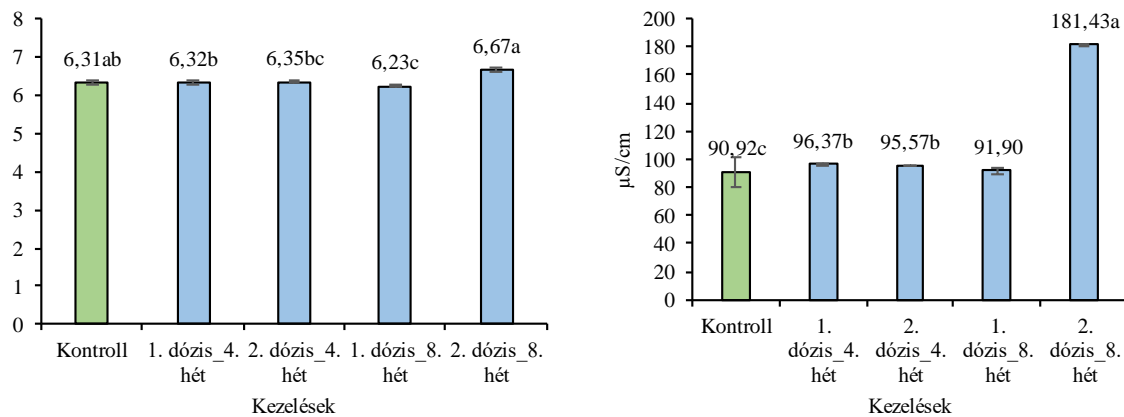
	Kezelések	Levélszám (db)	Teljes hossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Összes klorofill-tartalom (µg/g)	Összes karotinoid-tartalom (µg/g)
4 hetes felszámolás	Kontroll	17,33c ±1,52	35,66c ±0,28	14,86c ±1,00	0,73b ±0,02	2,74b ±0,29	3707,99ab ±355,61	692,02ab ±63,77
	1. dózis	22,33b ±3,51	37,83bc ±1,25	16,96bc ±0,40	0,74b ±0,01	2,85b ±0,27	3593,28ab ±225,44	641,78b ±53,96
	2. dózis	22,33b ±3,78	37,0bc ±0,55	17,26b ±0,25	0,74b ±0,02	2,88b ±0,31	3431,26b ±542,56	646,84b ±92,81
8 hetes felszámolás	Kontroll	19,30bc ±0,57	37,50bc ±0,86	23,03ab ±9,57	0,74b ±0,00	2,79b ±0,10	3050,37b ±265,68	570,16b ±55,78
	1. dózis	31,67a ±3,51	39,50ab ±2,78	29,21a ±3,86a	0,77a ±0,00	3,33a ±0,15	3408,46b ±389,86	656,96ab ±72,88
	2. dózis	33,66a ±2,08	40,66a ±1,61	27,77a ±0,94	0,76ab ±0,02	3,13ab ±0,40	4249,62a ±458,75	792,69a ±98,16

Forrás: Saját, 2020

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A II. szuszpenzióval öntözött, humuszos homoktalajon nevelt paprika esetén elmondható, hogy négy hét és nyolc hét felszámolási időt követően egyaránt a 2. dózis volt kiemelkedő a kezelések közül. A kontrollt – az összes karotinoid-tartalom kivételével - minden esetben meghaladták a komposzt szuszpenzióval kezelt növények. A legnagyobb levélszámot a négy hetes felszámolási időnél az 1. és 2. dózis ($22,33 \pm 3,33$ db), nyolc hetes felszámolási időnél pedig a 2. dózis ($33,66 \pm 2,08$ db) esetén kaptam. Ehhez hasonló eredményeket kaptam a homoktalajon nevelt paprika esetén is, ugyanezen szuszpenzió alkalmazása mellett. Statisztikailag mindkét felszámolási idő esetén a komposzt szuszpenzióval kezelt növények egy-egy csoportot alkotnak, minimális különbség van a kezelések között. Teljes hosszban a kontrollt minden esetben meghaladták a kezelt növények, azonban a levélszámhoz hasonlóan ezen paraméter esetében a komposzt szuszpenzióval kezelt növények hajtáshossza volt nagyobb. Teljes zöldtömeg esetén is a komposzt szuszpenzióval kezelt növények esetén kaptam a magasabb értékeket. A legnagyobb zöldtömeget a négy hetes felszámolási időnél a 2. dózis ($17,26 \pm 0,25$ g), még a nyolcadik heti felszámolási időnél az 1. dózisonál mértem ($29,21 \pm 3,86$ g). Az Fv/Fm értékek 0,73-0,77 között alakultak, s a komposzt oldattal kezelt növények esetén mértem magasabb értékeket. Szignifikánsan a nyolcadik heti felszámolás 1. dózis alkot önálló csoportot. Az Fv/Fo értékeknél az Fv/Fm értékekhez hasonló tendencia figyelhető meg. Az összes klorofill-tartalomról elmondható, hogy négy hetes felszámolási időt követően értéke $3577,51 \pm 374,53$ µg/g, még a nyolcadik heti felszámolást követően $3569,48 \pm 371,43$ µg/g volt. A homoktalajon nevelt paprikához hasonlóan humuszos homoktalaj esetén is megfigyelhető az a tendencia, hogy a felszámolási hetek között az összes klorofill-tartalom minimálisan csökkent ($-8,03$ µg/g-mal). A negyedik heti felszámoláskor azt tapasztaltuk, hogy a kontroll

összes klorofill-tartalma magasabb volt a kezelt növényekhez képest, még a nyolcadik heti felszámolásakor ez a tendencia megváltozott, s a legmagasabb összes klorofill-tartalmat a 2. dózis esetén kaptam ($4249,62 \pm 458,75 \mu\text{g/g}$). Az összes karotinoid-tartalom esetén az a tendencia figyelhető meg, hogy a nyolcadik heti felszámolásakor nőtt a karotinoid-tartalom ($+13,06 \mu\text{g/g}$). A negyedik heti felszámolás esetén az összes karotinoid-tartalom értéke $660,21 \pm 70,18 \mu\text{g/g}$, a nyolcadik heti felszámolás esetén $673,27 \pm 75,60 \mu\text{g/g}$ volt.



28. ábra: Humuszos homoktalajon nevelt paprika II. oldattal történő 4 és 8 hetes felszámolása esetén kapott kémhatás és fajlagos vezetőképesség eredmények (Forrás: Saját, 2020)

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$)

A II. szuszpenzióval kezelt növények talajainak kémhatásáról elmondható, hogy a homoktalajhoz hasonlóan ebben az esetben is a semleges-enyhén savanyú tartományban mozogtak, s a nyolcadik heti 2. dózis esetén mértem a legmagasabb kémhatás értéket (pH 6,67). A fajlagos vezetőképesség esetén az eddigiekhez hasonló eredményeket kaptam: a nagyobb mennyiségű (2. dózis), hosszabb felszámolási idejű kezelések esetén magasabb volt a talajoldatban mért fajlagos vezetőképesség értéke. A kontrollhoz viszonyítva a negyedik hét 1. dózisa esetén $+5,45 \mu\text{S/cm}$ -rel, a 2. dózis esetén $+4,65 \mu\text{S/cm}$ -rel, még a nyolcadik heti felszámolás 1. dózisa esetén $+0,98 \mu\text{S/cm}$ -rel, a 2. dózis esetén $+90,51 \mu\text{S/cm}$ -rel nőtt a fajlagos vezetőképesség.

4.3.5. Komposzt szuszpenziók tesztelése során kapott eredmények összehasonlító elemzése

Az I. és II. szuszpenzióval történő öntözés során kapott eredményeket hasonlítottam össze növényenként és talajtípusonként, mely táblázatok a 8-11. számú mellékletekben találhatók meg.

A paprika növény esetén végzett vizsgálatok, valamint a statisztikai elemzés alapján elmondható, hogy homoktalajon az I. és II. szuszpenziókkal való öntözés hatására látványosak a különbségek a kontrollhoz viszonyítva, illetve a két szuszpenziót egymással összevetve is. Homoktalajon a II. szuszpenzió hatása minden vizsgált paramétert figyelembe véve

szignifikánsan különbözött az I. szuszpenziótól, mely azzal magyarázható, hogy a II. szuszpenzióban magasabb volt a foszfortartalom, mely a palántázást követő időszakban kiemelten fontos a növény számára, s ezt a II. szuszpenzióval tudtuk biztosítani. Az I. szuszpenzió hatása kevésbé érzékelhető, illetve számszerűsíthető. Humuszos homoktalajon a homoktalajhoz hasonló tendencia figyelhető meg a két talajtípus között nincs szignifikáns különbség. Humuszos homoktalajon a II. szuszpenzió 1. dózisának, homoktalajon pedig a II. szuszpenzió 2. dózisának alkalmazását javaslom.

Káposzta tesztnövényénél homoktalajon komposzt szuszpenziókkal történő öntözésről elmondható, hogy a 4. és 8. heti felszámolások között nem volt szignifikáns különbség. Homoktalajon az I. szuszpenzió esetén az 1. dózis, még a II. szuszpenzió esetén a 2. dózis alkalmazását javaslom. Humuszos homoktalajon mindkét szuszpenzió esetén közel hasonló eredményeket kaptam (levélszám, hajtáshossz, nedves tömeg), azonban a II. szuszpenzió 2. dózisának alkalmazását javaslom.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Kutatásom során négy célkitűzés mentén végeztem a kísérleteimet, valamint az azokhoz kapcsolódó vizsgálataimat. Az első céлом az volt, hogy megvizsgáljam, hogy az általánosan használt prizmás komposztálási rendszer során hogyan alakulnak a fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságok a technológiák, valamint a lehetséges kiindulási, illetve adalékanyagok függvényében, a második céлом pedig az volt, hogy elemezzem és modellezem prizmás komposztálási rendszerben a hőmérséklet, kémhatás, fajlagos vezetőképesség és a nedvességtartalom folyamatmódosító hatását. Ezen két cél esetén nyílt prizmás technológiával komposztáltam brojler- és tyúktrágya keverékét. A vizsgálatok során öt prizmát állítottam be (0, 1, 2, 5, 7 m/m% zeolit), és 62 napig komposztáltam a trágyakeveréket. A komposztálási folyamatban zajló folyamatok leírásához az általam vizsgált négy paraméter alkalmasnak bizonyult, és a komposztálás szakaszai elkülöníthetők voltak. A nedvességtartalom alakulásáról elmondható, hogy a brojlertrágya és tyúktrágya 2/3:1/3 arányú keverékének komposztálása esetén a szakirodalomban meghatározottakkal ellentétben elegendő volt az 50 m/m% nedvességtartalom illetve a 62 nap ahhoz, hogy a komposztálás folyamata végbemenjen. A növekvő zeolit bekeverési arány hatására a prizmák átlagos nedvességtartalma csökkent, mely statisztikailag is bizonyítható, ugyanis a prizmák nedvességtartalmai között szignifikáns különbségek voltak. Hőmérséklet esetén mind a kontroll, mind a zeolitos kezeléseknél a környezeti hőmérséklettől függetlenné váltak a prizmák. A komposztálás szakaszai a hőmérséklet alapján is elkülöníthetők nem csak a mérések alapján, hanem statisztikailag is. A zeolit arányának növekedésével a termofil fázis hossza nőtt, még a kontroll esetén 13 nap, addig a 7 m/m% zeolit esetén 27 nap volt. A kémhatásról elmondható, hogy a kontroll prizma esetén a komposztálás szakaszai oly módon különíthetők el, hogy az 1-3. hét alkot egy szakaszt, mely során az intenzív szerves anyag bomlás következtében bekövetkező szerves anyag képződése miatt csökkent a kémhatás (savanyodott a komposzt), majd a 3-6. hétben pH 7-8 között alakult a komposzt kémhatása, majd a komposztálás utolsó szakaszában (7-9. hét) az érési fázisban a kémhatás semleges volt. A zeolittal bekevert prizmák esetében arra számítottam, hogy a zeolit lúgosító hatását fogom tapasztalni, azonban ezzel ellentétes folyamatot tudtam azonosítani, ugyanis a növekvő zeolit bekeverési arány hatására a kémhatás csökkent, mely egyrészt a zeolit kationcsere kapacitásával, másrészt a redox viszonyokkal (levegőzöttség, tömörödés), harmadrészt pedig az ammónium-ammónia arány kémhatás hatására történő eltolódásával magyarázható. A fajlagos vezetőképesség esetén a kémhatással megegyező módon alakultak a komposztálás szakaszai. A komposzt fajlagos vezetőképessége a komposztálás végéig magas maradt, amely a trágyakeverék alapvetően is magas fajlagos vezetőképességével illetve azzal

magyarázható, hogy a vezetőképességet az összes oldott anyag-tartalom mérésével lehet megadni, és a komposztból a vizes kivonatba olyan anyagok oldódtak, melyek növelték a fajlagos vezetőképesség értékét.

A komposzt minták spektrális profilját 400-1000 nm hullámhossz tartományban történő vizsgálattal kezdtem. Mindegyik prizma esetén az alapanyagok spektrális tulajdonságai nagyban meghatározzák a reflektancia alakulását. A kontroll prizma esetén mindegyik mintavételi nap reflektanciája konstans emelkedést mutat, 400-700 nm hullámhossz tartományig jelentősen átfednek a reflektancia görbék, 700 nm hullámhossz tartományban egy töréspont figyelhető meg. A közeli infravörös tartományban azonban a reflektancia görbék elkülönítése lehetséges. A zeolit hatására a teljes vizsgálati tartományban magasabb volt a reflektancia (a kontrollhoz képest) a 0. napon is, amely a zeolit reflektanciára történő hatásával magyarázható. A zeolittal bekevert prizmákból származó komposzt minták esetén a 0. napi minták reflektanciája volt a legmagasabb. A magas reflektancia a komposzt éretlenségével magyarázható, s a vizsgálatok során ezt az eredményt is vártam, valamint azt is, hogy a komposztálás előrehaladtával a komposzt sötétedik (humuszanyagok miatt), mely során a reflektanciája is alacsonyabb volt. A zeolitos kezelések esetében megfigyelhető azonban az, hogy a legalacsonyabb reflektanciája az 53. napi mintának volt. A komposzt érettsége indokolja a reflektancia csökkenését a vizsgált tartományban, azaz a komposzt színének sötétedésével a minta reflektanciája csökken, melyet a vizsgálataim alapján bebizonyítottam.

1000-2500 nm hullámhossz tartományban a kontroll prizma spektrális profiljáról elmondható, hogy komposztálás napjainak előrehaladtával a komposzt minták reflektanciája csökkent a 400-1000 nm hullámhossz tartományban kapott eredményekkel összhangban. A vizsgálataim során erre számítottam, hiszen a hipotézisem az volt, hogy a minták reflektanciája a komposzt érésével csökkenni fog, amelyet be tudtam 1000-2500 nm hullámhossz tartományban is bizonyítani. Kontroll esetén a 0. napi minta reflektanciája közel 60% volt, még az 58. napi minta reflektanciája mindössze 40% körül mozgott. A zeolittal kezelt komposzt minták reflektanciájáról elmondható, hogy a kontrollhoz hasonlóak voltak az eredmények, azonban a nagyobb (7 m/m%) mennyiségű zeolit bekeverésének sem volt hatása a görbe alakulására, még a maximális reflektancia 75% körül mozgott. A kontrollhoz viszonyítva a zeolitos minták reflektanciájáról elmondható, hogy a mintavételi napok 2/3-a esetében a reflektancia 50% alatt volt, mellyel bizonyítható az, hogy a növekvő zeolit mennyiség hatására a komposzt hamarabb válik éretté, valamint az is, hogy 1000-2500 nm hullámhossz tartományban a zeolit nem befolyásolta szignifikánsan a spektrális görbék és a reflektancia alakulását.

400-1000 nm hullámhossz tartományban meghatároztam a reflektancia görbék inflexiós pontjait, mely nagy jelentőséggel bír a keveredettségek vizsgálatok esetén. A vizsgálataim során arra a kérdésre kerestem a választ, hogy a tyúk- és brojlertrágya keverékekben detektálható-e a hozzáadott zeolit mennyisége - nem csak a bekeveréskor illetve a komposztálás kezdeti szakaszában, hanem a komposztálás és a komposzt érés folyamata során. 400-1000 nm hullámhossz tartományban az inflexiós pontok 710 nm és 760 nm között helyezkednek el mindegyik kísérleti beállítás esetén. A kontrollhoz képest a 7 m/m% zeolit esetében az inflexiós pontok elcsúsztak a vörös tartományból a közeli infravörös tartomány felé. Ezek alapján elmondható, hogy minél nagyobb arányban került a zeolit bekeverésre, az inflexiós pontok annál inkább eltolódnak a közeli infravörös tartomány felé.

A tág KVA komposzt szuszpenziók esetén az oldási idő növelésével (48h, 72h) a szuszpenziók pH-ja csökkent, és savanyú irányba tolódott el (pH 6,3-6,7). Ezen eredményekkel összhangban hasonló folyamatról számolt be ISLAM et al., (2016), ahol a komposzt szuszpenziók pH-ja az oldási és tárolási idő előrehaladtával csökkent (pH 8,8-8,1). Ez a tendencia azzal magyarázható, hogy a légköri CO₂, vagy a mikrobiális aktivitás (anyagcsere)termékeként keletkező CO₂ a vízben szénsavvá alakult, mely egy gyenge sav, s ez az oldási idő előrehaladásával okozhatja a kémhatás csökkenését. A fajlagos vezetőképességről (mS/cm) elmondható, hogy a KVA növekedésével, azaz a szuszpenzió hígulásával a fajlagos vezetőképesség csökkent, melyet statisztikailag is bebizonyítottam, ugyanis mindegyik oldási idő esetén a különböző KVA szuszpenziók között szignifikáns különbségek vannak (p<0,05). A nagyobb mennyiségű komposzt alkalmazásával az szuszpenzió töményedik, ezzel arányosan nő az oldott anyagok mennyisége, s a vezetőképesség értéke is. Az szuszpenzióban lévő sók vízoldható formában vannak jelen, amely a növények számára felvehető. A nitrogén-formák és a fajlagos vezetőképesség esetén számított szoros lineáris összefüggése (R² értéke 0,88) alátámasztja, hogy az előállított komposzt szuszpenzióban lévő sók közel 90%-át a nitrogén-sók adják.

A szűk KVA komposzt szuszpenziók kémhatásáról elmondható, hogy a tág arányú komposzt szuszpenziókhoz hasonlóan ezen komposzt szuszpenzióknál is az oldási idő előrehaladtával a kémhatás csökkent. A komposzt szuszpenziók fajlagos vezetőképességéről elmondható, hogy az oldási hőmérséklet növekedésével azok fajlagos vezetőképessége nőtt mindegyik KVA esetén, továbbá, hogy szignifikánsan különbözik az szuszpenziók EC-értéke mindhárom oldási idő és oldási hőmérséklet, valamint a KVA változásának hatására is. A két vizsgált nitrogénforma közül a nitrát-koncentrációja volt a magasabb. A magas (400-2150 mg/l) nitrát-koncentráció azt támasztja alá, hogy a komposzt szuszpenziókban se nem anaerob, se nem anoxikus körülmények nem alakultak ki, ugyanis egy anaerob vagy anoxikus közegben kén-

hidrogén, és különböző redukált nitrogén-formák keletkeznek, még a nitrát-koncentrációja oxidatív körülményekre utal. Az alacsony foszfát-koncentráció az alapanyagban is alacsony foszfát-koncentrációval, valamint azzal magyarázható, hogy a foszfát-ion savanyú közegben jobban oldódik, ezért figyelhető meg az a tendencia, hogy a növekvő oldási idő hatására a foszfát-koncentráció nőtt, ugyanis az szuszpenziók kémhatása az idő előrehaladtával csökkent. A magas kálium-koncentráció azzal magyarázható, hogy a kálium jól oldódik vizes közegben, és semleges kémhatású oldatokban egyaránt.

A korrelációs mátrix alapján a legtöbb esetben szignifikáns összefüggéseket tudtam bebizonyítani a komposzt szuszpenziókban mért szerves kémiai paraméterek között. A kémhatás és a fajlagos vezetőképesség között fennálló szignifikáns, negatív irányú korreláció fordított arányosságra utal a két paraméter között, ugyanis még az szuszpenziók fajlagos vezetőképessége az oldatban lévő összes ion koncentrációjától függ, addig a kémhatás az oldatban lévő oxónium ion koncentrációjától. Azon oldat, melynek kémhatás savanyú, fajlagos vezetőképessége magas lesz, ugyanis ahogy csökken a pH, úgy nő az oxónium-ionok koncentrációja, s a közeg savanyodásának hatására megnövekvő oxónium-ion koncentrációnak pozitív hatása van a vezetőképesség alakulására. A korrelációs mátrix alapján a fajlagos vezetőképesség alakulását a komposzt szuszpenzióban lévő ammónium- és kálium-koncentráció nagyban meghatározza.

A tenyészedényes kísérletek eredményei alapján elmondható, hogy a kontroll és a komposzt szuszpenziókkal kezelt növények vizsgált paraméterei, valamint a felszámolási idők között szignifikáns különbségek voltak kimutathatók ($p < 0,05$). A választott teszt növények közül a paprika reagált érzékenyebben a kezelésekre, valamint a foszforhiány következtében a terméskötése rossz volt, továbbá termések deformációja következett be, ugyanis a kálium többlet gátolja a foszfor felvételét. A kezelések hatására nagyobb levélszámot kaptam mind a káposzta, mind a paprika esetén, s ez az erőteljes lombnövekedés valószínűsíthetően a nitrogén-túladagolás hatása. A növényeket érő stressz meghatározásához az Fv/Fm, valamint az Fv/Fo értékeket meghatároztam, melyek alapján elmondható, hogy a magas kálium-koncentráció hatással volt a fotoszintetikus apparátus működésére. Klorofill- és karotinoid-tartalom esetén az szuszpenziókkal kezelt növények esetében alacsonyabb értékeket mértem, mely a rossz tápanyagellátottság, kálium és magnézium ionok közötti antagonizmussal magyarázható. A talajok kémhatása a kezelések hatására kis mértékben változott, a humuszos homoktalaj esetén szignifikánsan csökkent a talajok kémhatása a kezelések hatására. A talajok fajlagos vezetőképessége az szuszpenziókkal való kezelés hatására szignifikánsan nőtt ($p < 0,05$).

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A komposztálási előkísérlet során kidolgoztam egy gyors, non-destruktív spektrális módszert és mintaelőkészítési eljárást a komposzt érettségének megállapítására, melyhez 400-2500 nm hullámhossz tartományban elemeztem a reflektancia, az inflexiós pontok, a relatív szórások, komposzt fizikai, kémiai paramétereivel való korrelációt.
2. Bebizonyítottam, hogy a 710-730±20 nm hullámhossz tartomány alkalmas a számított inflexiós pontok alapján a különböző komposzt-zeolit keverékek értékelésére, ahol a nagyobb értékű inflexiós pontok infravörös tartományban történő elmozdulása jelzi a komposzt érettségét.
3. Becslő egyenleteket alakítottam ki a komposzt minőséget jellemző paraméterek gyors, nem invazív módon történő vizsgálatára. A 20%-os hibahatár (NRMSE) alatti modellek a következők: a $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ hullámhosszakból képzett hányados a nedvességtartalom, fajlagos vezetőképesség és a kémhatás becslésére alkalmas. A NIR-tartományban a $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ hányados a nedvességtartalom, míg a $\lambda_{1922}/\lambda_{2127}$ hányados a kémhatás, fajlagos vezetőképesség becslésére alkalmas.
4. A nyílt primás komposztálás eredményei alapján bebizonyítottam, hogy a zeolit 2 tömeg%-os bekeverése esetén az intenzív komposztáló reaktor tartózkodási ideje 30-40% -kal csökkenthető.
5. Meghatároztam a komposztált baromfitrágyából készített komposzt szuszpenzió optimális oldékonysági feltételeit és paramétereit, melyek a következők: komposzt:víz arány (KVA) >> oldási idő >> oldási hőmérséklet.
6. Megállapítottam, hogy a fehér édes paprika (*Capsicum annuum* L., fajtája: Ceremony F1) esetén mindkét talajtípuson (homoktalajon, humuszos homoktalajon) a komposzt szuszpenzióval kezelt növények termésmennyisége, terméskötése, növénymagassága, teljes zöldtömege szignifikánsan növekedett a szuszpenziók hatására. Ha a különböző szuszpenziók relatív rangsorát nézzük: I. szuszpenzió esetén mindkét talajon az 1. dózis, még a II. szuszpenzió esetén a 2. dózis volt eredményesebb. Fejes káposzta (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* provar. *capitata* Dutch, fajtája: Autumn Queen F1) esetén ha a kezelések relatív rangsorát nézzük, akkor az I. szuszpenzió esetén mindkét talajon az 1. dózis, még a II. szuszpenzió esetén mindkét talajon a 2. dózis alkalmazását javaslom.

7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

1. Az intenzív komposztálás optimalizálásához előkísérleteket végeztem, melyet nyílt prizmás komposztálással modelleztem. Eredményeim alapján számszerűsített technológiai adatokat szolgáltatam a hőmérsékletre, kémhatásra, fajlagos vezetőképességre, nedvességtartalomra vonatkozóan, s ezen paraméterek a komposztálás alapparamétereinek tekinthetők. A kezelés-idő kölcsönhatására alkalmazott modellben a kezelések szignifikánsan befolyásolták a vizsgált paraméterek alakulását ($p < 0,05$).
2. Megállapítottam, hogy a brojlertrágya és a tyúktrágya 2/3:1/3 arányú keverékének komposztálása esetén elegendő az 50 m/m% nedvességtartalom a komposztálási folyamathoz, mely az iparszerű komposztálási környezetben is lehetővé teszi az alapanyagok komposztálási idejének redukálását.
3. A komposztálás négy fázisának tartózkodási ideje alapján megállapítottam, hogy zeolit adalékolással az iparszerű komposztáló reaktorban lévő anyagok tartózkodási idejét hatékonyan lehet csökkenteni (14 nappal) nagyobb mennyiségű zeolit (minimum 2 m/m%) bekeverésével.
4. A számított RMSE és NRMSE értékek alapján a VIS-NIR spektrális tartományban képzett indexek a kémhatás, a nedvességtartalom és a fajlagos vezetőképesség becslésére alkalmasak. Ily módon spektrális (gyorsanalitikai) vizsgálatokkal is meghatározhatók a komposzt fizikai-kémiai paraméterei.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Doktori értekezésem során a hazai állattenyésztés és növénytermesztés között fennálló ellentmondásokat szerettem volna feloldani, enyhíteni oly módon, hogy a baromfitartás során keletkező szerves melléktermékek kezelésére, tápanyagutánpótlásban történő alkalmazásának innovatív lehetőségeire fektetem a hangsúlyt. A kutatásomat négy célkitűzés mentén végeztem: (1) megvizsgáltam, hogy egy prizmás komposztálási rendszerben hogyan alakulnak a fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságok a lehetséges kiindulási, illetve adalékanyagok függvényében; (2) elemeztem és modelleztem a prizmás komposztálási rendszerben a hőmérséklet, kémhatás, fajlagos vezetőképesség és a nedvességtartalom folyamat módosító hatását; (3) meghatároztam a passzív (nem levegőzetett) körülmények között előállított komposzt szuszpenziók kulcsfontosságú előállítási paramétereit, valamint azok hatását a szerves kémiai paraméterekre; (4) meghatároztam a baromfitrágya alapú termékek optimális termesztéstechnológiai paramétereit talaj-növény rendszerben, fejes káposzta (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* provar. *capitata* Dutch) és fehér édes paprika (*Capsicum annuum* L.) tesztnövények, két dózis, két talajtípus és egy vízkapacitás szint alapján.

A nyílt prizmás komposztálási rendszer vizsgálata során öt komposzt prizmát alakítottam ki, melyekben 2/3-ad arányban brojlertrágya, még 1/3-ad arányban tyúktrágya keverékét komposztáltam zeolit növekvő arányú bekeverésével. A 62 napos (9 hetes) komposztálás során vizsgáltam a nedvességtartalom, hőmérséklet, kémhatás és fajlagos vezetőképesség alakulását, valamint spektrális vizsgálatokat is végeztem 400-2500 nm hullámhossz tartományban. A fizikai-kémiai paraméterekből adatbázisokat alakítottam ki, és statisztikailag is értékeltem azt, hogy hogyan befolyásolja az adalékanyag aránya a komposztálási folyamatot. A kapott eredmények alapján bebizonyítottam, hogy a vizsgált paraméterek alkalmasak a komposztálás szakaszainak elkülönítésére. A növekvő zeolit bekeverési arány hatására a prizmák átlagos nedvességtartalma csökkent, s ez a különbség szignifikánsan ható tényezőnek bizonyult ($p < 0,05$). A hőmérséklet esetén a zeolit pozitív hatásai figyelhetők meg, ugyanis a zeolit arányának növekedésével a termofil fázis hossza nőtt, s még a kontroll esetén ezen szakasz hossza 13 nap, addig a 7 m/m% zeolit esetén 27 nap volt. Az adalékanyag hatására az alapanyagok hamarabb válnak éretté, s így azok tartózkodási ideje a komposztáló térben jelentősen csökkenthető. A kémhatás esetén a zeolit lúgosító hatásával ellentétben savanyító hatást tudtam kimutatni, mely több okra is visszavezethető (kationcserélő kapacitás, redox viszonyok, ammónium túlsúly a közegben). A fajlagos vezetőképesség a komposztálási

folyamatban végig magas maradt (kontroll és a zeolittal kezelt prizmák esetén egyaránt), s ezen paraméter esetén a komposztálás szakaszai határolhatók egymástól.

A spektrális vizsgálatok során először az alapanyagok (brojler- és tyúktrágya, zeolit) spektrális tulajdonságaira koncentráltam, majd a nyílt prizmás komposzt mintákkal dolgoztam. Az alapanyagként alkalmazott brojler- és tyúktrágya spektrális profilja a VIS-NIR tartományban a trágyákra, valamint a talajokra jellemző reflektancia görbével írható le. A kétféle trágya reflektancia görbéje azonos lefutású, számottevő különbség nem detektálható, azonban a tyúktrágya reflektanciája magasabb értéket mutat a brojlertrágyához képest. 1000-2500 nm hullámhossz tartományban két minimum pont is látható: 1450 nm-en és 1950 nm-en, amelyek a trágyaszemcsék felszínén lévő víz abszorpciós helyeit jelzik. A zeolit szürkésfehér színéből adódóan a reflektanciája magas (55% feletti), amely egészen 900 nm-ig megfigyelhető. Az 1350 nm-en, 1410 nm-en, valamint 1950 nm-en mért lokális minimum pontok a nedvességtartalomra érzékeny hullámhossz tartományokat jelzik. A 400-1000 nm hullámhossz tartományon végzett vizsgálatok alapján elmondható, hogy mindegyik prizma esetén a brojler és a tyúktrágya spektrális tulajdonságai nagyban meghatározzák a reflektancia alakulását. 400-700 nm hullámhossz tartományig jelentősen átfednek a komposzt minták reflektancia görbéi, 700 nm hullámhossz tartományban egy töréspont figyelhető meg. A töréspontok vagy inflexiós pontok helyeit bináris kódolással határoztam meg. A bináris kódolás alapján 400-1000 nm hullámhossz tartományban az inflexiós pontok 710 nm és 760 nm között helyezkednek el mindegyik kísérleti beállítás esetén, s ezen inflexiós pontok elcsúszása a komposzt érettségére utal, ugyanis még a kontroll esetén ez az elcsúszás 9,591 nm, addig a 7 m/m% zeolit esetén 39,696 nm volt. 1000-2500 nm hullámhossz tartományban a kontroll prizma spektrális profiljáról elmondható, hogy komposztálás napjainak előrehaladtával a komposzt minták reflektanciája csökkent a 400-1000 nm hullámhossz tartományban kapott eredményekkel összehangban. A kontrollhoz viszonyítva a zeolitos minták reflektanciájáról elmondható, hogy a növekvő zeolit mennyiség hatására a komposzt hamarabb válik éretté, valamint az is, hogy 1000-2500 nm hullámhossz tartományban a zeolit nem befolyásolta szignifikánsan a reflektancia alakulását.

A különböző komposztkeverékek minőségi vizsgálatára, valamint a vizsgált fizikai-kémiai paraméterek előrejelzésére indexeket alkottam meg. Az indexek esetén főkomponens analízist végeztem (varimax rotációval, derékszögű fordítással) és az elemzés eredményeként kapott főkomponens súlyok alapján határoztam meg, hogy melyek azok a hullámhossz tartományok, amik a komposztérettségre, illetve a komposzt anyagi minőségének vizsgálatára alkalmasak

lehetnek. A főkomponens analízis alapján öt főkomponenst tudtam meghatározni a VIS-NIR tartományban. A főkomponensek alapján elmondható, hogy a variancia több mint 93%-át az első komponensbe (PC1) tartozó változók okozzák, a PC2 a 6,023%-át, a PC3-PC5 komponensek pedig a teljes varianciát minimálisan (0,696%) határozzák meg. Meghatároztam azokat a hullámhosszokat, ahol a legnagyobb és a legkisebb volt a faktorsúly, tehát a variancia a két hullámhossz között a legnagyobb volt. Ez a hullámhossz a 812 nm és a 941 nm voltak, melyekből a $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ és a $\lambda_{941}/\lambda_{812}$ hányadosokat számoltam ki. Az Index 1 a $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ hányados a nedvességtartalom (NT), az Index 2 a $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ hányados a fajlagos vezetőképesség (EC), az Index 3 a $\lambda_{941}/\lambda_{812}$ hányados a hőmérséklet (H), még az Index 4 a $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ hányados a kémhatás (pH) előrejelzésére létrehozott modellt jelentette. A VIS-NIR tartományban képzett indexekről elmondható, hogy a kémhatás, a nedvességtartalom és a fajlagos vezetőképesség predikciójára alkalmasak a megalkotott modellek (NRMSE értéke 20% alatti), s így módon spektrális (gyorsanalitika) vizsgálatokkal is meghatározhatók a komposzt fizikai-kémiai paraméterei. 1000-2500 nm hullámhossz tartományban is a PC1 komponens határozza meg a teljes variancia 93,33%-át, a PC2, PC3, PC4 komponensek a variancia mindössze 5,575%-át jelentik. A faktorsúlyok alapján a nedvességtartalom és a hőmérséklet esetén a $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ hányadossal, még a kémhatás és a fajlagos vezetőképesség esetén a $\lambda_{1922}/\lambda_{2127}$ hányadosokkal dolgoztam. Az Index 1 a $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ hányados a nedvességtartalom (NT), az Index 2 a $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ hányados a hőmérséklet (H), az Index 3 a $\lambda_{1922}/\lambda_{2127}$ hányados a kémhatás (pH), még az Index 4 a $\lambda_{1922}/\lambda_{2127}$ hányados a fajlagos vezetőképesség (EC) előrejelzésére létrehozott modellt jelentette. A NIR-tartományban képzett predikciós indexek közül a nedvességtartalom, kémhatás és fajlagos vezetőképesség modellje alkalmazható az adott paraméter előrejelzésére (NRMSE <20%).

A komposzt szuszpenziók előállítására volt a harmadik célkitűzésem, mely során tág és szűk KVA arányú komposzt szuszpenziókat állítottam elő, s meghatároztam azok szeretlen kémiai paramétereire ható kulcsfontosságú paramétereket. Ezek eredmények alapján a komposzt szuszpenziók a biológiai növényvédelem potenciálisan jól használható jövőbeli eszközei lehetnek, azonban sikeres alkalmazásukhoz meg kell ismerni adott növényi fajta – kórokozó (gomba, baktérium) - környezet kapcsolatrendszerét valamint a komposzt szuszpenzió hatásmechanizmusát. Ahhoz hogy a levélfelületre spray-ként használt komposzt teák betegségcsökkentő hatásának hatékonyságát növelhessük, a jelenlegi nagyon eltérő gyakorlatot részben az előállítás és a kijuttatás szempontjából szabványosítani szükséges. Jelenleg az eltérő hatékonyságot főként a komposzt szuszpenziókban élő mikrobiális közösségek ökológiai ismereteinek hiánya okozza. Így további specifikus vizsgálatok szükségesek, a komposzt

szuszpenziók mikrobiológiai közösségeinek a növényi fitopatogénekkal szemben gyakorolt antagonista kölcsönhatás értékelésére. A fenntartható gazdálkodás szempontjából a komposzt szuszpenziók növénykondicionáló stressztoleranciát növelő hatása is figyelemreméltó, amelyet egy termesztési rendszerbe építve csökkenthetjük a kémiai környezetterhelést a mezőgazdaságban.

9. SUMMARY

In my doctoral dissertation, I wanted to resolve and alleviate the contradictions between Hungarian animal husbandry and crop production by focusing on the innovative possibilities of the treatment of organic by-products created during poultry farming and their application in nutrient replenishment. I conducted my research along four objectives: (1) I investigated how physical, chemical, and biological properties were developing in a windrow composting system as a function of possible starting materials and additives; (2) I analyzed and modeled the process-modifying effect of temperature, pH, electrical conductivity, and moisture content in the windrow composting system; (3) I determined the key parameters of compost solutions prepared under non-aerated conditions and their effect on inorganic chemical parameters; (4) I determined the optimal cultivation technological parameters of poultry manure-based products in a soil-plant system, cabbage (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* provar. *capitata* Dutch.) and white sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) test plants, two doses, two soil types and one based on water capacity level.

During the examination of the windrow composting system, I formed five compost prisms, in which I composted a mixture of broiler manure in a 2/3 ratio, and a mixture of hen manure in a 1/3 ratio by mixing zeolite in increasing proportions. During the 62-day (9-week) composting, I examined the evolution of moisture content, temperature, pH and electrical conductivity, as well as performed spectral studies in the wavelength range of 400–2500 nm. I created databases from the physico-chemical parameters and also statistically evaluated how the proportion of the additive influences the composting process. Based on the obtained results, I proved that the examined parameters are suitable for the separation of the composting stages. As a result of the increasing zeolite mixing ratio, the average moisture content of the prisms decreased, and this difference proved to be a significant factor ($p < 0.05$). In the case of temperature, the positive effects of zeolite can be observed, because with the increase of the proportion of zeolite the length of the thermophilic phase increased, and even in the case of the control the length of this phase was 13 days, in the case of 7 w/w% zeolite it was 27 days. As a result of the additive, the raw materials mature more quickly, so their residence time in the composting space can be significantly reduced. In the case of pH, in contrast to the alkalizing effect of zeolite, I was able to show an acidifying effect, which can be traced back to several reasons (cation exchange capacity, redox conditions, increases ammonium in the windrow). The electrical conductivity remained high throughout the composting process (both for control and zeolite-treated prisms), and for this parameter the composting stages can be separated.

During the spectral studies, I first focused on the spectral properties of the raw materials (broiler and hen manure, zeolite), and then I worked with the windrow compost samples. The spectral profile of broiler and hen manure used as raw material in the VIS-NIR range can be described by the reflectance curve characteristic of fertilizers as well as soils. The reflectance curves of the two types of manure have the same course, no significant difference can be detected, however, the reflectance of hen manure shows a higher value compared to broiler manure. There are also two minimum points in the wavelength range 1000–2500 nm: 1450 nm and 1950 nm, which indicate the water absorption on the surface of manure particles. Due to the greyish-white color of the zeolite, its reflectance is high (above 55%), which can be observed up to 900 nm. Local minimum points measured at 1350 nm, 1410 nm, and 1950 nm indicate wavelength ranges sensitive to moisture content. Based on the studies in the wavelength range of 400-1000 nm, it can be said that for each prism the spectral properties of the broiler and the chicken manure largely determine the development of the reflectance. Up to the wavelength range of 400–700 nm, the reflectance curves of the compost samples significantly overlap, in the wavelength range of 700 nm a breaking point is observed. The locations of breakpoints or inflection points were determined by binary encoding. Based on the binary encoding, it can be said that the inflection points in the wavelength range of 400-1000 nm are located between 710 nm and 760 nm for each experimental setting. The slip of these inflection points indicates the maturity of the compost, since even in the case of the control this slip was 9.591 nm, while in the case of the 7 w/w% zeolite it was 39.696 nm. Regarding to the spectral profile of the control prism in the wavelength range of 1000–2500 nm, it can be stated that as the days of composting progressed, the reflectance of the compost samples decreased in line with the results obtained in the wavelength range of 400–1000 nm. My hypothesis was that the reflectance of the samples would decrease with the maturation of the compost, which I could prove in the wavelength range of 1000–2500 nm. It can be stated that the reflectance of the zeolite samples was below 51% for 2/3 of the sampling days compared to the control. This proves that the increasing amount of zeolite causes the compost to mature sooner, as well as that the zeolite did not significantly affect the development of spectral curves and reflectance in the wavelength range of 1000–2500 nm. Indices have been designed for the qualitative analysis of different compost mixtures and for the prediction of the physico-chemical parameters studied. Principal component analysis (varimax rotation, right-angle translation) was performed and the principal component weights obtained from the analysis were used to determine the wavelength ranges that could be used to test the compost maturity and material quality of the compost. From the principal component analysis, I was able to identify five principal components in the VIS-NIR

range. Based on the principal components, it can be said that variables belonging to the first component (PC1) account for more than 93% of the variance, PC2 accounts for 6.023%, and components PC3-PC5 account for a minimum (0.696%) of the total variance. I determined the wavelengths where the factor weight was the largest and the smallest, so the variance between the two wavelengths was the largest. These wavelengths were 812 nm and 941 nm, from which I calculated the $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ and $\lambda_{941}/\lambda_{812}$ ratios. Index 1 was the $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ quotient for the moisture content, Index 2 was the $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ quotient for the electrical conductivity, Index 3 was the $\lambda_{941}/\lambda_{812}$ quotient for the temperature, and Index 4 was the $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ quotient for the model predicting the pH. As for the indices in the VIS-NIR range, the models obtained are suitable for predicting chemistry, moisture content and specific conductivity (NRMSE below 20%) and thus the physico-chemical parameters of the compost can be determined by spectral (fast analytical) analysis.

Also in the wavelength range 1000-2500 nm, the PC1 component accounts for 93.33% of the total variance, the PC2, PC3, PC4 components account for only 5.575% of the variance. Based on the factor weights, I used the $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ ratio for moisture content and temperature, and $\lambda_{1922}/\lambda_{2127}$ for chemistry and specific conductance. Index 1 was the $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ quotient for moisture content, Index 2 was the $\lambda_{2115}/\lambda_{1993}$ quotient for temperature, Index 3 was the $\lambda_{1922}/\lambda_{2127}$ quotient for pH, Index 4 was the $\lambda_{1922}/\lambda_{2127}$ quotient for the model predicting electrical conductivity. Of the prediction indices trained in the NIR range, the model for moisture, pH and electrical conductivity can be used to predict the parameter (NRMSE <20%).

My third objective was to produce compost solutions with a wide to narrow compost water ratio and to determine the key factors affecting the inorganic chemical parameters of the solutions. Based on these results, compost solutions can be a potentially useful future tool for biological plant protection, but for their successful application it is necessary to know the relationship between the environment of a given plant variety - pathogen (fungus, bacteria) and the impact of the use of the compost solution. In order to increase the effectiveness of the disease-reducing effect of compost teas used as a spray on the leaf surface, the different practices need to be standardized in terms of production and application. Currently, the different efficiencies are mainly due to the lack of ecological knowledge of microbial communities living in compost solutions. Thus, further specific studies are needed to evaluate the antagonistic interaction of compost tea microbiological communities with plant phytopathogens. From the sustainable farming point of view, the effect of compost solutions on increasing plant conditioning stress tolerance is also remarkable, which can be built into a cultivation system to reduce the chemical load on the environment in agriculture.

10. IRODALOMJEGYZÉK

1. Abadía, A., R. - Belkohodja, F. - Morales, J. - Abadía. (1999): Effects of salinity on the photosynthetic pigment composition of barley (*Hordeum vulgare* L.) growth under a tripleline-source sprinkler system in the field. *Journal of Plant Physiology*. 154:392-400.
2. Abouelwafa, R. - Ait Baddi, G. - Souabi, S. - Winterton, P. - Cegarra, J. - Hafidi, M. (2008): Aerobic biodegradation of sludge from the effluent of a vegetable oil processing plant mixed with household waste: Physical-chemical, microbiological, and spectroscopic analysis. *Bioresource Technology*, 99(18), 8571-8577.
3. Adhikari, B. K. – Barrington, S. – Martinez, J. – King, S. (2008): Characterization of food waste and bulking agents for composting. *Waste Management*. 28(5):795-804.
4. Ahn, H. K. – Richard, T. L. – Choi, H. L. (2007): Mass and thermal balance during composting of poultry manure-wood shavings mixture at different aeration rates. *Process Biochemistry*, 42:215–223.
5. Albrecht, R. - Joffre, R. - Gros, R. - Le Petit, J. - Terrom, G. - Périssol, C. (2008): Efficiency of near-infrared spectroscopy to assess and predict the stage of transformation of organic matter in the composting process. *Bioresource Technology*. 99:448-455.
6. Al-Dahmani, J. H. - Abbasi, P. A. - Miller, S. A. - Hoitink, H. A. J. (2003): Suppression of bacterial spot of tomato with foliar sprays of compost extracts under greenhouse and field conditions. *Plant Disease Journal*. 87, 913–919.
7. Allaga, J. - Szántóné-Palánki, E. (1997): *Növényélettani gyakorlatok*. Pannon Agrártudományi Egyetem, Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Növénytani és Növényélettani Tanszék. Keszthely. 129 p.
8. Arslan, E. I. - Ünlü, A. - Topal, M. (2011): Determination of the effect of aeration rate on composting of vegetable–fruit wastes. *Clean–Soil, Air, Water*, 39(11), 1014-1021.
9. Ashraf, M. (2004): Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora*, 199(5): 361-376.
10. Baddi, G. A. - Hafidi, M. - Cegarra, J. - Albuquerque, J. A. - Gonzalez, J. - Gilard, V. - Revel, J. C. (2004): Characterization of fulvic acids by elemental and spectroscopic (FTIR and C-NMR) analyses during composting of olive mill wastes plus straw. *Bioresource Technology*. 93, 285–290.
11. Barótfi, I. (2000): *Környezettechnika*. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 981 p.

12. Batham, M. – Gupta, R. – Tiwari, A. (2013): Implementation of Bulking Agents in Composting: A Review. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*. 4-7.
13. Ben-Dor, E. - Banin, A. (1995): Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 59, 364–372.
14. Ben-Dor, E. - Inbar, Y. - Chen, Y. (1997): The reflectance spectra of organic matter in the visible near-infrared and short wave infrared region (400-2500 nm) during a controlled decomposition process. *Remote Sensing of Environment*. 61:1-15.
15. Béres, A. - Csiffáry, N. - Gadácsi, R. - Laczkó, B. - Márton, Zs. (2017): A komposzt is érték! A helyben végzett komposztálás elmélete és gyakorlata. Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. Adu-Press Nyomda Kft. Budapest. 44 p.
16. Béri, B. (2011): *Tartástechnológia*. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem.
17. Bernal, M. P. – Albuquerque, J. A. – Moral, R. (2009): Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*. 100: 5444-53.
18. Bernal, M. P. - Navarro, A. F. - Sanchez-Monedero, M. A. - Roig, A. - Cegarra, J. (1998): Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 30, 305–313.
19. Bernal, M.P. - Paredes, C. - Sanchez-Monedero, M. A. - Cegarra, J. (1998): Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*. 63, 91–99
20. Bertoldi, A. – Vallini, G. – Pera, A. (1983): The Biology Of Composting: A Review, *Waste Management & Research* 1: 157-176.
21. Bishop, J. L. - Pieters, C. M. - Edwards, J. O. (1994): Infrared spectroscopic analyses on the nature of water in montmorillonite. *Clays Clay Minerals* 42, 702–716.
22. Björkmann, O. - Demming-Adams, B. (1987): Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170: 489-504.
23. Boldrin, A. – Andersen, J. K. – Moller, J. – Christensen, T. H. – Favoino, E. (2009): Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management and Research*. 27(8), 800-812.
24. Bonifazi, G. – Serranti, S. (2008): Compost quality control by hyperspectral imaging. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. 7003.

25. Bögre, J. – Kakuk, T. – Szlameniczky, I. – Várady, B. (1964): A tyúktenyésztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó.
26. Böhm, K. (2009): Compost quality determination using infrared spectroscopy and multivariate data analysis. Doctoral thesis. Universität Für Bodenkultur Wien. 105. p.
27. Bökfı, K. - Nagy, A. - Riczu, P. - Gyug, N. - Petis, M. - Blaskó, L. - Tamás, J. (2016): Húsliszt és hemoglobin vértermék jellemzőinek nem invazív módszerekkel történő értékelése a VIS-NIR hullámhossz tartományban. Agrártudományi közlemények, 2016/69.
28. Brake, J. D. (1992): A Practical Guide for Composting Poultry Litter, MAFES Bulletin, p. 981.
29. Bratek, Z. - Fodor, F. - Király, I. - Nyitrai, P. - Parádi, I. - Rácz, I. - Rudnóy, Sz. - Solti, Á. - Szigeti, Z. - Tamás, L. (2013): A növényi anyagcsere élettana. Eötvös Lóránd Tudományegyetem. TÁMOP-4.1.2 A1 és a TÁMOP-4.1.2 A2 könyvei.
30. Bueno, P. – Tapias, R. – López, F. – Díaz, M. J. (2007): Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting. Bioresource Technology 99 (2008) 5069–5077.
31. Buiten, H. J. (1993): General Aspects of Imaging and Recording of Remote Sensing Data. In: Buiten, H. J. – Cleves, J. G. P. W. (Eds) (1993): Land observation by remote sensing – Theory and Applications, Overseas Publishers Association, Amsterdam, 63-82.
32. Burton, H. - Turner, C. (2003): Manure management, second ed.. Treatment Strategies for Sustainable Agriculture Silsoe Research Institute, Lister and Durling Printers, Flitwick, Bedford, UK.
33. Cahyani, V. R. – Matsuya, K. – Asakawa, S. – Kimura, M. (2003): Succession and phylogenetic composition of bacterial communities responsible for the composting process of rice straw estimated by PCR–DGGE analysis. Soil Science and Plant Nutrition 49:619–630.
34. Capriel, P. - Ebertseder, T. - Popp, L. - Gutser, R. (1999): IR-spectroscopy: A rapid method to estimate the nitrogen effect and relevant parameters of biocomposts. 162(2), 149-153.
35. Castaldi, G. – Alberti, R. – Merella, P. M. (2005): Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. Waste Management, 25, pp. 209–213.

36. Castaldi, P. - Alberti, G. - Merella, R. - Melis, P. (2005): Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Management*, 25:209-213.
37. Chan, M. T. – Selvam, A. – Wong, J. W. C. (2016): Reducing nitrogen loss and salinity during ‘struvite’ food waste composting by zeolite amendment. *Bioresource Technology*; 200:838-44.
38. Chang, C. W. - Laird, D. A. - Mausbach, M. J. - Hurburgh, C. R. (2001): Near-infrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*. 65, 480–490.
39. Chang, J. I. – Chen, Y. J. (2010): Effects of bulking agents on food waste composting. *Bioresource Technology*. 101(15):5917-24.
40. Chanyasak, V. - Katayama, A. - Hirai, M. F. - Mori, S. - Kubota, H. (1983): Effects of compost maturity on growth of domatxuna (*Brassica rapa* var. *pervidis*) in Neubauer’s pot. II. Growth inhibitory factors and assessment of degree of maturity by org.KC/org.KN ratio of water extract. *Soil Science and Plant Nutrition* 29, 251–259.
41. Chanyasak, V. - Kubota, H. (1981): Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of compost degradation. *Journal of Fermentation Technology*. 59, 215–219.
42. Chefetz, B. - Hatcher, P.G. - Hadar, Y. - Chen, Y. (1996): Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. *Journal of Environmental Quality* 25, 776–785.
43. Chen Y. - Imbar Y. (1993): Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting in relation to compost maturity In: Hoitink H. A. J., Keener H.M. (Eds.): *Science and Engineering of Composting*, The Ohio State University, pp. 551–600.
44. Chen Z. - Jiang X. (2014): Microbiological Safety of Chicken Litter or Chicken Litter-based Organic Fertilizers: A Review. *Agriculture*. 4:1-29.
45. Chen, Y. - Chefetz, B. - Hadar, Y. (1996): Formation and properties of humic substance originating from composts. In: Bertoldi, M. - Sequi, P. - Lemmes, B. - Papi, T. (Eds.) (1996), *The Science of Composting*. Blackie Academic and Professional, Glasgow, pp. 382–393.
46. Chica, A. - Mohedo, J. J. - Martin, M. A. - Martin, A. (2003): Determination of the stability of MSW compost using a respirometric technique. *Compost Science and Utilization*. 11, 169–175.

47. Chowdhury, A. K. M. M. B. - Konstantinou, F. - Damati, A. - Akrotos, C.S. - Vlastos, D. – Tekerlekopoulou, A.G. - Voyenas, D.V. (2015): Is physicochemical evaluation enough to characterize olive mill waste compost as soil amendment? The case of genotoxicity and cytotoxicity evaluation. *Journal of Cleaner Production*. 93, 94-102.
48. Chowdhury, M. A. – De, N. A. – Jensen, L.S. (2014): Potential of aeration flow rate and bio-char addition to reduce greenhouse gas and ammonia emissions during manure composting. *Chemosphere*; 97:16-25.
49. Clark, R. N. - King, T. V. V. - Klejwa, M. - Swayze, G. A. - Vergo, N. (1990): High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. *Journal of Geophysical Research*. 95, 12653–12680.
50. Clark, R. N. (1999): Spectroscopy of rocks and minerals and principles of spectroscopy. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 3–58. pp.
51. Czupy, I. – Vágvolgyi, A. (2011): Mezőgazdasági (növénytermesztés, állattartás, erdészeti) hulladékok kezelése és hasznosítása. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Mezogazdasag_hulladekai/ch03s03.html
52. Csiba, A. – Fenyvesi, L. (2012): Facilities of poultry manure processing and utilization with environmental technologies. *AgEng Konferencia Valencia*. 2012. július 8–12.
53. Csiba, A. – Vojtela, T. - Bellus Z. (2013): Baromfitrágya-feldolgozás lehetőségei az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése érdekében. *Mezőgazdasági Technika*, 2013. június. 12-14.
54. Csiba, A. (2011): Környezetbarát technológia baromfitrágya feldolgozásra – *Mezőgazdasági Technika* LII. Évfolyam 2011. 12. 40- 41.
55. Dalal, R. C. - Henry, R. J. (1986): Simultaneous determination of moisture, organic carbon, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. *Soil Science Society of America Journal*. 50, 120–123.
56. Danon, M. - Franke-Whittle, I. H. - Insam, H. - Chen, Y. - Hadar, Y. (2008): Molecular analysis of bacterial community succession during prolonged compost curing. *FEMS Microbial Ecology* 65:133–144.
57. De Vries, J.W. - Groenestein, C.M. - De Boer, I. J. M. (2012): Environmental consequences of processing manure to produce mineral fertilizer and bio-energy. *Journal of Environmental Management* 102, 173–183.
58. Deák, T. - Kiskó, G. - Maráz, A. - Mohácsiné Farkas, Cs. (2006): Élelmiszer-mikrobiológia. *Mezőgazda Kiadó*. Budapest. 377. pp.

59. Droppa, M. – Erdei, S. – Horváth, G. – Kissimom, J. – Mészáros, A. – Szalai, J. – Kosáry, J. (2003): *Növénybiokémiai és élettani gyakorlatok*. Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem. Budapest. 88 p.
60. Ehlert, P. – Schoumans, O. (2015): *Products, by-products and recovered secondary materials from processed animal manure*. Wageningen, Alterra Wageningen University & Research Centre. Alterra Report. 2668-2698.
61. Ehsani, M. R. - Upadhyaya, S. K. - Slaughter, D. - Shafii, S. - Pelletier, M. (1999): A NIR technique for rapid determination of soil mineral nitrogen. *Precision Agriculture*. 1, 217–234. Everitt, B. S. *The Cambridge Dictionary of Statistics* 2nd edn.. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
62. Elvidge, C. D. (1990): Visible and near infrared reflectance characteristics of dry plant materials. *International Journal of Remote Sensing*. 11:1775-1795.
63. Epstein, E. (1997): *The Science of Composting*. Boca Raton, FL: CRC Press.
64. Fang, M. - Wong, J. W. C. - Ma, K. K. - Wong, M. H. (1999): Co-composting of sewage sludge and coal fly ash: nutrient transformations. *Bioresource Technology*. 67, 19–24
65. FAO – WFP – IFAD. (2012): *The State of Food Insecurity in the World 2012. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition*. Rome, FAO.
66. Fazekas, B. – Pítás, V. – Thury, P. – Kárpáti, Á. (2011): *Komposztálás. TÁMOP 4.2.5 Pályázat könyvei*.
67. Filip, Z. - Pecher, W. - Berthelin, J. (2000): Microbial utilization and transformation of humic acid-like substances extracted from a mixture of municipal refuse and sewage sludge disposed of in a landfill. *Environmental Pollution*, 109(1), 83-89.
68. Fillingham, M. A. – Vanderzaag, A.C. – Burt, S. – Baldé, H. – Ngwabie, N. M. - Smith W. – Hakami, A. - Wagner-Riddle, C. – Bittman, S. – MacDonald, D. (2017): Greenhouse gas and ammonia emissions from production of compost bedding on a dairy farm. *Waste Management*. 70:45-52.
69. Finstein, M.S. - Miller, F. C. (1985): Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control, and cost effectiveness. In: Gasser, J.K.R. (Ed.), *Composting of Agricultural and Other Wastes*. Elsevier Applied Science Publications, Barking, Essex, pp. 13–26.
70. Flynn, R. P. - Wood, C. W. (1996): Temperature and chemical changes during composting of broiler litter. *Compost Science and Utilization*. 3, 62–70.

71. Foged, H. L. – Xavier, F. – August, B. B. – Jordi, P. - Magri, A.- Schelde, K. M. (2011): Inventory of manure processing activities in Europe. Technical Report No. I concerning “Manure Processing Activities in Europe” to the European Commission, Directorate-General Environment. 138 pp.
72. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 2015. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
73. Forster, J. C. - Zech, W. - Wurdinger, E. (1993): Comparison of chemical and microbiological methods for the characterization of the maturity of composts from contrasting sources. *Biology and Fertility of Soils*. 16, 93–99.
74. Fujiwara, T. - Murakami, K. (2007): Application of near infrared spectroscopy for estimating available nitrogen in poultry manure compost. *Soil Science and Nutrition* 53:102-107.
75. Gaál, K. (2011): Trágyakezelés- és hasznosítás a baromfitelepeken. In: Bogenfürst F. - Horn P. - Sütő Z. - Kovácsné Gaál K. - Kovács G. (2011): Baromfitenyésztés. Kaposvári Egyetem; Pannon Egyetem; Nyugat-Magyarországi Egyetem. 399 p.
76. Galajakshmi, S. – Abbasi, S. A. (2008): Solid waste management by composting: state of the art. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*.38:311-400.
77. Gao, M. – Li, B. – Yu, A. – Liang, F. – Yang, L. – Sun, Y. (2010): The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust. *Bioresource Technology*. 101, 1899-1903.
78. Garcia, C. - Hernandez, T. - Costa, F. (1991): Study on water extract of sewage–sludge composts. *Soil Science and Plant Nutrition* 37, 399–408.
79. Garg, M.R. (2012): Balanced feeding for improving livestock productivity – Increase milk production and nutrient use efficiency and decrease in methane emission. In: Makkar, H.P.S. (eds.). *FAO Animal Production and Health – Paper*. Rome, Italy. FAO. 2012. 1-30.
80. Gea, T. – Barrena, R. – Artola, A. – Sánchez, A. (2007): Optimal bulking agent particle size and usage for heat retention and disinfection in domestic wastewater sludge composting. *Waste Management* 27. (9):1108-16.
81. Gerber, P. – Opio, C. – Steinfeld, H. (2007): Animal Production and Health Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy.

82. Gorliczay, E. (2015): Baromfitrágya előkezelése biochar és zeolit felhasználásával. Debreceni Egyetem. Diplomadolgozat. 49 p.
83. Government of Canada (2013): Technical Document on Municipal Solid Waste Organics Processing
84. Gray, K. R. - Sherman, K. - Biddlestone, A. J. (1971): A review of composting. In: Process Biochemistry. 6, Part 1 & Part 2.
85. Grigatti, M. - Civiatta, C. - Gessa, C. (2004): Evolution of organic matter from sewage sludge and garden trimmings during composting. Bioresource Technology. 91, 163–169.
86. Grünekee, C. E. (1998): Comparing Open versus In-Vessel Composting. Presentation at the Asia-North-American Waste Management Conference. Los Angeles, California.
87. Haberhauer, G. - Feigl, B. - Gerzabek, M. H. - Cerri, C. (2000): FT-IR spectroscopy of organic matter in tropical soils: Changes induced through deforestation. Applied Spectroscopy, 54(2), 221-224.
88. Haga, K. (1999): Development of composting technology in animal waste treatment – review. Asian – Australian Journal of Animal Science 12 (4), 604–606.
89. Hannus, I. (2012): Zeolitok és zeolitszerű mezoporózus anyagok. Tanulmány. Magyar Tudomány. 5. szám:577-590.
90. Hao, X. - Chang, C. - Larney, F. - Travis, G. (2001): Greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting. Journal of Environmental Quality, 30 (76), 376-386.
91. Hao, X. – Chang, C. – Larney, F. J. (2004): Carbon, nitrogen balances and greenhouse gas emission during cattle feedlot manure composting. Journal of Environmental Quality. 33:37-44.
92. Hasegawa, P.M. - Bressan, R. A. - Zhu, J. K. - Bohnert, H. J. (2000): Plant cellular and molecular response to high salinity. Annual review of plant physiology and plant molecular biology. 51: 463-499.
93. Haug, R. T. (1993): The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, Boca, Raton, FL.
94. He, Y. – Inamori, Y. – Mizuochi, M. (2001): Measurements of N₂O and CH₄ from the aerated composting of food waste. The Science of the Total Environment. 254:65-74.
95. Hegedűs, M. – Schmidt, J. – Rafai, P. (1998): Állati eredetű melléktermékek hasznosítása. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 366.p.
96. Helfrich, P. - Chefetz, B. - Hadar, Y. - Chen, Y. - Schnabel, H. (1998): A novel method for determining phytotoxicity in composts. Compost Science and Utilization 6, 6–13.

97. Herman Ottó Intézet (2020): Útmutató az elérhető legjobb technika meghatározásához az intenzív baromfitartási tevékenység engedélyeztetése során. 1-130.
98. Horn, P. – Sütő, Z. – Bogenfürst, F. (2011): A különböző baromfifajok gazdasági jelentősége a világban és hazánkban. In: Bogenfürst F. - Horn P. - Sütő Z. - Kovácsné Gaál K. - Kovács G. Baromfitenyésztés. Kaposvári Egyetem; Pannon Egyetem; Nyugat-Magyarországi Egyetem. 399 p.
99. Huang, G. - Han, I. - Yang, Z. - Wang, X. (2008): Evaluation of the nutrient metal content in Chinese animal manure compost using near infrared spectroscopy (NIRS). *Bioresource Technology* 99:8164-8169.
100. Huang, G. – Han, L. – Liu, X. (2007): Rapid Estimation of the Composition of Animal Manure Compost by Near Infrared Reflectance Spectroscopy, *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 15 (6), 387-394.
101. Huang, G. F. – Wong, J. W. C. – Wu, Q. T. – Nagar, B. B. (2004): Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*. 24:805-13.
102. Huang, G. F. – Wu, Q. T. – Li, F. B. – Wong, J. W. C. (2001): Nitrogen transformations during pig manure composting. *Journal of Environmental Science*. 13(4):401-5.
103. Huang, G. F. – Wu, Q. T. – Wong, J. W. C. – Nagar, B. B. (2006): Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust. *Bioresource Technology*. 97:1834-42.
104. Hue, N. V. - Liu, J. (1995): Predicting compost stability. *Compost Science and Utilization* 3, 8–15.
105. Hunyadi, G. (2012): Hulladékból összeállított komposztok degradációs folyamatainak nyomon követése. Doktori értekezés. Debreceni Egyetem. Debrecen.
106. Huzsvai, L. – Balogh, P. (2015): Lineáris modellek az R-ben. Seneca Books, Debrecen, 150 p.
107. Huzsvai, L. – Vincze, Sz. (2012) SPSS-könyv. Seneca Books, Debrecen, 325 p.
108. Iannotti, D. A. - Grebus, M. E. - Toth, B. L. - Madden, L.V. - Hoitink, H. A. J. (1994): Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid-waste. *Journal of Environmental Quality*. 23, 1177–1183.
109. Iglesias-Jimenez, E. - Perez-Garcia, V. (1992): Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 38, 331–343.
110. Ingham, E. R. (2005): *The Compost Tea Brewing Manual*. US Printings, Soil Foodweb Incorporated, Oregon.

111. Iqbal, M. K. - Shafiq, T. - Ahmed, K. (2010): Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost. *Bioresource technology*. 101. (6), 1913-1919.
112. Irshad, M. - Eneji, A. E. – Hussain, Z. - Ashraf, M. (2013): Chemical characterization of fresh and composted livestock manures. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 13(1), 115-121.
113. Irvan, T. - Husaini, B. – Trisakti, F. – Batubara, F. – Daimon, H. (2018): Composting of empty fruit bunches in the towe composter – effect of air intake holes. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 309.
114. Islam, M. K. – Yaseen, T. – Traversa, A. – Kheder, M. B. – Brunetti, G. – Cocozza, C. (2016): Effects of the main extraction parameters on chemical and microbial characteristics of compost tea. *Waste Management*. 52. 62–68.
115. Jain, M. S. - Daga, M. - Kalamdhad, A. S. (2019): Variation in the key indicators during composting of municipal solid organic wastes. *Sustainable Environment Research*. 29:9.
116. Jamil, M. - Rehman, S. - Rha, E. S. (2007): Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea capitata* L.). *Pak. J. Bot.* 39(3): 753-760.
117. Janczak, D. - Malinska, K. - Czekala, W. - Cáceres, R. - Lewicki, A. - Dach, J. (2017): Biochar to reduce ammonia emissions in gaseous and liquid phase during composting of poultry manure with wheat straw. *Waste Management*. 66:36-45.
118. Jiang, T. – Li, G. – Tang, Q. – Ma, X. – Wang, G. – Schuchardt, F. (2015): Effects of aeration method and aeration rate on greenhouse gas emissions during composting of pig faeces in pilot scale. *Journal of Environmental Science*. 31:124-32.
119. Jiang, T. – Ma, X. – Tang, Q. – Yang, J. – Li, G. – Schuchardt, F. (2016): Combined use of nitrification inhibitor and struvite crystallization to reduce the NH₃ and N₂O emissions during composting. *Bioresource Technology*. 217:210-8.
120. Jimenez, E. I. - Garcia, V. P. (1989): Evaluation of city refuse compost maturity- a review. *Biological Wastes*. 27, 115–142.
121. Juárez, M. F. – Prahauser, B. – Walter, A. – Insam, H. - Whittle, I. H. (2015): Cocomposting of biowaste and wood ash, influence on a microbially driven-process. *Waste Management*. 46,155-164.

122. Kaushik, P. - Garg, V.K. (2004): Dynamics of biological and chemical parameters during vermicomposting of solid textile mill sludge mixed with cow dung and agricultural residues. *Bioresource Technology*. 94, 203–209.
123. Keener, H. – Elwell, D. – Monnin, M. J. (2006): Mortality composting site selection and design options. In: *Ohio livestock mortality composting manual*. Ohio State University Extension. pp 9–12.
124. Kelleher, B. P. – Leahy, J. J. – Henihan, A. M. - O’Dwyer, T. F. – Sutton, D. – Leahy, M. J. (2001): Advances in poultry litter disposal technology – a review. *Bioresource Technology*. 83 27–36.
125. Kéri-Schmidthoffer, I. (2018): Alga szuszpenziók hatása árpa csíranövények fotoszintetikus aktivitására és *Hordeum spontaneum* drought responsive 4 gén termelésére.
<https://tud.sze.hu/images/%C3%9ANKP/20182019/tanulm%C3%A1nyk%C3%B6tet/K%C3%A9ri-Schmidthoffer%20Ildik%C3%B3.pdf>
126. Kirchmann, H. - Widen, P. (1994): Separately collected organic household wastes. *Swedish Journal of Agricultural Research*. 24, 3–12.
127. Kitajima, M. – Butler, W. L. (1975): Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. *Biochim Biophys Acta* 376:105-115
128. Kithome, M. J. W. - Paul, A. A. - Bomke. A. A. (1999): Reducing nitrogen losses during simulated composting of poultry manure using adsorbents or chemical amendments. *Journal of Environmental Quality*. 28:194– 201.p.
129. Kocsis, I. (2005): *Komposztálás, Szaktudás Kiadó Ház Rt., Budapest*, 209 p.
130. Kocsis, I. (2011): *Komposztálás, biogáztermelés. Szent István Egyetem*. 117 p.
131. Koné, S. B. - Dionne, A. – Tweddell, R. J. - Antoun, H. - Avis, T. J. (2010): Suppressive effect of non-aerated compost teas on foliar fungal pathogens of tomato. *Biological Control*. 52:167–173.
132. Kovács, D. – Füleky, Gy. (2016): A komposztérettség meghatározásának módszerei – szemle. *Agrokémia és talajtan*. 65:135-160.
133. Kovács, G. (2011): Az elhullott állatok és a melléktermékek kezelése. In: Bogenfürst, F. – Horn, P. – Sütő, Z. - Kovácsné Gaál, K. – Kovács, G. (2011): *Baromfitenyésztés. Kaposvári Egyetem; Pannon Egyetem; Nyugat-Magyarországi Egyetem*. 399 p.
134. Kozák, J. (szerk.) (2007): *Állattenyésztés. Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Agrárgazdasági és Vidékfejlesztési Kar*.

135. KSH (Központi Statisztikai Hivatal) (2016): Az Alföld élelmiszer-gazdasága. 45 p.
136. Kucsák, M. (2009): Modifikált zeolit felhasználás vízminőségre és mikroorganizmus populációra gyakorolt hatása az eleveniszapos szennyvíztisztításban. Doktori Értekezés. Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola. 103 pp.
137. Kuter, G. A. – Hoitink, H. A. J. – Rossman, L. A. (1985): Effects of aeration and temperature on composting of municipal sludge in a full-scale vessel system. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 57, pp. 309–315.
138. Kutzner, H. J. (2001): *Microbiology of Composting*, In: Rehm, H. J. – Reed G. (2001): *Biotechnology*. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany.
139. Lei, D. P. – Huang, W. Y. – Wang, X. H. (2011): Effect of moisture content of substance on fermentation and heat production of cattle manure in aerobic composting. *Journal of Ecology and Rural Environment*.27:54-7.
140. Li, H. – Burns, R. T. (2006): Reduction of ammonia emission from stored poultry manure using additives: zeolite, Al+ clear, Felix-3, and PLT. ASAE Paper No. 064188, ASABE Annual International Meeting, Portland, Oregon.
141. Li, Y. – Zhang, R. – Liu, G. – Chen, C. – He, Y. – Liu, X. (2013): Comparison of methane production potential, biodegradability, and kinetics of different organic substrates. *Bioresource Technology*. 149, pp. 565–569.
142. Liang, C. - Das, K. C. - McClendon, R. W. (2003): The influence of temperature and moisture content regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blends. *Bioresource Technology*. 86,131–137.
143. Lichtenthaler, H. K. - Wellbum, A. R. (1983): Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*. 603:591-592 p.
144. López R. - Hurtado M. D. - Cabera F. (2002): Compost properties related to particle size. *WIT Transactions on Ecology and the Environment, Waste Management and The Environment*. 56 pp.
145. Lu, J. - Sanchez, S. - Hofacre, C. - Maurer, J. J. - Harmon, B.G. - Lee, M. D. (2003) Evaluation of broiler litter with reference to the microbial composition as assessed by using 16S rRNA and functional gene markers. *Applied and Environmental Microbiology*. 69 (2):901–908.
146. Ludmerszki, E. (2013): A kukorica csíkos mozaik vírus (MDMV) okozta stressz hatásának vizsgálata csemegekukoricánál S-metilmetionin előkezelése esetén. XXXI.

OTDK Biológia Szekció. Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Növényélettani és Molekuláris Növénybiológiai Tanszék. 33. p.

147. Ludwig, B. - Nitschke, R. - Terhoeven-Urselmans, T. - Michel, K. - Flessa, H. (2008): Use of mid-infrared spectroscopy in the diffuse-reflectance mode for the prediction of the composition of organic matter in soil and litter. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(3), 384-391.
148. Ludwig, B. - Schmilewski, G. - Terhoeven-Urselmans, T. (2006): Use of near infrared spectroscopy to predict chemical parameters and phytotoxicity of peats and growing media. *Scientia Horticulturae*, 109(1), 86-91.
149. Magyar Talajtani Társaság (2020): WRB - nemzetközi talajosztályozási rendszer talajok elnevezéséhez és talajtérképek jelmagyarázatának szerkesztéséhez. Budapest. http://talaj.hu/wp-content/uploads/2020/06/WRB_HUN_2020.pdf
150. Malley, D.F. - McClure, C. - Martin, P.D. - Buckley, K. - McCaughey, W. P. (2005): Compositional analysis of cattle manure during composting using a field-portable near-infrared spectrometer. *Communications in Soil Science and Plan Analysis*. 36:455-475.
151. Martinson, S. (1990): Green waste composting. *Biocycle*. 31:10 76-78 p.
152. Mathur, S. P. - Owen, G. - Dinel, H. - Schnitzer, M. (1993): Determination of compost biomaturity. Literature-Review. *Biological Agriculture and Horticulture* 10, 65–85.
153. Mathur, S. P. (1991): Composting process. In: *Bioconversion of waste material to industrial products*. New York: Elsevier, Applied Science.
154. Mátyás, E. (1984): A Tokaji-hegység természetes zeolitvagyónának hasznosítási lehetőségei. *Földtani Kutatás*. XXVII. évfolyam, 4. szám.
155. Mátyás, E. (2005): A tokaji-hegység geológiája és ásványi nyersanyagai egy geológus életútja tükrében. 606-619 p.
156. Maulini-Duran, C. – Artola, A. – Font, X. – Sanchez, A. (2014): Gaseous emissions in municipal wastes composting: effect of the bulking agent. *Bioresource Technology*; 172:260-8.
157. Maxwell, K. – Johnson, G. N. (2000): Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 51, 345:659-668.
158. Mazer, A. S. - Martin, M. - Lee, M. - Solomon, J. E. (1988): Image processing software for imaging spectrometry data analysis, *Remote Sensing of Environment*, 24:201-210.
159. McLellan, T. M. - Aber, J. D. - Martin, M. E. - Melillo, J. M. - Nadelhoffer, K. J. (1991): Determination of nitrogen, and cellulose content of decomposing leaf material

- by near infrared reflectance spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research*. 21: 1684-1688.
160. Mendiburu, M. (2020): *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-3. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
161. Mészáros, J. (1976): *Baromfiégészségtan*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
162. Mézes, L. (2011): *Mezőgazdasági és élelmiszeripari biogáz-termelés optimalizálása*. Doktori értekezés. Debreceni Egyetem. Debrecen.
163. Michel, F. C. – Forney, L. J. – Huang, A. J. F. – Drew, S. – Czu, P. M. – Lindeberg, J. D. – Reddy, C. A. (1996): Effects of tuning frequency, leaves to grass mix ratio and windrow vs pile configuration on the composting of yard trimmings. *Compost Science and Utilization* 4:26-43.
164. Michel, K. - Bruns, C. - Terhoeven-Urselmans, T. - Kleikamp, B. - Ludwig, B. (2006): Determination of chemical and biological properties of composts using near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 14(4), 251-259.
165. Mihók, S. (1992): *Baromfitenyésztés I. (A termékelőállítás biológiai alapjai)*. Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, Állattenyésztéstani Tanszék. Debrecen. 180 pp.
166. Monori, L. – Blaskó, L. – Zsigrai, Gy. – Bíró, B. (2009): TERRASOL compost from sheep manure p. 421-424. In: Koutev, V. (ed.) (2009): 13th RAMIRAN International Conference. Potential for simple technology solutions in organic manure management. Albena, Bulgaria. Ambrozia NT.
167. Morales, F. - Abadía, A. - Gomez-Aparís, J. – Abadía, J. (1992): Effects of combined NaCl and CaCl₂ salinity on photosynthetic parameters of barley grown in nutrient solution. *Physiologia Plantarum*. 86: 419-426.
168. Mortimore, J. L. - Marshall, L. J. R. - Almond, M. J. - Hollins, P. - Matthews, W. (1984): Analysis of red and yellow ochre samples from Clearwell Caves and Catalhoyuk by vibrational spectroscopy and other techniques. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 60, 1179–1188.
169. Mulec, A. O. – Mihelic, R. – Walochnik, J. – Bulc, T. G. (2016): Composting of the solid fraction of blackwater from a separation system with vacuum toilets- effects on the process and quality. *Journal of Cleaner Production*. 112, 4683-4690.
170. Munns, R. (2002): Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*. 25: 239-250.

171. Nagy, A. - Fórián, T. - Tamás, J. (2012): Fejlett környezetállapot-értékelési eszközök alkalmazása gyümölcskultúrákban. *Agrártudományi Közlemények* 49:221-225.
172. Nagy, L. (2017): Napraforgó hibridek eltérő válaszreakciói baktériumalapú biotrágyakezelések hatására. Doktori értekezés tézisei. Debreceni Egyetem, Kerpely Kálmán Doktori Iskola. Debrecen. 31 p.
173. Nahum, S. Z. – Markovitch, O. – Tarchitzky, J. – Chen, Y. (2005): Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity. *Soil Biology & Biochemistry*. 37:2109-2116.
174. Najjar, R. - Aydi, S. - Sassi-Aydi, S. - Zarai, A. Abdelly, C. (2018): Effect of salt stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Medicago truncatula*. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*. 153:1, 88-97.
175. Nakatami, M. – Harada, Y. (1995): Principal component analysis of near infrared spectra of animal waste compost. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 66, 422.
176. Namkoong, W. - Hwang, E. Y. - Cheong, J. G. - Choi, J. Y. (1999): A comparative evaluation of maturity parameters for food waste composting. *Compost Science and Utilization* 7, 55–62.
177. Naumann, D. - Schultz, C. P. - Helm, D. (1996): What can infrared spectroscopy tell us about the structure and composition of intact bacterial cells? In: Mantsch, H. H. - Chapman, D. (1996): *Infrared Spectroscopy of Biomolecules* (pp. 279-310). New York: Wiley-Liss.
178. NRAES (1992): *On-farm composting handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service Cooperative Extension: Ithaca NY.
179. Onwosi, C. O. – Igbokwe, V. C. – Odimba, J. N. – Eke, I. E. – Nwankwoala, M.O. – Iroh, I. N. – Ezeogu, L.I. (2017): Composting technology in waste stabilization: on the methods, challenges and future prospects. *Journal of Environmental Management*, 190:140-57.
180. Ouattmane, A. - D'Orazio, V. - Hafizoglu, H. - Senesi, N. (2002): Chemical and Physicochemical Characterization Of Humic Acid-Like Materials From Composts. *Compost Science & Utilization*, 10(1), 39-46.
181. Ouattmane, A. - Provenzano, M. R. - Hafidi, M. - Senesi, N. (2000): Compost maturity assessment using calorimetry, spectroscopy and chemical analysis. *Compost Science & Utilization*, 8(2), 124-134.

182. Pant, A. (2011): Vermicompost tea: effects on pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) growth and yield, phytonutrient content and soil biological properties. PhD dissertation, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
183. Parkinson, R. - Gibbs, P. - Burchett, S. - Misselbrook, T. (2004): Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. *Bioresource Technology*. 91, 171–178.
184. Parton, W. J. - Ojima, D. S. - Cole, C. V. - Schimel, D. S. (1994): A general model for soil organic matter dynamics: sensitivity to litter chemistry texture and management, *Quantitative Modeling of Soil Forming Process*, Special Publication 39, Soil Science Society of America, pp. 147-167.
185. Ponsá, S. (2010): Different indices to express biodegradability in organic solid wastes, application to full scale solid waste treatment plant, Universitat Autònoma De Barcelona, PhD Thesis.
186. Portejoie, S. – Martinez, J. – Guiziou, F. – Coste, C.M. (2002): Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission processes. *Bioresource Technology*. 87. 199–207.
187. Proietti, P. – Calisti, R. – Gigliotti, G. – Nasini, L. – Regni, L. – Marchini, A. (2016): Composting optimization: Integrating cost analysis with the physical-chemical properties of materials to be composted. *Journal of Cleaner Production*. 137. 1086-1099.
188. R Core Team (2017): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
189. Radovich, T. – Arancon, N. (Eds.) (2011): Tea Time In The Tropics. A handbook for compost tea production and use. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii. 38 p.
190. Rafai P. (2003): *Állathigiénia*. Budapest, Agroiinform Kiadó, 343p.
191. Redondo-Gómez, S. - Mateos-Naranjo, E. - Davy, A.J. - Fernández-Muñoz, F. - Castellanos, E.M. - Luque, T. - Figueroa, M.E. (2007): Growth and photosynthetic responses to salinity of the salt-marsh shrub *atriplex portulacoides*. *Annals of Botany*. 100:555–563.
192. Richard, T. L. - Hamelers, H. V. M. - Veeken, A. - Silva, T. (2002): Moisture relationships in composting processes. *Compost Science and Utilization*. 10, 286–302.
193. Riczu, P. (2015): Spektrális információk alkalmazása a precíziós gyümölcsstermesztésben. Kerpely Kálmán Doktori Iskola. Doktori Disszertáció. 144 p.

194. Roletto, E. - Barberis, R. - Consiglio, M. - Jodice, R. (1985): Chemical parameters for evaluating compost maturity. *Biocycle*. 46–48.
195. Russell, D. L. (1985): Design of an Enclosed Composting Reactor. In: Proceedings of the 40 th Industrial Waste Conference, Purdue University, West Lafayette, Indiana May 14-15, Butterworths, Boston, MA. 253-265. pp.
196. Rynk, R. – Kamp, M. – Willson, G. – Singley, M. – Richard, T. – Klega, J. – Gouin, F. (1991): *On-Farm Composting Handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, 152 Riley-Robb Hall, Cooperative Extension, Ithaca, NY 14853-5701, USA, p. 174.
197. Rynk, R. - Kamp, M. - Willson, G. B. - Singley, M. E. - Richard, T. L. - Kolega, J. L. - Gouin, F. R. - Laliberty, L. (1992): *On Farm Composting Handbook*. New York: Cornell University.
198. Salminen, E. – Rintala, J. (2002): Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouses waste – a review. *Biosource Technology*. 83. 13-26.
199. Sanchez-Monedero, M. A. - Cegarra, J. - Garcia, D. - Roig, A. (2002): Chemical and structural evolution of humic acids during organic waste composting. *Biodegradation*, 13(6), 361-371.
200. Scheuerell, S. J. - Mahaffee, W. F. (2002): Compost tea: Principles and prospects for plant disease control. *Compost Science and Utilization*. 10, 313-338.
201. Senesi, N. (1989): Composted materials as organic fertilisers. *Science of the Total Environment*. 81/ 82, 521–542.
202. Serra-Wittling, C. - Barriuso, E. - Houot, S. (1996): Impact of composting type on composts organic matter characteristics. In: Bertoldi, M. – Sequi, P. – Lemmes, P. – Papi, T. (Eds.) (1996): *The Science of Composting*. London: Chapman and Hall. 262–273.
203. Sharma, H. S. S. - Kilpatrick, M. - Lyons, G. - Sturgeon, S. - Archer, J. - Moore, S. - Cheung, L. - Finegan, K. (2005): Visible and near-infrared calibrations for quality assessment of fresh phase I and II mushroom (*Agaricus bisporus*) compost. *Applied Spectroscopy*, 59(11), 1399-1405.
204. Simon, L. (2001): Effects of natural zeolite and bentonite on the phytoavailability of heavy metals in chicory. In: Iskandar, I. K. (Ed.) (2001): *Environmental Restoration of Metals Contaminated Soil*. 261–271. Lewis Publishers. Boca Raton.

205. Skribanek, A. - Schmidthoffer, I. - Csontos, P. (2016): Szárazságstressz hatása 22 árpafajta csíranövényének fotoszintetikus paramétereire. Botanikai közlemények. 103(2):237-248.
206. Slezák, K. A. (2001): Fehér termésű paprika sóútérése. Doktori értekezés. Szent István Egyetem Zöldség- és Gombatermesztési Tanszék.
207. Smidt, E. - Eckhardt, K. U. - Lechner, P. - Schulten, H. R. - Leinweber, P. (2005): Characterization of different decomposition stages of biowaste using FT-IR spectroscopy and pyrolysis-field ionization mass spectrometry. Biodegradation, 16(1), 67-79.
208. Smidt, E. - Schwanninger, M. (2005): Characterization of Waste Materials Using FT-IR Spectroscopy – Process Monitoring and Quality Assessment. Spectroscopy Letters, 38(3), 247- 270.
209. Spaargaren, O. 2004. Andosols and Arenosols. https://esdac.jrc.ec.europa.eu/events/SummerSchool_2004/files/spar_ando.pdf
210. St. Martin, C.C.G. - Dorinwil, W. - Brathwaite, R. A. - Ramsuhag, A. (2012): Effects and relationships of compost type, aeration and brewing time on compost tea properties, efficacy against *Pythium ultimum*, phytotoxicity and potential as a nutrient amendment for seedling production. Biological Agriculture & Horticulture. Vol. 28, No. 3, 185–205.
211. Steiner, C. – Melear, N. – Harris, K. – Das, K. C. (2014): Biochar as bulking agent for poultry litter composting. Carbon Management Volume 2. 227-230.
212. Suler, D. J. - Finstein, M. S. (1977): Effect of temperature, aeration, and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. Applied and Environmental Microbiology, 33 (2), 345-350.
213. Szabó, L. (2016): Hosoya trágyakezelési technológia előadás, Gödöllő.
214. Takashi, A. – Shimizu, S. – Koga, T. – Sato, M. (1993): Quick determination of total nitrogen, total carbon, and crude ash in cattle manure using near infrared reflectance spectroscopy. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 62 (6), 669.
215. Tang, J. C. - Maie, N. – Tada, Y. – Katayama, A. (2006): Characterization of the maturing process of cattle manure compost. Process Biochemistry. 41: 380–389.
216. Terbe, I. (2017): <https://www.agroinform.hu/szantofold/tudja-mik-a-magas-talajsotartalom-tuneti-31010-001>

217. Tiquia, S. M. - Tam, N. F. Y. (1998b): Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresource Technology*. 65, 43–49.
218. Tiquia, S. M. – Tam, N. F. Y. (2000): Fate of nitrogen during composting of chicken litter. *Environmental Pollution*. 110, 535–541.
219. Tiquia, S. M. - Tam, N. F. Y., Hodgkiss, I. J. (1996): Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents. *Bioresource Technology*. 55, 201–206.
220. Tiquia, S. M. - Wan, J. H. C. - Tam, N. F. Y. (2002a): Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. *Compost Science and Utilization*. 10, 150–161.
221. Tiquia, S. M. - Wan, J. H. C. - Tam, N. F. Y. (2002b): Dynamics of yard trimmings composting as determined by dehydrogenase activity, ATP content, arginine ammonification, and nitrification potential. *Process Biochemistry*. 37, 1057–1064.
222. Tiquia, S. M. (2002): Evolution of enzyme activities during manure composting. *Journal of Applied Microbiology*. 92, 764–775.
223. Tiquia, S. M. (2003): Evaluation of organic matter and nutrient composition of partially decomposed and composted spent pig litter. *Environmental Technology*. 24, 97–107.
224. Tiquia, S. M. (2005): Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *Journal of Applied Microbiology* 99:816-828.
225. Tseng, D. Y. - Vir, R. - Traina, S. J. - Chalmers, J. J. (1996): A Fourier-transform infrared spectroscopic analysis of organic matter degradation in a bench-scale solid substrate fermentation (composting) system. *Biotechnology and Bioengineering*, 52(6), 661-671.
226. Turan, N. G. (2009): Nitrogen availability in composted poultry litter using natural amendments. *Waste Management Resource*. 27(1):19-24.
227. Varga, J. - Dorogi, I. - Kolonics, Z. - Kubó, S. (1975): *Mezőgazdasági hulladékok hasznosítása*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 174. p.
228. Veres, Sz. - Seres, E. - Kiss, L. - Zsombik, L. (2012): Eltérő idejű és mennyiségű nitrogén trágyázás hatása a búza fiziológiai paramétereire. In: Nagy, Z. B. (szerk.) (2012): *LVIII. Georgikon Napok: Felmelegedés, ökolábnym, élelmiszerbiztonság*. 462 p. Keszthely, Magyarország Pannon Egyetem Georgikon Kar, 449-453.

229. Wang, J. - Hu, Z. - Xu, X. - Jiang, X. - Zheng, B. - Liu, X. - Pan, X. - Kardol, P. (2014): Emissions of ammonia and greenhouse gases during combined pre-composting and vermicomposting of duck manure. *Waste Management*, 34:1546-52.
230. Wang, P. - Changa, C. M. - Watson, M. E. - Dick, W. A. - Chen Y. - Hointink, H. A. J. (2004): Maturity indices for composted dairy and pig manures. *Soil Biology and Biochemistry*. 36:767-776.
231. Wang, Q. - Awasthi, M. K. - Zhang, Z. - Wong, J. W. C. (2019): Sustainable Composting and Its Environmental Implications. *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches*. 115–132.
232. Wang, Q. - Wang, Z. - Awasthi, M. K. - Jiang, Y. H. - Li, R. H. - Ren, X. N. - Zhao, J. C. - Shen, F. - Wang, M. J. - Zhang, Z. Q. (2016): Evaluation of medical stone amendment for the reduction of nitrogen loss and bioavailability of heavy metals during pig manure composting. *Bioresource Technology*. 220: 297-304.
233. Wang, X. - Selvam, A. - Wong, J. W. C. (2016): Influence of lime on struvite formation and nitrogen conservation during food waste composting. *Bioresource Technology*; 217: 227-32.
234. Weltzien, H. C. (1992): Biocontrol of foliar fungal diseases with compost extracts. In: Andrews, J. H. - Hirano, S. S. (Eds.) (1992): *Microbial Ecology of Leaves*. Springer Verlag, New York. 430–450.
235. Wilkinson, K. G. - Tymms, S. - Hood, V. - Tee, E. (2001): *Guide to Best Practice – Composting Green Organics* (2nd edn). EcoRecycle Victoria, Melbourne.
236. Wojtaszek, M. (2010): Földhasználati tervezés és monitoring 3. – Távérzékelés, mint földhasználati adatforrás. Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. 34 p.
237. Wong, J. W. C. - Selvam, A. - Zhao, Z. Y. - Karthikeyan, O. P. - Yu, S. M. - Law, A. - Chung, P. (2012): In-vessel composting of horse stable bedding waste and blood meal at different C/N ratios: process evaluation. *Environmental Technology*. 33:2561-2567.
238. Wu, C.Y. - Jacobson, A.R. - Laba, M. - Baveye, P.C. (2009): Alleviating moisture content effects on the visible near-infrared diffuse-reflectance sensing of soils. *Soil Science* 174, 456–465.
239. Wu, L. - Ma, L.Q. - Martinez, G. A. (2000): Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality* 29, 424–429.
240. Wu, L. - Ma, Q. C. (2002): Relationship between compost stability and extractable organic carbon. *Journal of Environmental Quality*. 31:1323– 1328.

241. Yang, F. - Li, G. - Shi, H. - Wang, Y. (2015): Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Waste Management* 36, 70-76.
242. Yang, F. - Li, G. X. - Yang, Q. Y. - Luo, W. H. (2013): Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Chemosphere*. 3;93:1393-9.
243. Yost, J. L. - Hartemink, A. E. (2019): Soil organic carbon in sandy soils: A review. In: *Advances in Agronomy*. Vol. 158:217-310.
244. Zhang, B. - Lye, L. - Kazemi, K. - Lin, W. (2012): Development of Advanced Composting Technologies for Municipal Organic Waste Treatment in Small Communities in Newfoundland and Labrador, Harris Centre - MMSB Waste Management Applied Research Fund 2012-2013.
245. Zhang, L. - Sun, X. Y. (2016): Influence of bulking agents on physical, chemical and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. *Waste Management*. 48:115-26.
246. Zhang, R. - Ishibashi, K. - Day, D. L. (1991): Experimental study of microbial decomposition in liquid swine manure, and generation rates of ammonia. In: *Proceedings of the Livestock Waste Management Conference, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan*.
247. Zhang, W. - Han, D. Y. - Dick, W. A. - Davis, K. R. - Hoitink, H. A. J. (1998): Compost and compostwater extract-induced systemic acquired resistance in cucumber and *Arabidopsis*. *Phytopathology*. 88:450-455.
248. Zhao, S. - Liu, X. - Duo, L. (2012): Physical and chemical characterization of municipal solid waste compost in different size fractions. *Polish Journal of Environmental Studies*. 21:2, 509-515.
249. Zhou, Y. - Selvam, A. - Wong, J. W. C. (2016): Effect of Chinese medicinal herbal residues on microbial community succession and anti-pathogenic properties during co-composting with food waste. *Bioresource Technology*. 217:190-9.
250. Zorpas, A. A. - Vlyssides, A. G. - Loizidou, M. (1999): Dewatered anaerobically-stabilized primary sewage sludge composting: metal leachability and uptake by natural clinoptilolite. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 30:1603–1613.
251. Zucconi, F. - Bertoldi, M. (1987): Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In: Bertoldi, M., Ferranti, M.

P., L'Hermite, P., Zucconi, F. (Eds.) (1987): Compost: Production, Quality and Use. Elsevier. 30–50.

252. Zucconi, F. - Forte, M. - Monaco, A. - Bertoldi, M. (1981): Biological evaluation of compost maturity. *BioCycle*. 22:27–29.

253. Zucconi, F. - Monaco, A. - Forte, M. - Bertoldi, M. (1985): Phytotoxins during the stabilization of organic matter. In: Gasser, J. K. R. (Ed.) (1985): *Composting of Agricultural and Other Wastes*. Elsevier Applied Science Publishers, Elsevier. 73–85.

Jogszabályok, rendeletek:

1. Az Európai Parlament és a Tanács 1069/2009/EK rendelete a nem emberi fogyasztásra szánt állati melléktermékekre és a belőlük származó termékekre vonatkozó egészségügyi szabályok megállapításáról és az 1774/2002/EK rendelet hatályaon kívül helyezéséről (állati melléktermékekre vonatkozó rendelet) (http://www.s3w.hu/wds-atevszolgw/wp-content/uploads/2016/02/2009-1069_HU-EU-rendelet.pdf)

2. Az élelmiszerláncról és hatósági felügyeletéről szóló 2008. évi XLVI. törvény (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0800046.tv>)

3. A termésmenvelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 36/2006. (V.18.) FVM rendelet (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0600036.fvm>)

4. A termőföld védelméről szóló 2007. évi CXXIX. törvény (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700129.tv>)

5. Az Európai Bizottság 181/2006/EK rendelete az az 1774/2002/EK rendeletnek a trágyától eltérő szerves trágyák és talajjavító szerek tekintetében történő végrehajtásáról és a rendelet módosításáról (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R0181&from=EN>)

6. A hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1200185.tv>)

7. A hulladékjegyzékről szóló 72/2013 (VIII. 27) VM rendelet (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1300072.vm>)

8. Országos Hulladékgazdálkodási Terv (2014-2020) (<https://eionet.kormany.hu/download/f/16/71000/Orszagos%20Hulladekgazdalkodasi%20Terv%202014-2020.pdf>)

9. A vizek mezőgazdasági eredetű nitrátszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges cselekvési program részletes szabályairól, valamint az adatszolgáltatás és nyilvántartás rendjéről szóló 59/2008. (IV.29.) FVM rendelet (<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0800059.fvm>)

10. A biohulladék kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről szóló 23/2003 (XII. 29.) KvVM rendelet (http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=74382.291486)

Internetes hivatkozások:

I₁: <https://kamaraonline.hu/europai-bizottsag-novelni-kell-a-szerves-es-a-hulladek-kepzesi-piacra-jutasi-eselyeit/> (letöltés ideje: 2020. 04. 14.)

I₂:<https://portal.nebih.gov.hu/-/allati-mellektermeket-es-azokbol-szarmaztatott-termeket-tartalmazo-szerves-tragya-es-talajjavito-felhasznalasara-vonatkozó-utmutató> (letöltés ideje: 2020. 04. 02.)

I₃: <http://www.mineralholding.hu/ipariasvanyok/zeolit.html> (letöltés ideje: 2016.12.19.)

I₄: http://geoproduct.hu/?page_id=246#page-content (letöltés ideje: 2020.01.11.)

11. MEGJELENT SAJÁTTUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/424/2021.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Gorliczay Edit
Doktori Iskola: Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10055714

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (1)

1. **Gorliczay, E.,** Tamás, J., Mézes, L.: A pH és a hőmérséklet hatása a zeolittal és biocharral előkezelt baromfi almos trágya ammónia kibocsátására.
In: Kihívások a mai modern mezőgazdaságban : Tudományos konferencia előadásai. Szerk.: Futó Zoltán, Szent István Egyetemi Kiadó, [Gödöllő], 170-176, 2016. ISBN: 9789632695945

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

2. **Gorliczay, E.,** Szöllősi, N., Kiss, N. É., Tóth, F., Tamás, J., Nagy, P. T.: Examination of the effect of pelleted poultry manure products on a sunflower test plant in a laboratory model experiment.
Agrártud. Közl. 1 (1), 83-88, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/8477>
3. **Gorliczay, E.,** Tamás, J., Kun, S., Huzsvai, L., Bárány, L.: Examination and statistical evaluation of physico-chemical parameters of windrow composting.
Agrártud. Közl. 1, 33-38, 2020. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/3726>
4. **Gorliczay, E.,** Pecsmán, D., Tamás, J.: Testing laboratory parameters of compost tea.
Agrártud. Közl. 75, 31-36, 2018. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/75/1642>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

5. **Gorliczay, E.,** Boczonádi, I., Kiss, N. É., Tóth, F., Pabar, S., Biró, B., Kovács, R. L., Tamás, J.: Microbiological Effectivity Evaluation of New Poultry Farming Organic Waste Recycling.
Agriculture. 11 (7), 1-21, 2021. EISSN: 2077-0472.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11070683>
IF: 2.925 (2020)





6. **Gorliczay, E.**, Tamás, J., Bárány, L.: Maturity and stability evaluation of composted poultry manure.
Nat. Res. Sustain. Develop. 10 (1), 10-19, 2020. ISSN: 2066-6276.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v10i1.040>
7. **Gorliczay, E.**, Tamás, J., Mézes, L.: Effect of biochar and zeolite on the ammonia production of poultry litter.
Anal. Univ. Oradea. Fasc. Prot. Mediu. 27, 29-38, 2016. ISSN: 1224-6255.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

8. **Gorliczay, E.**, Bárány, L., Pecsmán, D., Tamás, J.: Anoxikus körülmények között előállított komposzt oldatok vizsgálatának előzetes értékelése.
In: Tavaszi szél konferencia 2018 Nemzetközi multidiszciplináris konferencia : Absztraktkötet. Szerk.: Keresztes Gábor, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 39, 2018. ISBN: 9786155586262

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

9. **Gorliczay, E.**, Kiss, N. É., Nagy, P. T., Tamás, J.: Examination of inorganic chemical parameters of non-aerated compost tea.
In: A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben : előadások kivonatai, Szent István Egyetem, Keszthely, 38-38, 2020.

További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

10. Kiss, N. É., **Gorliczay, E.**, Nagy, P. T., Tamás, J.: Effect of compost/water ratio on some main parameter of compost solutions.
Agrártud. közl. 1 (1), 117-121, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagr/1/8500>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

11. Kiss, N. É., Tamás, J., **Gorliczay, E.**, Gálya, B., Nagy, A., Jóvér, J., Riczu, P.: Analysis of nutritional parameters of biogas slurry.
Nat. Res. Sustain. Develop. 10 (1), 57-66, 2020. ISSN: 2066-6276.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v10i1.044>
12. Nagy, P. T., Magyar, T., **Gorliczay, E.**, Berta, K., Tóth, F., Tamás, J.: Evaluation of Parameters in an Aerob Industrial Fermentation System.
Nat. Res. Sustain. Develop. 9 (2), 221-232, 2019. ISSN: 2066-6276.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31924/nrsd.v9i2.038>





13. Tamás, J., **Gorliczay, E.**, Borbély, J.: Atmospheric spreading model for ammonia released from the poultry house.
An. Uni. Oradea Fasc. Ecotoxi. Zoteh. Tehno. Industr. Alimentara. 15, 331-338, 2016. ISSN: 1583-4301.

Magyar nyelvű konferencia közlemények (2)

14. **Gorliczay, E.**, Juhász, E. K., Mézes, L., Tamás, J.: Különböző szemcsefrakciójú előkezelt baromfitrágya minták elemtartalmának vizsgálata.
In: Tavaszi Szél 2017 : tanulmánykötet. Szerk.: Keresztes Gábor, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 30-43, 2017. ISBN: 9786155586187
15. **Gorliczay, E.**: Baromfitrágya előkezelése biochar és zeolit felhasználásával.
In: Tudományos diákköri közlemények 3. : A DE MÉK Kari tudományos diákköri konferencia díjazott előadásainak kivonatai. Szerk.: Gyüre Péter, Juhász János, MÉK, Debrecen, 8-15, 2016.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

16. Kiss, N. É., Tamás, J., **Gorliczay, E.**, Gálya, B., Jóvér, J., Riczu, P.: Biogáz üzemi fermenté beltartalmi paramétereinek vizsgálata és kijuttatása nitrátérzékeny területre.
In: XXIII. Tavaszi Szél Konferencia 2020: Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia. Absztrakt kötet I.. Szerk.: Barna Boglárka Johanna, Kovács Petra, Molnár Dóra, Pató Viktória Lilla, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 45, 2020. ISBN: 9786155586705
17. **Gorliczay, E.**, Juhász, E. K., Mézes, L., Tamás, J.: Különböző szemcsefrakciójú előkezelt baromfitrágya minták elemtartalmának vizsgálata.
In: Tavaszi szél konferencia 2017 nemzetközi multidiszciplináris konferencia : absztraktkötet. Szerk.: Keresztes Gábor, Kohus Zsolt, Szabó P. Katalin, Tokody Dániel, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 10, 2017. ISBN: 9786155586149





Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

18. Kiss, N. É., Nagy, P. T., Tóth, F., **Gorliczay, E.**, Madar, L. A., Kun, S., Tamás, J.: Improving the water management properties of different soil type.

In: A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben : előadások kivonatai, Szent István Egyetem, Keszthely, 54-54, 2020.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 2,925

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 2,925

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

Debrecen, 2021.08.30.



12. NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

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

Debrecen, 2021.08.30.

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy **Gorliczay Edit** doktorjelölt 2016-2020 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2021.08.30.

.....

Prof. Dr. Tamás János
egyetemi tanár, témavezető

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném hálámat és köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, **Prof. Dr. Tamás János** egyetemi tanárnak, aki szakmai javaslataival, értékes ötleteivel, türelmével és támogatásával segítette doktori dolgozatom megírását.

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni opponenseimnek **Dr. habil Nagy Attilának** (DE MÉK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet) és **Dr. Kocsis Istvánnak** (Szent István Egyetem, Agrár- és Gazdaságtudományi Kar), akik vállalták az opponensi feladatokat, ezzel segítve a munkámat.

Nagy köszönettel tartozom a **Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet** valamennyi munkatársának, akik tanácsaikkal, javaslataikkal, munkájukkal támogatták az értekezésem elkészítését. Köszönöm a türelmeteket, a gondolataitokat.

Köszönetemet és hálámat szeretném kifejezni **Dr. Mézes Lilinek**, aki mesterszakos tanulmányaim alatt konzulensemként lelkesen támogatott, majd a doktori képzésem ideje alatt is irányított, ha szükségem volt tanácsra.

Köszönettel tartozom a **Master Good Kft**-nek, akik biztosította számomra a szükséges alapanyagokat a kísérletek elvégzéséhez.

Hálával és köszönettel tartozom a **Szent István Egyetem Kertészettudományi Kar Agrárkörnyezettani Tanszéknek** is, akik a mikrobiológiai vizsgálatokkal segítették azt, hogy az alapanyagok tulajdonságait még inkább megismerhessem. Köszönöm **Dr. Biró Borbála** Professzor asszonynak, aki értékes tanácsaival hozzájárult ahhoz, hogy a dolgozatom elkészülhessen, valamint köszönöm **Pabar Attila Sándor** közreműködését is a mikrobiológiai vizsgálatok, adatfeldolgozás, értékelés, publikációk megírása során.

Köszönöm **Kiss Nikolett Éva** PhD hallgató társamnak, aki a II. komposzt szuszpenzió előállítási munkálataiban és tesztelésében, az adatok feldolgozásában nagymértékben részt vett.

Nagy köszönettel tartozom **Dr. Huzsvai László** egyetemi docensnek (DE Gazdaságtudományi Kar, Statisztika és Módszertani Intézet, Statisztika és Módszertani nem önálló Tanszék), hogy a statisztikai értékelés során értékes tanácsokkal, útmutatással, segítséggel támogatta dolgozatom elkészülését és azt, hogy a statisztikai értékelés során helyes következtetéseket vonhassak le. Köszönöm Tanár Úr végtelen türelmét és azt, hogy mindig végigolvasta a hosszabbnál-hosszabb e-mailjeimet, ha elakadtam a munkám során.

Köszönettel tartozom a **Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Agrárműszerközpont** munkatársainak, akik a laboratóriumi mérésekben nyújtottak segítséget.

Hálás köszönetemet szeretném kifejezni a szakdolgozó, diplomadolgozó hallgatónak, akik a kutatásom során elvégzett kísérletekben aktívan segítettek. Köszönöm a közös munkát, és a közös laboratóriumi méréseket.

Külön köszönöm **Diana Quintin Escobar** segítségét, aki a spektrális értékelés során sokat segített a predikciós modellek számításában.

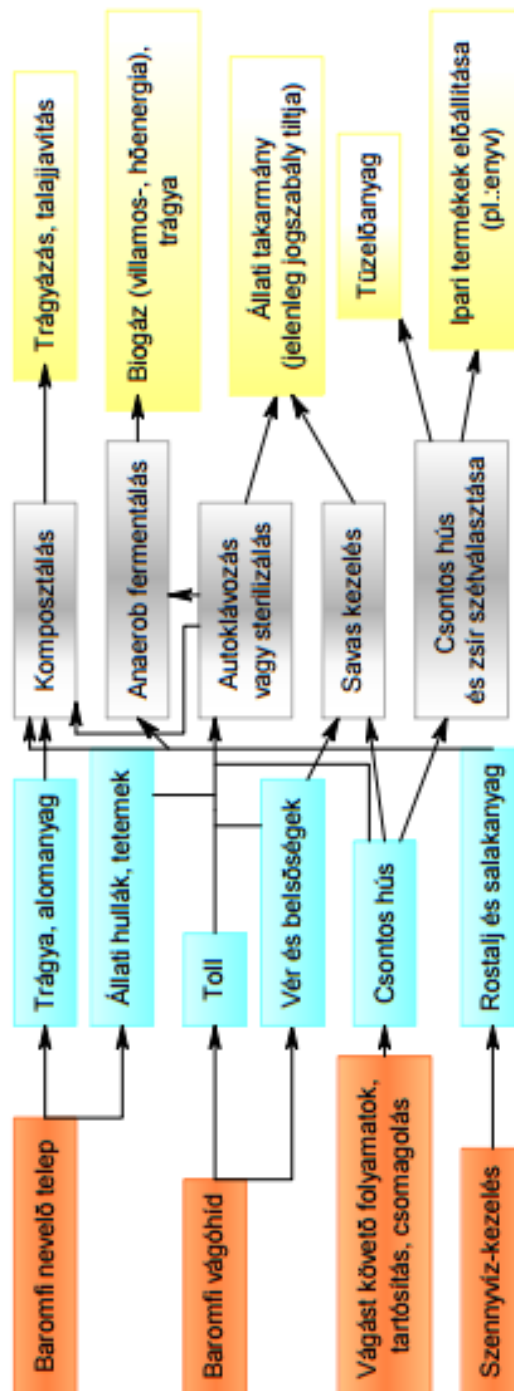
Végül, de nem utolsó sorban pedig végtelen köszönetemet szeretném kifejezni a **családomnak, páromnak, barátaimnak**, akik türelmükkel, támogatásukkal, szeretetükkel biztosítottak megértésükről, és bízattak abban, hogy a dolgozatom elkészülhessen. Köszönöm a megértéseket, javaslataitokat és azt, hogy veletek, általatok megpihenhettem egy-egy nehezebb időszakban.

A kutatás a **GINOP-2.2.1-15-2017-00043** azonosítószámú, „Többcélú organikus biofermentum termékcsalád kidolgozása és piaci bevezetése” című projekt támogatásával valósult meg.

13. MELLÉKLETEK

1. melléklet

A baromfitelepeken és -feldolgozó üzemekben keletkező szerves melléktermékek és hulladékok újrahasznosítási lehetőségei (Forrás: MÉZES, 2011, SALMINEN-RINTALA, 2002 alapján)



2. melléklet

Különböző komposztálási technológiákban elérendő hőmérsékleti értékek és forgatási gyakoriságok

	Hőmérséklet	Kezelés időtartama	Forgatás gyakorisága
Prizmakomposztálás (1)	55°C	2 hét	5
Prizmakomposztálás (2)	65°C	1 hét	2
Zárt rendszerű komposztálás	60°C	1 hét	-

Forrás: KvVM rendelet

3. melléklet

Zeolit termékek javasolt felhasználási területei

Szemcse méret	Felhasználási terület
0 - 200 µm	állattakarmányozási adalék, talajjavító
0 – 2 mm	kommunális hulladékkezelés állattartási hulladékkezelés
0,8 – 3 mm	kertészet víztisztítás
2 – 5 mm	kommunális hulladékkezelés
5 - 8 mm	víztisztítás uszodatechnika
10 – 20 mm	akvárium technika

Forrás: Saját szerkesztés, I₃ alapján

4. melléklet

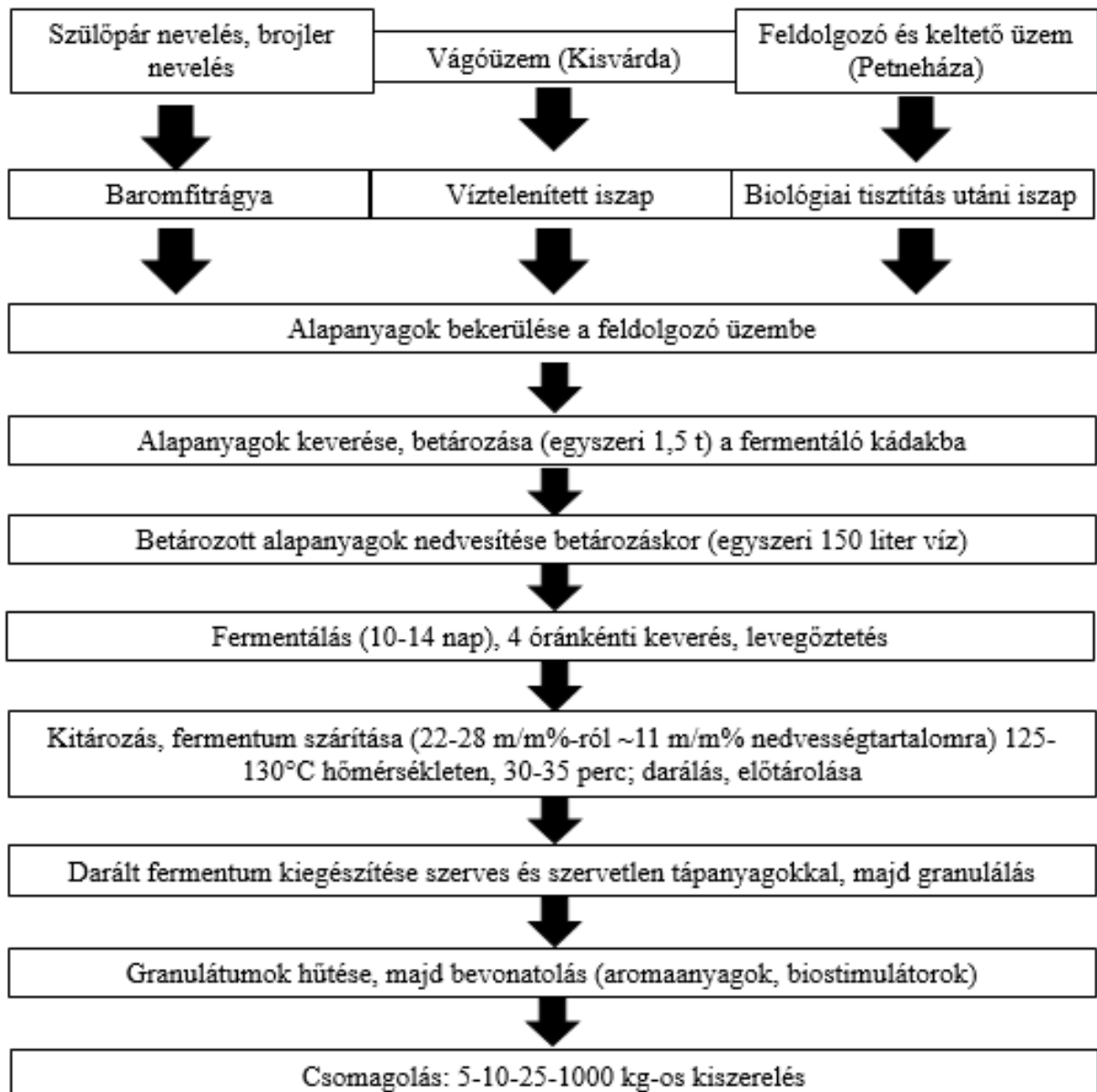
Sertéstrágya tárolása során fedésre alkalmazott adalékanyagok ammónia-kibocsátás csökkentése

Fedésre alkalmazott anyag	Ammónia-kibocsátás csökkentés
olaj (1 cm-es réteg)	40%
tőzeg A (188 g mennyiség felhasználásra fedésre)	42%
tőzeg B (377 g mennyiség felhasználásra fedésre)	46%
zeolit 1 (16-32 mm szemcseátmérőjű)	65%
zeolit 2 (<0,3 mm)	71%

Forrás: Saját szerkesztés, PORTEJOIE et al, 2002.

5. melléklet

A nyírjákói trágyafeldolgozóban zajló granulátum előállítás folyamatábrája (Forrás: Saját szerkesztés, Baromfi-Coop EKHE, 2018 alapján)



6. melléklet

Homoktalajon nevelt paprika terméseinek alakulása négy és nyolc hetes felszámolási idő esetén

	Kezelés	Termés száma (db)	Termés tömege (g)	Termés hossza (cm)
4 hetes felszámolás	Kontroll	-	-	-
	1. dózis	-	-	-
	2. dózis	2	7,01 g 4,81 g	7,5 cm 5,5 cm
8 hetes felszámolás	Kontroll	1	11,73 g	7,2 cm
	1. dózis	2	15,61 g 2,03 g	7,1 cm 3,2 cm
	2. dózis	-	-	-

Forrás: Saját, 2020

7. melléklet

Humuszos homoktalajon nevelt paprika terméseinek alakulása négy és nyolc hetes felszámolási idő és I. szuszpenzióval történő öntözés esetén

	Kezelés	Termés száma (db)	Termés tömege (g)	Termés hossza (cm)
4 hetes felszámolás	Kontroll	1 db	3,41 g	4,0 cm
	1. dózis	2 db	4,01 g 6,61 g	3,5 cm 5,5 cm
	2. dózis	1 db	6,11 g	5,0 cm
8 hetes felszámolás	Kontroll	1 db	11,19 g	6,6 cm
	1. dózis	1 db	16,99 g	6,7 cm
	2. dózis	3 db	2,61 g 18,98 g 2,69 g	3,4 cm 9,5 cm 3,5 cm

Forrás: Saját, 2020

8. melléklet

Homoktalajon nevelt káposzta tesztnövény esetén kapott eredmények négy és nyolc hetes felszámolás I. és II. szuszpenzióval öntözés esetén

		Levélszám (db)	Hajtáshossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Összes klorofill- tartalom ($\mu\text{g/g}$)	Összes karotinoid- tartalom ($\mu\text{g/g}$)
4 hetes felszámolás	I. szuszpenzió Kontroll	11,66ab $\pm 0,57$	9,66bc $\pm 0,28$	4,86c $\pm 0,51$	0,77a $\pm 0,01$	3,37a $\pm 0,22$	1481,30bc $\pm 113,89$	243,20abc $\pm 7,54$
	I. szuszpenzió 1. dózis	11,66ab $\pm 0,57$	10,50bc $\pm 0,00$	5,86bc $\pm 0,63$	0,77a $\pm 0,01$	3,53a $\pm 0,23$	1394,28c $\pm 68,07$	250,89abc $\pm 14,22$
	I. szuszpenzió 2. dózis	13,00ab $\pm 2,00$	10,00bc $\pm 0,86$	6,80bc $\pm 0,88$	0,77a $\pm 0,01$	3,44a $\pm 0,19$	1528,28bc $\pm 49,33$	267,94abc $\pm 21,48$
	II. szuszpenzió Kontroll	11,66ab $\pm 1,15$	9,16c $\pm 0,57$	6,16bc $\pm 1,25$	0,52a $\pm 0,11$	1,17b $\pm 0,48$	1566,22bc $\pm 31,86$	273,57abc $\pm 5,91$
	II. szuszpenzió 1. dózis	13,33ab $\pm 2,08$	8,83c $\pm 0,28$	6,13bc $\pm 0,86$	0,76a $\pm 0,02$	3,30a $\pm 0,36$	2115,51ab $\pm 395,52$	372,90ab $\pm 86,18$
	II. szuszpenzió 2. dózis	12,00ab $\pm 2,64$	9,83bc $\pm 1,04$	5,40bc $\pm 3,04$	0,68a $\pm 0,00$	2,15ab $\pm 0,00$	2292,61a $\pm 265,30$	412,02a $\pm 41,73$
8 hetes felszámolás	I. szuszpenzió Kontroll	10,00bc $\pm 1,73$	10,16bc $\pm 1,04$	4,74c $\pm 0,23$	0,72a $\pm 0,04$	2,68a $\pm 0,59$	1197,52c $\pm 269,88$	190,68c $\pm 69,37$
	I. szuszpenzió 1. dózis	14,00a $\pm 2,00$	13,33a $\pm 3,05$	9,62ab $\pm 2,97$	0,75a $\pm 0,02$	3,12a $\pm 0,40$	1441,31bc $\pm 54,41$	241,35abc $\pm 17,37$
	I. szuszpenzió 2. dózis	14,00a $\pm 1,00$	11,66ab $\pm 0,57$	11,48a $\pm 3,26$	0,77a $\pm 0,01$	3,45a $\pm 0,23$	1308,27c $\pm 306,88$	200,59bc $\pm 68,72$
	II. szuszpenzió Kontroll	7,66c $\pm 1,15$	9,50bc $\pm 0,50$	4,15c $\pm 0,17$	0,73a $\pm 0,03$	2,79a $\pm 0,43$	940,25c $\pm 92,75$	164,13c $\pm 18,06$
	II. szuszpenzió 1. dózis	7,66c $\pm 1,52$	11,00bc $\pm 0,50$	8,30abc $\pm 0,95$	0,77a $\pm 0,01$	3,52a $\pm 0,30$	1579,20bc $\pm 234,06$	257,33abc $\pm 56,62$
	II. szuszpenzió 2. dózis	12,00ab $\pm 3,00$	9,50bc $\pm 1,32$	9,33ab $\pm 4,56$	0,52a $\pm 0,04$	2,45ab $\pm 2,12$	2128,32ab $\pm 1032,45$	391,62a $\pm 260,94$

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$). A több betűjelzéssel ellátott kezelések elkülönítése 5%-os szignifikancia szinten bizonytalan.

9. melléklet

Humuszos homoktalajon nevelt káposzta tesztnövény esetén kapott eredmények négy és nyolc hetes felszámolás I. és II. szuszpenzióval öntözés esetén

		Levélszám (db)	Hajtáshossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Összes klorofill- tartalom ($\mu\text{g/g}$)	Összes karotinoid- tartalom ($\mu\text{g/g}$)
4 hetes felszámolás	I. szuszpenzió Kontroll	15,33a $\pm 1,52$	12,50abc $\pm 0,50$	16,10ab $\pm 2,53$	0,77a $\pm 0,01$	3,55a $\pm 0,18$	1481,57d $\pm 298,07$	268,68abc $\pm 35,04$
	I. szuszpenzió 1. dózis	16,66a $\pm 0,57$	11,83abc $\pm 2,02$	15,00abc $\pm 2,57$	0,76a $\pm 0,01$	3,32a $\pm 0,09$	1534,68cd $\pm 103,09$	283,05abc $\pm 13,97$
	I. szuszpenzió 2. dózis	16,00a $\pm 1,73$	13,33ab $\pm 1,04$	15,33abc $\pm 0,95$	0,77a $\pm 0,01$	3,43a $\pm 0,14$	1315,65de $\pm 179,19$	270,97abc $\pm 28,79$
	II. szuszpenzió Kontroll	11,00bc $\pm 1,00$	8,83f $\pm 0,76$	6,43d $\pm 0,55$	0,76a $\pm 0,01$	3,19a $\pm 0,23$	2096,98a $\pm 335,92$	387,81 ab $\pm 53,09$
	II. szuszpenzió 1. dózis	13,66ab $\pm 1,15$	9,66def $\pm 0,76$	8,73cd $\pm 0,95$	0,77a $\pm 0,00$	3,41a $\pm 0,11$	2096,22a $\pm 212,53$	352,71abc $\pm 35,71$
	II. szuszpenzió 2. dózis	16,00a $\pm 3,60$	9,00ef $\pm 0,86$	10,83abcd $\pm 2,77$	0,77a $\pm 0,00$	3,36a $\pm 0,13$	2024,60ab $\pm 420,09$	360,19abc $\pm 49,63$
8 hetes felszámolás	I. szuszpenzió Kontroll	9,66cd $\pm 1,15$	13,66a $\pm 1,04$	16,21ab $\pm 1,44$	0,74a $\pm 0,01$	2,96a $\pm 0,26$	992,44e $\pm 283,56$	165,09c $\pm 105,91$
	I. szuszpenzió 1. dózis	8,66cd $\pm 1,52$	13,33ab $\pm 1,25$	14,94abc $\pm 2,98$	0,75a $\pm 0,00$	3,12a $\pm 0,04$	2218,46a $\pm 143,12$	181,10bc $\pm 22,55$
	I. szuszpenzió 2. dózis	8,33cd $\pm 2,51$	11,00cd $\pm 0,50$	9,11bcd $\pm 3,89$	0,71a $\pm 0,08$	2,44a $\pm 1,19$	1440,98de $\pm 132,26$	250,09abc $\pm 31,94$
	II. szuszpenzió Kontroll	7,33d $\pm 0,57$	9,66def $\pm 0,76$	6,15da $\pm 0,64$	0,73a $\pm 0,02$	2,80a $\pm 0,38$	1140,53de $\pm 203,59$	209,78abc $\pm 26,31$
	II. szuszpenzió 1. dózis	10,00cd $\pm 1,73$	10,83cde $\pm 1,04$	11,34abcd $\pm 6,66$	0,54a $\pm 0,04$	2,57a $\pm 2,25$	1589,64bcd $\pm 139,46$	406,13a $\pm 319,78$
	II. szuszpenzió 2. dózis	9,00cd $\pm 1,00$	11,50bcd $\pm 0,50$	17,67a $\pm 8,81$	0,77a $\pm 0,00$	3,54a $\pm 0,00$	1971,78abc $\pm 326,74$	324,75abc $\pm 51,66$

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$). A több betűjelzéssel ellátott kezelések elkülönítése 5%-os szignifikancia szinten bizonytalan.

10. melléklet

Homoktalajon nevelt paprika tesztnövény esetén kapott eredmények négy és nyolc hetes felszámolás I. és II. szuszpenzióval öntözés esetén

		Levélszám (db)	Hajtáshossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Összes klorofill- tartalom ($\mu\text{g/g}$)	Összes karotinoid- tartalom ($\mu\text{g/g}$)
4 hetes felszámolás	I. szuszpenzió Kontroll	16,00d $\pm 3,60$	33,16b $\pm 2,84$	11,20c $\pm 1,13$	0,74a $\pm 0,01$	2,90ab $\pm 0,28$	2388,10def $\pm 392,47$	564,56bcde $\pm 105,80$
	I. szuszpenzió 1. dózis	16,00d $\pm 2,64$	32,83b $\pm 4,72$	11,76c $\pm 2,34$	0,74a $\pm 0,00$	3,00ab $\pm 0,12$	3198,55abcd $\pm 370,84$	665,39abc $\pm 91,20$
	I. szuszpenzió 2. dózis	17,33d $\pm 0,57$	35,66ab $\pm 0,76$	35,66a $\pm 0,76$	0,74a $\pm 0,02$	2,96ab $\pm 0,31$	2571,92bcdef $\pm 462,19$	528,95cde $\pm 82,79$
	II. szuszpenzió Kontroll	19,00cd $\pm 1,73$	38,16ab $\pm 2,08$	15,76bc $\pm 1,25$	0,74a $\pm 0,01$	2,88ab $\pm 0,27$	3219,14abcd $\pm 498,11$	660,39abc $\pm 132,48$
	II. szuszpenzió 1. dózis	20,66cd $\pm 3,21$	39,50a $\pm 0,00$	17,73bc $\pm 1,20$	0,72ab $\pm 0,02$	2,68bc $\pm 0,35$	3549,54ab $\pm 446,59$	737,47ab $\pm 136,47$
	II. szuszpenzió 2. dózis	24,66bc $\pm 5,85$	41,00a $\pm 2,64$	22,40b $\pm 1,41$	0,74a $\pm 0,02$	2,93ab $\pm 0,40$	4136,49a $\pm 344,16$	777,13a $\pm 41,00$
8 hetes felszámolás	I. szuszpenzió Kontroll	16,66d $\pm 0,57$	38,16ab $\pm 3,54$	17,98bc $\pm 6,69$	0,65cd $\pm 0,05$	1,93d $\pm 0,40$	2172,30ef $\pm 420,58$	449,94de $\pm 79,43$
	I. szuszpenzió 1. dózis	17,33d $\pm 0,57$	39,16a $\pm 4,25$	21,92b $\pm 6,18$	0,61d $\pm 0,39$	1,66d $\pm 0,39$	1938,57f $\pm 99,10$	395,02e $\pm 29,97$
	I. szuszpenzió 2. dózis	20,00cd $\pm 2,00$	37,33ab $\pm 2,75$	16,91bc $\pm 0,83$	0,68bc $\pm 0,05$	2,18cd $\pm 0,50$	2520,77cdef $\pm 82,85$	514,16cde $\pm 27,26$
	II. szuszpenzió Kontroll	21,00cd $\pm 8,71$	37,83ab $\pm 2,02$	16,18bc $\pm 4,03$	0,73ab $\pm 0,03$	2,93ab $\pm 0,19$	2871,96bcdef $\pm 186,53$	550,30bcde $\pm 23,30$
	II. szuszpenzió 1. dózis	33,00a $\pm 2,64$	40,33a $\pm 2,88$	21,55b $\pm 0,56$	0,76a $\pm 0,00$	3,27ab $\pm 0,12$	3028,96bcde $\pm 356,25$	571,48bcde $\pm 111,57$
	II. szuszpenzió 2. dózis	29,66ab $\pm 2,51$	37,66ab $\pm 2,08$	29,99a $\pm 6,20$	0,77a $\pm 0,00$	3,41a $\pm 0,11$	3437,22abc $\pm 1315,68$	625,36abcd $\pm 217,09$

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$). A több betűjelzéssel ellátott kezelések elkülönítése 5%-os szignifikancia szinten bizonytalan.

11. melléklet

Humuszos homoktalajon nevelt paprika tesztnövény esetén kapott eredmények négy és nyolc hetes felszámolás I. és II. szuszpenzióval öntözés esetén

		Levélszám (db)	Hajtáshossz (cm)	Teljes zöldtömeg (g)	Fv/Fm	Fv/Fo	Összes klorofill- tartalom ($\mu\text{g/g}$)	Összes karotinoid- tartalom ($\mu\text{g/g}$)
4 hetes felszámolás	I. szuszpenzió Kontroll	16,00c $\pm 1,73$	35,50c $\pm 2,00$	16,03c $\pm 2,40$	0,70cde $\pm 0,03$	2,67bcd $\pm 0,16$	2180,09de $\pm 236,14$	531,68cdef $\pm 127,90$
	I. szuszpenzió 1. dózis	18,66bc $\pm 0,57$	36,16c $\pm 1,52$	18,76abc $\pm 4,55$	0,69cdef $\pm 0,01$	2,29cde $\pm 0,20$	2463,72cd $\pm 580,45$	403,32fg $\pm 37,48$
	I. szuszpenzió 2. dózis	19,33bc $\pm 1,52$	37,33bc $\pm 2,84$	17,26bc $\pm 2,88$	0,72bcd $\pm 0,03$	2,62bcd $\pm 0,46$	2270,95de $\pm 416,78$	465,41efg $\pm 94,14$
	II. szuszpenzió Kontroll	17,33c $\pm 1,52$	35,66c $\pm 0,28$	14,86c $\pm 1,00$	0,73abc $\pm 0,02$	2,74bc $\pm 0,29$	3707,99ab $\pm 355,60$	692,01ab $\pm 63,77$
	II. szuszpenzió 1. dózis	22,33b $\pm 3,51$	37,83abc $\pm 1,25$	16,96c $\pm 0,40$	0,73abc $\pm 0,01$	2,85b $\pm 0,27$	3593,27b $\pm 225,43$	641,78bcd $\pm 53,96$
	II. szuszpenzió 2. dózis	21,50b $\pm 4,94$	36,75bc $\pm 0,35$	17,25bc $\pm 0,35$	0,73abc $\pm 0,01$	2,71bc $\pm 0,17$	3704,11ab $\pm 376,91$	690,17ab $\pm 77,22$
8 hetes felszámolás	I. szuszpenzió Kontroll	19,66bc $\pm 2,08$	38,00abc $\pm 1,00$	18,89abc $\pm 4,63$	0,67ef $\pm 0,02$	2,09e $\pm 0,18$	1723,66e $\pm 171,68$	354,28g $\pm 35,31$
	I. szuszpenzió 1. dózis	20,00bc $\pm 1,00$	35,00c $\pm 0,50$	21,12abc $\pm 10,34$	0,65f $\pm 0,02$	1,95e $\pm 0,20$	2222,32de $\pm 185,61$	517,83def $\pm 49,44$
	I. szuszpenzió 2. dózis	20,00bc $\pm 0,00$	36,00c $\pm 1,80$	24,97abc $\pm 9,61$	0,68def $\pm 0,03$	2,18de $\pm 0,34$	1832,00de $\pm 438,39$	378,10g $\pm 89,56$
	II. szuszpenzió Kontroll	19,33bc $\pm 0,57$	37,50bc $\pm 0,86$	23,03abc $\pm 9,57$	0,73abc $\pm 0,00$	2,79bc $\pm 0,10$	3050,36bc $\pm 265,68$	570,15bcde $\pm 55,78$
	II. szuszpenzió 1. dózis	31,66a $\pm 2,51$	39,50ab $\pm 2,78$	29,20a $\pm 3,86$	0,76a $\pm 0,00$	3,33a $\pm 0,15$	3408,46b $\pm 389,86$	656,95abc $\pm 72,88$
	II. szuszpenzió 2. dózis	33,66a $\pm 2,08$	40,66a $\pm 1,60$	27,77ab $\pm 0,94$	0,75ab $\pm 0,01$	3,13ab $\pm 0,40$	4249,62a $\pm 458,75$	792,69a $\pm 98,16$

*az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$). A több betűjelzéssel ellátott kezelések elkülönítése 5%-os szignifikancia szinten bizonytalan.