

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**BAROMFITRÁGYA ALAPÚ KOMPOSZT TERMÉKEK
ELŐÁLLÍTÁSÁNAK ÉS HASZNOSÍTÁSÁNAK ÉRTÉKELÉSE**

Gorliczay Edit

Témavezető: Prof. Dr. Tamás János
egyetemi tanár



DEBRECENI EGYETEM
Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola

Debrecen
2021

1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

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 (FOGED 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", amittől az állattartók igyekeznek megszabadulni. Ugyanakkor a körforgásos gazdaság koncepciója kiemeli az állati trágya megkerülhetetlen szerepét a talajerőgazdálkodásban, 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 fogalomkörére, 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 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 is, ugyanis 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) (FOGED 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 terméshozam, valamint a termőképesség romlása. 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 előállításal 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 (I_1). 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, 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.

A doktori értekezés célkitűzései:

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 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 termékek optimális termesztéstechnológiai paramétereit talaj-növény rendszerben, különböző kertészeti tesztnövények, dózisok, vízkapacitás szintek és talajtípusok alapján.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A laboratóriumi kísérleteket és a vizsgálatokat a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Szervesanyag Kutató Központjában végeztem. A komposztálási kísérletek során alkalmazott brojler- és tyúktrágya a Baromfi Coop Kft. Nyírájkói telephelyéről származott. A „Többcélú organikus biofermentum termékcsalád kidolgozása és piaci bevezetése” elnevezésű, GINOP-2.2.1-1-2017-00043 azonosítószámú projekt keretében a Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet a Baromfi-Coop Kft-vel konzorciumi partnerként működött együtt. A projekt egyik célkitűzése a komposzt alapanyagok beltartalmi paramétereinek értékelése, valamint az ipari félintenzív komposztáló kádak optimalizálása.

2.1 Kísérleti beállítások

2.1.1. Komposztálási előkísérletek

A nyílt prizmás komposztálási kísérletet mint előkísérletet építettem be a vizsgálatok sorába. Ennek indoka az volt, hogy a komposztálás során keveréssel végzett homogenizálás alapjaiban befolyásolja a komposzt matrix hő, víz és tápanyaggazdálkodását, azaz végsősoron 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 nyírájkói trágyafermentáló Hosoya kádakban esetenként előforduló, az optimálistól eltérő, a keverésből származó környezeti feltételek mennyire befolyásolják az üzemi komposztálás esetén a fermentációs folyamatot. Így modelleztem, 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 2:1 arányú brojler- és tyúktrágya keverékéből állt, amelyhez 0-1-2-5-7 m/m%-ban (0,4-2,8 kg közötti mennyiségű) zeolitot kevertem be. Az arányokat úgy választottam 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 homogenizáltam.

2.1.2. 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 oldat paramétereire. A szuszpenziók előállítása során alkalmazott beállításokat az 1. táblázatban részletezem.

1. táblázat: Komposzt szuszpenziók 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 és mtsai. (2016), valamint ZHANG és mtsai. (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 az oldatokat, 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 szuszpenziókat használtam a tápanyagtartalom meghatározásához, még a kémhatás és a fajlagos vezetőképesség méréséhez eredeti állapotú (centrifugálatlan) szuszpenziókat.

2.1.3. Komposzt szuszpenziók termesztéstechnológiai alkalmazhatóságának vizsgálata

Ezen vizsgálatnál az volt a célom, hogy meghatározzam a baromfi- és tyúktrágya alapú komposzt szuszpenziók optimális termesztéstechnológiai paramétereit talaj-növény rendszerben, különböző kertészeti tesztnövények, dózisos és talajtípusok alkalmazásával. A komposzt szuszpenziók teszteléséhez az alábbi táblázatban látható tesztnövényeket és talajokat alkalmaztam (2. táblázat).

2. táblázat: Alkalmazott vizsgálati növények, talajtípusok, vízkapacitás szint

Választott tesztnövények	Választott talajtípusok	Vízkapacitás szint
fehér édes paprika (<i>Capsicum annuum</i> L., fajtája: Ceremony F1)	humuszos homoktalaj	VK 70 m/m%
fejes káposzta (<i>Brassica oleracea</i> L. convar. <i>capitata</i> provar. <i>capitata</i> Dutch, fajtája: Autumn Queen F1)	futóhomok vagy jellegtelen homoktalaj	

Forrás: Saját szerkesztés, 2020

A komposzt szuszpenziók természetstechnológiai alkalmazhatóságának teszteléséhez tesztnövényként a fehér édes paprikát (*Capsicum annuum* L.), illetve a fejes káposztát (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* provar. *capitata* Dutch) választottuk. Azért választottam ezeket a tesztnövényeket, mert egyrészt, két olyan növényről van szó, melyek a kertészeti termesztés szempontjából fontosak, másrészt a komposzt szuszpenzió tesztelésekor elsősorban gazdasági haszonnövényekkel szerettem volna foglalkozni, harmadrészt olyan növényeket szerettem volna a kísérletbe bevonni, 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 választottam, 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. 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 szélrózsióra (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 talajfelszíntől számított ≤ 100 cm-en belül minden rétegben < 40 tf%” (Magyar Talajtani Társaság, 2020).

A hazai osztályozási rendszer szerint a futóhomok és a humuszos homoktalaj a váztalajok fő típusba 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 főtípusba 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 tesztnövények 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 szuszpenziók szerves kémiai paraméterei, valamint a vizsgálati növények tápanyagigénye alapján kiválasztottam két szuszpenziót, melyek hatását öntözött formában teszteltem. Az I. szuszpenzió komposztált brojler- és tyúktrágya keverékéből, még a II. szuszpenzió komposztált brojler- és tyúktrágya, valamint húsliszt keverékéből állt. A szuszpenziók kémiai jellemzőit a 3. táblázatban ismertetem.

3. táblázat. A tesztelt komposzt szuszpenziók 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 tesztnövényekre. 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 vízoldható 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.

A kísérleteket háromszoros ismétlésben végeztem, mind a 4 hetes, mind a 8 hetes felszámolási idő esetén, még a kijuttatott dózis heti egyszeri és kétszeri öntözés volt.

2.2. Elvégzett vizsgálatok és alkalmazott eszközök

2.2.1. Komposztálási előkísérletek során elvégzett vizsgálatok

A mintavételi stratégiát a szerves trágyákra vonatkozó szabvány (MSZ-08-0014-78) szerint alakítottam ki oly módon, hogy a prizma hossz tengelye mentén mintáztam az első, középső és hátsó prizmateret 15, 35 és 55 cm-es hossz-szelvényben. A nedvességtartalmat gravimetriás módszerrel (MSZ-08-0221-1:1979) ellenőriztük a 0., 1. és 2. napon, majd ezt követően háromnaponta. A hőmérséklet mérését PT100 típusú hőmérővel végeztem a fent említett három hossz-szelvényben 12 cm-es mélységben. A kémhatás és fajlagos vezetőképesség (mS/cm) mérését HANNA HI 2550 típusú laboratóriumi műszerrel végeztük potenciometriás, illetve konduktometriás módszerrel. A kémhatás és a fajlagos vezetőképesség mérését JANCZAK és mtsai. (2017), valamint IRSHAD és mtsai. (2013) vizsgálatai alapján 10%-os ioncserélt vizes szuszpenzióból mértem 24h Edmund Bühler KS-15 típusú rázatóalapon történő rázatást követően.

A spektrométeres vizsgálatokat 400-2500 nm hullámhossz tartományban végeztem el, melyhez a nyílt komposzt prizmákból megvett, tömegállandóságig szárított komposzt mintákat használtam. Az AvaSpec 2048 spektrométert alkalmaztam 400-1000 nm hullámhossz tartományban, a látható (VIS; 400-700 nm) és közeli infravörös (NIR - Near Infra Red, 700-1300 nm) hullámhossz tartományban, mellyel a komposzt mintákat 0,566 nm felbontással, 1 nm-es pontossággal tudtam megvizsgálni. Az 1000-2500 nm hullámhossz tartományban végzett vizsgálatokhoz AvaSpec-NIR256-2.5-HSC spektrométert használtam, mely az AvaSpec 2048 spektrométerhez hasonló felépítésű, és a mérés szintén a zárt laboratóriumi szekrényben történt. Mindkét spektrométer esetén minden komposzt mintáról 5 darab, egyenként 30 mérés átlagából számított reflektancia spektrumot rögzítettem, mely a heterogenitásból származó mérési bizonytalanságok kiszűrése miatt volt lényeges.

2.2.2. Előállított komposzt szuszpenziók szerves kémiai paramétereinek vizsgálata

A komposzt szuszpenziók kémhatásának és fajlagos vezetőképességének (mS/cm) meghatározásához az előző fejezetben már említett HANNA HI 2550 típusú laboratóriumi mérőműszert alkalmaztam. A tápanyagtartalom méréséhez a komposzt szuszpenziókat előbb centrifugáltam, majd ha szükséges volt hígítottam és Macherey-Nagel PF-12 Plus típusú

mikroprocesszor vezérlésű filter-fotométer, valamint VISOCOLOR ECO reagensek segítségével mértem meg azok nitrát-, ammónium-, foszfát- és kálium-tartalmát.

2.2.3. Komposzt szuszpenzió tesztelése során elvégzett vizsgálatok

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

- **növénymagassága**
- **virágszám, termésszám, levélszám;**
- **nedves és száraz hajtástömeg;**
- **terméstömeg, termésszám, termés hossz** (SLEZÁK, 2001 alapján);
- **növényi stressz mérése** (Fv/Fm, Fv/Fo értékének meghatározása).

A növényi stressz mérése OS30p+ típusú klorofill fluoriméterrel történt. Ezen hordozható készülékkel meg tudtam 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 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.

- **összes klorofill- és karotinoid-tartalom meghatározása:** a friss növényi mintákat (levélmintákat) 80%-os aceton és kvarchomok segítségével mozsárban homogén állapotúra roncsoltam, 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. 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:

1. 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 μ g/g-ban egy gramm friss tömegre vonatkoztatva

A_{644}, A_{663} = 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:

2. egyenlet

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

ahol a fenti egyenletben szereplő tényezők a következők:

KA= karotinoid-tartalom µg/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 (µS/cm) méréséhez a HI 2550 típusú kombinált laboratóriumi műszert használtam.

2.3. Eredmények statisztikai értékelésének módszerei

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).

A különböző kezelések közti statisztikai különbségek igazolására egytényezős varianciaanalízist alkalmaztam $p < 0,05$ szignifikancia szint mellett. A varianciaanalízis elvégzése előtt Shapiro-Wilk normalitás tesztet alkalmaztam annak megítélésére, hogy a vizsgált változó normál eloszlású-e vagy sem. Amennyiben az adatsorom nem normál eloszlású volt, akkor LSD-vel bővített (nemparaméteres) Kruskal-Wallis próbát még ha normál eloszlású, akkor pedig LSD-vel bővített Duncan-próbát alkalmaztam.

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. Mivel az SNK próbával nem kapjuk meg az SZD_{5%} értékét, ezért annak meghatározására LSD tesztet alkalmaztam.

A kompozitálási előkísérlet eredményeinek értékelésére ismételt mérési modellt (anova with repeated measures factors) alkalmaztam. Az ismételt mérési modellben a hőmérséklet a vizsgált

tényező, a kezelés a fix hatás, a hét a véletlen hatás, még a prizma azonosító/hét a véletlen ingadozása volt.

A spektrális mérés során kapott eredményeket AvaSoft 8.0 programból Excelbe-fájlként exportáltam, majd az Excel táblázatot text fájlként menttem el. Az inflexiós pontokat ENVI (The Environment for Visualizing Images) Classic szoftverkörnyezetben, a spektrális görbék bináris kódolásával állapítottam meg (BÖKFI et al, 2016). A spektrális adatokból oly módon készítettem adatbázist, hogy a spektrális mérések öt ismétlését vettem, valamint az adatbázishoz hozzáadtam a hőmérséklet, nedvességtartalom, kémhatás és fajlagos vezetőképesség adatokat. Az így kapott adatbázisból végeztem derékszögű forgatással, varimax módszerrel (rotációval) főkomponens analízist (principal component analysis, PCA), 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.

A predikciós modellek (indexek) megbízhatóságának teszteléséhez kiszámoltam az átlagos négyzetes hiba négyzetgyökét (root-mean-square error: RMSE), illetve a normalizált átlagos négyzetes hiba négyzetgyökének (normalized root-mean-square error: NRMSE) értékét is.

3. EREDMÉNYEK

3.1 Komposztálási előkísérletek eredményei

A 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.

Eredményeim alapján a nedvességtartalom alakulásáról elmondható, hogy a szakirodalomban meghatározott 60 m/m% körüli (KOC SIS, 2005) optimális nedvességtartalomtól eltérően, az általam alkalmazott brojlertrágya és tyúktrágya keverék esetén elegendő az 50 tömeg% nedvességtartalom ahhoz, hogy a komposztálási folyamat végbemenjen. Továbbá elmondható az is, hogy aminél nagyobb arányban került a zeolit bekeverésre, a nedvességtartalom annál alacsonyabb volt a prizmákban. 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 -5 m/m%, sőt akár -10 m/m%-kal is. Annak bizonyítására, hogy a nagyobb mennyiségű zeolit bekeverésének hatására a nedvességtartalom csökken, egytényezős varianciaanalízist végeztem a 9 hét átlagos nedvességtartalmai közötti szignifikáns különbségek bizonyítására, mely alapján bebizonyítottam (a gravimeriás mérések mellett statisztikailag is) a növekvő zeolit mennyiség hatására bekövetkező nedvességtartalom csökkenést.

A hőmérséklet esetén mind a kontroll, mind a zeolittal kezelt prizmáknál a környezeti hőmérséklettől függetlenné váltak a prizmák. A komposztálás szakaszai a hőmérséklet alapján elkülöníthetők nem csak a mérési eredményeket figyelembe véve, hanem statisztikailag is (a prizmák átlaghőmérsékletét figyelembe véve ugyanis a homogén hőmérsékleti napok egy csoportot alkottak, melyeket a varianciaanalízis alapján kapott a betűindexek is jelöltek). A zeolit arányának növekedésével a termofil fázis hossza nőtt: a kontroll esetén 13 nap, addig a 7 m/m% zeolit esetén 27 nap volt ezen fázis hossza.

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 nagyobb mennyiségű zeolittal bekevert prizmák esetében a zeolit valószínűsíthetően nem csak ammóniát kötött meg, hanem más kicszerélhető ionokat. 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 egyik oka annak, hogy a növekvő zeolit mennyiségével a kémhatás csökkent. Emellett a prizmák savanyodását okozta az is, hogy a csökkenő pH hatására az ammónia-ammónium egyensúly az ammónium irányába tolódott el. Ezen hatások összeadódtak: a növekvő zeolit mennyiség hatására a közeg savanyodott, s ez a csökkenő illetve alacsony kémhatás azt eredményezte, hogy a rendszerben ammónium-ion túlsúly volt jellemző, mely a zeolit felületén megkötődött. Emiatt szaghatás sem volt tapasztalható a zeolittal bekevert prizmákban.

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 10%-os vizes kivonatba olyan anyagok oldódtak, melyek növelték a fajlagos vezetőképesség értékét. Az ismételt mérési modell alapján elmondható, hogy a kezelés, az idő (hetek) és a kezelés:hét tényezők kölcsönhatása szignifikánsan befolyásolta ($p < 0,05$) a nedvességtartalom, a hőmérséklet, a kémhatás és a fajlagos vezetőképesség alakulását.

3.2. Spektrális vizsgálatok eredményei

A spektrális vizsgálatokat 400-2500 nm hullámhossz tartományban végeztem el. A komposzt minták spektrális vizsgálatai előtt megvizsgáltam az alapanyagok (brojler- és tyúktrágya, zeolit) spektrális jellemzőit. A brojler- és tyúktrágya a trágyákra, valamint a talajokra jellemző reflektancia görbével írható le. 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. A zeolit szürkésfehér színéből adódóan a reflektanciája magas (55% feletti), amely egészen 900 nm-ig megfigyelhető. 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.

A komposzt minták spektrális jellemzőiről elmondható, hogy a brojler- és tyúktrágya spektrális tulajdonságai nagyban meghatározzák a reflektancia alakulását. Mind a kontroll, mind pedig a zeolittal kezelt komposzt minták esetén a mintavételi napok reflektanciája konstans emelkedést mutatott. 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, azonban összességében elmondható, hogy a komposzt érettsége indokolja a reflektancia csökkenését a vizsgált tartományban, azaz a komposzt színének sötétedésével a minták reflektanciája csökkent.

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 csökkeni 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 51% 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.

BÖKFI et al (2016) vizsgálatai rámutattak arra, hogy a reflektancia görbék inflexiós pontjainak kiszámítása milyen 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. 400-1000 nm

hullámhossz tartományban az inflexiós pontok 710 nm és 760 nm között helyezkednek el mindegyik kísérleti beállítás esetén. A kontroll esetén a komposztálás előrehaladtával az inflexiós pontok helyzete változik: elcsúszik 732,135 nm-től 741,726 nm-ig, ez az elcsúszás 9,591 nm-t jelentett. Az inflexiós pontok helyzete a növekvő zeolit mennyiség hatására változik, ugyanis az inflexiós pontok tolődásának mértéke az 1 m/m% zeolit esetén 1,7 nm, a 2 m/m% esetén 20,89 nm, 5 m/m% zeolit esetén 35,516 nm, még a 7 m/m% zeolit esetén 39,696 nm volt. Ezek alapján elmondható, hogy minél nagyobb arányban került a zeolit bekeverésre, az inflexiós pontok annál inkább eltolódnak a közeli infravörös tartomány felé.

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 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 0,14-0,55), a zeolit bekeverési arányának növekedésével a korreláció erőssége nőtt.

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, melyet az alábbi táblázatban (4. táblázat) mutatok be.

4. 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. A faktorsúlyoknál 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 (5. táblázat).

5. 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 (T)	0,4814	T=-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 $\lambda_{812}/\lambda_{941}$ hullámhosszból képzett hányados alapján számított R^2 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 kompozit fizikai-kémiai paraméterei.

A VIS-NIR tartományban végzett elemzéshez hasonlóan a NIR tartományban is főkomponens analízist végeztem, mely során meghatároztam a főkomponenseket, melyet az alábbi táblázatban (6. táblázat) összegeztem.

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

Főkomponensek	Elemzés	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 főkomponensek mellett a faktorsúlyokat 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 faktorsúlyokkal dolgoztam.

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 (7. táblázat) mutatok be.

7. 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 (T)	0,6512	T= -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 R² 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.

3.3. Komposzt szuszpenziók előállításánál kapott eredmények

A komposzt szuszpenziók előállításánál a célom volt, hogy meghatározzam azt, hogy melyik az a komposzt:víz arány (a továbbiakban KVA), oldási hőmérséklet, oldási idő kombináció, mellyel magas tápanyagtartalmú szuszpenziót tudok komposztból előállítani. Emellett célom volt továbbá az is, hogy az előállított szuszpenziók szerves kémiai paramétereit és a választott tesztnövények tápanyagigényeit figyelembe véve kiválasszam azt a szuszpenziót, amely talaj-növény rendszerben tesztelésre került.

A komposzt szuszpenzió előállításának első fázisában 1:10-1:50 KVA közötti szuszpenziókat készítettem, melyek szerves kémiai jellemzőit (kémhatás, fajlagos vezetőképesség (mS/cm),

nitrát-, ammónium-, foszfát-, kálium-tartalom (mg/l) vizsgáltam. A komposzt szuszpenzió előállításának ezen fázisában a KVA és az oldási idő hatását vizsgáltam, az oldási hőmérséklet egységesen 25°C volt. A kémhatás alakulásáról elmondható, hogy 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) a szuszpenziók kémhatása 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 kémhatása az oldási és tárolási idő előrehaladtával csökkent (pH 8,8-8,1). 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 szénsavvá 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 a szuszpenzió hígulásával a fajlagos vezetőképesség csökkent, melyet statisztikailag is bebizonyítottam, ugyanis mindegyik oldási idő esetén a különböző KVA oldatok között szignifikáns különbségek vannak (p<0,05). Ezek alapján megállapítható, hogy a különböző KVA, illetve oldási idejű komposzt szuszpenziók vezetőképessége eltér egymástól. A nitrogénformák és a fajlagos vezetőképesség esetén számított szoros lineáris összefüggése (R² értéke 0,88) alátámasztja, hogy az előállított komposzt szuszpenziókban lévő sók közel 90%-át a nitrogén-sók adják. Mindegyik komposzt szuszpenzió esetében elmondható, hogy a nitrogéntartalom a NO₃-N (átlagértéke az 90,0 mg/l), és az NH₄-N (átlagértéke az 189,1 mg/l) között oszlik meg, míg a redukált forma, a NO₂-N kisebb mennyiségben (átlagértéke 0,96 mg/l) volt kimutatható a vizsgált szuszpenziókban. Növényáplálás szempontjából fontosak a különböző nitrogénformák, a növény a nitrogént mind nitrát-, mind pedig ammónium-ion formájában képes felvenni. Az azonban lényeges, hogy a nitrogén minél inkább NH₄-tartalom formájában legyen elérhető, ugyanis az ammónium a talajban sokkal stabilabb, erősebben képes a negatív töltésű talajrészecskékhez kötődni, mint a nitrát (NO₃⁻). A nitrát a talajaggregátumokhoz kisebb abszorpciós energiával kötődik, ezért jelenthet jelentősebb talajvízszennyezési kockázatot. A kálium és az ammónium-nitrogén közötti erős lineáris regresszió (R² értéke 0,81) azzal magyarázható, hogy a nem levegőztetett szuszpenziókban kialakult oxidatív körülmények hatására a szerves anyag bomlási folyamatok indultak el.

A komposzt szuszpenziók 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. Ezek alapján a szűkített arányú szuszpenziók előállításához (a tág arányú komposzt szuszpenziókhöz hasonlóan) ioncserélt vizet használtam, mint gyenge ágens és 1:2,5-1:20 KVA szuszpenziókat állítottam elő. A vizsgált paraméterek megegyeztek a tág arányú komposzt szuszpenziók esetén vizsgáltakkal.

A kémhatás alakulásáról elmondható, hogy a tág arányú komposzt szuszpenziókhöz hasonlóan ezen komposzt szuszpenzióknál 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. A különböző oldási hőmérsékleteken (20°C, 35°C, 50°C) belül az egyes KVA-k között nincsenek szignifikáns különbségek. Az alapanyagként alkalmazott komposzt kémhatása (10%-os vizes kivonatban) pH 7,8 volt. Ehhez képest a szuszpenziók 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 vizsgálatakor ismételt mérési modell alkalmazásával bebizonyítottam, hogy az oldási idő, az oldási hőmérséklet és az oldási idő:oldási hőmérséklet kölcsönhatása egyaránt szignifikánsan befolyásolja a komposzt szuszpenziók kémhatásának alakulását.

A komposzt szuszpenziók fajlagos vezetőképességéről elmondható, hogy az oldási hőmérséklet növekedésével a szuszpenziók vezetőképessége nőtt mindegyik KVA esetén. Az 50°C oldási idejű szuszpenziók fajlagos vezetőképessége nagyobb volt, még az 1:20 KVA szuszpenziók esetében is. A vezetőképesség alakulásánál megfigyelhető, hogy szignifikánsan különbözik a szuszpenziók 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 a szuszpenziók fajlagos vezetőképességét ($p < 0,05$). A vizsgált tápanyagformákról elmondható, hogy 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 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 a szuszpenziók kémhatása az idő előrehaladtával csökkent. A magas kálium-koncentráció azzal

magyarázható, hogy a kálium jól oldódik vizes közegben, és semleges kémhatású szuszpenziókban egyaránt.

A szűk KVA szuszpenziók esetén 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 szuszpenziókban komposzt:víz arányonként. A korrelációs mátrix alapján elmondható, hogy a legtöbb esetben szignifikáns összefüggéseket tudtam bizonyítani a komposzt szuszpenziókban mért szervesetlen kémiai paraméterek között. 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 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 szuszpenziókban lévő összes ion koncentrációjától függ, addig a kémhatás az oldatban lévő oxónium ion koncentrációjától. Azon szuszpenzió, 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 függvényyszerű 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 oldatok esetén már gyenge pozitív irányú kapcsolatként jelentkezik. A töményebb szuszpenziók esetén az ammónium-koncentráció növekedésével a nitrát-koncentrációja csökkent. A fajlagos vezetőképesség (mS/cm) és az ammónium-koncentráció (mg/l) közötti magas korrelációs együttható alapján arra következtettek, hogy a tág KVA komposzt szuszpenziókhoz hasonlóan a szűk KVA komposzt szuszpenziók esetén is a vízben oldható sók jelentős részét ammónium-sók adják. A korrelációs mátrix alapján elmondható, hogy a fajlagos vezetőképesség alakulását a komposzt szuszpenziókban lévő ammónium- és kálium-koncentráció nagyban meghatározza.

3.4. Komposzt szuszpenziók termesztéstechnológiai alkalmazhatóságának vizsgálata

A komposzt szuszpenziók tesztelésénél a célkitűzésem az volt, hogy meghatározzam a baromfitrágya alapú termékek optimális termesztéstechnológiai paramétereit talaj-növény rendszerben fehér édes paprika (*Capsicum annuum* L., fajtája: Autumn Queen F1) és káposzta (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* provar. *capitata* Dutch, fajtája: Ceremony F1)

tesztnövények, két dózis (heti egyszeri és heti kétszeri), egy vízkapacitás szint (VK70%) és két talajtípus (homoktalaj, humuszos homoktalaj) alkalmazásával. A tenyészedényes kísérletek eredményei alapján elmondható, hogy a kontroll és a komposzt szuszpenzióval kezelt növények vizsgált paramétereit, valamint a felszámolási idők között szignifikáns különbségek vannak ($p < 0,05$). Az alkalmazott vizsgálati növények közül a paprika reagált érzékenyebben a kezelésekre, valamint a paprika esetében a foszforhiány következtében a termések kötése 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 (nőtt a növényeket érő stressz, azaz csökkent az Fv/Fm és az Fv/Fo értéke). Összes klorofill- és karotinoid-tartalom esetén a 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 a szuszpenzióval való kezelés hatására szignifikánsan nőtt ($p < 0,05$).

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.

4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

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 destruktív 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 prizmás 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, termés kötése, növény magassága, 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.

5. 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.

6. IRODALOMJEGYZÉK

1. 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.
2. 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.
3. Bökfői, 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.
4. Brake, J. D., 1992. A Practical Guide for Composting Poultry Litter, *MAFES Bulletin*, p. 981.
5. 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.
6. 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. 30 pp.
7. 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
8. 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.
9. 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.
10. Haga K., 1999. Development of composting technology in animal waste treatment – review. *Asian – Australian Journal of Animal Science* 12 (4), 604–606.
11. Herman Ottó Intézet (2020): Útmutató az elérhető legjobb technika meghatározásához az intenzív baromfitartási tevékenység engedélyeztetése során. 1-130.
12. Ingham, E.R., 2005. *The Compost Tea Brewing Manual*. US Printings, Soil Foodweb Incorporated, Oregon
13. 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.
14. Islam M.K., Yaseen T., Traversa A., Kheder M. Ben, Brunetti G., Cocozza C., 2016 Effects of the main extraction parameters on chemical and microbial characteristics of compost tea. *Waste Management* 52. 62–68.
15. 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.
16. Kitajima M., Butler W.L., 1975. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. *Biochim Biophys Acta* 376:105-115
17. Kocsis I., 2005. *Komposztálás, Szaktudás Kiadó Ház Rt.*, Budapest, 209 p.
18. Lichtenthaler, H. K., Wellbum, A. R., 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem Soc. Trans.* 603:591-592 p.
19. 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

20. Maxwell K., Johnson G. N., 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany* Vol. 51, No. 345:659-668.
21. Michel F. C., Forney L. J., Huang A. J. F., Drew S., Czu Prenske M., Lindeberg J. D., Reddy C. A., 1996. Effects of turning frequency, leaves to grass mix ratio and windrow vs pile configuration on the composting of yard trimmings. *Compost Science and Utilization* 4:26-43.
22. 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. *Bioresour. Technol.* 91, 171–178.
23. 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/>.
24. Slezák K., A. 2001. Fehér termésű paprika sótűrése. Doktori értekezés. Szent István Egyetem Zöldség- és Gombatermesztési Tanszék.
25. Spaargaren, O. 2004. Andosols and Arenosols. https://esdac.jrc.ec.europa.eu/events/SummerSchool_2004/files/spar_ando.pdf
26. Terbe I., 2014. Az étkezési paprika talaj- és tápanyagigénye, valamint trágyázása. <https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2006/03/szantofold/az-etkezesi-paprika-talaj-es-tapanyagigenye-valamint-tragya-zasa>
27. 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.

Internetes hivatkozások:

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

Jogszabályok:

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

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

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

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>)



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 könyvrészesetek (1)

1. **Gorliczay, E.,** Tamás, J., Mézes, L.: A pH és a hőmérséklet hatása a zeollittal 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/actaagrar/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. Zooteh. 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 előkezelte 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 fermentáló beltartalmi paramétereinek vizsgálata és kijuttatása nitrátérzékeny területre.
In: *XXIII. Tavasz 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 előkezelte 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.

