

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

Hulladékokból összeállított komposztok degradációs folyamatainak nyomon követése

Hunyadi Gergely

Témavezető: Prof. Dr. Tamás János



DEBRECENI EGYETEM
Kerpely Kálmán Növénytermesztési, Kertészeti és Regionális Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2012

1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

Az 1990-es évek elején bekövetkezett politikai, gazdasági és társadalmi rendszerváltás jelentős változásokat hozott a mezőgazdaságban, melynek következményeként lényegesen átalakult a mezőgazdaság tulajdonosi és üzemi szerkezete. A korábbi nagyüzemeket tömegesen váltották fel a mikro-, kis- és középvállalkozások, egyéni gazdálkodók, amely a birtoktulajdon felaprózását eredményezte (*Molnár és Farkasné, 2003*).

A tulajdonviszonyok megváltozásával eltávolodott egymástól a mezőgazdaság két fő ágazata a növénytermesztés és az állattenyésztés, amely az egyes vállalatok jövedelmezőségét tovább rontotta. A hatékonyság meggyengülése az állatállomány drasztikus visszaesésével párosult. Az 1970-es évekhez képest mind a szarvasmarha-állomány, mind a sertésállomány több mint 40%-al csökkent (*Baranyai és Takács, 2007*).

Az állatállomány negatív változása maga után vonta a szervestrágya mennyiségének csökkenését is. A '70-es években évente körülbelül 15 millió tonna szervestrágyát használtak fel. Ez az érték 2000-re 5 millió tonnára csökkent (*KSH, 2000*). A '90-es évek elejéig ezt a változást a műtrágyahasználat térhódítása is fokozta. A növekvő műtrágya-mennyiségek termésmenvelő hatásuk mellett azonban kihatnak a talaj tulajdonságaira, illetve a talajéletre is.

A gazdasági növények tápanyag-igényéhez igazított műtrágyaadagok ugyanis a növény igényeit fedezhetik, de hosszú távon nem járulnak hozzá a talaj szervesanyag-tartalmának fenntartásához. Ráadásul a kijuttatandó hatóanyag megtervezésekor nem vesszük figyelembe a talajban élő mikroorganizmusok tápanyagigényét sem, amelyek így a talaj tartalékaiból kénytelenek fedezni szükségleteiket – ezzel is csökkentve a talaj tápanyagbázisát, tápanyag-szolgáltató képességét. A szerves vegyületek, humuszanyagok kivonása a talaj tulajdonságainak romlásához, a talaj degradációjához vezethet, ami akár a mezőgazdasági művelés ellehetetlenítését is eredményezheti (*Dobos, 1999*).

A fent említett következmények elkerülésének érdekében, valamint a talajok kedvező tulajdonságainak fenntartásához elengedhetetlen a szerves anyagok pótlása. A szervesanyag-igény biztosításának egyik lehetőségét adja a komposztálás. Az alapanyagok helyes megválasztásával, a degradációs folyamatok kontrollálásával, a meghatározó paraméterek folyamatos ellenőrzésével stabil, a tápanyag-visszapótlásban felhasználható végterméket nyerhetünk (*Filep, 1999*). A komposztálás széles alapanyag bázisa ráadásul lehetővé teszi – szigorú feltételek betartása mellett – különböző szerves hulladékok ártalmatlanítását is.

A Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Program célkitűzéseinek teljesítésével egyre növekvő mennyiségű, a települési folyékony hulladékok tisztítása során keletkező szennyvíziszap keletkezésével kell számolnunk az elkövetkezendő években (*Petróczki, 2005*). A növekvő mennyiség ártalmatlanítása, illetve elhelyezése megoldandó feladat, hiszen az Európai Tanács *1999/31/EK irányelve* és az Országos Hulladékgazdálkodási Terv II. egyértelműen fogalmaznak a tekintetben, hogy a biológiailag kezelhető hulladékok – mint értékes energiaforrások – depóniákon történő elhelyezését csökkenteni kell. A jogszabályi elvárásoknak eleget téve a keletkező szerves hulladékokat a mezőgazdaságban, a biogáztermelés során, vagy komposzt-előállításra érdemes felhasználni.

A szennyvíziszap önmagában is jelentős növényi tápanyag-potenciállal bír, de közvetlen szántóföldi elhelyezhetőségét káros elemtartalma, valamint patogén kórokozói nagymértékben korlátozhatja (*Szili-Kovács, 1985; Tamás, 1990; Simon et al, 2000*). Komposzt alapanyagként ugyanakkor általában jól hasznosítható, ugyanis az aerob folyamatok, illetve a magas hőmérséklet hatására a – nehézfém-tartalom kivételével – kedvezőtlen tulajdonságait elveszíti, viszont szerves vegyületei a talaj számára fontos humuszanyagokká alakulnak át (*Uri, 2007*).

A szennyvíziszap aerob degradációja tehát egy olyan lehetőség, amellyel az iszap stabilizálása, illetve ártalmatlanítása mellett egy, a mezőgazdaságban felhasználható anyagot nyerhetünk. A szennyvíziszap önmagában történő komposztálása azonban a szűk C/N arány, valamint a magas nedvességtartalom miatt nem kézenfekvő megoldás; adalékanyagok hozzáadásával azonban hatékonyan alkalmazható a különböző aerob biodegradációs technológiákban. *Amlinger et al. (2004)* kiemeli, hogy a különböző eredetű kommunális jellegű szerves hulladékok (pl. parkfenntartási hulladékok, szelektíven gyűjtött szerves lakossági hulladékok, élelmiszeripari hulladékok stb.), valamint egyéb adalékanyagok felhasználásával olyan keverék- és technológiavariánsokat kell meghatározni, amelyek a fent említett hulladékok ártalmatlanítása mellett értékesíthető, állandó minőségű stabilizált végterméket eredményeznek.

A szennyvíziszap mellett, a BSE betegség feltűnését követő szigorúbb Európai Unió és hazai szabályozás révén, megoldandó problémát jelent a vágóhídi hulladékok kezelése, illetve ártalmatlanítása is. A *71/2003. (VI.27.) FVM rendelet* alapján ugyanis jelenleg a vágóhídi hulladékokból, valamint az elhullott állati tetemekből nem nyerhető takarmányozási célú végtermék, vagyis az eddigi fehérje-feldolgozási technológiák egyre inkább csak az állategészségügyi szempontból kockázatosnak minősített hulladékok ártalmatlanítására fognak

korlátozódni. A csontliszt, tolliszt vagy húsliszt formájában kinyert értékes alkotók erőműi elégetése ugyanis nemcsak energetikailag gazdaságtalan, de környezetvédelmi szempontból is aggályos (Kádár *et al.*, 2009). Az említett jogszabály alapján az úgynevezett „második és harmadik osztályba” sorolt állati eredetű hulladékok előkezelés utáni komposztálása nemcsak gazdaságosabb, de környezetkímélőbb eljárás, mely a növényi tápanyagok természetes körforgásának is megfelel. Ilyen típusú hulladékok üzemi komposztálásnak ugyanakkor nincs olyan kidolgozott technológiája, mely stabil, szagtalan, az állategészségügyi feltételeknek minden körülmények között megfelelő végterméket eredményezne. Az állati eredetű hulladékok szűk C/N aránya olyan receptúrák összeállítását igényli, melyek az előző feltételek teljesülése mellett eladható terméket képesek produkálni (Ragályi és Kádár, 1998).

A kutatás általános célja egyrészt olyan szennyvíztisztítási, illetve állattenyésztési eredetű hulladékokra alapozott komposztálási technológiák vizsgálata volt, amelyek megoldást jelenthetnek a szennyvíziszap, valamint a vágóhídi hulladékok – tápanyag tartalmának és kedvező tulajdonságainak kihasználása mellett – környezetbarát elhelyezésének problémájára. Célul tűztem ki továbbá a lebomlási folyamatokat befolyásoló, a végtermék stabilitása szempontjából meghatározó paraméterek vizsgálati módszerének fejlesztését is.

Részletes kutatási célkitűzések:

1. a szennyvíztisztítási eredetű, valamint az állattenyésztési eredetű hulladékokra alapozott komposztálási technológiák vizsgálata,
2. a nyílt prizmás komposztálási technológia és alapanyag-keverékek végtermékre gyakorolt hatásának értékelése anyagmérleg modellek segítségével,
3. a keverési arány ellenőrzése, a komposztprizma homogenitásának vizsgálata,
4. a komposztprizma felszínén tapasztalt hőmérséklet különbségek okai, illetve a felszíni és a belső hőmérséklet közötti kapcsolat értékelése,
5. a komposztálás során végbemenő degradációs folyamatok nyomon követése hőmérséklet, reflektancia és gáz-koncentráció alapján, illetve az említett paraméterek közvetlen mérési módszereinek kidolgozása,
6. a komposztérettség új *in situ* meghatározási módszerének kidolgozása.

2. A KUTATÁS MÓDSZEREI

2.1. Vizsgált komposztalapanyagok jellemzése

A komposztálás során felhasznált alapanyagokat technológiától függetlenül 3 csoportba oszthatjuk – primer (növényi eredetű), szekunder (állati eredetű) és terciér anyagok.

A növényi maradványok, melléktermékek felhasználásának célja a lebontási feltételek optimalizálásának elősegítése. A növényi eredetű anyagok hozzájárulnak a C/N arány beállításához, a nedvességtartalom stabilizálásához.

Mivel az egyik vizsgált technológia esetében a szennyvíziszap, a másik esetében pedig a vágóhídi hulladék adott volt, mint ártalmatlanítandó alapanyag, ezért a primer adalékanyagokat a fent említett hulladékok jellemző tulajdonságainak – elsősorban a nedvességtartalom, valamint a C/N arány - figyelembe vételével választottam meg.

Az állati eredetű trágyák közül szarvasmarha almos trágyát, valamint baromfi trágyát alkalmaztam az optimális C/N arány, valamint a keverék szárazanyagtartalmának beállítása érdekében. A trágya minőségét az alkalmazott állattartási, trágyakezelési technológia határozza meg.

A harmadik csoportba azok az ipari termelésből származó melléktermékek, illetve technológiai folyamatok vég- és melléktermékei tartoznak, amelyek ártalmatlanítása a cél.

A szennyvíziszap minőségét a technológiai folyamat, valamint a tisztítandó szennyvíz tulajdonságai befolyásolják. Kutatásaim során a Debreceni Vízmű ZRt. kommunális szennyvíztisztító telepéről származó 70-75 m/m%-os nedvességtartalmú, kirohasztott szennyvíziszapot használtunk fel.

A vizsgált szennyvíziszap minták paraméterei minden esetben a 50/2001. (IV.3.) kormányrendeletben foglalt határértékek alatt maradtak. A szennyvíziszap felhasználhatóságát jogi szabályozás nem korlátozza.

Egyes paraméterek esetében (pl. króm, réz, cink), a szórásértékek magasak, gyakori a nagyarányú eltérés az átlagértéktől. Ezért, a receptura kialakításakor figyelembe kell venni az aktuálisan rendelkezésre álló szennyvíziszap kémiai paramétereit.

Az állati eredetű hulladékokra alapozott technológia esetében a receptura kialakítását megelőzően vizsgáltam a speciális kezelést igénylő, a 71/2003. (VI. 27.) FVM rendelet szerint 2.

osztályba sorolt, előzetesen hőkezelt állati hulladékok, valamint a 3. osztályba sorolt baromfitoll tulajdonságait.

2.2. Kísérleti beállítások

A lebontandó hulladékok eltérő tulajdonságai miatt két komposztálási technológiát vizsgáltam:

1. nyílt, forgatott prizmakomposztálást, a szennyvíziszap esetében,
2. és GORE™ Cover intenzív, levegőzetett zárt komposztálási rendszert az állati eredetű hulladékok esetében.

A vágóhídi hulladékok esetében a rendszer zártsága elengedhetetlen, egyrészt a termelő gázok és szaganyagok visszatartása érdekében, másrészt az intenzív levegőztetés elősegíti a nehezen degradálható anyagok feltáródását.

A nyílt rendszer alkalmazását a nagy mennyiségben keletkező, gazdaságosan és viszonylag gyorsan degradálható szennyvíziszap indokolja.

Nyílt, prizmás komposztálási technológia

A szennyvíziszapra alapozott nyílt prizmás komposztálási technológia beállítására a debreceni A.K.S.D. Városgazdálkodási Kft. komposztáló telepén került sor. A cég célja, a degradáció során nyert végtermék értékesítése komposztként, illetve tőzeg hozzáadásával virágföldként. A Kft. komposztáló telepén 25 prizma kialakítására van lehetőség. A cég gépparkját egy keverőgép, egy homlokrakodó, egy aprítógép és egy rostáló gép adja.

A telepen az adalékanyagok különböző arányú alkalmazásával 7 prizmát állítottam be. A prizmák beállításakor a maximálisan alkalmazható szennyvíziszap felhasználása mellett 13-15:1 C/N arány beállítása volt a cél, ugyanis a magasabb N-tartalomnak köszönhetően a prizma hamarabb felmelegszik, így a bomlási folyamatok gyorsabban megindulnak.

A degradáció hatékonyságának növelése érdekében egyes keverésekben COFUNA® márkajelzésű mikrobiális oltóanyagot használtam. A komposzt tartózkodási ideje 8 hét volt a prizma összetételétől függetlenül. Az első 4 prizma kialakításakor a cél a keverési arányok végtermékre gyakorolt hatásának vizsgálata volt, ezért ezeknek a prizmáknak a beállítására egy

időben került sor (2007. október). A 5., 6. és 7. kísérleti beállítás célja a degradáció folyamatának vizsgálata, valamint a komposzt-homogenitás és érettség meghatározása volt.

Zárt, intenzív, levegőztetett komposztálási technológia

Az zárt, intenzív, levegőztetett komposztálási technológia a nyírbátori BátorTrade Kft. komposztáló telepén lett kialakítva. A komposztálótér fedett acélszerkezetes építmény, amely kezdetben csak felülről, majd később oldalról is zárttá alakítottak. A komposztálás támfallal elhatárolt komposztterekben történik. A telepen 14 cella lett kialakítva. Egy cella befogadóképessége 150 tonna alapanyag. A cellák betárolása homlokrakodóval és szervestrágyaszóróval történik. A tartózkodási időt figyelembe véve, - amely átlagosan 30 nap - egy-egy cella évente 12 alkalommal tölthető fel. A levegő bejuttatását a padozatba beépített perforált csövek segítségével valósítják meg. A ventilátorok ütemezett bekapcsolása a prizmába mélyesztett hőmérő és oxigénszondák mérési adatai alapján történik.

A sterilizálással történő előkezelés során az állati tetemekből és a vágóhídi hulladékokból keletkező termék egy része, a hígabb fázis a BátorTrade Kft. által üzemeltetett biogáz üzembe kerül, míg a szűréssel visszamaradó, illetve ülepedett, durvább részeket is tartalmazó fázis komposztálása történik. Az egyes folyamatok során keletkező végterméket, a fermentált trágyát, valamint a komposztot szántóföldön helyezik el.

A biohulladékok komposztálását az EU-konformnak minősíthető, világszerte széles körben elfogadott GORE® technológiával végzik.

A rendszer három fő elemből tevődik össze:

1. Az aktív levegőztető egységgel a komposztálásban közreműködő mikroorganizmusokat látjuk el oxigénnel.
2. A levegőztetést az érő anyagban mért hőmérséklet és oxigéntartalom jellemzőivel, visszacsatolási elven szabályozzuk.
3. A komposztálás zárt rendszerű megvalósulását a GORE™ Cover membrántakaróval biztosítjuk.

A zárt komposztálási technológia esetében a vizsgálatok célja a hőmérséklet, valamint a gázok eloszlásának meghatározása volt.

2.3. A kutatás során elvégzett vizsgálatok és alkalmazott eszközök

A vizsgálatokhoz mintavételi pontok kerültek kijelölésre különböző mélységben és magasságban a prizma hossz- és keresztshelvényeiben. A mintavételezéshez EIJKELKAMP típusú talajfúrót használtam.

A gáztartalom mérése OLDHAM MX 21 típusú hordozható multigáz érzékelő műszerrel történt. A mérhető gázok: éghető gázok, toxikus gázok (szénmonoxid, hidrogén-szulfid, klór, ammónia, stb.) és oxigén. Egyidejűleg 4 különböző gázt – egy éghetőt és három szabadon választottat - képes érzékelni speciális érzékelő cellák segítségével, melyek egy-egy csatornának felelnek meg. A kapott eredményt alfanumerikus kijelző jelzi ki, toxikus gázok esetén ppm-ben, éghető gáz esetén pedig térfogatszázalékban. A mérés elve infravörös fénytöréson alapul. A műszer szivattyú rendszerrel, egy gáz-befecskendező fedéllel van felszerelve, így a nehezen hozzáférhető helyeken is képes a gázmennyiséget érzékelni.

A mérőműszer kiegészítésére volt szükség, hogy lehetőség legyen a komposztprizma gázkomponens-koncentrációjának közvetlen mérésére. Ez egy, az intézetünk által kifejlesztett, speciális rozsdamentes, saválló acélból készült mérőrúd, melynek belső átmérője 14 mm, maximális mérési mélysége 1,5 m. A könnyebb alkalmazás érdekében a mérőrúd hegyben végződik, és egy speciális markolattal van ellátva. A szennyeződések elkerülése érdekében a szondarúd vége szűrővel fedett.

A relatív nedvességtartalmat a prizmákból vett mintákban elemeztem. A mintákat 105 °C-on tömegállandóságig szárítottam. A nedvességtartalmat a tömegvesztéséből határoztam meg.

Az elemtartalmat második generációs, röntgen fluoreszcenciás spektrometria elvén működő miniatürizált röntgensövet alkalmazó, FPXRF NITON XLt 700 műszerrel határoztam meg. Az eszköz a nehézfémek karakterisztikus röntgensugárzása alapján határozza meg az elemtartalmat, nagy érzékenységgű BASP röntgensugár-detektor alkalmazásával (*Nagy et al., 2006*).

Az elemtartalom méréséhez a minták előkészítésére van szükség. A minta előkészítés roncsolásmentes technikával történt. A mintát átkevertem, kiterítettem, szobahőmérsékleten száradni hagytam. Száradás után a komposztot daráltam, porcelán mozsárban aprítottam, és 2 mm-es szitán átszitáltam. Az így előkészített minta 50 g-ját mintavevő zacskóba helyeztem, légmentesen lezártam (*Shefsky, 1997*).

Az FPXRF teljes elemtartalom mérését teszi lehetővé, figyelembe véve a mátrixhatásokat is, amelyek Compton normalizációval kerülnek korrekcióra (*Kovács és Tamás, 2002*).

A mintavételt megelőzte a belső kalibráció, valamint standardokkal külső ellenőrző mérések. A mérést tömörített mintákkal, vékony fólián át a készülék által meghatározott időegységig végeztem. Minden mérést háromszor ismételttem, és az eredmények átlagát tekintettem az összehasonlító elemzés alapjául (*Kalnicky és Singhvi, 2001*).

A hőmérséklet mérése kazalhőmérővel történt. A hőmérő markolattal ellátott rozsdamentes, saválló, 150 cm hosszú acélrúddal van kiegészítve a közvetlen mérések érdekében. A műszer tizedes mérési pontosságú. A mérést 3 mélységben, 50-100-150 cm-en végeztük.

A kompozitprizma felszíni hőmérsékletéről HEXIUM gyártmányú PYROLATER-12 termokamerával készítettünk felvételeket. A kamera külső acél tokjában egy 7800 elemből álló, (320x240-es rácselrendezésű) hűtést nem igénylő mikroblokk szensor található. Az érzékenysége átlagosan 0,05 °C. Mérési tartománya -20 és 120 °C közötti, de optimális működési hőmérséklete -15 és 60 °C között van (*Nagy, 2005*).

A reflektancia meghatározásához ALTA II. terepi, hordozható spektrofotométert alkalmaztam. A műszer különböző színspektrumokban mér 470-940 nm között. Az egyes színek előállítására a készülék hátuljába beépített izzók szolgálnak

A minták szén és nitrogéntartalmát, valamint C/N arányát a DE AGTC Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet CNS elem-analizátorával mértük.

A szervesanyag-tartalom, a foszfát-, kálium- és kalcium-tartalom valamint az alapanyagokra vonatkozó fémtartalom vizsgálatokat a DE AGTC MÉK Élelmiszertudományi, Minőségbiztosítási és Mikrobiológiai Intézetének laboratóriumaiban határozták meg.

2.4. Az adatok kiértékelésének statisztikai és elemzési módszerei, alkalmazott szoftverek

Az adatok statisztikai kiértékeléséhez SPSS 15 statisztikai szoftvert és Microsoft Office Excel táblázatkezelő programot használtam. A statisztikai vizsgálatokat 5 és 10%-os hibahatár mellett elemeztem, mivel a vizsgálatok gyorsan ismételhetőek.

A degradációs folyamatok modellezéséhez anyagmérleg-modellt alkalmaztam, melyben a bemenő anyagok mennyiségének súlyozott értéke alapján határoztam meg a kiindulási anyag szervesanyag- és nedvességtartalmát. A modellben 50%-os degradációs hatékonysággal számoltam. A modell kimenő anyagokra vonatkozó eredményeit a kiindulási anyag

tulajdonságaival, illetve a szennyvíziszap önmagában történő degradációjával hasonlítottam össze.

Tukey-tesztet alkalmaztam azoknak a hullámhossz-tartományoknak a meghatározására, amelyek esetében az egyes keverési arányok szignifikánsan elkülöníthetők. A keverési arány, valamint a reflektancia közötti összefüggések feltárására lineáris regressziós analízist végeztem.

A komposzt homogenitásának vizsgálata során az izovonalas eloszlásprofilok elkészítéséhez Golden Software Surfer 9 programot használtam. Az egyes eloszlásprofilok összehasonlításához az adatsorok korrelációanalízisét végeztem el.

A hőmérséklet, illetve gázviszonyok meghatározása során a különböző keverési arányú, illetve a különböző érési stádiumban lévő prizmák adatsorait szintén korreláció-analízissel hasonlítottam össze. A komposzt belsejében mért hőmérséklet és respirációs index, respirációs index és ammónia-koncentráció, valamint az ammónia-koncentráció és hőmérséklet közötti összefüggéseket regresszió-analízis segítségével vizsgáltam.

A felszíni hőfelvételek feldolgozásához a HEXIUM Kft. által kifejlesztett IRPlayer szoftvert, valamint Golden Software Surfer 9 programot használtam. A felszíni hőmérsékletértékek és az egyes pixelekhez tartozó értékek közötti kapcsolat feltárásához regresszió-analízist alkalmaztam. Az eltérő hőmérsékletű pontok kialakulását kiváltó tényezők meghatározását szintén regresszió-analízissel végeztem.

A felszíni hőmérséklet és az egyes rétegek hőmérséklete közötti összefüggéseket korrelációval határoztuk meg. A hőmérséklet-változás görbéjének vizsgálatához függvény-analízissel kiegészített regressziós függvényillesztést alkalmaztam.

A reflektancia, valamint az egyes gázok változásának komposztérettség meghatározásban betöltött szerepét és alkalmazhatóságát korrelációval vizsgáltam.

3. AZ ÉRTEKEZÉS FŐBB MEGÁLLAPÍTÁSAI

Kutatásaim célja egyrészt olyan szennyvíztisztítási, illetve állattenyésztési eredetű hulladékokra alapozott komposztálási technológiák vizsgálata, amelyek megoldást jelenthetnek a szennyvíziszap, valamint a vágóhídi hulladékok – tápanyagtartalmának és kedvező tulajdonságainak kihasználása mellett – környezetbarát elhelyezésének problémájára. Másik célom a lebomlási folyamatokat meghatározó paraméterek vizsgálatához olyan módszerek

kidolgozása, fejlesztése volt, amelyek lehetővé teszik a degradációs folyamat nyomon követését, a komposztérettség meghatározását.

A vizsgálatok nagyobb hányada szennyvíziszapra alapozott, nyílt prizmás komposztálási technológia értékelését célozta, de kutatásaim részét képezte a vágóhídi hulladékokra alapozott, zárt, intenzív levegőztetett technológia elemzése is.

A nyílt prizmás technológia során az alapanyagok végtermékre gyakorolt hatásának vizsgálatához 5 komposztprizmát állítottam be. A végtermék és a kiindulási anyagok tulajdonságainak elemzését végeztem el. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy az egyes anyagkeverékekből közel állandó minőségű komposztot nyerhetünk. A különböző adalékanyagok nem befolyásolták számottevően a végtermék minőségét, azok tápanyag tartalma, valamint nehézfémekre vonatkozó hígító szerepe érvényesült. A végtermék tulajdonságai elsősorban a felhasznált szennyvíziszap jellemzőinek függvénye. Ennek megfelelően a komposztkeverék kialakításakor a C/N arány és nedvességtartalom figyelembevételével a szennyvíziszap mennyiségét 50 v/v% körül kell maximalizálni. Az adalékanyagok mennyiségének teljes kezdeti bekeverése helyett célszerű a folyamatos hozzáadás, különösen a folyamat kezdeti szakaszában. A fűnyesedék magas nitrogéntartalmának köszönhetően kedvezően megemeli a prizma hőmérsékletét, ezért célszerű a folyamat kezdetén a szennyvíziszaphoz keverni. A folyamatos adagolással pedig a szervesanyag a mikroorganizmusok számára biztosított. A kapott végterméket magas réztartalma miatt célszerű rézben szegény talajon alkalmazni, illetve K-tartalmat valamilyen adalékanyag segítségével javítani (pl. zeolit).

Az érett komposztot tartalmazó prizma térfogata közel 30-40%-al csökkent, melynek oka két tényező együttes hatására vezethető vissza: a lebontási folyamatokra és a szubsztrát összeeséséből következő póruster csökkenésre. A keverék szervesanyag-tartalma és nedvességtartalma közel 10-15%-al csökkent a lebomlási folyamat végére.

Anyagmérleg-modell segítségével vizsgáltam a különböző keverékek degradációja során bekövetkező változásokat. A modellek alapján megállapíthatjuk, hogy a degradáció hatékonyságát, a keletkező szén-dioxid és vízgőz mennyiségét nem a szervesanyag mennyisége, hanem minősége és összetétele határozza meg. 100 g kiindulási anyagmennyiségre vetítve az egyes alapanyag-keverékekből képződő szén-dioxid és vízgőz mennyisége között az eltérés nem szembetűnő, ha viszont a ténylegesen felhasznált anyagmennyiségekkel számolunk az eltérés

akár több száz kilogramm is lehet. A keletkező vízgőz és szén-dioxid megkötése, felhasználása és visszaforgatása a jövőbeni komposztálási technológiák egyik fő feladata.

A zárt komposztálási technológia vizsgálata során arra a következtetésre jutottam, hogy az ilyen nehezen bontható szervesanyagok degradációjára a tartózkodási idő túl rövid. Az ideális tartózkodási idő meghatározásához további vizsgálatok szükségesek. A folyamat során – a magas fehérjetartalom miatt – nagy mennyiségben keletkezik ammónia, ezért célszerű lenne az oxigén mennyisége mellett az ammónia-koncentráció mérése, illetve a prizma gyakori átkeverése.

Bíró és munkatársai (2007), valamint *Mézes et al.* (2007, 2008) foglalkoztak a magas keratintartalmú baromfitoll előkezelési technológiájának fejlesztésével. Eredményeiket felhasználva célszerűbb lenne a toll közvetlen bekeverése helyett, a baktériumos feltáráson átesett, előbontott toll alkalmazása a komposztkeverékben.

A keverési arány visszaellenőrzéséhez egy olyan módszert fejlesztettem ki, amely gyors, és közvetlenül a komposztból vett minták elemzését teszi lehetővé. A módszer reflektancia-méréseken alapul. A vizsgálat lehetőségét a felhasznált anyagok eltérő tulajdonsága adja. Az eredmények alapján megállapítható, hogy szennyvíziszap-repceszár komposztkeverék vizsgálatára az infravörös színtartományok a legalkalmasabbak, 60 v/v%-nál magasabb szennyvíziszap arány esetében azonban, nincsen elkülöníthető különbség a keverési arányra vonatkozóan egyik hullámhosszon sem. Ez számottevően nem befolyásolja a mérési módszer alkalmazhatóságát, ugyanis a gyakorlatban – a komposztálási folyamat maximális határfokának elérése érdekében – a keverékben a szennyvíziszap aránya nem haladja meg az 50 v/v%-ot. A repceszár arányának növekedése a reflektancia növekedését vonta maga után. A nedvességtartalom negatívan befolyásolja a reflektanciát, azaz a szárítást követően a reflektancia nő. A módszer száraz és nedves minták esetében is alkalmazható, azonban a nedves minták elemzésekor nincs szükség a szárítás folyamatára, így közvetlenül a prizmából vett minták elemzésére nyílik lehetőség.

Statisztikai analízisek segítségével felállítható egy olyan modell, amely lehetőséget biztosít az ismeretlen keverési arányú minták összetételének meghatározására a reflektanciamérést követően. A kidolgozott regressziós egyenlet 5%-os hibahatáron belül alkalmazható. A felírt modell segítségével a komposztprizma különböző pontjaiból vett minták elemzésével vizsgálhatjuk a prizma homogenitását, így azonnali beavatkozást tesz lehetővé.

A nyílt komposztprizma homogenitásának vizsgálatára *ex situ* és *in situ* eljárásokat alkalmaztam. Az *ex situ* eljárásokat a C/N arány, a relatív nedvességtartalom, valamint a

nehézfém-tartalom képezték. *In situ* eljárások a közvetlen ammónia-, szén-dioxid- és oxigénmérések voltak. A gázmérések megvalósításához kifejlesztettem egy olyan eszközt, amely a kazalhőmérőhöz hasonlóan azonnali mérést tesz lehetővé. Az adott OLDHAM MX21 hordozható, terepi gázanalizátort egy saválló acélból készült szondarúddal egészítettem ki. A mért gázok közül a szén-dioxid és oxigén együttes elemzése (oxigén/szén-dioxid arány) kedvezőbb. A kapott eredményeket grafikusán ábrázoltam, illetve Golden Software Surfer 9 szoftver segítségével izovonalas eloszlástérképeket készítettem.

A fent említett különböző vizsgálati módszereket és eredményeiket összehasonlítva elmondható, hogy az *ex situ* eljárások sok időt és mintát igényelnek, csakúgy, mint a szemcseeloszlás-vizsgálat. Az elem-tartalom és C/N arány meghatározása költséges megoldás, speciális eszközre van szükség a kivitelezéshez, valamint a minták előkészítése egy összetett feladat. Az egyes elemek eloszlásgörbéi nem adnak képet a komposztprizmában lezajló folyamatokról sem. A nedvességtartalom eloszlásán alapuló mérés egyszerű és olcsó, kizárólag tömegmérést igényel. A minták előkészítése ebben az esetben nem okoz gondot, hiszen magába foglalja a mérést. A hibalehetőség az *ex situ* eljárások esetében viszonylag nagy, hiszen a mérés kivitelezéséig több lépés szükséges: mintavételezés, a minta szállítása, a minta előkészítése a vizsgálatokhoz. A mintavételezés ráadásul időigényes, illetve az egyes pontokból vett minták a feldolgozás idejében nem minden esetben tükrözik hűen a prizma tulajdonságait.

A leghatékonyabb eljárás a gázkoncentráció mérése. Bár speciális az eszközigénye, számos kedvező tulajdonsággal bír. A gázeloszlás mérése kiküszöböli a mintavételezés problémáját, hiszen a mérésre közvetlenül a prizmában kerül sor. A közvetlen mérés azonnali beavatkozásra ad lehetőséget. Előnye továbbá, hogy az oxigén és ammónia mennyisége alátámasztják egymás értékeit, ezzel csökkentve a hiba lehetőségét.

A nyílt prizmás és az aktív levegőztetett technológia esetében a hőmérséklet és gáztartalom vizsgálatakor elvégeztem a prizmák hőterképezését is. A zárt technológia esetében a takarófolia miatt horizontális vizsgálatra nem volt lehetőség.

A zárt technológia esetében a komposztprizma, mind a mért gáztartalom, mind a hőmérséklet tekintetében vertikálisan 3 zónára osztható. Az alsó réteg hőmérsékletét a padozat, valamint a bejuttatott hideg levegő befolyásolja. A felső réteg hőmérsékletére a környezeti hőmérséklet van befolyásoló hatással. A középső zóna az intenzív lebomlás zónája. Az oxigén

esetében kapott eredmények nem reálisak, mert a mérés pontosságát nagyban befolyásolta a beinjektált levegő oxigéntartalma.

A nyílt prizmás technológia esetében mind a gázösszetétel, mind a hőmérséklet alapján a prizmát 3 zónára oszthatjuk: a legalsó zónát a padozat, a legfelső zónát pedig a környezet hőmérséklete befolyásolja. A középső zóna tekinthető az intenzív bomlás zónájának. A hőmérséklet alapján a keresztmetszvény is 3 zónára osztható: egy külső „kéregzónára”, az intenzív lebomlás zónájára, illetve egy alacsonyabb hőmérsékletű „magzónára”. A prizma méretének optimalizálásával a belső „magzóna” mérete csökkenthető. Az ammóniatartalom a prizma belseje felé haladva nőtt, míg az oxigén és szén-dioxid aránya csökkent.

A nyílt prizmás komposztálási technológia során kialakított prizma felszíni hőmérsékletének értékelésére bevezettem a hőkamera alkalmazását. A hőkamera segítségével képet kaphatunk azokról a pontokról, ahol az adott komposzt-halomnak valamely tulajdonsága eltér. Az eltérés okainak feltárásához mintát vettem az eltérő és a felületre általánosan jellemző hőmérsékletű pontokból, és meghatároztam azok szervesanyag-tartalmát, C/N arányát és nedvességtartalmát. A felszíni hőmérséklet csak az izzítási veszteséggel mutatott szoros összefüggést, amely alapján megállapítható, hogy a hőmérsékletet befolyásolta a komposzt szervesanyag-tartalma. Közvetve a C/N arány és a nedvességtartalom is összefüggésbe hozható a felszín hőmérsékletével, amely alapján megállapíthatjuk, hogy az eltérő hőmérséklet a nem megfelelő keverés eredménye. A hőkamera alkalmazásával, az eltérő hőmérsékletű pontok feltárásával nincs szükség a teljes prizma átkeverésére.

Megállítottam, hogy a hőmérséklet alapján négy degradációs stádiumra osztható degradáció három matematikai függvénnyel írható le: az első és negyedik szakasz egy-egy exponenciális függvénnyel (melyek előjele ellentétes), a második és harmadik szakasz pedig egy harmadfokú függvénnyel, melynek inflexiós pontja a két szakasz határpontját adja.

Megvizsgáltam, hogy a felszín hőmérsékletének eloszlása milyen módon befolyásolja a belső rétegek hőmérsékletét. Az összehasonlítást megelőzően szükség volt egy olyan feldolgozási módszer kifejlesztésére, amellyel a hőfelvételek pixelértékeihez a hőmérséklet hozzárendelhető. A felszíni hőmérséklet eloszlása hatással van a prizma belső hőmérsékletére is az alkalmazott adalékanyag felhasználásától függően. A fanyesedékkal kialakított prizma esetében kialakul egy 20-30 cm vastag kéreg, aminek hatására a belső hőmérséklet nem igazodik a felszín hőváltozásaihoz. A szalmával beállított prizma belső hőmérséklete 60 cm-es vastagságig

szorosan összefügg a felszín hőmérsékletével. A hőkamera beszerzése költséges, ezért alkalmazása több telep összefogása esetén javasolt.

A komposztérettség meghatározásához olyan módszert dolgoztam ki, amely egyrészt közvetlenül megvalósítható, másrészt kivitelezése gyors és gazdaságos. Az érettség meghatározásához reflektancia-méréseket és gáztartalom-vizsgálatokat alkalmaztam.

A prizmák hőmérséklete, illetve reflektanciája alapján is 4 degradációs szakaszt különíthetünk el. A reflektancia változása a hőmérséklettel ellentétes irányú. Ennek oka, hogy az intenzív degradáció a hőmérséklet emelkedését eredményezi, viszont a szénláncok szétesésével a reflektancia csökken. A prizmák degradációs görbéit összehasonlítva nem tapasztaltam szignifikáns különbséget. A vizsgált hullámhossz-tartományok között nem volt számottevő különbség, ezért azok közül bármelyik alkalmazása megfelelő a reflektancia értékelésére.

A reflektancia, valamint a hőmérséklet felhasználásával készített másodfokú regressziós függvény alapján megállapíthatjuk, hogy a reflektancia-analízis hatékonyan és gyorsan alkalmazható a komposztérettség meghatározására szennyvíziszapra alapozott nyílt prizmás komposztálási technológia esetén. Célszerű azonban a hőmérséklet mérése mellett párhuzamosan elvégezni, így a két eljárás együttes alkalmazásával biztosabb eredményt kapunk az érettségi állapotra vonatkozóan. A mérések gyakoriságát a degradációs folyamat második szakaszában (25. naptól) célszerű növelni, mert a reflektancia növekedését, majd újbóli csökkenését tapasztalva következtethetünk a humuszanyagok beépülésére, az érett komposzt kialakulására.

A vizsgált ammónia, szén-dioxid és oxigén görbéi alapján a 4 érési stádiumot nem tudjuk élesen elkülöníteni, azonban a degradáció végső stádiumára jellemző folyamatos ammónia és szén-dioxid-csökkenés az érett komposzt kialakulására utal. Az eredmények alapján tehát, a reflektancia-mérésekhez hasonlóan, célszerű a gázméréseket is sűríteni a lebomlás utolsó szakaszában. A gázok folyamatos mérése egyrészt a homogenitás, másrészt az aerob/anaerob viszonyok feltárása miatt javasolt.

4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

- 1) A degradáció során bekövetkező hőmérsékletváltozás 3 matematikai függvénnyel írható le: a bevezető szakaszt exponenciális függvénnyel, a lebomlási és átalakulási szakaszt együttesen egy harmadfokú függvénnyel, az érési szakaszt pedig szintén exponenciális függvénnyel jellemezhetjük. A lebomlási szakasz végének, illetve az átalakulási szakasz kezdetének időpontját a harmadfokú függvény inflexiós pontja jellemzi. Az érési szakasz exponenciális függvénye egy lineáris függvény felé konvergál, melynek értéke az aktuális környezeti hőmérséklettel egyezik meg.
- 2) Nyílt prizmás komposztálási technológia esetében az oxigén-szén-dioxid arány folyamatosan csökken a prizma belső rétegei felé haladva. Az ammónia-koncentráció ezzel fordítottan arányosan változik. A vertikális zónáció az ammónia, a szén-dioxid és az oxigén mennyisége alapján is megfigyelhető. A vertikális rétegződés zárt komposztálási technológia esetén is kialakul. Az ammónia-koncentráció változása közepesen erős összefüggést mutat a hőmérsékletváltozással. Szoros az összefüggés a belső hőmérséklet, valamint a széndioxid-tartalom között. A szén-dioxid koncentráció a hőmérséklet növekedésével nő.
- 3) A reflektancia alapján a degradáció, a hőmérsékletre hasonlóan 4 érési szakaszra osztható. A reflektancia változása összefügg a hőmérséklettel, a hőmérséklet növekedése a reflektancia csökkenését eredményezi.

5. AZ EREDMÉNYEINEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

- 1) A nyílt prizmás technológia esetén a keverési arányok kialakításakor elsősorban a szennyvíziszap tulajdonságait kell figyelembe venni a nedvességtartalom és C/N arány mellett. A szennyvíziszap felhasználási aránya, ahhoz hogy megfelelő minőségű végterméket nyerjünk, a kapott eredmények alapján maximum 50 v/v%.
- 2) A vizsgált zárt technológia esetén a tartózkodási idő rövid. A prizma gyakoribb átkeverésének segítségével a keletkező ammónia mennyisége csökkenthető. Célszerű az oxigén mellett a keletkező ammónia és szén-dioxid mennyiségét is folyamatosan nyomon követni.
- 3) Kifejlesztettem egy olyan eszközt, amelynek segítségével a gáztartalom közvetlenül mérhető a komposztprizma belsejében. Az így mért gázok segítségével

lehetőség van a folyamat nyomon követésére, a homogenitás vizsgálatára és a komposztérettség meghatározására.

- 4) A reflektancia mérésével, illetve az elkészített regressziós egyenlettel a prizmából közvetlenül vett minták keverési aránya, így a prizma homogenitása meghatározható.
- 5) Az alkalmazott homogenitás-vizsgálati eljárások lehetővé teszik a komposzt ellenőrzését. Az elemzett eljárások közül az *in situ* gázmérések alkalmazása javasolt. Az *ex situ* eljárások közül a relatív nedvességtartalom mérése jelenthet megoldást, mert a mérés magába foglalja a minta-előkészítést is.
- 6) Bevezettem a hőkamera alkalmazását a nyílt komposztprizmák felületi hőmérsékletének vizsgálatára. A hőfelvételek segítségével lehetőség van az eltérő tulajdonságú pontok feltárására, így nincs szükség a teljes prizma átkeverésére. A hőfelvételezés eszközigénye költséges, ezért alkalmazása több telep összefogása esetén javasolt.
- 7) A reflektancia, illetve a gáztartalom folyamatos és közvetlen mérésével képet kaphatunk a komposzt érettségéről. A méréseket célszerű a degradáció végén gyakrabban elvégezni. Célszerű az ammónia és az oxigén egyidejű mérése.

6. A TÉZISFÜZET HIVATKOZÁSAI

1. *Amlinger, F. - Favoino, E. - Pollak, M.:* 2004. Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilisers, Compost – Consulting and Development, Technical Office for Agriculture, Bécs, Ausztria. 60-65.
2. *Baranyai Zs. - Takács I.:* 2007. A rendszerváltás hatása a mezőgazdasági termelés hatékonyságára Magyarországon. AVA Nemzetközi Konferencia. Debrecen. Konferencia CD. 1-15.
3. *Bíró T. - Mézes L. - Tamás J.:* 2007. The examination of poultry feather digestibility for biogas production. *Cereal Research Communications*. 35. 2: 269-272.
4. *Dobos E.:* 1999. Talajtan. Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány. Miskolc.
5. *Filep Gy.:* 1999. Talajtani alapismeretek I. Általános talajtan. DATE Mezőgazdaságtudományi Kar. Kari Jegyzet. Debrecen. 64.

6. *Kádár I. - Petróczki F.- Hámori V. – Morvai B.:* 2009. Kommunális szennyvíziszap, illetve vágóhídi hulladék komposzt hatása a talajra és a növényre szabadföldi kísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* 58. 1: 121-136.
7. *Kalniczky, D. J. - Singhvi, R.:* 2001. Field portable XRF analysis of environmental samples. *Journal of Hazardous Materials.* 83. 93-122.
8. *Kovács E. - Tamás J.:* 2002. Terepi röntgen-floreszcens spektrofotométer megbízhatóságának elemzése. [In: Proc. Innováció, A tudomány és a gyakorlat egysége az ezredforduló agráriumban]. *Környezetvédelem.* Debrecen. 11-17.
9. *KSH.:* 2000. Magyar Statisztikai Évkönyv, 1999. Budapest.
10. *Mézes L. - Bíró T. - Petis M. - Tamás J.:* 2008. Keratin-tartalmú hulladékok üzemi méretű biológiai előkezelése. *Acta Agraria Debreceniensis.* 30. 59-65.
11. *Mézes L. - Bíró T. - Tamás J. - Petis M.:* 2007. Baromfi toll hőkezelése és mikrobiális előkezelése biogáz célú hasznosításhoz. *Agrártudományi Közlemények.* 27. 113-118.
12. *Molnár J. - Farkasné Fekete M.:* 2003. A makrogazdasági környezet néhány meghatározó elemének hatása az agrárgazdaságra. Birtokviszonyok és mérethatékonyság. *Agroinform Kiadó és Nyomda Kft.* 9-26.
13. *Nagy A. - Kovács E. - Kovács E. - Tamás J.:* 2006. Heavy metal pollution mapping of abandoned mining site by airborne hyperspectral image analysis. *Cereal Research Communications.* 34. 53-57.
14. *Nagy T.:* 2005. A termokamera, avagy a csörgőkígyó stratégiája II. Tanulmány a Hexium Műszaki Fejlesztő Kft. részére. Hexium Kft. Budapest.
15. *Petróczki F.:* 2005. Kommunális szennyvíziszapból készült komposzt hatása a növényi fejlődésre és beltartalomra. Doktori értekezés. Veszprémi Egyetem. Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar. Keszhely.
16. *Ragályi P. - Kádár I.:* 2008. Processed slaughterhouse waste application on calcareous sandy soil. *Acta Agronomica Ovariensis.* 50. 1: 95–101.
17. *Shefsky, S.:* 1997. Comparing Field Portable X-Ray Fluorescence (XRF) to laboratory analysis of heavy metals in soil. International symposium of field screening methods for hazardous wastes and toxic chemicals. Las Vegas. Nevada. USA.
18. *Simon L. - Prokisch J. - Győri Z.:* 2000. Szennyvíziszap komposzt hatása a kukorica nehézfém-akkumulációjára. *Agrokémia és Talajtan.* 49. 247-255.

19. Szili-Kovács T.: 1985. A szennyvíziszap elhelyezés talajmikrobiológiai problémái. *Agrokémia és Talajtan*. 34. 486-493.
20. Tamás J.: 1990. Szennyvíziszap elhelyezés és hatása a környezetre. Debreceni Agrártudományi Egyetem. *Tudományos Közlemények*. Debrecen. 1-125.
21. Uri Zs. E.: 2007. Települési szennyvíziszapok természetű növényekre és talajra gyakorolt hatásának vizsgálata. Debreceni Egyetem. Debrecen. (Doktori értekezés)

7. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Tudományos közlemény idegen nyelvű, lektorált folyóiratban

- Hunyadi, G. - Tamás, J. - Bíró T.: 2009. Reflectance as a Possible Method to Determine Mixing Rate and Homogeneity of Compost Prisms. *Analele Universitatii Din Oradea. Fascicula: Protectia Mediului*. 14:163-173. ISSN: 1224-6255

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai lektorált folyóiratban:

- Hunyadi, G. – Bíró, T. – Mézes, L. – Burai, P.: 2008. Establishing the conditions of agricultural utilization of rotted sewage sludge with composting. *Cereal Research Communications*. 36.5:807–810. ISSN: 0133–3720.
- Hunyadi, G. – Bíró, T. – Tamás, J. – Csátrai, G.: 2008. Examination of the temperature distribution of compost prisms according to the recipe and the retention time. *Acta Agraria Debreceniensis*. 283–287. ISSN: 1588–8363.
- Hunyadi G.: 2010. Evaluation of sewage sludge based composting technology to increase soil buffering capacity. *Növénytermelés*. 59:49–52. ISSN: 0546–8191.

Tudományos közlemény magyar nyelvű, hazai lektorált folyóiratban:

- Hunyadi, G. – Bíró, T. – Piskolczi, M. – Tamás, J.: 2008. Termékorientált szennyvíziszap komposztálási technológiák kidolgozása az AKSD Kft. gyakorlatában. *Acta Agraria Debreceniensis*. 30:33–36. ISSN: 1587–1282.
- Hunyadi, G. – Bíró, T. – Mézes, L. – Tamás, J.: 2009. A komposzt-homogenitás vizsgálatának új lehetőségei szennyvíziszap alapú komposztprizmák esetében. *Acta Agraria Debreceniensis*. 35:49–52. ISSN: 1587–1282.

- **Hunyadi, G.** – Bíró, T. – Tamás, J. – Mézes, L. – Kosárhó, M.: 2008. Rothasztott szennyvíziszap felhasználásával kialakított komposztrecepturák tápanyagtartalmának vizsgálata. *Talajvédelem*. 395–402. ISSN: 1216–9560.
- **Hunyadi, G.:** 2010. Komposzt keverési–arány meghatározásának módszertani kidolgozása. *Acta Agraria Debreceniensis*. 42:29–33. ISSN: 1587–1282.
- **Hunyadi, G.** – Tamás, J.: 2010. Hőfelvételek és interpolációs eljárások alkalmazhatósága komposztprizmák felszíni hőmérsékletének vizsgálatára. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 14.3:293–302.
- **Hunyadi, G.** – Bíró, Gy. – Tamás, J.: 2012. Reflektancia alkalmazhatósága a komposztérettség meghatározására. *Acta Agraria Debreceniensis*. 46:31–36.

Tudományos közlemény idegen nyelvű, lektorált konferencia–kiadványban:

- **Hunyadi, G.** – Bíró, T. – Tamás, J. – Mézes, L.: 2008. The effect of C/N ratio and fraction distribution on oxygen–consumption of compost prisms during slaughtered waste composting. [In: Koutev, V. (ed.) Potential for simple technology solutions in organic manure management. 13th RAMIRAN International Conference.] Albena, Bulgaria. 413–416. ISBN: 978–954–9067671–6–3.
- **Hunyadi, G.** – Bíró, T. – Mézes, L. – Tamás, J.: 2009. Changes of temperature and gas–concentration of compost prisms during slaughtered waste composting. [In: Kuntz, A. (ed.). I. International Symposium on Animal Waste Management.] Florianópolis, Santa Catarina State, Brazil. 79–83.
- **Hunyadi, G.** – Tamás, J.: 2010. New methods to analyze the degradation process of composting. [In: Lasaridi, K., Manios, T., Bidlingmaier, W., Abeliotis, K., de Bertoldi, M., Diaz, L., Stentiford, E., I. (ed). 7th ORBIT International Conference. Organic Resources in the Carbon Economy.] Thessaloniki, Greece. 1201–1208. ISBN: 978–960–6865–28–3.

Tudományos közlemény idegen nyelvű, nem lektorált konferencia–kiadványban:

- **Hunyadi, G.** – Bíró, T. – Mézes, L. – Tamás, J.: 2008. New methods of compost homogeneity determination in sewage sludge based compost prisms. [In Proc.: IV. World Congress of Agronomists and professional in Agronomy.] Madrid, Spain. 128–132.

- **Hunyadi, G.** – Tamás, J. – Kosárkó, M.:2010. Coherences between the inside and surface temperature in sewage sludge based compost prisms [In Proc: ECSM 2010. 2nd European Conference on Sludge Management.] Budapest, Hungary.1–8.

Tudományos közlemény magyar nyelvű, nem lektorált konferencia–kiadványban:

- **Hunyadi, G.** – Bíró, T. – Tamás, J. – Thyll, Sz. – Mézes, L.: 2008. Komposztálási technológiák hatása a szennyvíziszap mikroelem tartalmára. [In: Tóth G. (szerk.). 50. Jubileumi Georgikon Napok.] Keszthely.1–6. ISBN: 978–963–9639–32–4.