

Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és
Környezeti Eljárástechnikai Intézet

Micélium-iszap komposztálás félüzemi kísérlete

COMPOSTING of MICELLIUM-SLUDGE

TDK DOLGOZAT

Konzulensek:

Dr. Bokányi Ljudmilla egyetemi docens, ME
Varga Terézia Erzsébet tud. munkatárs, ME
Leskó Gábor üzemvezető, ÉMK Kft

Készítette: Lohárth István
QL9F5H

Miskolc, 2013. november 09.

Eredetiségi nyilatkozat

Eredetiségi nyilatkozat

"Alulírott Lohárth István, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírásommal igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem."

Miskolc, 2013. november 09.

.....
a hallgató aláírása

A konzulens nyilatkozata

Konzulensi nyilatkozat

"Alulírott Dr. Bokányi Ljudmilla, a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének egyetemi docense a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem."

Egyéb megjegyzések, ajánlás:

Miskolc, 2013. november 09.

.....
a konzulens aláírása

Tartalom

1. Bevezetés.....	4
2. Jogszabályi háttér	5
3. A komposztálás fogalma, jelentősége	5
3.1. A komposztálás alap- és segédanyagai.....	7
3.2. A komposztálás segédanyagai.....	7
3.3. Komposztálás szakaszai	9
3.4. Komposztálás technológiái.....	10
<i>Zárt rendszerek.....</i>	<i>11</i>
<i>Félig zárt rendszerek.....</i>	<i>12</i>
<i>Agitált ágyas rendszerek</i>	<i>12</i>
<i>Statikus ágyas komposztálás</i>	<i>13</i>
3.5. Komposztálást befolyásoló tényezők	15
3.6. Micélium iszap keletkezése és összetétele	17
4. Komposztáló üzem elhelyezkedése.....	17
4.1. A kísérleti komposztálás folyamata.....	18
4.2. Kiindulási alapanyagok jellemzése	18
4.3. A prizma méreteinek meghatározása.....	20
4.4. A komposztálás hőmérséklet változása	21
4.5. Hőmérsékletváltozások a prizmában	22
4.6. A kész komposzt minősítése	25
4.7. A kísérleti prizmából vett minták elemzési eredményei.....	26
4.8. Nehézfém-tartalom a prizmában.....	27
4.9. A kísérleti komposztálás folyamatábrája.....	28
5. Anyagáramok meghatározás a félüzemi kísérlet során	29
6. Összefoglalás	35
7. Köszönetnyilvánítás	36
8. Irodalomjegyzék.....	37
9. Mellékletek.....	39

1. Bevezetés

A 2012. évi CLXXXV. törvény értelmében a keletkező hulladékmennyiség lerakása, ártalmatlanítása során kötelezik a hulladékbirtokost járulék megfizetésére. A lerakási díj az elkövetkezendő években növekedni fog, így a hulladékok más technológiával történő ártalmatlanítása fog előtérbe kerülni. Az iparban, mezőgazdaságokban és a háztartásokban keletkező hulladékok jelentős mennyiségű szerves anyagot tartalmaznak. Ezek a szerves anyagok nagy része könnyen bomlik és bennük kórokozó (patogén) mikroorganizmusok is jelen lehetnek, ezért ezeket ártalmatlanítani kell, melynek egyik lehetséges módja a komposztálás. A tisztítás során keletkező iszapmaradékának a további feldolgozásával a biológiai bomlásra hajlamos szerves anyagokból olyan termék előállítása a kitűzendő cél, amely környezetkárosító hatással nem rendelkezik [1].

TDK dolgozatom témája a gyógyszer-fermentációs technológiából származó hulladék komposztálása, amit a Sajóbátonyi telephelyű Észak-Magyarországi Környezetvédelmi Kft.-ben tervezik kezelni. A TEVA cég fermentációs technológiával állít elő gyógyszeralapanyagokat és az itt keletkezett szennyvíz kezelésével az ÉMK. Kft.-t bízta meg. A micélium iszap a fermentációs üzem szennyvizéből visszamaradó iszap, amelyet a szennyvíztisztító technológia elején leválasztanak.

Az ÉMK Kft. ezen elvből kiindulva ez év májusában létesített egy kísérleti komposztáló telepet, ahol a fentiekben említett maradékanyag komposztálással történő hasznosíthatóságát félüzemi kísérlet segítségével tervezték megvizsgálni.

A kísérleti komposztálásba bekapcsolódva, lehetőségem nyílt a folyamat egészének a végigkísérésére. Dolgozatomban kritikailag értékelem a telephelyen végzett kísérleti komposztálási eredményeket, elemzem a kész komposzt minőségi paramétereit és javaslatot teszek a technológia további fejlesztésére, amellyel hatékony komposztálás érhető el.

2. Jogszabályi háttér

Az 50/2001. (IV.3.) Korm. rendelet célja, hogy egyes szennyvíztisztításból visszamaradó maradékanyagok mezőgazdasági területen való szakszerű felhasználásával elkerülhetővé váljanak a talajra, a felszíni és felszín alatti vizekre, valamint az emberek egészségére, a növényekre és az állatokra gyakorolt káros hatások. A rendelet szabályozza a szennyvízelvezető rendszer által összegyűjtött és szennyvíztisztító műben tisztított szennyvíz, illetve kezelt hulladék mezőgazdasági területre történő kijuttatását, illetve felhasználásának szakmai feltételeit, ideértve a gyűjtött és kezelt települési folyékony hulladékok mezőgazdasági felhasználásának feltételeit is [2].

A vonatkozó jogszabály meghatározza az iszaphulladék fogalmát, amelynek értelmében a micélium-iszap komposzt olyan alapanyag, amelyhez az e rendelet előírásainak megfelelő minőség elérése érdekében biohulladékot és ásványi eredetű adalékokat kevertek, és az a külön jogszabály szerinti komposztáló telepen kerül előállításra [2].

A jogszabály kimondja, hogy mezőgazdasági felhasználásra csak tisztított szennyvíz, kezelt hulladék használható fel, és meghatározza a felhasználás további feltételeit (növénykultúrák, talajtulajdonságok, szennyező anyag határérték, stb.). A direktíva meghatározza a települési szennyvíz kezelése és elhelyezése, illetve különböző ipari tevékenységekből származó szennyvíz kezelése és elhelyezése szabályozásának kereteit. A legtöbb esetben az ilyen vizek másodlagos kezelése kötelező. A szennyvízkezelésből származó iszapot újra fel kell használni, ahol ez csak lehetséges, és ennek során minimalizálni kell a környezetet érintő káros hatásokat [3].

Továbbiakban a rendelet célja az iszapban hasznosítható energia és növényi tápanyagok minél nagyobb arányú kinyerése és visszaforgatása, környezeti kockázatok csökkentése, a talajok fokozott védelme [4].

3. A komposztálás fogalma, jelentősége

A hulladék-anyagok stabilizálásának egyik lehetséges módja a komposztálás, amely az alapanyagok megfelelő összetételét (összetételének, nedvességének beállítását), valamint megfelelő levegőztetését igényli a szükséges termofil hőmérséklettartomány elérése érdekében. Ez azt jelenti, hogy a komposztálási folyamat során 45-50 °C feletti hőmérsékletet el kell érni és tartósan fenntartani. Ez elengedhetetlen feltétele a patogén szervezetek és csiraképes magvak elpusztítására.

A komposztálás során nélkülözhetetlen biológiai folyamatok biztosításához a szilárd fázisú rendszerek alkalmasabbnak bizonyulnak, mint a folyadékfázisúak (termofil aerob stabilizáció). A komposztálást ezért szilárd és fél-szilárd anyagok keverései esetén optimális alkalmazni. Aerob biológiai átalakítási folyamatainak eredményeként ekkor a lebomló szerves anyagból széndioxid és a további aerob és anaerob körülmények között egyaránt stabil nagy humusz tartalmú szerves maradék keletkezik. A keletkező hő hatására az anyag víztartalmának egy része elpárolog a biológiai oxidációs folyamat során [1].

A komposztálás alapvető kérdése a folyamatok végbemenetele alatt a nedvességtartalom, hőmérséklet és oxigéntartalom (ellátottság) optimalizálása. Az első kettő meghatározóan az alapanyag minőségével, az utóbbi a levegőztetéssel szabályozható. [1].

Az aerob átalakulások mellett az anaerob folyamatok is szerepet kaphatnak a komposztálás során az oxigén időszakos, vagy lokális hiánya következtében. Ezek meghatározó szerepet játszanak a szerves anyag átalakításában. Elősegítik azt, hogy a biológiailag nehezen oxidálható szerves anyagokból kisebb molekulatömegű, jobban oxidálható származékok (szerves savak, alkoholok) keletkezzenek, melyeket azt követően az aerob szervezetek igen gyorsan hasznosítanak [1].

Az oxigénellátás hiányosságai, egyenlőtlenségéből kifolyólag (nagyobb méretű nedvesebb darabok belső tereiben, illetőleg a komposztálódás előrehaladtával) aerob és anaerob folyamatok együttes kimenetele a végső termék [1]

Az anaerob folyamatok viszont a keletkező kis molekulatömegű illó és illatos származékok miatt problémát is jelentenek a környezet számára

A megfelelő nedvességtartalomra és szabad gázfázis-hányadra (szabad levegőtérfogat) történő bekeverést követően a komposztálás egyértelműen aerob folyamat lesz [1].

A komposztálás tradicionális feladata a rothadásra hajlamos szerves anyagok stabilizálása, emberre patogén szervezeteinek minimalizálása, illetve ezzel egyidejűleg a növényi betegségeket okozó szervezetek, csírák, rovarok, és azok tojásainak, lárváinak az elpusztítása. A termék szaga éppúgy megszűnik a folyamat eredményeként a stabil termékben. A felszabaduló hőmennyiség révén a kiindulási alapanyagok nedvességtartalma (iszap, élelmiszeripari hulladékok) is kedvező tartományba állítható be. A szerves anyagok lebomlása, stabilizálódása, az utóbbi szárítással együtt, kedvező feldolgozási költséget jelenthet a különböző hulladékok ártalmatlanítását illetően [1].

A komposztnak számos előnyös hatása lehet mezőgazdasági felhasználásán. A növények a komposztból könnyebben tudják felvenni a nekik szükséges tápanyagokat – beleértve a mikroelemeket is - harmonikus összetételben.

Növeli a talaj humusztartalmát, s ezzel kedvező talajszerkezetet és víztartó kapacitást biztosít. Másodsorban, a komposztkezelő talajtápanyagokat tartalmaz, mint a nitrogén, foszfor és sok mikro-tápanyag. Az utóbbiak mennyisége azonban a komposztban rendszerint kevés ahhoz, hogy kis mennyiségben adagolandó műtrágyaként alkalmazhassák. A komposzt használatával javítjuk a talajunk vízháztartását, mivel a komposztok jó vízmegkötő képességgel rendelkeznek. Más oldalról a komposzt tápanyagainak felszabadulása sokkal lassúbb, mint a műtrágyáké, így nem okoznak tápanyag-vesztést felhasználásuk során [1].

Komposztokkal növelhetjük a talajéletet. Maga a komposzt anyag is nagyon tágnak tekinthető a komposztálás folyamatán belül. Azokkal a funkciókkal szokásos konkretizálni, amelyeket a komposztálásnak a termék előállítása során biztosítani kell [1]. Ilyenek a stabil, humusz-szerű anyag és küllem, a kórokozó-, rovar és lárvamentesség, egyszerű kezelhetőség, szagmentesség és anövények növekedésének kedvezőbbé tétele [1].

3.1. A komposztálás alap- és segédanyagai

A természet megfelelő lebontó-képességgel rendelkezik a szerves anyagok feldolgozására biológiai stabilizálásra, amely alapján feltételezhető nyersanyagnak tekinthető minden biológiai úton bontható anyag, illetve hulladék. Problémát jelent azonban, hogy az egyenletesebb minőségben keletkező, nagyobb tisztaságú hulladékok, néhány iparban keletkező hulladék, valamint még a megfelelő előkezelés útján végbement kerti hulladékok lehetnek csak alkalmasak a minőségi komposzt előállítására [5].

A komposztálható alapanyagok száma nagyon széles skálán mozog. Ide sorolhatóak a mezőgazdaság termelési hulladécai, az élelmiszeripar feldolgozási hulladécai, különböző eredetű trágyák, lakossági hulladékok, fafeldolgozási hulladékok, egyéb szerves hulladékok, mint a kerti hulladékok, növényi maradványok, fű-, és faapríték, nem káros hatású ipari hulladékok, valamint a lakossági szennyvíz tisztításánál keletkező iszap [1].

Veszélyességi fok szerint a toxikus komponenseket tartalmazó (pl. különböző ipari tevékenységek szerves hulladécai, növényvédőszer-maradványokat tartalmazó hulladékok), valamint nem tartalmazó anyagokat különböztetünk meg [6].

3.2. A komposztálás segédanyagai

A nedves fermentációs iszap önmagában nem lehet komposzt alapanyag, mivel oly mértékű tömörödést képezhet, amivel kiszorítja a levegőt a szilárd fázisból, így anaerob gócokat létrehozva. Intenzív keveréssel oldható meg ilyenkor a szükséges oxigénszint [1].

Fontos, hogy az iszap és az adalékanyagok keverékének a nedvességtartalma, porozitása és a lebontható szerves anyag tartalma megfelelő legyen, mivel nehéz a további szabályozása a komposztálásnak. A komposztálási feladásideális összeállítására használható a kész komposzt visszaforgatása a folyamat elejére, a porozitás növelésére esetleges mátrixanyagok használata, amit a stabilizálás végén visszanyernek, valamint a lebontást segítő adalékanyagok használata. Az adalékanyagok alapvető tulajdonsága a jó bonthatóság, valamint kis térfogatsúly. Az iszapkomposztálás során az adalékanyagot kétféle célból alkalmazzuk:

- szerkezetjavítás
- energiapótlás [1]

Az **adalékanyag** olyan szerves anyag, amely növeli a porozitást, javítja a feladás minőségét és a komposztálás során lebomlik, pl. száraz szalma, fűrészpor, korpa, trágya, kerti vagdalék stb.

A **mátrixanyag** olyan szerves vagy szervetlen, nagy szemcseméretű, szerkezetet és porozitást biztosító anyag, amely nem vagy kis mértékben bomlik le, és a komposztálás után szitálással visszanyerhető és újrafelhasználható, pl. faforgács, hulladék-pelletek, gumiabroncs-vagdalék, dióhéj, kőzet [7].

Egyéb anyagok, amelyek felhasználhatók a komposztálás során.

Stabilizáló anyagok

Szerepük kettős, egyrészt megakadályozzák az anyagvesztést, másrészt lehetőséget biztosítanak a humuszkolloidok kialakulására. Ilyenek a kőporok, pl. zeolit, riolitufa, bentonit. Ezek a porok segítenek a keletkező kellemetlen szagok megkötésében is.

Mész

Ha a kiindulási anyagunk savanyú (pl. magas csersavtartalmú falevél), vagy ha savanyú talajnál használjuk a komposztunkat, akkor célszerű meszezni a komposzthalmot. Meszezésre akkor is sor kerülhet, ha a komposztba túl nagy mennyiségű zöld anyag, például fűnyesedék kerül, és a levegőztetést nem sikerül kielégítően biztosítani. Ilyenkor mészkőtartalmú (CaCO_3) anyagásványt, márgát vagy dolomitot használhatunk őrölt formában

Fahamu

Vegyszerrel nem kezelt fa illetve egyéb növények égetésénél visszamaradt hamu értékes anyagokat (pl. kálium, foszfor, kalcium) tartalmaz. Ez felhasználható kis mennyiségben, sószerűen adagolva ($2\text{--}3\text{ kg/m}^3$) [8].

A komposztálás optimális feladásának feltétele a megfelelő nedvességtartalom, porozitás, szabadlevegő-térfogat, C/N aránya. Ezeket a paramétereket adalékanyagokkal lehet az optimális értékre beállítani [1].

Alkalmazható adalékanyag lehet a szalmaszár, mivel megfelelően gépesítve van az összegyűjtése, és nagy mennyiségben található, valamint költséghatékony. További segédanyag lehet a mezőgazdasági és erdészeti hulladékok úgy, mint, a fűrészpor, kukoricaszár, kukoricacsutka és napraforgószár. Gyakorlati alkalmazásban a legfontosabb a fűrészpor, faapríték és szalma [1].

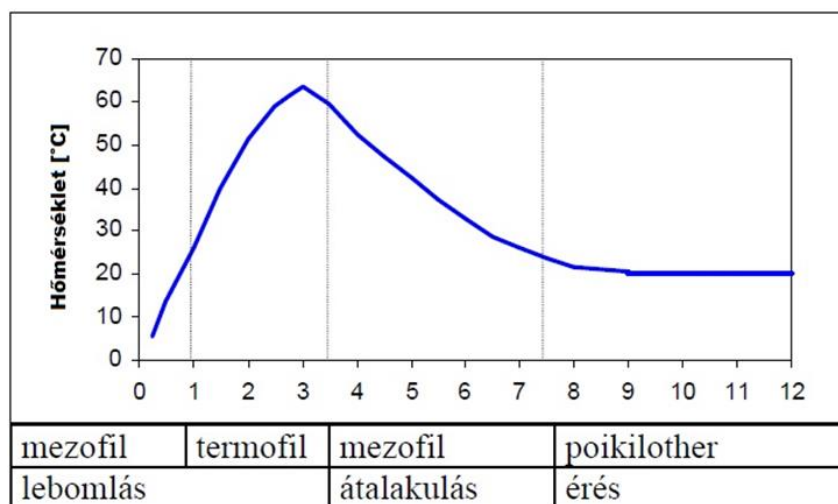
3.3. Komposztálás szakaszai

A komposztálás során a szerves anyag aerob lebomlása több lépcsőben megy végbe, eltérő sebességgel az anyag összetételétől függően. A könnyen lebontható szerves anyag (fehérje, szénhidrát, stb.) lebomlása gyorsabb, ezek már a komposztálás kezdeti időszakában átalakulnak. A nehezebben bontható anyagok (pl. lignin) pedig a folyamat későbbi időszakában stabilizálódnak [5].

A komposztálás folyamata során mikrobiológiai szempontból négy szakaszt különböztetünk meg:

- mezofil fázis, bevezető
- termofil fázis, lebontó
- mezofil fázis, átalakuló
- utóérlelő fázis, érés

A mérhető paraméterek közül a hőmérsékleti adatok alapján különíthetők el legjobban az aerob hulladékkezelés szakaszait, melyet a 1. ábraszemléltet [9].



1. ábra. A hőmérséklet változása a komposztálás során [9].

A komposztálás során alapvetően lebomlási, átalakulási és felépülési fázisok különíthetők el. Egyes források említenek egy úgynevezett bevezető szakaszt is. Az iniciális szakasz hossza nagyon rövid, néhány órától 1-2 napig terjed. A mikroorganizmusok gyors szaporodása és intenzív anyagcseréje, valamint gyorsan emelkedő hőmérséklet jellemzi.

A pH-szint csökken, amint megindul a szerves savak (tejsav, vajsav) termelődése [10].

A termofil vagyis lebomlási vagy felmelegedési szakasz időtartalma 2-3 hét. A fázis elején aktív mezofil baktériumok, gombák tevékenységének hatására a hőmérséklet emelkedik. A termofil mikroszervezetek folyamatosan átveszik a helyüket, melyek akár 70°C-ig aktívak maradnak. A komposzt fertőtlenítése ebben az időszakban zajlik. Ezen a hőmérsékleten a könnyen bomló vegyületek gyorsan elfogyasztódnak. A pH lúgossá (8-8,5) válik, mert ammónia szabadul fel a fehérjék bontásakor és termofil szervezetek elfogyasztják a mezofilek által termelt savakat [9].

A mezofil, vagy átalakulási szakasz akkor veheti kezdetét, amikor a könnyen hozzáférhető vegyületek elfogynak, a reakciók sebessége lecsökken és megindul a lignin, a cellulóz és a hemicellulóz bontása is. A szakasz hossza 3-4 hét [12].

A komposztálás utolsó szakasza a felépülési, vagy érési fázis, melyet a szerves anyag humifikálódása jellemez. Az érés (a hőmérséklet további csökkenésével) 1-2 hónapot vesz igénybe és a folyamat végére létrejön az érett komposzt, ami egy sötét földszerű semleges (6-7)pH-értékű anyag, tele értékes tápanyagokkal a növények számára [12].

3.4. Komposztálás technológiai

A komposztálási technológiák három nagy csoportba oszthatók:

- nyílt rendszer, ahol nyílt térben megy végbe a komposztálás
- zárt rendszer, melyben a folyamat zárt térben folyik
- félig zárt rendszer, melynél a folyamatok egy része zárt, másik része nyílt rendszerben valósul meg [10].

Üzemtípus szerint megkülönböztetünk reaktoros és nem reaktoros komposztálási rendszereket, ezeken belül pedig a következő csoportosítás adható meg:

- **Nem reaktoros ipari komposztálási rendszerek**
 - agitált ágyas rendszer
 - statikus ágyas rendszer
- **Függőleges reaktorok**
 - mozgó agitált ágyas reaktorok
 - mozgó tömörített ágyas reaktorok
 - agitált ágyas, függőleges tartály-reaktorok
- **Vízszintes és ferde reaktorok**
 - támolygó szilárd ágyas rendszer
 - agitált szilárd ágyas rendszer
 - alagút rendszer
- Konténeres rendszerek [13].

Nyílt komposztálási rendszer:

A passzív prizmakomposztálást általában tág C/N arányú, valamint növényi eredetű hulladékoknál alkalmazzák. Az alapanyagokat megfelelő összekeverés után trapéz alakú halmokba rakják. Ezt a halmot a degradációs folyamat során egyáltalán nem bolygatják. Ennek megfelelően a lebontás ideje 3-6 hónap között ingadozik a C/N aránytól, a nyersanyagok tulajdonságaitól, valamint a környezeti hőmérséklettől függően [10].

Az iszapkomposztálás során ezt a technológiát alkalmazzák elsősorban. Az alapanyagokból összeállított keveréket szintén trapéz, vagy háromszög keresztmetszetű halomba, prizmába rakják. A technológia rendszeres átforgatással egészül ki, melynek hatására a levegőztetést biztosítják, valamint a keletkező gázok és vízgőz távozását. A technológia előnye, hogy jól gépesíthető, intenzív levegőztetés esetén jól automatizálható. A prizma hőmérséklete és nedvességtartalma azonban folyamatos ellenőrzést igényel [6].

Zárt rendszerek

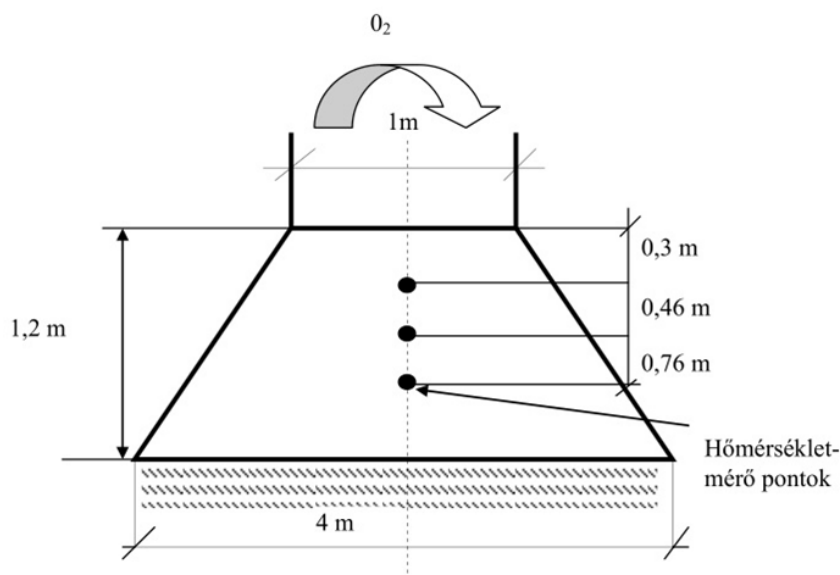
A komposztálás tartályokban, boksokban, konténerekben mozgatott silókban, illetve forgó dobokban történik. A zárt komposztálási technológiák bonyolult és kifinomult megoldások, de magas beruházási és üzemeltetési költségek jellemzik [9].

Félig zárt rendszerek

A komposztálás vízszintes siló folyosókbelsejében történik, melyek perforált csövekből álló levegőztető rendszerrel és beépített forgatóval vannak ellátva. Az éghajlati hatások kiküszöbölése céljából a silófolyosók gyakran csarnokban, fólia vagy üvegházban vannak elhelyezve. A keletkező gázokat, esetleg kellemetlen szagokat biofilterek segítségével fogják fel [9].

Agitált ágyas rendszerek

Az agitált ágyas komposztálási rendszert forgatásos prizmás rendszernek is nevezik. A téglalap-, trapéz- vagy szabálytalan háromszög-szelvényű ágy magassága 1,2 - 1,8 - 3 m, a szélessége általában minimálisan a magasság kétszerese. Az agitált ágy lehetséges főbb méreteit a 2. ábra mutatja be [13].



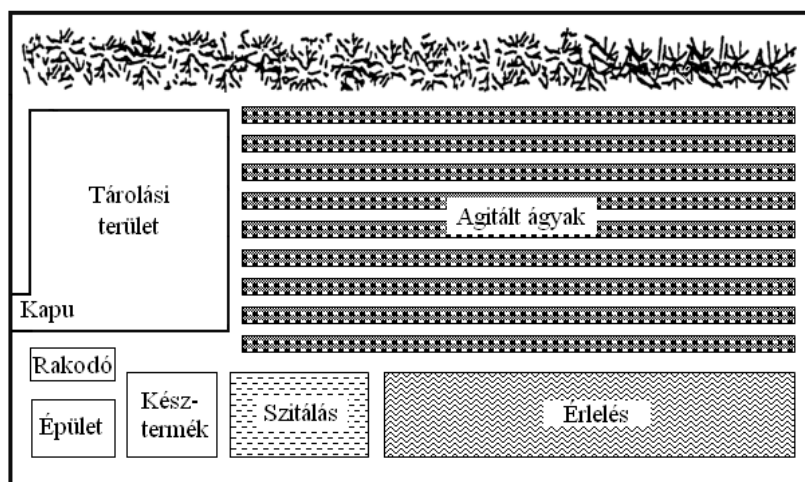
2. ábra. Az agitált ágy lehetséges szelvénye és méretei [13].

Az agitált ágyas rendszereket szabad levegőn, ritkábban fedett területen alkalmazzák, többnyire betonlapra építve. A betonlap csurgalékvíz-csatornákkal kell, hogy rendelkezzen a komposztálás során keletkező csurgalékvíz összegyűjtésére. A levegőellátást az ágy átforgatásával (agitálásával) biztosítják. Az agitálás gyakorisága 1 - 2 alkalom hetente, havonta vagy akár évente a klimatikus viszonyoktól és a komposztálási feladás szerkezetstabilitásától és lebonthatóságától függően. A komposztálás időtartama ezek függvényében a 3 - 4 héttől 1 évig változhat [13].

A nyers komposzt **utóérlelése** a lebontási folyamat befejező stádiuma, a komposzt stabilizálási folyamata, amikor is a mikroorganizmusok elfogyasztják a még rendelkezésre álló maradék tápanyagot. Az utóérlelés során – csakúgy, mint a komposztálási folyamatban – meg kell akadályozni az anaerob gócok kialakulását. Mivel az utóérlelés egy lassú folyamat, így az ágyak méretét a komposztálásétól kisebbre kell kiválasztani, hogy a természetes levegőztetés megvalósuljon agitálás nélkül is. Az utóérlelés szükséges időtartama legalább 1 hónap [13].

Az utóérlelést követően szükséges műveletek lehetnek: szitálás, dezinficiálás, aprítás stb. a komposzt paramétereitől és a felhasználási területétől függően. Az agitált ágyas rendszer berendezései az anyagmozgató gépek és a keverésre használt rakodó gépek, vagy a tárcsás keverők [13].

Az agitált ágyas rendszer kétségtelen előnye az alacsony beruházási és üzemeltetési költsége. A hátrányai a nagy területi igény, melyet az átlagos 2650 m³/ha –s területigény alapján határozhatjuk meg, a jelentős környezeti hatások, melyek között a legsúlyosabb a por és a szag emisszió [13].



3. ábra Az agitált ágyas komposztálási rendszer területi elrendezése [13].

Statikus ágyas komposztálás

A nem-reaktoros komposztálás hatékonyabbá tételét a kényszerlevegőztetéssel biztosítják. Az intenzív levegőztetés lehetővé teszi az állandó forgatás műveletének kihagyását, azonban nélkülözhetetlen szerepet kap az ágy szerkezetének stabilizálása, illetve annak megőrzése a teljes komposztálás ideje alatt. Az aljzatbeton a csurgalékvíz összegyűjtő rendszerén kívül a perforált légcsővezetéseket is magába foglalja.

A csővezetékre közvetlenül 0,15... 3 m vastagságú védő-alapréteg kerül, aminek köszönhetően elkerüljük a perforációk eltömődését, ez lehet például mátrix-anyag is. Az ágy felületét megközelítőleg 0,15 m-es készkomposzt réteggel vagy szemipermeábilis membránnal fedik, amely fedő réteg biztosítja az ágy hő- és csapadék szigetelését és megszűri a távozó gőzöket/gázokat. A szellőztetést szívás alatt, illetve túlnyomással lehet megvalósítani [13].

Gazdasági szempontokat figyelembe véve a levegőfúvást alkalmazzák, mert kisebb a nyomásvesztés. Az átlagos benntartózkodási idő 21 nap. Ez idő alatt nem nyúlnak hozzá, leszámítva a kényszerzellőztetést. A porozitás és stabilitást 21 napig meg kell tartani az ágynak, ezt mátrix anyag hozzáadásával valósítják meg. A mátrix-anyag szükséges mennyisége átlagosan a biohulladék térfogatának 2... 3-szorosa. A technológiai előnyei közé tartozik, hogy a levegőszabályzás megoldható, mind hideg, mind meleg klimatikus körülményeket jól bírja, illetve kicsi a környezeti hatása [13].

		Nem-reaktoros		Reaktoros	
		<u>Agitált ágy</u>	Statikus ágy	Kényszer szell. + agitálás	Kényszer szellőztetés
1.	Beruházás	↓	↓*	↑	↑
2.	Üzemeltetés	↓	↑	↓	↓
3.	Tertületigény	↑	↑	↓*	↓*
4.	Utószárítás	+	++	++	++
5.	Klíma érzékenység	+	-	-	-
6.	Adalék/mátrix	+ adalék	+ mátrix	+ adalék	+ adalék
7.	Szag emisszió	↑↑	↑	↓	↓
8.	Poremisszió	↑↑	↑	↓	↓

- * - az utóérlelés megnövelheti
- ↓ - relatíve kis
- ↑ - relatíve nagy
- ↑↑ - nagy
- +
- ++ - feltétlenül szükséges

4. ábra Technológiák összehasonlítása[13].

3.5. Komposztálást befolyásoló tényezők

- idegenanyag-tartalom
- levegőellátottság
- C/N arány
- nedvességtartalom
- hőmérséklet
- pH-tartomány
- szemcseméret

Idegenanyag tartalom:

Fontos figyelembe venni komposztálandó feladás idegenanyag-tartalmát. Az idegenanyagoknak azokat az anyagokat nevezzük, amelyek a komposztálás során nem bomlanak le, csökkentik a végtermék piaci értékét, de nem mérgezőek. Ezek leggyakrabban a csomagolóanyag-maradékok, pl. üveg, műanyag, fém vagy bálazsinórok [13].

Levegőellátottság:

Az aerob viszonyok meghatározóak a lebontás folyamatában, ezért vagy állandó vagy időszakos levegőztetés szükséges a mikrobák oxigén ellátottságához. Optimális oxigénellátottság alatt a bomlás anaerobbá és kedvezőtlen szaghatással jár (kén-hidrogén, stb.). Állandó keverés esetén (forgódob stb.) a lebomlás gyors, de energiaigényes, időszakos átforgatást alkalmazva a lebomlás lassú és nagy területre van szükség a tároláshoz. Ezért a korszerű berendezéseknél folyamatos levegőztetést alkalmaznak 0,6–2,0 m³ levegőt adagolva 1 t szerves (száraz) anyagra számítva [13].

C/N arány:

A mikroorganizmusok életműködéséhez szükséges anyagoknak nem csak a minősége, hanem az aránya is fontos. Ha az arány nem megfelelő, a működés nem zavartalan. A lebomlás gyorsaságát erősen befolyásolja, hogy a lebontandó anyagban milyen a szén és a nitrogén egymáshoz viszonyított aránya (C/N). Az ideális a 25-30:1 arány (tehát 25-30-szor több szénre van szükségük, mint nitrogénre). Ha sok a szén, szén-dioxid keletkezik és távozik a rendszerből, a folyamat igen lassú [8].

Ha pedig nitrogénből van sok, a nitrogén jelentős része ammónia formájában távozik. A nyers szerves hulladékok szén/nitrogén aránya különböző [8].

Nedvességtartalom:

A komposztáláshoz szükséges optimális nedvességtartalom különböző kutatások alapján 45-55%. Ez az optimális nedvességtartalom vagy mesterséges nedvesítéssel (locsolással) vagy egyszerűbben települési iszapokkal való együttes kezelés esetén érhető el, ez a hatás is az együttes komposztálást indokolja. A nedvességtartalom egyenletes eloszlása fontos tényező, ezért a forgatásos homogenizálás a komposztálás alapvető művelete. A képződő hő gyakran kiszáritja a komposztálás alatt levő hulladék-anyagokat, ezért a nedvességtartalom ellenőrzése szükséges [1].

Hőmérséklet:

A komposztálási folyamatot nagymértékben befolyásolja a hőmérséklet változása. A komposztálás egyik legfőbb feladata a hulladékokban esetlegesen előforduló kórokozók elpusztítása. Ez tartósan magas hőmérséklettel érhető el. Törekedni kell arra, hogy a komposztálandó anyag egész tömege hosszabb időn (min. 14 napon keresztül 55°C-nál, illetőleg min. 7 napon keresztül 65°C-nál) magasabb hőhatáson menjen át (ebben a termofil tartományban a hőmérséklet a 70-75 °C-ot is elérheti). A magasabb hőmérsékleti átlagszint esetén a lebomlás időtartama is csökkenhet [15].

pH-tartalom:

Az optimális közeg-kémhatás semleges tartományba esik: pH = 6-8. A degradációs folyamatot katalizáló mikroorganizmusok acidofókok, ezért számukra semleges közeget kell biztosítani. A magas cseresavtartalmú növényi hulladékok, egyes gyümölcs hulladékok esetén szükséges a pH beállítása, melyet kalcium-karbonát adagolásával célszerű megvalósítani [13].

Szemcseméret:

A komposztálásra kerülő feladás-keverék optimális szemcsemérete átlagosan 25-75 mm-ben adható meg. A szemcseméret a porozitáson túlmenően, fontos paraméter az anyagkezelhetősége szempontjából is. Az ágas-bogas vagy nagyméretű biohulladékok (pl. kerti vagdalékok, fa stb.) méretét aprítással csökkenthetjük [13].

A hulladék-anyagok szemcsemérete (aprózottsága) szintén kihat a levegő ellátottságra és a lebontás sebességére. Az aprított anyagot nagyobb felületen bontják a mikroorganizmusok [1].

3.6. Micélium iszap keletkezése és összetétele

A micélium-iszap gyógyszeralapanyagok gyártása során kikerülő hulladék anyagnak tekinthető, amelynek egyik legfontosabb jellemzője, hogy biológiailag nehezen bontható anyagok közé tartozik [17,18]. A micélium-iszap legfontosabb kémiai összetevőit a következő táblázat szemléltet:

Vizsgált Komponens	Iszap összetétele
nedvességtartalom [%]	85,8
szárazanyag-tartalom [%]	14,2
izzítási veszteség [%]	80,6
Összes nitrogén [mg/kg]	68000
Összes foszfor [mg/kg]	41530
pH-érték	7,31
KOI [O ₂ mg/dm ³]	1030
BOI5 [mg/dm ³]	593

1. Táblázat Micélium-iszap összetétele [4].

A Teva Zrt. területén több mint 3 ha területen fermentációs technológiára épülő gyógyszerhatóanyag előállítása zajlik, amely technológiából származó szennyvizet az ÉMK. Kft. iparterületén található szennyvíztisztítóban kezelik.

4. Komposztáló üzem elhelyezkedése

A kísérleti komposztáló telep az ÉMK. Kft. iparterületén létesült, ami a Sajóbábonyi lakóövezettől megközelítőleg 3-4-km-re található, így az előírt jogszabályokat kielégíti. A kísérleti komposztáló üzem megvalósításáról azért döntött az ÉMK. Kft., mert az Európai Unió jogszabályok nem engedélyezik a magas szervesanyag-tartalmú iszapok lerakását, csak a komposztálását vagy energiatartalmuk hasznosítását. Ennek értelmében az ÉMK. Kft. ez év májusában egy kísérleti komposztáló üzem működtetésére kapott engedélyt.

4.1. A kísérleti komposztálás folyamata

A Sajóbábonyi kísérleti komposzttelepen a kísérleti sarzs a már előzetesen meghatározott arányban történő bekeverése 2013.május 02-án homlokrakodó segítségével „durván” összekeverésre került.

A keletkezett kísérleti keverék mennyisége megközelítőleg 110 m³ lett az alábbi összetétel alapján:

- 50 m³ lignocellulóz adalék (faapríték)
- 50 m³ micélium-iszap
- 5... 10 m³ fahamu
- 5... 6 m³ Biomass Kappa oltóanyag (5tf %).

4.2. Kiindulási alapanyagok jellemzése

A kész komposzt minőségét nagymértékben befolyásolja a kiindulási anyagok minősége. Tehát a minőségét befolyásolja az a beavatkozás, hogy a komposztálást a lebomlás melyik fázisában állítjuk meg, azaz a komposztot friss vagy érett állapotban értékesítjük [15].

Lignocellulóz adalék:

A faapríték nedvességmegkötése igen magas, illetve szerkezetjavító, porozitás növelő komponens. A faaprítéknak meghatározó szerepe van a szerkezetlazításban. Ezen adalék hozzáadását ellenőriznünk kell ahhoz, hogy optimális porozitást illetve a szükséges levegőztetést biztosítani tudjuk, amit a következő ábra szemléltet [1].

A strukturáló segédanyag, leggyakrabban faapríték, a komposztálást követően eltávolításra kerül a kész komposztból és visszaforgatják az alapanyaghoz. A faapríték további növelésével elérhető az optimális nedvességtartalom, miközben a nyers iszap energiatartalma a komposztkeverék kiszáradását is biztosíthatja. A faapríték iszaphoz történő bekeverése általában 2/1 és 3/1 közötti térfogataránnyal javasolt [1].



5. ábra Lignocellulóz adalék (Szerző saját fényképe)

Biomass Kappa oltóanyag:

A Biomass Kappa oltóanyagban lévő mikroorganizmusok egy része aerob tulajdonságokkal bír, így főleg a kezdeti bekeverés utáni mezofil fázisban biztosítani kell az optimális oxigénszükségletet. A Biomass Kappa oltóanyagot 5 tf %-ban adják hozzá a feladás mennyiségéhez. Az oltóanyag a komposztálás folyamatát beindítja, intenzitását növeli, jobb minőségű végterméket, komposztot eredményez. Az oltóanyag és az adalékanyag keverést egy ütemben hajtjuk végre. A komposztálás során biztosítani kell az anyag levegőellátottságát, ezzel optimalizálva a mikroorganizmusok metabolizmusát, amelyet legfőbbképpen a termofil szakaszban kell beállítani [4].

Fahamu:

A kísérleti komposztáláshoz felhasznált hamu kémiai összetételét a Bálint Analitika Laboratórium elemezte. A hamu szárazanyagtartalma 100 m/m %-nak tekinthető, melynek következtében meghatározó szerepet tölt be az optimális nedvességtartalom megadásánál. A további összetételek az 1. sz mellékletben láthatóak.

Összetétel		
szulfát	mg/kg	119620
klorid	mg/kg	21430
fluorid	mg/kg	3,5
DOC	mg/kg	582
TDS	mg/kg	532000

2. táblázat. A hamuminta kémiai összetétele

4.3. A prizma méreteinek meghatározása

Kiindulási adatok:

$$a=1,60 \text{ m}$$

$$b=1,0 \text{ m}$$

$$c=2,0 \text{ m}$$

$$d=4,0 \text{ m}$$

$$T_{prizma\ fm} = \frac{a * b}{2} * 2 + a * c = \frac{1,6 * 1}{2} * 2 + 1,6 * 2 = 4,8 \text{ m}^2$$

Tehát a prizma egy szelvényének a területe $4,8 \text{ m}^2$

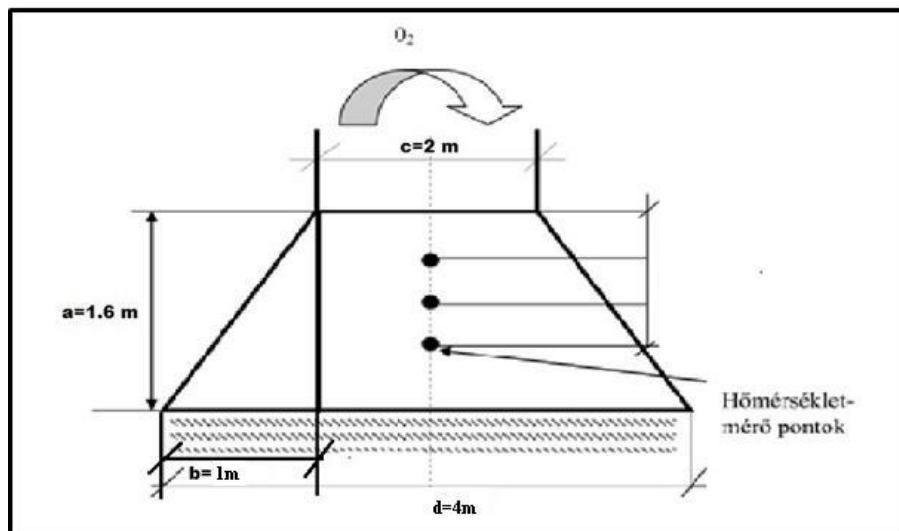
A prizma hosszának meghatározása:

$$H = \frac{V_{prizma}}{T_{prizma}} = \frac{110 \text{ m}^3}{4,8 \text{ m}^2} = 22,91 \approx \mathbf{23 \text{ méter}}$$

A prizma hossza, így megközelítőleg 20 méter.

A prizma területigénye:

$$H * d = 23 * 4 = 92 \text{ m}^2 = T_{igény}$$



6. ábra A prizma méretei, (Szerző saját szerkesztése [13] nyomán).

A prizma térfogata megközelítőleg 110 m^3 lett bekeverés után, így ennek megfelelően kell a prizma méreteit meghatározni:

A kísérleti előkeverék összeállítása után 2013. május 14-én szerves –trágyaszóró gép segítségével a keveréket átkevertük, homogenizáltuk. Az átforgatás célja, a homogenizáláson túl még az is, hogy a prizma biológiai folyamatainak beindításához szükséges oxigén mennyiséget biztosítsuk. Az átforgatások a folyamat elején 4... 7 naponta egyszer végeztük el, majd a komposztálási ciklus befejeződéséhez közeledve már megengedhető volt a forgatások számának csökkentése, így ez 7... 10 napra redukálódott.



7. ábra. A kísérleti prizma beoltása

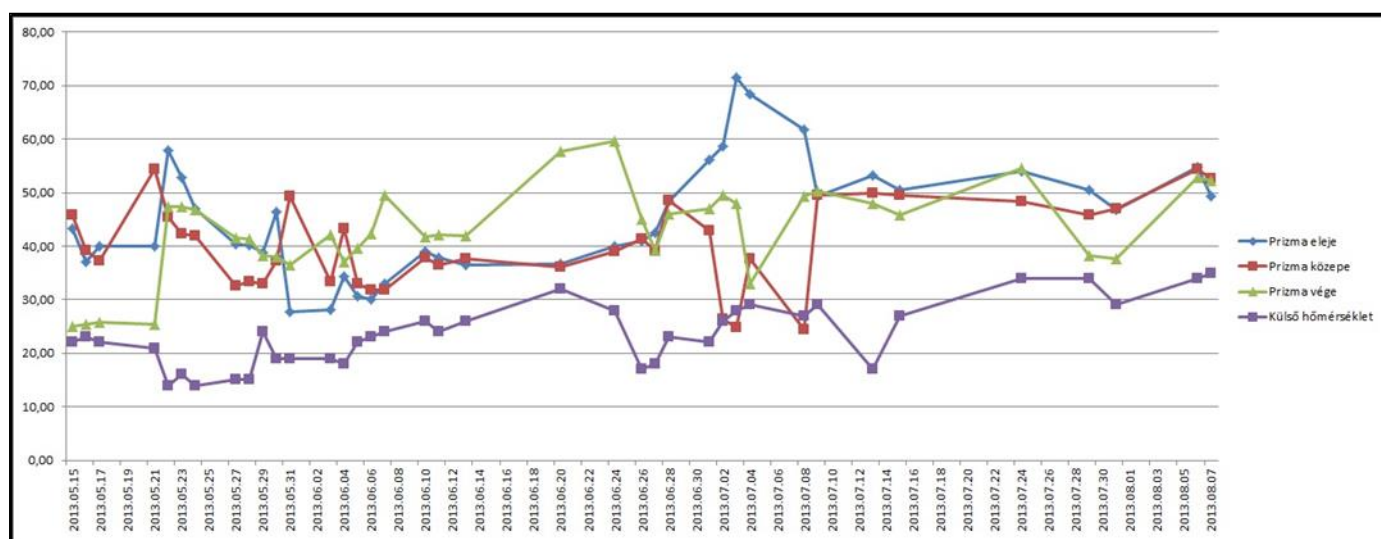
4.4. A komposztálás hőmérséklet-változása

A komposztálás során fontos szerepet tölt be a hőmérsékletváltozások figyelemmel kísérése, szabályozása. Ezáltal betekintést nyerhetünk a lebomlási folyamatokba, ugyanis a hőmérsékletalakulás jól szemlélteti a technológiában résztvevő tényezők befolyásoló hatását (anyagminőség, levegőellátottság, nedvességtartalom, pH-tartomány). A bomló anyag és a külső hőmérséklet között fellépő folyamatos hőcsere annál intenzívebb, minél nagyobb a két közeg közötti hőmérsékletingadozás és a tömegéhez képest minél nagyobb a komposztálandó anyag környezettel érintkező felülete. Nagy hő veszteség figyelhető meg abban az esetben, ha a nagy anyagmennyiséget nagy felületű formákba (pl. hosszú prizmákba) rakják. Ezzel ellenkezően az sem célszerű, ha tömegéhez képest kis felületekbe (pl. kazlakba való összerakás) rakják, mert ekkor a gázcsereje csökken, a folyamat anaerobbá válhat. Ilyenkor válik szükségsszerűvé a levegőztetés vagy a többszöri átforgatás biztosítása. Különösen nagy fontosságot kap a komposztálás során a hulladékokban előforduló emberi, állati, növényi eredetű kórokozók elpusztítása.

Arra kell törekednünk a komposztálás folyamata során, hogy minél hosszabb ideig (min. 7 napon keresztül 65°C-nál) magasabb hőhatáson menjen át elérve akár a 70... 75°C-ot. Ennek eredményeképpen a lebomlás időtartama is lényegesen csökkenhet [1].

4.5. Hőmérsékletváltozások a prizmában

A bekeverés után a kísérleti prizma hőmérséklete a rövidnek mondható, 24... 36 órás bevezető szakaszban megfelelően alakult. A hőmérséklet a szaporodási folyamat során meglehetősen gyorsan nőtt, ami az alábbi diagramon is jól látható:



8. ábra. A prizma hőmérséklet változása (Szerző saját szerkesztése)

A kezdeti hőmérséklet a prizmában 37... 38 °C volt, illetve a kémhatása 7,8, ami enyhén lúgos tartományba esik. Az oltóanyag hozzáadását követően kezdtem el a hőmérsékleti változásokat vizsgálni, így ezt a napot tekintem a kiindulásnak.

A beoltást követő 8. napon a prizma első átkeverése, levegőztetése megtörtént. A diagramon jól látható a lebomlás első fázisa, ahol a hőmérsékleti optimum 25... 35°C között volt. Az intenzív anyagcseréjük következménye a további gyors hőmérséklet-emelkedés. A szaporodási folyamatuk csak 45 °C-ig folytatódik intenzíven. Ezzel párhuzamos időben megjelentek az oltóanyaggal szintén bevitt termofil mikroorganizmusok, amelyeknek az optimális hőmérséklet tartománya 50... 55 °C között van. Ezen a napon csendes esőzés volt megfigyelhető, ami kihatással volt a prizmára lecsökkentve annak hőmérsékletét az elkövetkezendő 3-4 napban.

A 13. napon nagy mennyiségű csapadék hullt a térségre (40mm), minek következtében a prizma szerkezete kissé összeesett. A 13.-17. nap között jól megfigyelhető a hőmérséklet kis- mértékű csökkenése a prizma két végén, míg a közepén enyhe emelkedés figyelhető meg, ami még a termofil-mezofil mikroorganizmusok tartományának határát jelzi.

A 17. napot követően megtörtént a prizma második agitálása, amit továbbra is műtrágyaszóró gép segítségével oldottak meg.

Az átforgatást követően a prizma eleje és vége megfordult. A prizmát fóliával fedték le megvédve a további esőzéstől. Egy része a kísérleti komposztnak szétázott a nagy esőzés következtében.

A következő időszakban csapadék nem volt megfigyelhető, a hőmérsékletek a prizma elején és végén 30... 40°C között mozgott, míg a végén elég intenzívnek mondható hőmérsékletemelkedés állt fent.

A lebomlás 40-41. napján több mint 100 mm eső hullott le, viszont a prizma takarva volt, ennek ellenére a víz megállt alatta. Ezt követő napon egy újabb átkeverést végeztek el. A fóliát visszarakták a prizmára.

A következő majdnem két hét folyamán, a prizma elején lassúnak mondható hőmérsékletemelkedés figyelhető meg, míg a prizma közepe és vége változatos hőmérsékleti eredményeket mutat a 30... 50 °C os tartományban.

A 49. napon a fóliát levették a kísérleti komposztról és az elkövetkezendő egy-két napban teljesen száraznak tekinthető volt a prizma felülete. Ezen időszakban a hőmérsékletek stagnálást mutattak a prizma mindhárom részében.

A 62. napon ismét megtörtént egy átkeverés, amely a következő célgép segítségével történt:



9. ábra Az átkeverés célgépe (Szerző saját fényképe).

A következő időszakot felölelő hetekben nem történt említésre méltó változás, ahogyan a diagramon is jól látszik ezen időszakban kijelenthető volt a hőmérsékleti értékek közel azonos intervallumban való ingadozása, ami 40... 45°C közé esett. A kísérleti prizma közel 4 hónapos kezelése után, a helyszíni ellenőrzések alapján 2013. szeptember 10-én a komposztálási folyamatot befejezettnek nyilvánították [4].

A kísérlet sarzs hosszan-tartó fólia takarását nem véltük szükségszerűnek, mivel az oltóanyagként alkalmazott mikroorganizmusok aerob fajok, így a biológiai élettevékenységükhöz az oxigén jelenléte jótékony hatású. Csapadékosabb időszakokban a laza fólia-takarás javasolt lehet, ami megvédi a prizmát a belső átnedvesedéstől, továbbá a felületi réteg által levezetett beszivárgó esővíztől. Ha a prizma nedvességtartalma 30... 40 m/m % alá csökkenne, akkor célszerű a prizmát locsolni (pl.csurgalékvízzel).

A diagramon jól kivehető, hogy a prizma hőmérséklete nagyon ingadozó, vagyis nem tudott az optimális hőmérsékleten hosszantartó ideig fennmaradni, így a szerves anyag lebomlás időtartam is meglehetősen elhúzódott (3... 4 hónap). Ezen probléma megoldására, vagyis a hőmérséklet intenzitásának növelésére optimalizálnám a célgépeket és növelném az agitálások számát, amivel a komposztálási időtartam 3... 4 hétre redukálódhatna.

4.6. A kész komposzt minősítése

A kísérleti komposztból vett mintavételezés időpontja 2013. szeptember.10. A mintavételezés a prizma 3 különböző pontjában történt megközelítőleg 50... 60 cm-es mélységből. A mintázott anyag tömege egyenként 1kg mennyiség volt [4].

A minta külső megjelenése: sötétbarna színű, morzsalékos szerkezetű, növényi rostokat tartalmazó földszagú termék.



10. ábra. Mintavétel [4].

A komposzt biológiai jellemzői:

- szerves összetevőket tartalmaz
- fertőzőképessége nincs
- kórokozóktól mentes
- gyommagvaktól mentes
- érettségi foka.

Kémiai jellemzői:

- pH-érték
- fontosabb tápanyag-összetevők (nitrogén, foszfor, kálium)
- nyomelem tartalom (kalcium, magnézium, bór)
- C/N-arány
- mésztartalom
- nitrogénmegkötés
- sótartalom
- nehézfém tartalom

Fizikai jellemzői:

- Szemcseméret (finomszemcse 8mm alatt, közepes szemcse 8... 20 mm között, nagy szemcse 20 mm felett),
- struktúra-stabilizálás (eróziógátlás),
- víztartalom,
- idegenanyag-tartalom,
- tárolhatóság.

A kész komposzt hasznosításához szükséges minőségi elvárások:

- magas szervesanyag-és növényi tápanyag-tartalom
- alacsony idegenanyag tartalom (üveg, fém, műanyag, kő, gumi stb.)
- toxikus anyag tartalma jelentéktelen legyen (főként nehézfémek).

A komposzt értékesíthetőségét javíthatjuk, ha az előállítás során minőségjavító adalékokkal keverik (pl. szerves trágya, műtrágya [15]).

4.7. A kísérleti prizmából vett minták elemzési eredményei

pH-tartomány:

A komposztálás során tevékenykedő mikroorganizmusok pH-tartománya 4... 9 közé esik, savas viszonyok esetében inkább a gombák, lúgos körülmények között pedig a baktériumok végzik feladatukat.

A prizmában a komposzt kémhatása 8,45, ami kielégíti a rendelet által előírt értékeket.(6,5... 8,5). A komposzt közel semleges pH- tartományba esik, ami a talajok esetleg eltérő pH- ját kedvező irányba mozdítja el, ezzel ellensúlyozva a műtrágyák talajsavanyító hatását.

Szárazanyag-tartalom:

Az iszapból való komposztkészítéshez a rendelet által meghatározott (legalább 50m/m%) szárazanyagtartalom-szükséges.

Az általunk mért szárazanyag-tartalom a prizmában 60,82 m/m%, ami feltehetően a lignocellulóz mennyiségének tudható be.

Szervesanyag-tartalom: (legalább 25 m/m % szárazanyagra vonatkoztatva).

A prizma szervesanyag-tartalma 60,82, ami az előírt határértéket kielégíti, amely valószínűsíthetően nagy mennyiségben hozzáadott lignocellulóz tartalmú adalékanyagból következik. Ennek következtében talajszerkezet-javító hatással bír.

Vízben oldható összes sótartalom:

A rendelet által előírt érték legfeljebb 4 m/m % sz.a. A komposzt sótartalma 3,60 m/m %, ami kedvezőnek mondható.

Összes N-tartalom: (legalább 1,0 m/m % sz.a.)

A komposzt összes N-tartalma 1,92 m/m %, amely alacsonynak mondható, pedig alapvető szükséglet jelent a növénykultúrák növekedéséhez és fejlődéséhez.

Összes P₂O₅ tartalom

A prizma P₂O₅tartalma 2,93 m/m%. A foszfortartalom közel hatszorosa a minimálisan meghatározott határértéknek(legalább 0,5 m/m % sz.a.). Ez a makro-elem a sejt egyik alapépítő köve, mely kedvezően befolyásolja a növényi sejtek energiaháztartásának optimális működését, illetve az egész anyagcseréjét.

Összes K₂O tartalom (legalább 0,5 m/m % sz.a.)

A prizma K₂O tartalma 2,64 m/m%, amely a növények anyagszállításában játszik fontos szerepet.

Ca-tartalom (legalább 1,2 m/m % sz.a.).

A mért kalcium-tartalom a prizmában 6,75 m/m %. Ez a kiemelkedően magas érték, a komposzt egyik alapanyagának a fahamunak tulajdonítható be, ami kedvező hatással van a talajok egyre inkább jellemző elsavanyodására, amelyet a túlzott műtrágya használata eredményez.

Mg-tartalom (legalább 0,5 m/m % sz.a.).

A magnézium-tartalom a prizmában 1,93 m/m%. A magnézium a fotoszintézis folyamatában játszik fontos szerepet. Ennek hiánya klorofill pusztulást okozhat [4].

Továbbá a 2.sz mellékletben találjuk a kész komposzt főbb paramétereit.

4.8. Nehézfém-tartalom a prizmában

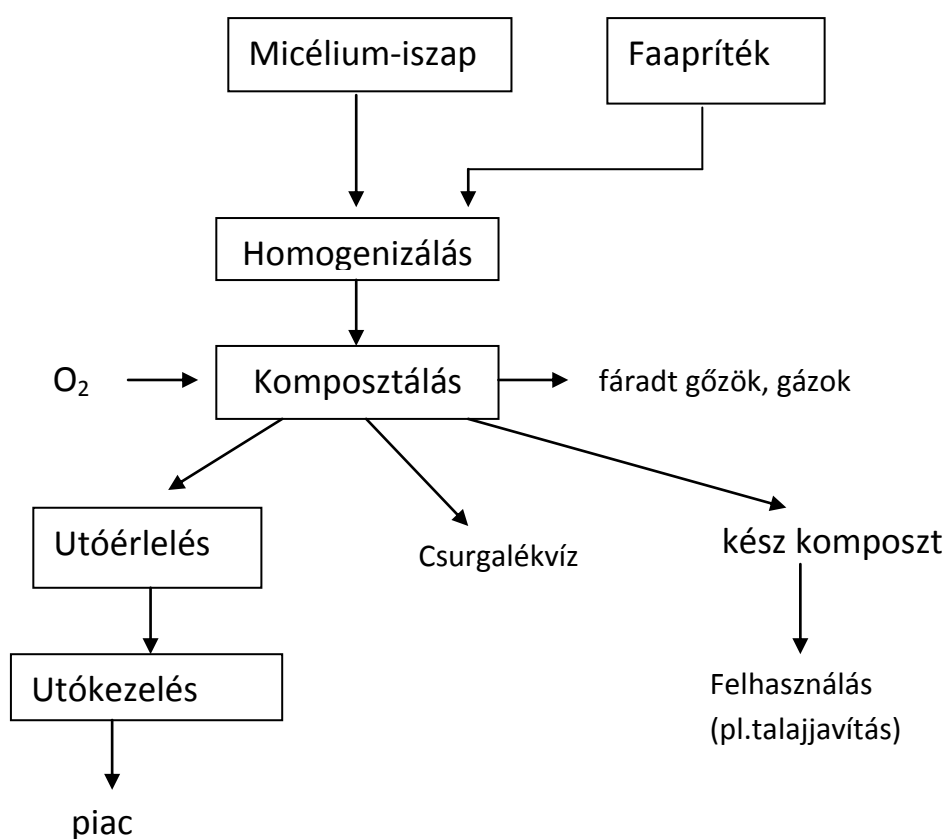
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se
tartalom legfeljebb mg/kg									
Határérték	10	2	50	100	100	1	50	100	5
Eredmény	1,94	0,316	4,63	13,5	96,6	0,1	17	3,74	1,81

3. táblázat Prizma nehézfém-tartalma [4].

A nehézfém-tartalomról megállapítható, hogy kedvezően alacsony szinten van, amely a kész komposzt értékét tovább növeli, feleslegesen nem emeli a talajok nehézfém-terhelését.

Egyes paraméterek esetében (pl. króm, réz) szórásértékei magasnak mondhatóak, aminek eltérése az átlagtól eléggé gyakorinak tekinthető. Az előzetes vizsgálatok során váratlanul magas Hg (8mg/kg sz.a.) értéket detektáltak, ami valószínűsíthetően a kísérleti prizma inhomogenitásának vagy mérési anomáliának tudható be. A higany magas értékét sem az alapkeverék, sem a hamu nem indokolja. A megismételt vizsgálatok során a Hg koncentrációja reprezentatív mintavételt mérve jelentősen a megengedett szint alá mérséklődött (0,21 mg/kg sz.a.). A réztartalom igen magasnak mondható a kész komposztban, így elsősorban a Cu-tartalomban szegény termőföldreknél használható fel.

4.9. A kísérleti komposztálás folyamatábrája



5. Anyagáramok meghatározás a félüzemi kísérlet során

Az ÉMK. Kft iparterületén folyó kísérleti komposztálás anyagáramai:

$$V_i = 50 \text{ m}^3$$

$$V_{Fa} = 50 \text{ m}^3$$

$$V_{hamu} = 5 \text{ m}^3$$

$$V_{prizma} = 105 \text{ m}^3$$

$$T_{prizma\ fm} = \frac{a * b}{2} * 2 + a * c = \frac{1,6 * 1}{2} * 2 + 1,6 * 2 = 4,8 \text{ m}^2$$

$$\frac{V_p}{T_{p\ fm}} = \frac{110 \text{ m}^3}{4,8 \text{ m}^2} = 22,92 \approx 23 \text{ m}$$

Tehát a prizma hossza megközelítőleg 23 m lett.

Feladás sűrűsége:

1 m³ iszap tömege: 50t

1m³ faapríték tömege: 0,25 t

1m³ hamu tömege: 0,452 t

$$1t + 0,25t + 0,452t = 1,702 \text{ t}$$

$$1\text{m}^3 + 1\text{m}^3 + 0,1\text{m}^3 = 2,1 \text{ m}^3$$

$$\frac{1,702 \text{ t}}{2,1 \text{ m}^3} = 0,81 \text{ t/m}^3$$

Az adalékanyagok bekeverése után a feladásra kerülő iszap sűrűsége 0,81t/m³ lett.

Feladás tömegárama:

$$X_{prizma} = X_{iszap} + X_{fa} + X_{hamu} = 50 \text{ t} + 12,5 \text{ t} + 2,26 \text{ t} = 64,76 \text{ t}$$

Feladás térfogatárama:

$$V_{prizma} = \frac{X_i}{\rho_i} + \frac{X_{fa}}{\rho_{fa}} + \frac{X_{hamu}}{\rho_{hamu}} = \frac{50 \text{ t}}{1 \text{ t/m}^3} + \frac{12,5 \text{ t}}{0,25 \text{ t/m}^3} + \frac{2,26 \text{ t}}{0,452 \text{ t/m}^3} = 105 \text{ m}^3/\text{prizma}$$

A keverék C/N arányának meghatározása:

$$C_k = \frac{X_i * C_i + X_{fa} * C_{fa} + X_{hamu} * C_{hamu}}{X_i + X_{fa} + X_{hamu}} = \frac{50 * 0,448 + 12,5 * 0,375 + 2,26 * 0}{50 + 12,5 + 2,26} = 0,4182$$

$$C_k = 0,4183 * 100 = \mathbf{41,83 \frac{m}{m} \%}$$

$$N_k = \frac{X_i * N_i + X_{fa} * N_{fa} + X_{hamu} * N_{hamu}}{X_i + X_{fa} + X_{hamu}} = \frac{50 * 0,068 + 12,5 * 0,0038 + 2,26 * 0,0006}{50 + 12,5 + 2,26} = 0,0533$$

$$N_k = 0,0533 * 100 = \mathbf{5,33 \frac{m}{m} \%}$$

Ezek alapján a keverék C/N aránya prizmában:

$$\frac{41,82 \frac{m}{m} \%}{5,33 \frac{m}{m} \%} = 7,85 \approx \mathbf{8}$$

A fentiekből látható hogy a feladása nem éri el az optimális C/N arány, ami 25... 30 közé esik.

Prizma szárazanyagtartalmának számítása:

$$S_k = \frac{X_i * S_i + X_{fa} * S_{fa} + X_{hamu} * S_{hamu}}{X_i + X_{fa} + X_{hamu}} = \frac{50 * 14,2 + 12,5 * 60 + 2,26 * 100}{50 + 12,5 + 2,26} = \mathbf{26,0346 \%}$$

A számításból kiderül, hogy a komposzt szárazanyagtartalma a bekevert adalékanyagok hatására is rendkívül alacsony, és nem éri el a minimális 40 %-os értéket.

Keverék porozitásának meghatározása:

$$n = 1 - \frac{\gamma_m * S_m}{G_m}, ahol$$

γ_m – a feladás laza sűrűsége, az 1 dm³ nedves anyag kg – ban mért tömege [$\frac{kg}{dm^3}$]

S_m -szilárdanyag-tartalom,

G_m - a feladás valódi sűrűsége [kg/dm^3]

$$n = 1 - \frac{0,81 * 0,26}{0,81} = \mathbf{0,74}$$

A porozitás mértéke megfelelőnek mondható, viszont a magas nedvességtartalom miatt a prizmákban a pórusok döntő hányada valószínűleg vízzel van telítve, ezért a lebontást végző mikroorganizmusok nem jutnak kellő mennyiségű oxigénhez, ezért gondoskodnunk kell az oxigénszükséglet növelésére, amit a forgatások számának növelésével érhetünk el.

5.1. Javaslattétel az adalékanyagok optimalizálásához

A próbaüzemi vizsgálatok során a komposztálási folyamat optimalizálásához, illetve a kész komposzt minőségének javítására a micélium-iszaphoz adalékanyagokat kevertek. A nyers iszaphoz lignocellulóadalékanyagot és hamut adtak hozzá. Ugyanakkor a felhasznált iszap biológiai bonthatósága, összetétele nagyon alacsonynak mondható, így magas szerves anyag-és széntartalmú adalékanyagok hozzáadásával érhetjük el az optimális C/N arányt illetve ezek beállításával a nedvességtartalom optimalizálása is elérhetővé válik. Azon túlmenően a lignocellulóz szigorúan véve nem is adalékanyag, mivel nem bomlik le a komposztálás végére, és külön szitálási műveletet igényli a leválasztása.

Javaslatom a fellépő probléma megoldására tehát, egy új adalékanyag hozzáadása a micélium-iszaphoz, amivel növelni tudjuk a C/N arányt, valamint a szárazanyag-tartalmat is egyaránt. Fűrészport javaslom az adalékanyagként.

Mindig az iszap minőségi paraméterei (nedvesség-tartalom, pH, toxikus elem tartalom) határozzák meg a bekeverendő adalékanyag mennyiségét. Természetesen minél hatékonyabb, ha a komposztálási ciklusban jelen lévő baktériumok életfeltételeinek biztosításához optimálisabb adalékanyag (szén-forrás) áll a rendelkezésükre (fűrészpor, faforgácsa stb.) A fűrészpor hozzáadásával a nedvességtartalmat lehet szabályozni a nedvszívó képességének köszönhetően. Az adalékanyagok homogenitása, szemcseeloszlása, oxigénháztartása illetve C/N aránya is befolyásolja a végtermék minőségét. A lebomlás során a C/N arány csökkenhet, így ebben az esetben célszerű a komposztot magas széntartalmú anyaggal (fűrészpor) frissíteni. Továbbá a hulladék anyagok szemcsemérete is befolyásolólag hat a levegőellátottságra és a lebontó képességre. Az aprított anyagot nagyobb felületen bontják a mikroorganizmusok. A komposztálásra kerülő feladás- keverék optimális szemcsemérete átlagosan 25... 75 mm-ben adható meg.

Az általam tanácsolt alap-és adalékanyagok megoszlás a prizmában:

- 50 m³ micélium-iszap
- 140 m³ fűrészpor
- 10 m³ hamu
- 10 m³ oltóanyag (5tf%)

Feladás sűrűsége:

50 m³ iszap tömege: 50 tonna

753 m³ fűrészpor tömege: 140 tonna

10 m³ hamu tömege: 4.52 tonna

1 m³ re vonatkoztatva:

1 m³ iszap+15,06 m³ fűrészpor+0,2 m³ hamu=**16,26m³**

15,06m³ fűrészpor tömege:2,8 t

1 t+2,8 t+0,0904 t=3,8904 t

$$\frac{3,8904 \text{ t}}{16,26 \text{ m}^3} = \mathbf{0,2393 \text{ t/m}^3}$$

Feladás tömegárama:

$$X_p = X_i + X_{fp} + X_{hamu} = 50 \text{ t} + 140 \text{ t} + 4,52 \text{ t} = \mathbf{194,52 \frac{t}{prizma}}$$

Prizma C/N arányának számítása:

$$C_k = \frac{X_i * C_i + X_{fp} * C_{fp} + X_{hamu} * C_{hamu}}{X_i + X_{fp} + X_{hamu}} = \frac{50 * 0,448 + 140 * 0,5478 + 0,452 * 0}{50 + 140 + 4,52} = 0,5094$$

$$C_k = 0,5094 * 100 = \mathbf{50,94 \frac{m}{m} \%}$$

$$N_k = \frac{X_i * N_i + X_{fa} * N_{fa} + X_{hamu} * N_{hamu}}{X_i + X_{fp} + X_{hamu}} = \frac{50 * 0,068 + 140 * 0,0024 + 4,52 * 0,0006}{50 + 140 + 4,56} = 0,01774$$

$$N_k = 0,01744 * 100 = \mathbf{1,774 \frac{m}{m} \%}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{50,94}{1,774} = 28,71 \approx \mathbf{29}$$

Tehát a prizma C/N aránya 29, ami az optimális értéket kielégíti. **(25...30).**

A prizma szárazanyag tartalmának meghatározása:

$$S_k = \frac{X_i * S_i + X_{fp} * S_{fp} + X_{hamu} * S_{hamu}}{X_i + X_{fp} + X_{hamu}} \\ = \frac{50 * 14.2 + 140 * 60 + 4.52 * 100}{50 + 140 + 4.52} = 49.1568 \approx \mathbf{49\%}$$

Így a kapott érték megfelel az elvárt értéknek, ami **40... 50 %** közé esik.

Prizma porozitásának meghatározása:

$$n = 1 - \frac{\gamma_m * S_m}{G_m} = \frac{0.2393 * 0.49}{0.2393} = 0.49$$

Tehát ez megfelel az optimális porozitásnak.

A kísérleti technológia és a javaslatétel során alkalmazott paraméterek a 3. sz. mellékletben láthatóak.

5.2. Optimális célgépekre javaslatétel

A komposzt prizma hatékonyabb levegőztetéséhez vízszintes tengelyű szerves trágyaszórót és homlokrakodót vagy nagyobb keverendő mennyiség (15-20.000 m³) esetén önjáró Top Turn komposzt forgatógépet célszerű alkalmazni, amelyet a 12. ábra. illusztrál. A halom belsejében lévő magas hőmérséklet miatt pára távozik a prizmából.

A forgatás eredményeként meggyorsul a lebomlási folyamat, hiszen az eddig a prizma belsejében lévő hulladék is érintkezik oxigénnel, amelyre a baktériumoknak „munkájukhoz” szükségük van.



11. ábra Top-Turn célgép alkalmazása a prizma agitálásához [4].

A komposztálási folyamat intenzitásáról leghitelesebb információt a hőmérsékletváltozás nyújt. A hőmérséklet-változás ismeretében lehet szabályozni a forgatások (agitációk) gyakoriságát. Ezzel szemben a kiindulási anyagok homogenizálása nem volt teljesen optimális, mivel a trágyaszóró gépről a forgó tengelyeket leszerelték, így a tépő keverő hatás elmaradt [15].



12. ábra Trágyaszóró gép (Szerző saját képe)

A szemcseméret a porozitás mellett még kihat az anyagkezelhetőségre is. A nagyméretű biohulladékokat (kerti vagdalékok, fa) méretét aprítással csökkenthetjük, amit az alábbi géppel valósítanak meg:



13. ábra Aprítógép (Fotó: Bese E. ,Debrecen).

6. Összefoglalás

A hazai és nemzetközi jogszabályi szigorodásnak megfelelően csökkenteni kell a biológiailag bontható, szerves anyagban gazdag hulladékok depóniákban történő elhelyezését. A jogszabályi elvárásoknak eleget téve a keletkező szerves hulladékokat a mezőgazdaságban, biogáz-termelés során, vagy komposzt-előállításra érdemes felhasználni. A gyógyszer-fermentációs folyamat hulladékaként jelentkező micélium-iszap közvetlen felhasználását a kedvezőtlen tulajdonságai korlátozhatja.

Az ÉMK-ban folyó gyógyszer-fermentációs micellium kísérleti komposztálásába bekapcsolódva, lehetőségem nyílt a folyamat egészének a végigkísérésére. Dolgozatomban kritikailag értékeltem a telephelyen végzett kísérleti komposztálási eredményeket. A kísérleti komposztálás folyamatát nem értékeltem optimálisként, túl hosszú tartózkodási idő mellett sikerült csak relatíve jó minőségű komposztot előállítani.

Ezért a munkám során különböző keverési arányokat határoztam meg, ezáltal hatékonyabbá téve a meglévő technológiát. Elmondható, hogy a kísérletben kapott végtermék viszonylag állandó tulajdonsággal rendelkezik a felhasznált adalékanyagoktól függetlenül, azaz kijuttatása jól tervezhető. A nyílt prizmás technológia során a micélium-iszap mellett fűrészport javaslok alkalmazni adalékanyagként, valamint oltóanyagot is felhasználtam technológia során. Az egyes keverékek anyagmérlegeit egymással és az iszap anyagmérlegével hasonlítottam össze. A komposztálás során megfigyeltem a hőmérsékletváltozásokat. A hőmérséklet mérése kazalhőmérővel történt. A nyílt prizmás technológia esetében a prizma keresztmetszelve három zónára osztható: egy külső kéregzónára, az intenzív lebomlás zónájára, illetve egy alacsonyabb hőmérsékletű magzónára. Továbbá vizsgáltam az eltérő hőmérsékletű pontok kialakulásának okait is. Az eltérő hőmérsékletet közvetlenül az izzítási veszteség, közvetlen módon pedig a relatív nedvességtartalom és a C/N arány befolyásolta.

Az általam elvégzett elemzések alapját az anyagkeverékben felhasznált iszap és fűrészpor eltérő tulajdonsága adja. A technológiai javaslattelem a célgépek optimalizálás és a forgatások számának növelése a kísérleti komposztálás során, amivel hatékonyabbá válik a folyamat egésze.

7. Köszönetnyilvánítás

Legelőször is szeretném megköszönni konzulenseimnek, tanárainak Dr. Bokányi Ljudmillának és Varga Terézia Erzsébetnek a lehetőséget, hogy részt vehettem a TDK és a majdani szakdolgozatom alapjául szolgáló kísérletben. Emellett a leadás utolsó pillanatáig tartó folyamatos konzultációt, és erre fordított rengeteg időt. Elsősorban türelmüknek, bátorításuknak és ösztönzésüknek hála olyan tudásnak kerültem birtokába és olyan tudományos munkát adhatok ki a kezemből, amire büszke lehetek.

Köszönet illeti Leskó Gábor konzulensemét is, az ÉMK. Kft. Szennyvíztisztító üzemvezetője, aki, lehetőséget adott számomra kísérleti komposztálás folyamatának végigkísérésére illetve segítségemre volt a kérdéseim megválaszolásában.

Konzulenseim után köszönetet mondanék az Eljárástechnikai tanszék dolgozóinak, barátaimnak és mindazoknak, akik bátorítottak, segítettek e dolgozat megírásában, átolvasták és véleményt mondtak a munkámról, amellyel tovább tökéletesíthettem azt.

8. Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Kárpáti Árpád és Társai: Komposztálás, 2004.
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Komposztalas/index.html
- [2] http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0100050. kormányrendelet
- [3] Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, 2013, Tanulmány.
www.emla.hu/alapitvany/02-03/szviszap.pdf
- [4] Emolight Kft által kiadott anyagok
- [5] Barótfi István: Környezettechnika, Mezőgazda Kiadó, 2000; készült az Oktatási Minisztérium támogatásával.
- [6] Kocsis István, Komposztálás, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2005.
- [7] Csőke Barnabás, Bokányi Ljudmilla: Technológiák kapcsolódási lehetőségeinek bemutatása; Megújuló mezőgazdaság; Magyar Katolikus Rádió Zrt. 2008; ISBN 978- 963-06-4971-1. Nyomtatta és kötötte: Mesterprint Kft.
- [8] Ilyés Tímea, Tömöri László: Komposztálás a családban - gyakorlati útmutató; Magician Grafikai Stúdió Kft Öko-Fórum Alapítvány kiadványaiból szerkesztve kiadta a Környezeti Tanácsadó Irodák Hálózata (Kötháló) www.kothalo.hu
- [9] Alexa László és Dér Sándor, Szakszerű komposztálás, Elmélet és gyakorlat, Profikomp Könyvek, 2001.Gödöllő,ISBN 963 00 5809 x
- [10] Alexa László – Dér Sándor, A komposztálás elméleti és gyakorlati alapjai,Bio-Szaktanácsadó Bt,1998
- [11] Pregun Csaba: Hulladékgazdálkodás tantárgy előadás anyagai, Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma; <http://www.agr.unideb.hu/ktvbsc/10> előadás.feltöltve: 2008. június 9. HEFOP/2004/3.3.1.
- [12] Petróczki Ferenc: Kommunális szennyvíziszapból készült komposzt hatása a növényi fejlődésre és beltartalomra, Doktori értekezés,2004, Keszthely
- [13] Dr. Bokányi Ljudmilla: Biológiai eljárások - Aerob lebontás komposztálással TÁMOP-4.2.1-08/1-2008-0006 <http://hulladekonline.hu/files/175/>
- [14] Komposztálás különös tekintettel a szennyvíziszapra: <http://hulladekonline.hu/files/37>

[15] Zöld és Biohulladékok Komposztálása Hulladékgazdálkodási Szakmai Füzetek 9.
www.kvvm.hu/szakmai/hulladeggazd/oktatas/szakmaifuzetek.html

[16] Dr. Kárpáti Árpád, Lakossági szennyvizek és tisztítása, iszaptermelése
<http://www.epito.bme.hu/vcst/oktatas/feltoltesek/BMEEOVKMHT1/03.pdf>

[17] Dr. Bokányi Ljudmilla, Emmer János, Leskó Gábor, Varga Terézia
Investigation of the removal of drugs and their metabolites from waste water
In: Bikfalvi Péter (szerk.) microCAD 2012: XXVI. International Scientific Conference
Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2012.03.29-2012.03.30.
Miskolc: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, 2012. *Paper S. A*,
3. (ISBN:978-963-661-773-8)

[18] Dr. Bokányi Ljudmilla, Emmer János, Leskó Gábor, Varga Terézia Gyógyszerek és
metabolitjaik eltávolíthatóságának vizsgálata szennyvízből HULLADÉK ONLINE 3.
évfolyam:(1. szám) Paper 4.2. 7 p. (2012)

9. Mellékletek

1. sz. melléklet

	Hamu	
A minta jelzése	Mérték-egység	
<u>Vizsgálat neve</u>		Égetési maradék anyag
Szárazanyag-tartalom	m/m %	100
pH-H ₂ O		12,67
Térfogattömeg	kg/dm ³	0,452
Szemcseméret <20mm		100
Vízoldható összes só	m/m%sa	53,2
Szervesanyag-tartalom 600 °C	m/m%sa	1,7
Összes N	m/m%sa	0,06
Összes foszfor	m/m%sa	6,73
Összes kálium	m/m%sa	25,7
Összes arzén	mg/kg sa	5,47
Összes kadmium	mg/kg sa	1,07
Összes kobalt	mg/kg sa	1,85
Összes króm	mg/kg sa	10,9
Összes réz	mg/kg sa	219
Összes higany	mg/kg sa	<0,01
Összes nikkel	mg/kg sa	44,4
Összes ólom	mg/kg sa	5,72
Összes szelén	mg/kg sa	2,13

4. táblázat. A hamu főbb összetevői (Szerző saját szerkesztése).

2. sz. melléklet

Vizsgálat neve	Mértékegység	1.minta	2.minta	3.minta	ÁTLAG	SZÓRÁS
Nitritesség	(% m/m nyers a.)	38,95	39,11	39,49	39,18	0,277
Száranyag	(% m/m nyers a.)	61,05	60,89	60,51	60,82	0,277
pH		8,45	8,44	8,45	8,45	0,006
Térfogatfőmög	(kg/dm ³)	0,520	0,540	0,500	0,520	0,020
Szemcseméret >20 mm	(% m/m száraz a.)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
elosztás <20 mm	(% m/m száraz a.)	100	100	100	100	0,000
Össz. só	(% m/m száraz a.)	3,56	3,72	3,51	3,60	0,110
Szervesanyag	(% m/m száraz a.)	55,35	55,28	54,09	54,91	0,708
Összes Nitrogén	(% m/m száraz a.)	1,94	1,84	1,99	1,92	0,076
Össz. P ₂ O ₅	(% m/m száraz a.)	3,07	2,75	2,98	2,93	0,165
Össz. K ₂ O	(% m/m száraz a.)	2,69	2,45	2,78	2,64	0,171
Össz. Ca	(% m/m száraz a.)	6,88	5,76	7,62	6,75	0,936
Össz. Mg	(% m/m száraz a.)	2,29	1,79	1,72	1,93	0,305
Össz. arzén	(mg/kg száraz a.)	1,67	1,74	2,41	1,94	0,409
Össz. kadmium	(mg/kg száraz a.)	0,375	0,233	0,340	0,316	0,074
Össz. kobalt	(mg/kg száraz a.)	3,95	4,99	4,94	4,63	0,587
Össz. króm	(mg/kg száraz a.)	10,2	16,1	14,1	13,5	3,001
Össz. réz	(mg/kg száraz a.)	95,5	90,4	104	96,6	6,87
Össz. higany	(mg/kg száraz a.)	< 0,060	< 0,060	0,109		
Össz. nikkel	(mg/kg száraz a.)	14,7	18,7	17,7	17,0	2,08
Össz. ólom	(mg/kg száraz a.)	3,54	3,41	4,27	3,74	0,464
Össz. szelén	(mg/kg száraz a.)	1,91	1,56	1,96	1,81	0,218

14. ábra. Laborvizsgálatok eredményei a komposztban [5].

3. sz. melléklet

		Kísérlet	Javaslat
C/N arány	M.Iszap	6,6:1	6,6:1
	Faapríték	150:1	-
	Hamu	-	-
	Fűrészpor	-	500:1
C - tartalom	M.Iszap	44,8 %	44,8%
	Faapríték	37,5 %	-
	Hamu	-	-
	Fűrészpor	-	54,78 %
N - tartalom	M.Iszap	6,8 m/m %	6,8 m/m %
	Faapríték	0,38 m/m %	-
	Hamu	0,06 m/m %	0,06 m/m %
	Fűrészpor	-	0,24 m/m %
Szárazanyag-tartalom	M.Iszap	14,2 %	14,2 %
	Faapríték	60%	-
	Hamu	100 %	101 %
	Fűrészpor	-	60%
Térfogat sűrűség	M.Iszap	1t/m ³	1t/m ³
	Faapríték	0,25 t/m ³	-
	Hamu	0,452 t/m ³	0,452 t/m ³
	Fűrészpor	-	0,186 t/m ³

5. táblázat. A kísérleti paraméterek összevetése (Szerző saját szerkesztése).