

Csumán András

(III. éves Környezetgazdálkodási agrármérnök BSc hallgató)

Gáti Péter

(III. éves Környezetgazdálkodási agrármérnök BSc hallgató)

**Kommunális szennyvíziszap vermikomposztálásának laboratóriumi
vizsgálata**

TDK dolgozat

Konzulensek:

Dr. Kardos Levente adjunktus

Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

Dr. Kasza Gyula egyetemi docens

Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Kar Élelmiszeripari Gazdaságtan Tanszék

2014

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, célkitűzés	3
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. A kommunális szennyvíziszap keletkezése	5
2.2. A kommunális szennyvíziszap kezelés áttekintése	5
2.3. Vermikomposztálás	13
2.3.1. A vermikomposztálás előnyei	14
2.3.2. A vermikomposztálás hátrányai	16
3. Anyag és módszer	17
3.1. A kísérleti periódus bemutatása	17
3.2. A felhasznált kommunális szennyvíziszap és giliszta állomány bemutatása	18
3.3. Az alkalmazott mérési módszerek	18
4. Eredmények	21
4.1. A kiindulási iszap alap adatai	21
4.2. A 10 hetes kísérleti periódus eredményei	21
5. Következtetések	30
6. Összefoglalás	31
7. Köszönetnyilvánítás	31
8. Irodalomjegyzék	31
9. Melléklet	35

1. Bevezetés, célkitűzés

„A mezőgazdaságnak nem feladata az iszapok elhelyezése, de a mezőgazdaság sokat tehet ennek az egész társadalmat érintő problémának a relatíve gazdaságos megoldásában”

Prof. Ericson (Michigan, USA)

A mai környezetvédelem-környezetgazdálkodás kiemelkedően fontos területe a szennyvíztisztítás, valamint a tisztítás során keletkező szennyvíziszap megfelelő kezelése, hasznosítása.

A mai modern szennyvíztisztítás elképzelhetetlen környezetileg fenntartható szennyvíziszap kezelés nélkül. A szennyvíztisztítás folyamata során keletkezett szennyvíziszap ahhoz, hogy további célokra felhasználható vagy biztonságosan elhelyezhető legyen, kezelni szükséges. A kezelés módja annak függvénye, milyen módon kívánják az iszapot hasznosítani, illetve elhelyezni, valamint milyen a szennyvíz és az abból keletkezett iszap összetétele. Hasznosítható összetevői mellett számos komponense lehet, ami hasznosításának és elhelyezésének lehetőségeit korlátozza vagy megakadályozza, ilyenek például a nehézfémek vagy a nem megfelelő makro-, illetve mikroelem-tartalom.

A szennyvíziszap kezelés célja az iszap rothadó- és fertőzőképességének megszüntetése, a térfogatának és nedvesség-tartalmának csökkentése, valamint az iszapban lévő szerves anyag, tápelem, nyomelem átalakítása hasznosítható termékekké. A kezelések eredményeképpen a bűz- és szagártalmak is jelentősen csökkenthetők. (UNEP 2000, VERMES 2005). Az iszapkezelés lépései a következők: sűrítés, stabilizálás, kondicionálás, víztelenítés, ezen lépések kötelezőek, majd következhet további szárítás, vagy mezőgazdasági hasznosítás, vagy égetés, illetve deponálás. A nagy mennyiségben keletkező szennyvíziszap hulladéklerakón történő elhelyezése nem fenntartható stratégia, ezért egyre jobban előtérbe kerülnek a mezőgazdasági hasznosítási lehetőségek. A mezőgazdasági hasznosítási lehetőségek között kiemelt helyen kell foglalkoznunk az iszap önmagában vagy egyéb más szerves anyaggal (elsősorban zöldhulladékkal történő együttes) komposztálásával, illetve a vermikomposztálásával. A vermikomposztálás gilisztákkal történő szerves anyag átalakítás.

Kísérleti munkánk során kommunális eredetű, víztelenített, rothasztott szennyvíziszap vermikomposztálását vizsgáltuk laboratóriumi körülmények között két eltérő környezeti

feltétel mellett, két eltérő giliszta állománnyal. Kísérleteinkben csak szennyvíziszap komposztálását végeztük, egyéb szerves anyag (pl. növényi hulladék) adagolása nélkül.

Dolgozatunkban a 15+5 hetes kísérleti periódusunk első 10 hetének eredményeit ismertetjük. Munkánk célja a heti mintavételezések eredményei alapján a kommunális szennyvíziszap összetételének nyomon követése a vermikomposztálás folyamata során. Kísérleteink eredményei hozzájárulhatnak az ipari szintű vermikomposztálás technológiájának továbbfejlesztéséhez.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A kommunális szennyvíziszap keletkezése

A szennyvíztisztítás során a szennyvízben található szennyező anyagok eltávolítása, illetve átalakítása történik fizikai, kémiai módszerekkel, illetve biokémiai folyamatok révén mikroorganizmusok segítségével. A kommunális szennyvíztisztítás folyamatában elsődleges feladat az oldott és oldhatatlan szerves és szervesetlen komponensek eltávolítása. Az általánosan elterjedt kommunális szennyvíztisztítási technológia a mai kor környezetvédelmi elvárásainak megfelelően a háromfokozatú eleveniszapos szennyvíztisztítás, amelynek technológiai kivitelezése során számos alternatíva lehetséges. A későbbi szennyvíziszap kezelési technológia kiválasztásához elengedhetetlenül szükséges a szennyvíztisztítási technológia („vízvonalis technológia”) alaposabb megismerése.

Az első mechanikai fokozat feladata a durva, darabos szennyező anyagok, illetve szervesetlen komponensek eltávolítása fizikai eljárások révén. Itt kerül sor a rácsszemét, a fázisszétválasztással könnyen elkülöníthető homok, olaj, zsír eltávolítására, valamint ebben a fokozatban, az előüleptetőben különíthető el a primer iszap, amelyet később, a fölösiszappal együtt összekevernek és a kezelését meg kell oldani (KARDOS 2012A).

A második, biológiai fokozatban az eleveniszap mikroorganizmusai végzik a szerves anyag átalakítását. A baktériumokat a tisztított víztől az utóüleptetőben választják szét. Az elválasztott iszap egy részét az állandó iszap koncentráció fenntartása érdekében visszavezetik a biológia medencébe, a nem recirkuláltatott, felesleges iszapot nevezik fölösiszapnak.

A harmadlagos tisztítási fokozatban az adott technológia kialakításától függően az esetlegesen keletkező foszfátszennyeződést elválasztják és összekeverhetik a szennyvíziszappal.

2.2. A kommunális szennyvíziszap kezelés áttekintése

A szennyvíztisztítás során keletkezett szennyvíziszap ahhoz, hogy további célokra felhasználható vagy elhelyezhető legyen kezelése szükséges. A következőkben összefoglaltuk az iszapkezelés kötelező, illetve alternatív lépéseit.

Sűrítés: az iszap víztartalmának csökkentésével annak mennyisége jelentősen lecsökkenthető, további kezelése így egyszerűbben és gazdaságosabban oldható meg. A sűrítés történhet gravitációs módszerrel, valamint szűréssel. Leginkább a gravitációs módszer az elterjedt. Az elérhető maximális szárazanyag-tartalom 6%. Ez a lépés kötelező technológiai folyamat. (TAMÁS 1998, BARÓTFI 2005, KARDOS 2012B)

Stabilizálás: során a szervesanyag lebontása aerob, illetve anaerob módszerrel történhet. Az aerob iszap stabilizáció nagy oxigén igénye miatt igen költséges, ezért ritkán alkalmazzák, nem keletkezik hasznosítható termék sem. Az anaerob lebontás (fermentáció, ipari gyakorlatban rothasztás) során metántartalmú (CH_4) biogáz képződik. Az anaerob fermentáció folyamatában számos környezeti feltételnek fontos szerepe van, ezek közül kiemelendő a hőmérséklet. A rothasztás mezofil (átlag 35°C -on), illetve termofil (átlag 55°C -on) történhet. A stabilizálás eredményeképpen képződő biogáz energetikai felhasználásával a telep villamos energia igénye kielégíthető (TCHOBANOGLIOUS ET AL. 2003, ÖLLÖS ET AL. 2010, KARDOS 2012B). Az anaerob fermentációt a hőmérsékleten kívül meghatározza a kémhatás, a rothasztásra kerülő szubsztrát minősége és összetétele, esetleges kosubsztrát hatások, az üzemeltetés során alkalmazott fajlagos szervesanyag terhelés, a toxikus anyagok jelenléte, valamint az alkalmazott előkezelések (KARDOS 2012B). Ezen környezeti és technológiai feltételek hatással vannak a rothasztás folyamatára, valamint a fermentált iszap minősége is, amely további hasznosítását is meghatározhatja.

A fermentált iszap viszonylag nagy szervesanyag tartalma, tápelem-tartalma miatt alkalmas további felhasználásra, többek között önállóan vagy más, növényi hulladékkal együtt hagyományos komposztálásra, illetve vermikomposztálásra is. A további hasznosítás érdekében elengedhetetlenül fontos a rothasztott iszap széles körű vizsgálata (pl: makro- és mikroelem tartalmának, toxikus elem-tartalom, mikrobiológiai jellemzése, stb.).

Kondicionálás: kötelező technológiai folyamat az iszapkezelésben. Az iszap kondicionálása ugyanakkor a kezelés különböző szakaszaiban is megtörténhet. Célja lehet az iszapban lévő patogének számának csökkentése, a szervesanyag stabilizálásával az iszap rothadókéességének megszüntetése és az iszap szárazanyag-tartalmának növelése. Ezáltal az iszap mezőgazdasági vagy energetikai célokra felhasználhatóvá válik. A kondicionálás történhet fizikai és kémiai úton (TAMÁS 1998, BARÓTFI 2005). Fizikai kondicionálást többnyire hőközléssel valósítják meg. A kémiai kondicionálás vegyszerek adagolásával történik, melyek hatására a negatív töltésű kolloid részecskék semleges töltésűvé válnak, ezért hidrátburkuk lecsökken, az iszap könnyebben vízteleníthető lesz. Szerves és szervetlen vegyszereket is alkalmazhatnak. A szerves vegyszerek különböző polielektrolitok. Alkalmazott szervetlen vegyszerek: vas(II)-szulfát, vas(III)-klorid, alumínium-klorid, alumínium-szulfát, kalcium-hidroxid (mésztej). A mész adagolása (beoltása) hőhatással jár, valamint a kémhatást is beállítja, ezáltal fertőtleníti és az iszap további rothadását megakadályozza. A mész kondicionálószerként való alkalmazása főként az iszap mezőgazdasági hasznosítása esetén lehet előnyös: a nagy pH savanyú talajokra nézve kedvező

hatású lehet (BARÓTFI 2005), ugyanakkor megjegyezendő, hogy az Európai Unióban más környezeti problémái miatt a mész kondicionálószerként történő alkalmazása visszaszorulóban van. (KARDOS 2012)

További víztelenítés: a kondicionált iszap további nedvességtartalmának csökkentésére szolgál. Történhet természetes vagy mesterséges módon. Ez a technológiai folyamat szintén kötelező (KOVÁCS 2003). A víztelenítés természetes módja az iszapszikkasztó ágyakon, szárító lagúnákban/tavakban mehet végbe, illetve léteznek szolár szárítók is (BARÓTFI 2005). A mesterséges víztelenítés gépi úton történik. Az iszap szárítása, égetése, szállítása vagy elhelyezése előtt kerül rá sor. A szennyvíziszap víztelenítése iszapvíztelenítő centrifugákkal kb. 30-40%-os szárazanyag-tartalomig történik.

A következő lépések a további iszapkezelés során alternatívákat jelentenek.

Szárítás: további szárítását jelenti az iszapnak, amely szoláris vagy fosszilis energiával történhet. Előtérbe kerültek a környezetbarát szoláris energiával történő szárítási technológiák a fosszilis energiát felhasználó technológiákkal szemben. (KOVÁCS 2003)

Mezőgazdasági hasznosítás: víztelenítést követően a szennyvíziszap kijuttatható mezőgazdasági területre. Javasolható a szakaszos, prizmában történő tárolás utáni beszántásos elhelyezés szántóterületen (CSABA ET AL. 1978, TAMÁS 1998, VERMES 2005). Az 1. táblázatban a szennyvíziszap mezőgazdasági és hasznosítás nélküli elhelyezésének lehetőségei találhatók.

1. táblázat: A szennyvíziszap mezőgazdasági és hasznosítás nélküli elhelyezésének lehetőségei

Hasznosítással egybekötött elhelyezés		Hasznosítás nélküli elhelyezés
<i>Mezőgazdasági hasznosítás</i>	<i>Hasznosítás más módon</i>	Folyékony formában iszaptároló medencékben
Folyékony iszap hasznosítás	Rekultivált területeken	Víztelenített formában területfeltöltésben
Víztelenített iszaphasznosítás		Víztelenített formában hulladéklerakó telepeken
Iszapkomposztként történő hasznosítás	Hasznosítás zöldövezetekben, parkokban, utak, vasutak mentén	Veszélyes hulladéklerakó telepeken egyéb toxikus hulladékokkal együtt
Granulátumként történő hasznosítás		

Forrás: VERMES (2005)

A szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályait az 50/2001.(IV.3.) és a 40/2008. (II. 26.) kormányrendeletek rögzítik. Ez utóbbi az 50/2001.(IV.3.) kormányrendelet módosításáról szól.

A szabályozás célja, hogy bizonyos szennyvizek, kezelt szennyvíziszapok és szennyvíziszap-komposztok mezőgazdasági területeken való szakszerű felhasználásával elkerülhetők legyenek a talajra, a felszíni és felszín alatti vizekre, valamint az ökoszisztémára gyakorolt káros hatások. A mezőgazdaságban biológiai, kémiai, illetve hőkezeléssel, tartós (legalább hat hónapig tartó) tárolással, vagy más kezeléssel (pl.: komposztálás) nyert iszapok hasznosíthatóak.

A szennyvíz és szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználását megalapozó talajvédelmi terv és a szennyvíziszap-komposztok mezőgazdasági felhasználását megalapozó egyszerűsített talajvédelmi terv elkészítéséhez a tervezett terület talajának 27 paraméterét és talajvizének 18 paraméterét meg kell határozni. A mezőgazdasági felhasználás előtt a kijuttatandó szennyvíznek, illetve szennyvíziszapnak vagy szennyvíziszap-komposztanak legalább 40 paraméterét (a 40/2008. kormányrendelet 1. és 2. melléklete tételesen felsorolja a paramétereket) szintén meg kell vizsgálni (KARDOS - JUHOS 2011).

A szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználását az illetékes talajvédelmi hatóság engedélyezi, talajtani szakvélemény alapján. A talajtani szakvéleményben meghatározzák a felhasználás módját, a gyakoriságát, a felhasználható szennyvíziszap-mennyiséget, valamint a szennyvíziszappal kibocsátható tápanyag-, toxikus elem koncentrációját.

Mezőgazdasági területre csak azonnal felhasználható és bedolgozható szennyvíziszap-mennyiség szállítható ki, szennyvíziszap ott nem tárolható. A szennyvíziszapot a felszín alá kell juttatni. Amennyiben a felszínre juttatják ki, szikkadás után haladéktalanul be kell dolgozni.

Zöldség- és talajjal érintkező gyümölcsök termesztésére szolgáló területen tilos a szennyvíziszap felhasználása a termesztés évében és az azt megelőző évben. Csak vegetációs időn kívül lehet szennyvíziszapot hasznosítani szőlő és bogyósgyümölcsök termesztése esetén, valamint alacsony törzsű gyümölcsültetvényeken. Magas törzsű gyümölcsfák esetén az iszap kijuttatása és a betakarítás közt legalább hat hétnek kell eltelnie. Szántóföldeken szennyvíziszap csak a betakarítás és a következő vetés közti időszakban hasznosítható.

Szennyvíziszap nem juttatható ki fagyott, hóval borított, vízzel telített talajra. Folyékony szennyvíziszap felhasználása tilos 6%-nál nagyobb lejtésű területen. A víztelenített

szennyvíziszap 12%-nál kisebb lejtésű területen felhasználható. Védett természeti területen, olyan területen, ahol ökológiai gazdálkodást folytatnak, réteken és legelőkön szennyvíziszap felhasználása tilos. Tilos továbbá szennyvíziszapot kijuttatni felszíni vizek külön meghatározott parti sávjában, vízjárta mezőgazdasági területeken, ivóvízbázisok védőterületén, bizonyos karsztos területeken (40/2008. (II. 26.) kormányrendelet).

Szennyvíziszapok hasznosításakor lakott területtől, lakóépülettől háromszáz méter védőtávolság tartandó. Szintén háromszáz méter védőtávolságot kell tartani, ha a terület, amin az iszap hasznosítása történik, érintkezik olyan területtel, ahol a szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználása tilos.

Megjegyezendő, hogy ugyan folyékony szennyvíziszap kijuttatása is megengedett megfelelő feltételek mellett, ugyanakkor a nemzetközileg elfogadott tendenciákat, valamint az általánosan megfogalmazott és elvárt környezetvédelmi, gazdaságossági szempontokat is figyelembe véve az iszapot mindenképpen vízteleníteni kell és a víztelenített iszap kezelését, hasznosítását kell fenntartható módon megoldani.

Komposztálás: az iszapot komposztálhatják önállóan vagy mezőgazdasági hulladékkal (pl. kukoricaszár, szalma), települési szilárd hulladékkal és szerves, nem mérgező ipari hulladékkal (pl. élelmiszeripari, konzervgyári hulladék) együtt. A komposztálás során fertőtlenítés és szervesanyag átalakítás történik. Az iszap-komposzt, mint talajerő-utánpótló mezőgazdasági felhasználásra kerül. Javasolható a beszántásos elhelyezés szántóterületen vagy ültetvényben. Minden mezőgazdasági elhelyezés előtt az iszap összetételét, illetve a mezőgazdasági területet (talajtani, termelési szempontok) is meg kell vizsgálni. A komposztálás folyamatát döntően meghatározó tényezők a komposztálandó anyag szén- és nitrogéntartalma, minősége, valamint a levegőellátottsága, a nedvességtartalma, a hőmérséklete, az aprítottsága (VERMES 2005, KARDOS 2012).

A komposztálás során az iszap térfogata, tömege nagymértékben csökken, a benne lévő nitrogén, foszfor, kálium, szén a mezőgazdaságban hasznosítható formájúvá alakul. A mezőgazdaságban való hasznosítás feltétele, hogy a komposzt megfelelő tápanyagtartalommal rendelkezzen és ne tartalmazzon jelentős mennyiségben káros anyagokat (pl. nehézfémeket). Erről legkönnyebben a komposztálandó anyagok ellenőrzésével, előzetes osztályozásával lehet gondoskodni. A komposztálás végbemehet szakaszos prizmákban vagy folyamatosan működő függőleges, illetve vízszintes, álló vagy forgó reaktorokban. A komposztálandó anyagot tartalmazó reaktorba oltókomposztot adagolnak. A Kneer-eljárást főként szennyvíziszapok komposztálására fejlesztették ki, amely során jelentősen csökkenthető a patogén mikroorganizmusok (pl: *Salmonella senftenberg* W775) száma (SZALA-PALUSZAK,

2008). Az iszaphoz tözeget, előkezelt szerves kommunális hulladékot, mezőgazdasági szilárd hulladékot adhatnak. A folyamat hengeres, vertikális reaktorban zajlik. A reaktor tartalmának keverése, homogenizálása a reaktorban lévő csiga segítségével történik. A reaktor alsó részén levegőt vezetnek be. A reaktorban való tartózkodási idő 2-3 hét. (TAMÁS 1998, BARÓTFI 2005, VERMES 2005, KARDOS 2012)

Vermikomposztálás: olyan szerves hulladékgazdálkodást jelent, mely során a gyűrűsférgek közé tartozó gilisztaféléket használnak fel a szervesanyag átalakítására. A víztelenített és rothasztott szennyvíziszapban lévő szervesanyag átalakítása többek között az *Eisenia fetida* tárgygilisztával lehetséges. Kanadában 1970-ben volt az első olyan telep, hol kezdetben heti 75 tonna biodegradált iszapkomposztot állítottak elő vermikomposztálással (VERMES 2005). Egyes kutatások (ROHLICH (ED.) 1981) szerint a kontrollhoz képest a vermikomposztált iszap esetén akár 25-szörös lebontási sebesség növekedést tapasztalható. A giliszta anyagcseréjüknek köszönhetően eltávolítják az előregedő baktérium populációkat az iszaptól, így teret engedve az újabb baktériumcsoportok megtelepedésének, amelyek hozzájárulhatnak a komposztálás folyamatának felgyorsulásához. A vermikomposztálás eredményeképpen javul a kezelt iszap nitrogén-, foszfor- és kálium-tartalma, valamint csökken a patogének száma pl.: a *Salmonella enteritidis* száma. Ezen paraméterek a további, mezőgazdasági felhasználás szempontjából meghatározó jelentőségűek. A giliszta tenyészet fenntartása viszonylag egyszerűen megoldható. Az elkészült glisztakomposztból az élő egyedek könnyen elválaszthatók, amelyek a továbbiakban takarmányozási célokra is felhasználhatóak.

Égetés: a szennyvíziszapok égetésére akkor kerülhet sor, ha a mezőgazdasági hasznosítást az iszap összetétele (pl: nagy nehézfém-tartalma miatt) nem teszi lehetővé. Ezt megelőzően az iszap kondicionálása, víztelenítése, szárítása mindenképpen szükséges. Az égetés feltétele az iszap 50% alatti víztartalma és 60% alatti szervesanyag tartalma (TAMÁS 1998). Az égetés során az iszap térfogata jelentősen lecsökken, a keletkezett termék patogéneket nem tartalmaz, valamint a biológiai bontásnak ellenálló szervesanyagok is megsemmisülnek. További előny a hasznosítható hőenergia felszabadulása. Az égetés kis telepeken meglehetősen nagy költségekkel jár, ehhez a légszennyezés kibocsátásának megakadályozása is hozzájárul. Az égetés végbemehet emeletes kemencében, forgó csökemencében vagy fluidizációs kemencében. (TAMÁS 1998).

Deponálás: az iszap hulladéklerakóban történő elhelyezése. 2008-as adatok alapján hazánkban jelentős mennyiségű szennyvíziszapot helyeztek hulladéklerakóra, a deponálás aránya akkor 25% (OHT – KvVM 2008). A deponálás során a szennyvíziszapban található

szerves anyagok, makro- és mikroelemek nem tudnak a továbbiakban hasznosulni, ezért ezen alternatíva nem jelenthet környezetileg fenntartható megoldást.

Az Európai Unió és hazai jogszabályok egyértelműen előírják, hogy csökkenteni kell a könnyen bomló szervesanyagok hulladéklerakón történő elhelyezését, 2014. után szennyvíziszap lerakón történő elhelyezésére szolgáló új depónia kialakításával a Magyarország településeinek szennyvízelvezetési és -tisztítási helyzetéről, a települési szennyvíz kezeléséről szóló 91/271/EGK irányelv Nemzeti Megvalósítási Programja nem számol.

Hazánkban, a környező országokban és az Európai Unió más tagországaiban is komoly feladat az egyre nagyobb mennyiségben keletkező kommunális szennyvíziszap megfelelő, környezetbarát módon történő kezelése, illetve hasznosítása. A kommunális szennyvíziszap hasznosítási technológiák összehasonlító elemzésekor ki kell emelnünk, hogy hazánk és a környező országok szennyvíziszap kezelési technológiáinak összehasonlítása, a sokszor igen hiányos adatközlésnek köszönhetően igen nehéz feladat. Az Eurostat 2012-ben közzé tett adatai alapján megállapítható, hogy igen változó az iszapkezelési gyakorlat a környező országokban és az Európai Unió országaiban is. Az erre vonatkozó összefoglaló adatokat a 2. táblázat tartalmazza. A jelentésben a kommunális szennyvíziszap ártalmatlanításának öt lehetséges formáját különböztetik meg, ezek a következők:

- a mezőgazdasági hasznosítást,
- a komposztálást és egyéb átalakítási eljárásokat,
- a hulladéklerakón történő elhelyezést,
- az égetést, és
- egyéb ártalmatlanítás kategóriáját.

2. táblázat: A kommunális iszap mennyisége és ártalmatlanításának megoszlása Európa bizonyos országaiban (2011-es adatok)(ezer tonna, száraz anyagra vonatkoztatva)

	Összes iszap mennyiség	Összes iszap ártalmatlanítás	Mezőgazdaságihasznosítás	Komposztálás és egyéb átalakítás	Hulladéklerakás	Égetés	Egyéb ártalmatlanítás
Ausztria	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Belgium	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Bosznia-Hercegovina	1	n.a	n.a.	n.a.	1	n.a.	n.a.
Bulgária	52	46	18	1	28	0	0
Csehország	218	218	108	73	14	7	16
Egyesült Királyság	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Észtország	18	18	1	15	2	n.a.	n.a.
Franciaország	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Görögország	147	n.a.	6	0	80	36	25
Hollandia	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Horvátország	31	n.a	n.a	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Lengyelország	519	519	116	31	51	42	279
Lettország	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Litvánia	52	22	10	11	0	0	0
Magyarország	168	159	78	43	2	30	6
Németország	n.a	1950	567	316	0	1067	0
Románia	114	71	2	0	54	0	1
Spanyolország	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Szerbia	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Szlovákia	59	59	0	38	8	0	13
Szlovénia	26	26	0	2	2	15	7

Forrás: Eurostat 2012-es adatai alapján

Megjegyzés: n.a. = nincsen adat

Meg kell jegyezni, hogy a jelentés nem tesz különbséget a nem víztelenített iszap kijuttatás vagy víztelenítést követő hasznosítás között a mezőgazdasági hasznosítás kategóriában. A táblázatból kiderül, hogy számos ország esetén nem áll rendelkezésre adat, ilyen például hazánkkal szomszédos Ausztria, Szerbia vagy Ukrajna. Ugyanakkor azt is ki kell emelni, hogy Ausztriában és Németországban a szennyvíziszap deponálása 2004-től nem lehetséges.

Hazánkban az összesen ártalmatlanított iszap 49,1%-át (78 ezer száraz anyag tonna) mezőgazdasági területen ártalmatlanítják. Ez közvetlen, víztelenített vagy víztelenítés nélküli iszap kihelyezést jelent. Hosszú távon mindenképpen szerencsés lenne a közvetlen mezőgazdasági hasznosítása előtt a komposztálás (közvetett hasznosítás) elősegítése, nagyobb arányú alkalmazása, hiszen a komposztálás vagy a vermikomposztálás folyamatával többek között a szerves anyag jelentős átalakulásával, a mineralizációs és humifikációs

folyamatoknak köszönhetően jelentős mennyiségű, igen értékes humusz anyag tartalom növekedéssel lehet számolni. A 3. táblázatban összefoglaltuk a hazai iszap ártalmatlanítás százalékos arányait.

3. táblázat: A hazai iszapártalmatlanítás százalékos megoszlása

Mezőgazdasági hasznosítás	Komposztálás és egyéb átalakítás	Hulladéklerakás	Égetés	Egyéb ártalmatlanítás
49,1%	27,0%	1,3%	18,9%	3,7%

Forrás: Eurostat 2012-es adatai alapján

2.3. Vermikomposztálás

A vermikomposztálás a szerves anyagok olyan átalakítását jelenti, amelyben az egymással közösségben élő giliszta fajok és különféle mikroorganizmusok közösen vesznek részt. A vermikomposztálásban részt vevő gilisztafajokról már korábban kiderült, hogy más organizmusokkal együttműködve jelentősen hozzájárulnak a talaj minőségének javításához (KALE ET AL. 1992). Amellett azonban, hogy a vermikomposzt a mezőgazdaság számára kifejezetten hasznos talajjavító anyag, a peszticidek által okozott szennyeződések csökkentésében is igen jelentős szerepet tölt be. Ennek magyarázata, hogy fokozzák a növényvédőszer adszorpcióját, csökkentve ezáltal a talajvízbe kerülő ilyen jellegű anyagok koncentrációját (ROMERO ET AL. 2006, MORENO ET AL., 2009, MOON ET AL., 2010). A vermikomposzt – a peszticidek adszorpciójában és azok lebontásában részt vevő termofil komposztokhoz hasonlóan – ígéretes biokeveréknek tűnik bioágak létrehozására.

A vermikomposztálás biotechnológiai kivitelezése a többi alternatív szerves anyagban gazdag hulladék kezelési technológiához képest viszonylag „egyszerűnek” mondható. A vermikomposztálást gyakran a komposztálással megegyező folyamatként értelmezik, miközben a két technológia között számos tekintetben eltér egymástól. A vermikomposztálás jellemző hőmérséklet-tartománya 10-32°C közé esik, így a mezofil körülmények között végbemenő folyamatok közé tartozik. A biodegradáció sebessége gyorsabb, mint a komposztálás esetén. Ennek oka, hogy az anyagok átalakulása gilisztatestben megy végbe, amely jelentősen megrövidíti a lebomlási/lebontási időt. Bár gilisztatestben végbemenő folyamatok és a lebontás mechanizmusa pontosan ma még nem ismert, annyi bizonyos hogy a kapott gilisztaürülék mikrobiológiai aktivitását tekintve jelentős (MOON ET AL., 2010).

A giliszták anyagcsere-folyamatainak köszönhetően felhasználják az előregedő baktérium sejteket az iszapból, így teret engedve az újabb baktériumcsoportok megtelepedésének, amelyek hozzájárulnak a komposztálás folyamatainak felgyorsulásához.

2.3.1. A vermikomposztálás előnyei

- a szerves anyagok és tápelemek reciklizálásának leghatékonyabb módja, a konvencionális komposztálás időigényének mindössze 50%-a alatt produkál készterméket (VISVANATHAN ET AL. 2005);
- szemcseméret-eloszlása, szerkezetessége kedvezőbb a komposztnál az ürülék mérettartományának köszönhetően: 3-3,5 mm-es méretű szemcséi a bél-exudátumoknak (ragasztó hatású nyálka) köszönhetően jelentősen javítják a talajrézecskek aggregátum-stabilitását (DOMINGUEZ ET AL. 1997);
- a tápanyagokat (N, P, Ca, K, Mg) növények számára könnyebben felvehető formában tartalmazza (ATIYEH ET AL. 2000, NDEGWA - THOMPSON, 2001);
- nem feltétlenül szükséges szárazanyag tartalom növelő adalékanyagok alkalmazása, akár 91%-os nedvességtartalmú szennyvíziszap vermikomposztálása is kivitelezhető, így részben kiválthatja a víztelenítést végző szalagszűrő prések működését. (LOEHR ET AL. 1985);
- gazdagabb mikroflórájú, nagyobb mikrobiális aktivitású termék a vermikomposzt;
- a vermikomposzt komposzthoz viszonyítva jelentősen nagyobb metabolikus enzim aktivitásokkal bír (HONG ET AL. 2011);
- a vermikomposztnak növényi növekedés-serkentő (PGA, Plant Growth Activators) hatása van PGR (Plant Growth Regulators, növényi növekedési hormonhatású anyagok) tartalma miatt, melyeket a giliszták bélcsatornájában élő és az ürüléket gazdagító specifikus mikroflóra szintetizálja (TOMATI ET AL. 1987, 1988; GRAPELLI ET AL. 1985; GALLI ET AL. 1990). Ilyen hatással a konvencionális komposzt gyakorlatilag nem rendelkezik;
- a vermikomposzt huminsav és humuszanyag tartalma nagyobb a konvencionális komposzténál (ARANCON ET AL., 2006). A huminsav, illetve a humátok maguk is növényi növekedést serkentő hatású anyagok (TICHY ÉS PHUONG, 1975, DAVID ET AL. 1994).
- a vermikomposztálás során a komposztokhoz képest jelentősebb mértékben csökken a patogén mikroorganizmusok száma (EASTMAN ET AL. 2001; YADAV ET AL. 2010).

A vermikomposztálás tehát adott esetben előkezelés és adalékanyag nélkül alkalmazható szennyvíziszap stabilizálására és ártalmatlanítására. Ugyanakkor rugalmasan ötvözhető, pontosabban integrálható a konvencionális komposztálási technológiával (prizmás technológia vagy más, innovatív eljárások), a vermikomposzt pl. adalékanyagként alkalmazható gyenge beltartalmi tulajdonságokkal bíró szennyvíziszapok komposztálásához (HAIT ÉS TARE, 2011A,B; NDEGWA ÉS THOMPSON, 2001). Megfelelően adaptált és szelektált *Eisenia fetida* törzsek bizonyos szerves és szerves szennyező komponenseket tápközegükből szelektíven képesek kivonni és szervezetükben akkumulálni. A bioextrakciós, bioakkumulációs folyamat eredményeképpen a közeg toxikus anyag-tartalma csökken, míg az általuk kivont szennyező komponensek az állatok biomasszájában, az ún. gilisztahúsban akkumulálódnak. A folyamat hatékonyságát az ún. biokoncentrációs faktor (BCF) jellemzi, ami az adott szennyező állati biomasszában és a közegben mért koncentrációjának hányadosa. Az eredményes laboratóriumi és üzemi kísérletek tanúsága szerint a módszerrel a nehézfémek, toxikus elemek koncentrációját akár 50%-ot is meghaladó mértékben lehet csökkenteni a szennyezett közegben, talajban, természetesen a szennyező és a közeg kémiai sajátosságaitól függően. A folyamat végén visszanyert szennyezett gilisztahús szárítást követően, ellenőrzött körülmények közötti égetéssel ártalmatlanítható, a veszélyes hulladékként kezelendő égetési maradék tömege jó néhány nagyságrenddel kisebb a szennyezett közeg, talaj eredeti tömegénél.

A vermikomposztálás további előnye tehát a komposztáláshoz képest, hogy míg az utóbbi folyamán a toxikuselem-tartalom egyértelműen nagyobb a komposztban mint a nyersanyagokban, addig a vermikomposztban - megfelelő törzsek alkalmazása esetén - ez épp fordítva alakul (MALLEY ET AL. 2006, LIU ET AL. 2005, WANG ET AL. 2013).

A szennyvíziszap komposzt előnyei növénytaplálás szempontjából:

- szervesanyag-stabilizáció igazolt (humifikáltság növekszik),
- kiegyenlítettebb tápanyag-feltáródás (kimosódás veszélye kicsi),
- nagy adszorpciós képesség miatt növeli a talaj tápanyagtároló kapacitását,
- a szerves anyag mineralizáció során keletkező CO₂ a növények által asszimilálódik,
- a nehezen oldható ásványi tápanyagok a növény által felvehetővé válnak a humuszbomlás során képződő savak és mikrobiális enzimek hatására,
- aggregátum stabilitás: stabil talajszerkezet alakul ki, csökken a porosodás és erózió veszélye, javul a talaj víz-, hő- és levegőgazdálkodása,
- humán, állat- és növény-egészségügyi kockázat csökken a kórokozók hőszakaszban, illetve giliszta tápcsatornában történő elpusztulása miatt,

- perzisztens (pl. halogéntartalmú) vegyületeket kivéve a komposztálás során a szerves toxikus anyagok jelentős része lebomlik.
- nincs kellemetlen szaghatás (a komposzt felhasználhatósága szempontjából fontos).

2.3.2. A vermikomposztálás hátrányai

A vermikomposztálás hátrányaként említhetjük meg, hogy viszonylag lassú folyamat, hiszen a mikrobiológiai átalakításhoz megfelelő idő szükséges. Nagy földterületet igényel, amelyet az ipari szintű vermikomposztálás tervezésénél figyelembe kell venni.

A giliszták érzékenyek lehetnek az extrém környezeti feltételekre (nagy hőmérséklet, nedvességhiány, szellőzés hiánya, stb.). Fontos kiemelni, hogy az iszap összetételétől függően gátló hatások is jelentkezhetnek a komposztálás során. Az erősen lúgos kémhatás, a jelenlévő toxikus anyagok, antibiotikumok lassíthatják a vermikomposztálás folyamatát. A giliszták érzékenyek lehetnek bizonyos vírusok, illetve gombák fertőzéseire. Nehéz megtervezni és fenntartani az ipari szintű vermikomposztálás technológiai folyamatát. (WONG - GRIFFITHS 1, GUPTA - GRAG, 2008, KHWAIRAKPAM - BHARGAVA, 2009)

3. Anyag és módszer

3.1. A kísérleti periódus bemutatása

Kísérleteinket laboratóriumi körülmények között a Budapesti Corvinus Egyetem Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszékén végeztük. A laboratóriumi vermikomposztálást műanyag dobozokban valósítottuk meg (*Melléklet 1. és 2. kép*), amelyeket előzetesen megfűrtük az aerob feltételek biztosítása végett. A vizsgálatokat két különböző giliszta törzsállománnyal végezzük (érdi [G1 jelölés] és gyöngyöstarjáni [G2 jelölés] állomány), amelyek előzetesen adaptálva lettek szennyvíziszaphoz. Mindkét esetben három kontroll mellett három-három párhuzamos laboratóriumi vermikomposztálást hajtunk végre. A kísérletet két eltérő környezeti feltétel között végezzük. Az egyik a laboratóriumon belüli (zárt) környezet, valamint egy külső, az aktuális meteorológiai viszonyoknak kitett környezetben (nyílt környezet). A legfontosabb meteorológia adatokat (pl.: léghőmérséklet, légnyomás, csapadék mennyiség) is mértük. Összesen 18 ládában végeztük a kísérletet. Az iszap összetételén a kísérleti periódus teljes időtartama alatt nem kívántunk változtatni, nem használtunk fel egyéb szerves anyagot tartalmazó kevert iszapot vagy növényi hulladékot. A vermikomposztálásra alkalmazott műanyag ládát az iszappal és a trágyagilisztával az *1. ábra* mutatja be.

1. ábra: A vermikomposztáló láda az iszappal és a gilisztákkal



Forrás: saját készítés

3.2. A felhasznált kommunális szennyvíziszap és gilisztá állomány bemutatása

A szennyvíziszap előzetes, hivatalos vizsgálatok alapján 15-20%-os száraz anyag tartalmú érdi kommunális szennyvíziszap. Száraz anyag tartalmának kb. 50 %-a a szervesanyag tartalom. Az 50/2001 (IV. 3.) kormányrendelet alapján az érdi szennyvíziszap összes toxikus elemtartalma az előzetes vizsgálatok alapján nem haladta meg a szennyvíziszapban megengedett mérgező elemek és káros anyagok határértékeit mezőgazdasági felhasználás esetén.

Kísérletbe bevont gilisztá az *Eisenia fFetida*, ami a *Eisenia* nembe, a Lumbricidae családba, Haplotaxida rendbe, Nyergesképzők osztályába, Gyűrűsférgek törzsébe tartozik. A faj, mint bizonyos körülményekhez jól alkalmazkodott specialista, trágya-, illetve komposztalakóként a bomlásban lévő szerves anyagok további feltárásában vesz részt, miközben biztosítja saját szervezete tápanyag- és energia ellátását.

3.3. Az alkalmazott mérési módszerek

Munkánk során vizsgáltuk a legfontosabb, a komposztot jellemző fizikai és kémiai jellemzőket, ezek a következők: $pH_{(H_2O)}$, száraz anyag tartalom, szerves anyag tartalom, összes sótartalom, összes nitrogén tartalom, foszfor tartalom (P_2O_5), kálium tartalom (K_2O),

kalcium tartalom, magnézium tartalom, humusz tartalom (H%), humuszminőség. Kétnaponta ellenőriztük a ládák hőmérsékletét és az oxidációs-redukciós folyamatokat jellemző redoxipotenciál értékeket is. A vizsgálandó paraméterek körének kialakításakor és a mintázás körülményeinek megállapításakor figyelembe vettük a 40/2008. kormányrendeletet, a 36/2006. FVM rendeletet.

A *küllem, szín, szag* megállapítása helyszíni szemrevételezéssel történt minden mintavételkor.

A *kémhatás* [pH (H₂O)] meghatározása 1:2,5 arányú komposzt:desztillált vizes kivonattól történt 12 órás várakozás után kombinált üvegelektróddal rendelkező digitális pH-mérővel.

A *száraz anyag tartalom* mérésének alapja, hogy előzetesen lemért komposztot tömegállandóságig 105°C-on szárítószekrényben kiszárítottuk, majd a tömegvisszamérésből az eltávozott víz meghatározható, így a minta száraz anyag tartalma kiszámítható.

A *szervesanyag tartalom* a tömegállandóságig szárított minta 900°C-on történő izzítási veszteségének meghatározása. Az előzetesen megmért minta tömegvisszaméréseinek adataiból a minta szerves anyag tartalma kiszámítható.

A *fajlagos vezetőképesség (EC)* mérés alapja, hogy különböző közegekben, így a szennyvíziszapban lévő sók vizes oldatai elektrolitok, melyeknek egyik alapvető tulajdonsága, hogy jól vezetik az áramot, ezért az összes sótartalom meghatározásánál a komposzt kivonatok fajlagos vezetőképessége mérhető, melyből kiszámítható a sótartalom. A kivonatot 1:5 arányú komposzt: desztillált vizes oldatból készítettük el, majd szűréssel a szűrletet, amely fajlagos vezetőképességét platinaelektróddal meghatároztuk. A fajlagos vezetőképesség az oldat elektromos ellenállásának reciprokértéke, amelyet két, egyenként 1 cm² felületű platina elektród közti oldatra vonatkoztatnak 1cm elektródtávolság mellett 20 °C-on. A fajlagos vezetőképesség egysége az 1 cm-re vonatkoztatott elektromos vezetés (mS/cm vagy µS/cm). A fajlagos elektromos vezetőképesség értékéből a komposzt kivonat *összes sótartalma* kiszámítható.

A *foszfor tartalom (P₂O₅)* meghatározás alapja, hogy a foszfátionok savas közegben molibdenáttal (MoO₄²⁻) sárga színű foszfor-molibdenát-komplexet képeznek, amelyet redukálva jellegzetes kék színű vegyület, a (MoO)₂(MoO₄)₃·6H₂O képletű molibdénkék keletkezik. A foszfátion a molibdenáttal a H₃P(Mo₃O₁₀)₄ összetételű heteropolisavat képezi, amely megfelelő körülmények között könnyebben redukálható foszfor-molibdénkékké, mint a szabad molibdenátion. Redukálószerként leggyakrabban

aszorbinsav-oldatot, illetve aszorbinsavas ón-klorid-oldatot használnak. A foszfortartalmat foszfor-pentaoxidban (P_2O_5) mg/kg mértékegységben adjuk meg.

A *kálium tartalom* (K_2O) meghatározásának alapja az alkáli- és alkálifémionok lángfestése. A mérést reagens nélkül, közvetlenül határozzuk meg az ammónium-laktátos kivonatból lángfotométer segítségével. A káliumtartalmat kálium-oxidban (K_2O) mg/kg mértékegységben adjuk meg.

A *kalcium és magnézium tartalom* meghatározása vizes kivonatból történt. A kalcium- és magnéziumionokat EDTA-oldattal (etilén-diamin-tetraecetesav nátriumsója) történő komplexometriás titrálással határoztuk meg.

A talajvédelmi és mezőgazdasági termelés szempontjából meghatározó jelentőségű a vermikomposzt humusztartalmának mennyisége és minősége.

A *humuszmennyiségi meghatározásának* alapja a szerves vegyületek könnyű oxidálhatósága, a kénsavas közegben fogott oxidálószer (kálium-bikromát, $K_2Cr_2O_7$) mennyiségéből a humusz mennyisége meghatározható (térfogatos elemzéses módszer) (MSz-08-0012-6:1987).

A *humusz minőség* mérésének alapja a kioldott humuszanyagok fényelnyelésének spektrofotometriás mérése 4 különböző hullámhosszon (400 nm, 480 nm, 540 nm, 670 nm). A módszer (HARGITAI 1988) két oldószert alkalmaz a humusz anyagok kioldásához: a 0,5%-os nátrium-hidroxid-oldatot (NaOH), amelyben a savasabb karakterű, gyengébb minőségű, kisebb moláris tömegű humuszkomponensek oldódnak jobban, míg a másik kivonószerben, az 1%-os nátrium-fluorid-oldatban (NaF) az értékesebb, nagyobb moláris tömegű humuszanyagok oldódnak jobban. A két kivonat fényelnyelésének (abszorbanciájának) hányadosa a humusz stabilitási szám, amelyet Q betűvel jelölünk. A humusz stabilitási szám az alábbi képlettel számolható ki, amely értéke minél nagyobb, annál több az értékes, azaz a nagyobb polimerizáltságú humuszanyagok mennyisége a vizsgált mintában:

$$Q = A_{NaF} / A_{NaOH}.$$

4. Eredmények

4.1. A kiindulási iszap alap adatai

A kommunális szennyvíziszap alapadatait (0. állapot) a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: A kommunális szennyvíziszap alapadatai

Paraméterek:	Mért értékek:
Nedvesség tartalom (%)	81,93
Szerves anyag tartalom (%)	49,58
pH(H ₂ O)	6,72
Sótartalom (c _{só}) (mg/dm ³)	2165
Humuszmennyiség (H%)	15,61%
Humuszminőség (Q):	
400 nm-en	0,364
480 nm-en	0,509
540 nm-en	0,365
670 nm-en	0,567
CaCO ₃ %	1,47
Ca (mg/kg)	6063
Mg (mg/kg)	1223
P ₂ O ₅ (mg/kg)	2293
K ₂ O (mg/kg)	293,1

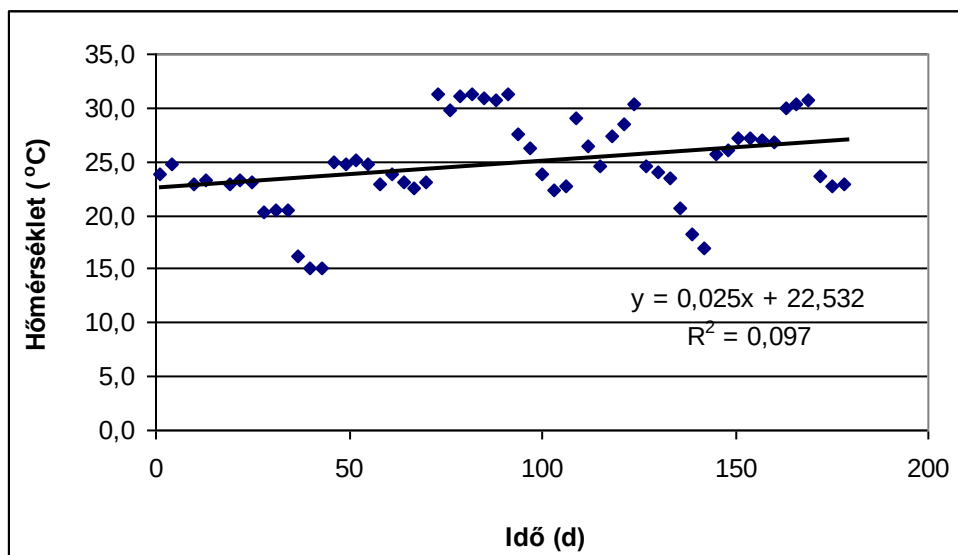
4.2. A 10 hetes kísérleti periódus eredményei

Az első 10 hetes mérési eredményeink alapján megállapítható, hogy elkezdődött a szennyvíziszap komposztálása. A komposztládák hőmérséklete a kiindulási hőmérséklethez képest növekedett (2. ábra és 3. ábra), amely összhangban áll a komposztálás első bevezető, illetve lebomlási szakaszára jellemző hőmérsékletnövekedéssel. A komposztládákban mért egyes redoxipotenciál értékek, valamint az átlagos redoxipotenciál értékek alapján megállapítható, hogy minden ládában aerob viszonyok uralkodnak. A környezeti tényezők változását az 5. táblázat mutatja be.

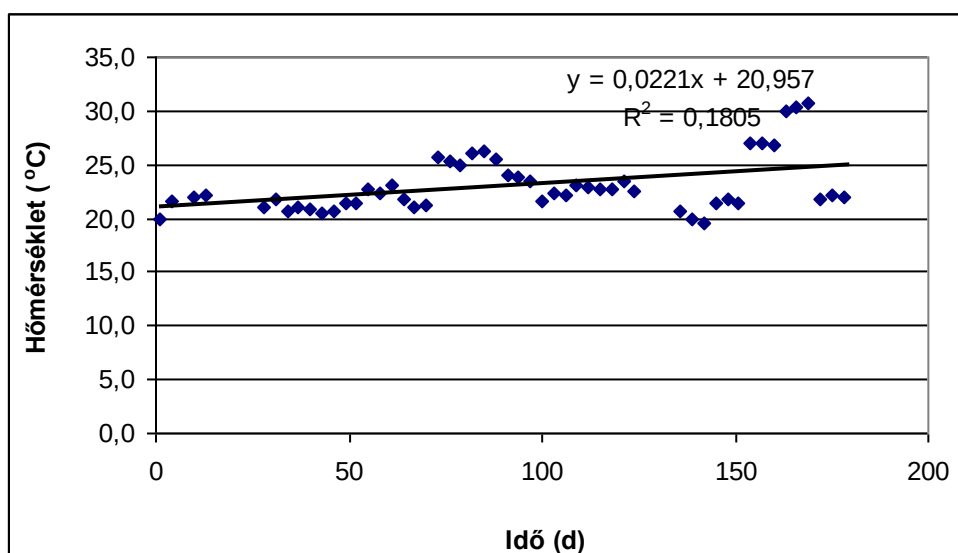
5. táblázat: A környezeti tényezők összefoglaló adatai (az összes kísérleti láda átlag adatai, n=179)

Paraméterek:	Nyílt környezetben:	Zárt környezetben:
Levegő hőmérséklet (°C)	26,8±4,9	23,1±2,5
Komposzt hőmérséklet (°C)	25,2±4,1	23,6±2,7
Redoxipotenciál (mV)	93,7±42,4	153,8±68,1

A nyílt környezetben lévő komposzt átlag hőmérsékletének változását az eltelt napok függvényében a 2. ábra, míg a zárt környezetben lévő komposzt átlag hőmérsékletének változását az eltelt napok függvényében a 3. ábra mutatja be. Az ábrákról megállapítható, hogy a kiindulási hőmérséklethez képest, a környezeti hőmérséklet befolyásoló, több esetben jelentős módosító hatása mellett is, növekedett a komposztok átlag hőmérséklete. A kiindulási hőmérséklethez (18,8°C) képest a nyílt környezetben a komposzt átlagos hőmérséklete $24,8 \pm 4,1^\circ\text{C}$, amely 31,9%-os növekedést jelent. A zárt térben lévő komposzt hőmérséklete a kiindulási hőmérséklethez (18,8°C) képest $23,02,7^\circ\text{C}$, amely 22,3%-os növekedésnek felel meg.



2. ábra: A nyílt környezetben lévő komposzt átlagos hőmérsékletének változása az eltelt napok függvényében



3. ábra: A zárt környezetben lévő komposzt hőmérsékletének változása az eltelt napok függvényében

A 2014. júliusáig összesen 10 mintavételi alkalom történt, amely során összesen 60 átlagmintát vettünk és vizsgáltuk meg ezen minták legfontosabb fizikai és kémiai tulajdonságait. A mintavételi időpontokat a 6. táblázat tartalmazza. A továbbiakban a tízhetes átlageredmények összehasonlítását mutatjuk be a kiindulási szennyvíziszap adatokhoz képest (7.–14. táblázatok). Mindenegyik táblázatban feltüntetjük a nyílt és a zárt környezeti feltétel mellett mért értékek átlagát és szórását, valamint a G1 és a G2 gilisztaállományra vonatkozó értékek átlagát és a hozzá tartozó szórásokat is.

6. táblázat: A mintavételi időpontok

A mintavétel sorszáma:	A mintavétel időpontja:
1.	2014. május 23.
2.	2014. május 29.
3.	2014. június 06.
4.	2014. június 12.
5.	2014. június 19.
6.	2014. június 27.
7.	2014. július 04.
8.	2014. július 11.
9.	2014. július 17.
10.	2014. július 24.

A tízhetes kísérleti periódus alatt mért átlagos kémhatás [$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$] adatokat a 7. táblázat tartalmazza. Az adatok alapján megállapíthatjuk, hogy a kémhatás a kiindulási állapothoz képest mindkét környezeti feltétel mellett és mindkét vizsgált gilisztaállomány

esetén nőtt. A kémhatás kismértékű növekedése az aerob lebontási folyamatokra utal, amely megerősíti, azt a tényt, hogy a komposztálás beindult, aerob folyamatok uralkodnak. A kémhatás csökkenése (savasodás) az anaerob lebontási viszonyokra utalna, illet még a vak minták esetében sem tapasztaltunk. A legnagyobb változást, amely a kiindulási állapothoz képest a tízhetes kísérleti átlaga adat 9,23%-os pH növekedését (lúgosodás) jelenti, a G2 gilisztaállomány esetében, a zárt környezeti feltételek mellett tapasztaltuk.

7. táblázat: A kémhatás változása a vizsgált kísérleti periódus alatt (n=10)

	pH					
	Nyílt környezet			Zárt környezet		
	vak	G1	G2	vak	G1	G2
kiindulási állapot	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72	6,72
átlag	6,95	7,10	7,27	7,03	7,17	7,34
szórás	0,21	0,19	0,28	0,19	0,22	0,28

Az átlagos fajlagos elektromos vezetőképesség mérési eredmények a 8. táblázatban találhatóak. Az adatok alapján megállapítható, hogy a mintáknak jelentős az elektromos vezetőképessége és így jelentős sótartalommal rendelkeznek, de ezt az eredeti iszap sótartalmával magyarázhatjuk. A fajlagos vezetőképesség értékek a tízhetes átlag adatok alapján közel azonosak, illetve kismértékű fajlagos vezetőképesség érték csökkenés és ezáltal kismértékű összes sótartalom csökkenés figyelhető meg, amely a felépítő, humifikációs folyamatok beindulásával függ össze. A legnagyobb csökkenést a G2 gilisztaállomány esetén, nyílt környezeti feltételek mellett tapasztaltuk (21,02%-os csökkenés a kiindulási állapothoz képest).

8. táblázat: Az átlagos fajlagos elektromos vezetőképesség változása a vizsgált kísérleti periódus alatt (n=10)

	EC (mS/cm)					
	Nyílt környezet			Zárt környezet		
	vak	G1	G2	vak	G1	G2
kiindulási állapot	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33
átlag	4,28	3,99	3,42	3,73	6,00	4,72
szórás	0,69	0,46	0,29	0,50	0,99	0,83

Az átlagos összes sótartalom adatokat a 9. táblázatban tüntettük fel. A legnagyobb összes sótartalom csökkenést szintén nyílt környezeti feltételek között a G2 gilisztaállomány esetében tapasztaltuk a tízhetes átlagadatok alapján a kiindulási iszap adathoz képest (22,89%-os csökkenés).

9. táblázat: Az átlagos összes sótartalom változása a vizsgált kísérleti periódus alatt (n=10)

	c (só)(mg/l)					
	Nyílt környezet			Zárt környezet		
	vak	G1	G2	vak	G1	G2
kiindulási állapot	11150	11150	11150	11150	11150	11150
átlag	10751	10008	8596	9333	14945	11829
szórás	1656	1210	754	1214	2467	2050

Az átlagos foszfortartalom változását a 10. táblázat tartalmazza. A tízhetes kísérleti periódus átlag adatai alapján a foszfortartalom kismértékű csökkenés figyelhető meg. A legnagyobb csökkenést a zárt környezetben lévő vakminták esetében tapasztaltuk (18,32%-os csökkenés). A csökkenés ellenére is a komposztminták foszfortartalma jónak tekinthető. A talajra vonatkozó, általánosan elfogadott 150-160 mg/kg-os értékhez képest, amely a termesztett növénytől és a talajtípustól függetlenül megállapított érték, a mért foszfor koncentrációk egy nagyságrenddel nagyobbak minden környezeti feltétel mellett és mindkét gilisztaállomány esetén.

10. táblázat: Az átlagos foszfortartalom változása a vizsgált kísérleti periódus alatt (n=10)

	P ₂ O ₅ mg/kg					
	Nyílt környezet			Zárt környezet		
	vak	G1	G2	vak	G1	G2
kiindulási állapot	2293,3	2293,3	2293,3	2293,3	2293,3	2293,3
átlag	2051,3	1890,5	1897,3	1873,0	1916,1	1875,9
szórás	627,7	449,9	444,7	360,9	385,3	372,3

Az átlagos káliumtartalom mérési eredményeket a 11. táblázatban közöljük. A tízhetes kísérleti periódus alatt mindkét környezeti feltétel mellett, mindkét gilisztaállomány esetében jelentős, egy nagyságrendet meghaladó növekedést tapasztaltunk. A legnagyobb növekedés szinte azonosnak tekinthető a nyílt környezeti feltételek között lévő G1, valamint G2 állomány esetében. A talajra vonatkozó, általánosan elfogadott 180-200 mg/kg-os értékhez

képest, amely a termesztett növénytől és a talajtípustól függetlenül megállapított érték, a minták káliumtartalma nagyobb, amely kedvező lehet a mezőgazdasági termelés szempontjából.

11. táblázat: Az átlagos káliumtartalom változása a vizsgált kísérleti periódus alatt (n=10)

	K₂O mg/kg					
	Nyílt környezet			Zárt környezet		
	vak	G1	G2	vak	G1	G2
kiindulási állapot	293,1	293,1	293,1	293,1	293,1	293,1
átlag	1462,67	1674,53	1665,60	1601,68	1486,26	1541,21
szórás	628,67	477,89	557,22	548,65	612,61	622,21

A komposztminták átlagos nedvesség-tartalmának változását a 12. táblázat tartalmazza. Az adatok alapján megállapítható, hogy egy kísérleti beállítástól eltekintve (zárt körülmények, G2 állomány) minden esetben kismértékű csökkenést tapasztaltunk. A tízhetes átlagos nedvesség adatok megfelelnek a gilisztaállomány életfeltételeinek. A legnagyobb csökkenést (38,74%) a nyílt környezeti feltételek mellett a vakminták esetében tapasztaltuk. A mérési adatokat megerősítik a helyszíni szemrevételezés során tapasztaltak is, amely során megállapítottuk, hogy a vakminták néhány centiméteres felső rétege szárad ki a legjobban és jelennek meg a rögzépződés jelei. Szemmel látható nedvesség-tartalom csökkenést még a nyílt környezeti feltételek mellett lévő G2 állomány esetébe tapasztaltunk.

12. táblázat: Az átlagos nedvességtartalom változása a vizsgált kísérleti periódus alatt (n=10)

	Nedvesség-tartalom (%)					
	Nyílt környezet			Zárt környezet		
	vak	G1	G2	vak	G1	G2
kiindulási állapot	81,93	81,93	81,93	81,93	81,93	81,93
átlag	50,19	74,37	72,34	69,72	74,93	82,70
szórás	19,49	4,39	8,39	13,21	12,07	7,34

Az átlagos összes szerves anyag (izzítási veszteség) változását a 13. táblázatban tüntettük fel. Az adatok alapján megállapítható, hogy az összes szerves anyag tartalom egy kísérleti beállítást (zárt környezet vakminták) leszámítva növekedett.

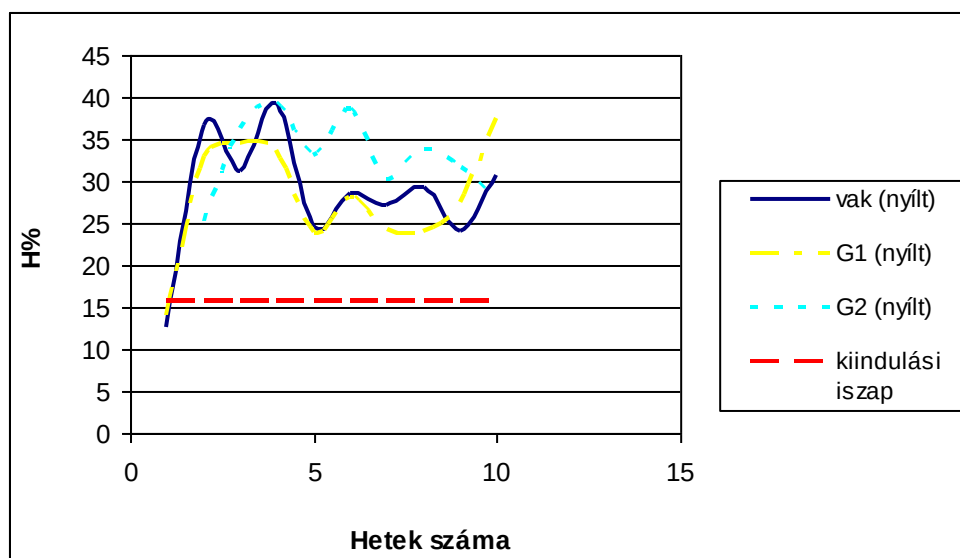
13. táblázat: Az átlagos összes szerves anyag tartalom változása a vizsgált kísérleti periódus alatt (n=10)

	Izzítási veszteség (szerves anyag-tartalom) (%)					
	Nyílt környezet			Zárt környezet		
	vak	G1	G2	vak	G1	G2
kiindulási állapot	49,58	49,58	49,58	49,58	49,58	49,58
átlag	50,35	51,67	52,04	40,08	54,23	56,68
szórás	4,91	3,20	5,68	9,59	2,11	3,28

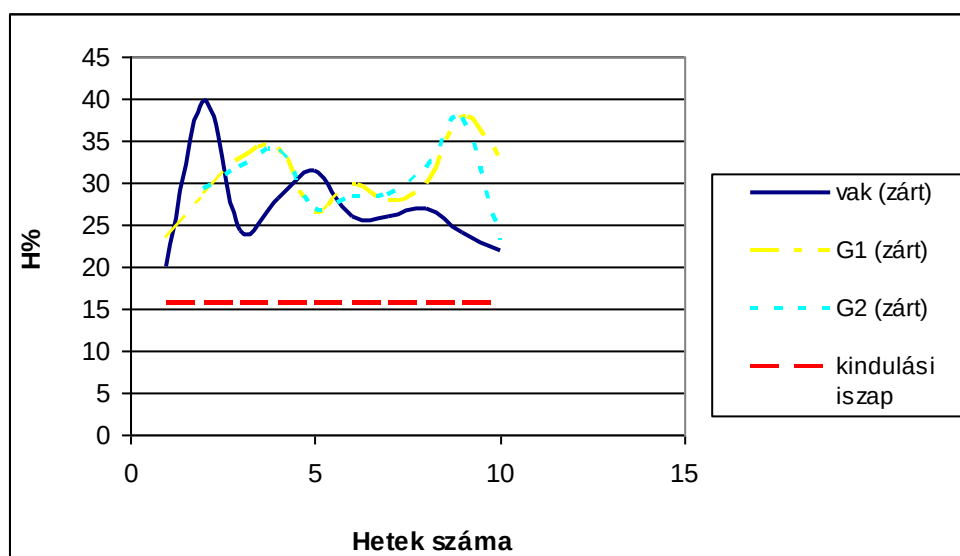
A humuszmennyiség változását a 14. táblázat foglalja össze, amelyből megállapítható, hogy a kiindulási iszap humusz mennyiségéhez képest a tízhetes átlag adatok mindkét környezeti feltétel mellett, mindkét gilisztaállomány esetében jelentősen növekedtek. A legnagyobb növekedést a nyílt környezetben lévő G2 állomány esetében tapasztaltuk.

14. táblázat: Az átlagos humuszmennyiség változása a vizsgált kísérleti periódus alatt (n=10)

	H%					
	Nyílt környezet			Zárt környezet		
	vak	G1	G2	vak	G1	G2
kiindulási állapot	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61	15,61
átlag	27,38	26,98	32,92	25,87	30,33	27,89
szórás	8,17	8,16	4,68	6,55	4,16	8,48



4. ábra: A humuszmennyiség változása a nyílt környezetben



5. ábra: A humuszmennyiség változása a zárt környezetben

A 4. és az 5. ábrákról megállapítható, hogy a kiindulási iszap humuszmennyiségéhez képest mindkét környezeti feltétel mellett és gilisztaállomány esetében növekedést tapasztalunk. A humuszmennyiség változását jelölő görbék lefutását vizsgálva feltételezhetjük, hogy a meteorológiai viszonyoknak, a komposzthőmérsékletnek és a nedvesség-tartalomnak jelentős hatása lehet a humusz mennyiségére. A statikus laboratóriumi kísérleteinkben nem használtunk további szerves anyag (szubsztrát) utánpótlást, így annak fogyásával, feltételezhető, hogy elérkezik a „komposztpopuláció” hanyatlásának időszaka is. A helyszíni szemrevételezések alapján a nyílt környezetben lévő G2 állomány ritkulását is ezzel magyarázhatjuk. Erre a kérdésre a pontost választ a kísérleti periódus végén, a 15 hét elteltével és az azt követő 5. hét (15+5 hét) utáni vizsgálatok eredményeinek birtokában adhatunk.

Folyamatosan vizsgálatuk a komposztládák humuszminőségének alakulását is. A kiindulási iszap humuszminőségét jellemző humusz stabilitási szám (Q) változását a 4 különböző hullámhosszon (400 nm, 480 nm, 540 nm és 670 nm) nyílt környezetben a 15. táblázat, valamint zárt környezetben a 16. táblázat tartalmazza. Megállapítható, hogy a kiindulási értékhez képest mindkét környezeti feltétel mellett (nyílt és zárt körülmények) és mindkét gilisztaállomány esetén (G1 és G2) növekedett a tízhetes kísérleti periódus alatt a humusz stabilitási szám, amely az értékesebb, nagy moláris tömegű humusz mennyiségének növekedését jellemzi.

15. táblázat: A humuszminőség változása a vizsgát kísérleti periódus alatt nyílt környezetben
(n=10)

		Humuszminőség - Nyílt környezet											
		vak				G1				G2			
mintavétel		400 nm:	480 nm:	540 nm:	670 nm:	400 nm:	480 nm:	540 nm:	670 nm:	400 nm:	480 nm:	540 nm:	670 nm:
0.	07.máj	0,364	0,509	0,364	0,566	0,364	0,509	0,364	0,566	0,364	0,509	0,364	0,566
1.	23.máj	0,457	0,644	0,769	1,181	0,446	0,573	0,692	1,102	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2.	29.máj	0,449	0,571	0,702	1,197	0,361	0,428	0,652	0,940	0,529	0,666	0,887	1,248
3.	06.jún	0,685	1,040	1,211	3,173	0,804	1,149	1,265	1,576	0,978	1,480	1,752	3,028
4.	12.jún	0,583	0,741	0,892	1,768	0,429	0,826	1,061	2,062	0,322	0,729	0,878	1,286
5.	19.jún	0,113	1,914	3,000	1,944	0,734	0,915	1,404	3,571	0,774	1,218	1,211	2,040
6.	27.jún	0,871	1,176	1,389	1,573	1,235	1,654	2,086	3,606	0,480	0,611	0,753	1,181
7.	14.júl	0,83	1,283	1,642	2,5	1,273	2,164	3,418	11,4	0,812	1,023	1,292	2,191
8.	11.júl	0,893	1,12	1,348	1,561	0,952	1,15	1,318	1,454	0,752	0,902	1,068	1,537
9.	17.júl	1,017	1,214	1,225	1,357	0,767	0,969	1,108	1,46	0,948	1,163	1,356	2,08
10.	24.júl	0,484	0,958	0,65	0,627	1,288	1,268	1,53	6,764	0,608	0,741	0,743	1,07
Átlag:		0,638	1,066	1,283	1,688	0,829	1,110	1,453	3,393	0,689	0,948	1,104	1,740
Szórás:		0,273	0,386	0,688	0,723	0,354	0,508	0,804	3,323	0,220	0,294	0,332	0,644

Megjegyzés: n.a. = nincsen adat

16. táblázat: A humuszminőség változása a vizsgát kísérleti periódus alatt zárt környezetben
(n=10)

		Humuszminőség - Zárt környezet											
		vak				G1				G2			
mintavétel		400 nm:	480 nm:	540 nm:	670 nm:	400 nm:	480 nm:	540 nm:	670 nm:	400 nm:	480 nm:	540 nm:	670 nm:
0.	07.máj	0,364	0,509	0,364	0,566	0,364	0,509	0,364	0,566	0,364	0,509	0,364	0,566
1.	23.máj	0,336	0,417	0,521	0,992	0,579	0,813	1,046	1,692	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2.	29.máj	0,354	0,431	0,497	0,782	0,489	0,680	0,869	1,179	0,421	0,538	0,693	0,872
3.	06.jún	0,702	1,016	1,316	3,060	1,133	1,480	1,670	2,620	0,510	0,917	1,102	2,012
4.	12.jún	1,429	1,918	1,561	1,166	0,929	0,895	0,976	1,054	2,479	2,119	4,183	7,473
5.	19.jún	0,886	1,244	1,845	0,114	1,773	1,958	2,217	2,899	0,789	1,015	1,174	2,563
6.	27.jún	0,498	0,555	0,722	0,973	1,102	0,822	0,874	0,813	1,919	2,134	2,078	2,394
7.	14.júl	0,458	0,597	0,775	1,208	1,890	2,000	2,615	4,185	1,150	1,599	2,128	3,821
8.	11.júl	1,229	1,743	2,440	3,290	2,395	2,161	2,193	2,000	1,014	1,167	1,181	1,157
9.	17.júl	1,706	2,761	3,684	5,518	1,247	0,922	1,240	1,288	1,178	1,494	1,826	2,733
10.	24.júl	1,393	3,008	1,460	3,833	3,393	2,971	2,217	7,303	0,839	1,291	1,159	1,027
Átlag:		0,899	1,369	1,482	2,094	1,493	1,470	1,592	2,503	1,144	1,364	1,725	2,672
Szórás:		0,505	0,957	0,995	1,728	0,892	0,771	0,670	1,976	0,666	0,534	1,044	2,035

Megjegyzés: n.a. =nincsen adat

5. Következtetések

Az eddigi, tízhetes kísérleti periódusunk alatt meghatározott eredmények alapján is megállapítható, hogy az általunk vizsgált kommunális szennyvíziszap vermikomposztálása beindult és folyamatosan megfelelően zajlik, amit az alapvető fizikai és kémia paraméterek (pl: hőmérséklet, humusz mennyiség és minőség) változásai is alátámasztanak. A mezőgazdasági felhasználhatóság szempontjából kiemelt fontosságú változók a humusz mennyiségét és minőségét jellemző értékek átlagosan növekedést mutatnak. A két, szennyvíziszapra előzetesen adaptált gilisztatörzs között eddig számottevő különbséget nem tapasztaltunk. Mindkét törzs egyedei adaptálódtak az új környezeti feltételekhez, szemmel láthatólag fejlődtek (nagyobb, vastagabb gilisztákat tapasztaltunk szemrevételezéskor). Bár megjegyzendő, hogy a helyszíni vizsgálatok során, a mintavételkor jelentősen lecsökkent egyedszámmal találkoztunk a nyílt környezetben lévő G2 állomány mintázásakor. Ezt a csökkenését a szubsztrát elfogyásával és az időnként extrém hőmérsékleti viszonyokkal magyarázhatjuk. Az iszap színének mélyülése a vak, gilisztát nem tartalmazó mintákhoz képest már a kísérleti periódus 2. hetétől elkezdődött.

Továbbra is folytatjuk a laboratóriumi kísérletsorozatot mindkét környezeti feltétel mellett, mindkét giliszaállománnyal és vizsgáljuk az eddig fizikai és kémiai paramétereket is.

6. Összefoglalás

TDK dolgozatunkban összefoglaltuk a kommunális szennyvíziszap kezelés lehetőségeit, kiemelt helyen kezelve a vermikomposztálás folyamatát. A vermikomposztálás gilisztákkal végzett szerves anyag átalakítás. Kísérleti munkánk során egy kommunális szennyvíztelepről származó, előzetesen kezelt szennyvíziszapot használtunk vermikomposztálás céljára. Kísérleti periódusunk 15+5 hét, amely eredményei közül az első 10 hét eredményeit ismertettük dolgozatunkban. A kísérleti munkánk során összesen 18 ládában végeztük a komposztálást, két eltérő környezeti feltétel között (nyílt és zárt környezet), két előzetesen adaptált giliszaállománnyal. Minden esetben három vakminta mellett, három-három gilisztát tartalmazó komposztládát alakítottunk ki.

Az eddigi eredményeik biztatóak, a komposztálás megfelelően zajlik, az iszap fizikai, kémiai paraméterei kedvezően alakulnak a későbbi mezőgazdasági felhasználás szempontjából.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki Dr. Kardos Levente adjunktusnak és Dr. Kasza Gyula egyetemi docensnek, témavezetőinknek útmutatásaikért, lelkiismeretes munkájukért, amellyel segítették e dolgozat létrejöttét.

A laboratóriumi kísérletek a PIAC13-1-2013-0143 projekt (Szigépszerk Kft.) részeként valósultak meg. Köszönjük a támogatást.

8. Irodalomjegyzék

- 40/2008. (II. 26.) Kormányrendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól szóló 50/2001.(IV.3.) kormányrendelet módosításáról
- 50/2001. (IV.3.) Kormányrendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól.
- Arancon, N.Q., Edwards, C. A., Lee, S., Byrne, R., 2006. Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Biology* 42, S65–S69.
- Atiyeh, R.M., J. Dominguez, S. Sobler and C.A. Edwards, (2000a) Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*) and the effects on seedling growth; *Pedobiologia*, 44: 709-724
- Barótfi I. (szerk.) (2005): Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 501-552.
- Bocskay B. (2013): Cementipari hasznosítás – egy gazdaságos alternatíva a szennyvíziszap összes komponensének hasznosítására (előadás). Szennyvíziszap 2013 – Haladunk, de merre? Konferencia. Budapest, 2013. május 30. <http://www.kszgyisz.hu/files/3113/7344/6943/Bocskay-SzviziszapCemipban20130530a.pdf>
- Csaba L., Kiss O., Szinay M., Vermes L. (1978): Hígrágya-hasznosítás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 291-292.
- David, P.P., Nelson, P.V., Sanders, D.C., 1994. A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture. *J. Plant Nutr.* 17 (1),173–184.
- Dominguez, J., Edwards, C.A., Subler, S., 1997. A comparison of vermicomposting and composting. *BioCycle* 38 (4), 57–59.

- Eastman, B.R., Kane, P.N., Edwards, C.A., Trytek, L., Gunadi, B., Stermer, L., Mobley, J.R., 2001. The effectiveness of vermiculture in human pathogen reduction for USEPA biosolids stabilization. *Compost Sci. Utilization* 9 (1), 38–49.
- Galli, E., Tomati, U., Grappelli, A., Di Lena, G., 1990. Effect of earthworm casts on protein synthesis in *Agaricus-bisporus*. *Biol. Fertil. Soils* 9, 290–291.
- Grappelli, A., Tomati, U., Galli, E., Vergari, B., 1985. Earthworm casting in plant propagation. *HortScience* 20, 874–876.
- Gupta, R., Garg, V.K.: “Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 153, pp. 1023-1030, 2008.
- Hait, S., Tare, V., 2011a. Vermistabilization of primary sewage sludge. *Bioresour. Technol.* 102, 2812-2820.
- Hait, S., Tare, V., 2011b. Optimizing vermistabilization of waste activated sludge using vermicompost as bulking material. *Waste Manage.* 31, 502-511.
- Hargitai L. (1988): A talaj szerves anyagának meghatározása és jellemzése. In: Buzás I. (szerk.): talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv2. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Hong, S. W., Lee, J. S., Chung, K. S., 2011. Effect of enzyme producing microorganisms on the biomass of epigeic earthworms (*Eisenia fetida*) in vermicompost. *Bioresource Technology* 102, 6344–6347.
- Kale, R.D., Mallesh, B.C., Kubra, B., Bagyaraj, D.J., 1992. Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial populations in a paddy field. *Soil Biol. Biochem.* 24, 1317–1320.
- Kardos Levente (2012a): Vízszennyezés és szennyvíztisztítás. In: A környezetvédelem alapjai. (elektronikus tananyag). TÁMOP-4.1.2-08/2/A/KMR. Typotex Kiadó, Budapest. www.tankonyvtar.hu
- Kardos L. (2012b): A szennyvíztelepi biogáz termelő fermentációs folyamatok nyomon követése kémiai és biokémiai módszerekkel (doktori értekezés). ELTE TTK Környezettudományi Doktori Iskola, Budapest, 14-19.
- Kardos L., Juhos K. (2011): Kommunális szennyvíziszap hasznosítási lehetőségek, kiemelt tekintettel a mezőgazdasági hasznosítás (tápanyag visszapótlás) lehetőségeire. Műhelytanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-09/1/KMR-2010-0005 azonosítójú projekt keretében. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék. Budapest.

- Khawairakpam, M., Bhargava, R.: “Vermitechnology for sewage sludge recycling”, *Journal of hazardous materials*, vol. 161, pp. 948-954, 2009.
- Kovács R. (szerk.) (2003): A szennyvíziszap-kezelés és hasznosítás jogi, gazdasági, műszaki, környezet-egészségügyi feltételrendszere (tanulmány). EMLA Alapítvány a Környezeti Oktatás támogatására. Budapest. 49-98.
- Liu, X., Hu, C., Zhang, S., 2005. Effects of earthworm activity on fertility and heavy metal bioavailability in sewage sludge. *Environment International* 31, 874 – 879.
- Loehr, R.C., Neuhauser, E.F., Malecki, M.R., 1985. Factors affecting the vermistabilization process. *Water Res.* 19(10), 1311-1317.
- Malley, C., Nair, J., Ho, G., 2006. Impact of heavy metals on enzymatic activity of substrate and on composting worms *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology* 97 (2006) 1498–1502.
- Moon, K.E., Lee, S.Y., Lee, S.H., Ryu, H.W., Cho, K.S., 2010. Earthworm cast as a promising filter bed material and its methanotrophic contribution to methane removal. *J. Hazard. Mater.* 176, 131–138.
- Moreno, B., Vivas, A., Nogales, R., Macci, C., Masciandaro, G., Benítez, E., 2009. Restoring biochemical activity and bacterial diversity in a trichloroethylenecontaminated soil: the reclamation effect of vermicomposted olive wastes. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 16, 253–264.
- MSz-08-0012-6:1987 Talajok szerves anyag tartalmának meghatározása.
- Ndegwa, P.M., Thompson, S.A., 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresour. Technol.* 76 (2), 107–112.
- Ndegwa, P.M., Thompson, S.A., 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresour. Technol.* 76 (2), 107–112.
- Országos Hulladékgazdálkodási terv (2008). Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest.
- Öllös G., Oláh J., Palkó Gy. (2010): Rothasztás. Magyar Víziközmű Szövetség, Budapest. 665-701, 895-934.
- Rohlich, G., A. (ed.)(1981): Food, Fuel, and Fertilizer from Organic Wastes, BOSTID Report, National Academy Press., Washington D. C. 152-156.
- Romero Guzmán, E.T., Esteller Alberich, M.V., Ordoñez Regil, E. (2002): Uranium and phosphate behavior in the vadose zone of a fertilized corn field. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 254, 509–517.

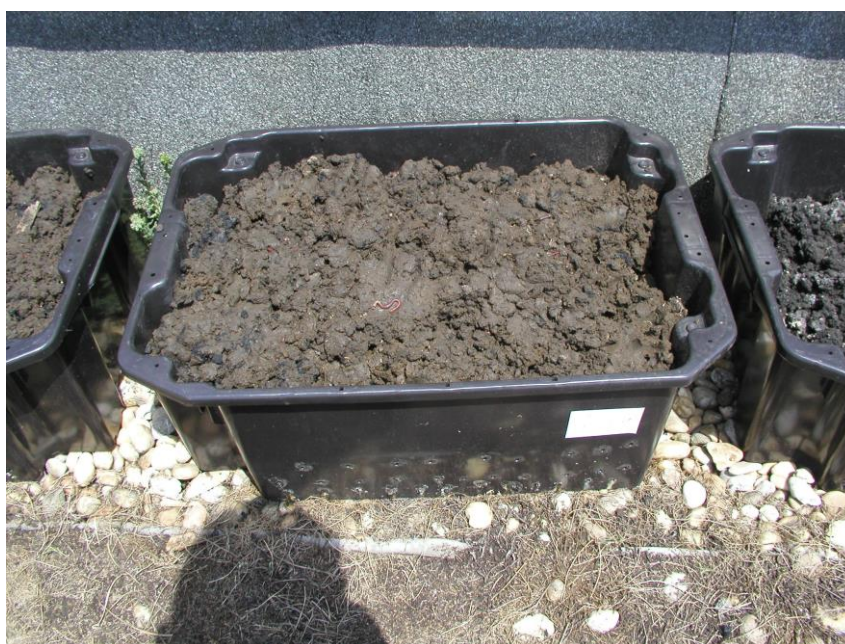
- Szala B., Paluszak Z. (2008): Validation of Biodegradable Waste Composting Process Based on the Inactivation of *Salmonella senftenberg* W775. Polish J. of Environ. Stud. Vol. 17(1) 79-85.
- Tamás J. (1998): Szennyvíztisztítás és szennyvíziszap elhelyezés (egyetemi jegyzet). Debreceni Agrártudományi Egyetem. Debrecen. 7-53., 79-102.
- Tchobanoglous G., Burton F. L., Stensel H. D. (2003): Wastewater Engineering. Treatment and reuse. 4th edition. Metcalf & Eddy Inc. McGraw Hill Science. 986-996., 991-992.
- Tichy, V., Phuong, H.K., 1975. On the character of biological effect of humic acids. Humus Planta 6, 379–382.
- Tomati, U., Grappelli, A. and Galli, E., 1987. The presence of growth regulators in earthworm-worked wastes. In: Bonvicinni Paglioi, A.M., Omodeo, P. (Eds.), On Earthworms Proceedings of International Symposium on Earthworms. Selected Symposia and Mongraphs, Unione Zoologica Italiana, 2, Mucchi Modena, pp. 423–435.
- UNEP (2000): Environmentally sound technologies in wastewater treatment for the implementation of the UNEP Global Programme of Action (GPA)" Guidance On Municipal Wastewater". United Nations Environment Programme (UNEP) http://www.unep.or.jp/ietc/publications/freshwater/sb_summary/
- Vermes L. (2005): Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 113-117., 143-151, 168-170.
- Visvanathan, C., Trankler, J., Jospeh, K. and Nagendran, R. (Eds.) “Vermicomposting as an Eco-Tool in Sustainable Solid Waste Management,” Asian Institute of Technology, Annamalai University, Chidambaram, 2005.
- Wang, L., Zheng, Z., Zhang, Y., Chao, J., Gao, Y., Luo, X., Zhang, J., 2013. Biostabilization enhancement of heavy metals during the vermiremediation of sewage sludge with passivant. Journal of Hazardous Materials 244– 245 1– 9
- Yadav, K.D., Tare, V., and Mansoor Ahammad, M., 2010. Vermicomposting of source-separated human faeces for nutrient recycling Waste Management 30, 50–56.
- www.eurostat.hu (letöltés: 2014. augusztus 12.)

9. Melléklet

A kiindulási állapotkor készült fényképek (1. és 2. fénykép):



1. fénykép: A komposztládák kialakítása a nyílt környezetben



2. fénykép: A nyílt környezetben lévő komposztláda a G1 gilisztával

A kísérleti periódus 10. hetében készült fényképek (3. és 4. fénykép):



3. fénykép: A nyílt környezetben lévő G1 gilisztaállomány



4. fénykép: A zárt környezetben lévő G2 gilisztaállomány