

A KOMMUNÁLIS SZENNYVÍZISZAP VERMIKOMPOSZTÁLÁSÁNAK ÖSSZEFOGLALÓ ÉRTÉKELÉSE

KARDOS LEVENTE – ERŐSS ATTILA – NAGY-MEZEI CSENGE –
BEZSENYI ANIKÓ – HAIMEI CHEN – LARA RÚBIA BORGES SILVA

Összefoglalás

A kommunális szennyvíziszap környezetileg fenntartható kezelése a mai környezetgazdálkodás egyik kiemelkedően fontos feladata. Az utóbbi időben a földigiliszták hulladékkezelésben való felhasználásának technológiája (a vermikomposztálás) egyre elterjedtebb technológia. A giliszták anyagcserejüknek köszönhetően eltávolítják az előregedő baktérium populációkat az iszapból, így teret engedve az újabb baktériumcsoportok megtelepedésének, amelyek hozzájárulhatnak a komposztálás folyamatának felgyorsulásához. Emellett a vermikomposztálás növeli a kezelt iszap nitrogén (N), foszfor (P) és kálium (K) tartalmát, és csökkenti a potenciális patogének számát is.

Munkánk során vizsgáltuk a vermikomposztálási technológiai folyamatokat laboratóriumi, félüzemi léptékben (nyílt és zárt környezeti feltételek mellett), valamint ipari komposztálási körülmények között, ahol a komposztprizmák szalmával, geotextiliával kerültek lefedésre, illetve fedetlenek voltak. A komposztprizmákban Eisenia foetida gilisztákat használtunk. A mintákat a kísérleti periódus elején, félidőben és végén vettük meg. Vizsgáltuk a fizikai és kémiai paramétereket: pH, szárazanyag-tartalom, szervesanyag-tartalom, összes sótartalom, összes nitrogén, összes foszfortartalom (P_2O_5), káliumtartalom (K_2O), humusztartalom (H%), humusz minőségét és meghatároztuk a dehidrogenáz enzimaktivitást is. A hőmérsékletet és a redoxpotenciált hetente kétszer mértük az oxidációs-redukciós körülmények jellemzésére. A nehézfém-koncentrációkat (Pb, Zn, Fe, Cu, Mn) a kiindulási iszapban, a kész vermikomposztban, valamint a gilisztákban is megmértük, ezáltal meghatározható a nehézfémek földigiliszták általi bioakkumulációja.

A megfelelő vermikomposztálási technológia potenciális eszköze lehet a növekvő mennyiségű kommunális szennyvíziszap környezeti kockázatainak csökkentésére.

Kulcsszavak: kommunális szennyvíziszap, vermikomposztálás, Eisenia foetida

JEL kód: Q53, Q55

SUMMARY ASSESSMENT OF VERMICOMPOSTING OF MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE

Abstract

The proper management of communal sewage sludge is a priority of environmental protection. Recently the vermicomposting technology, of using earthworm species in waste management has been increasing. Earthworms are utilizing of the bacterial components of the sludge and during their metabolic processes, can contribute to the acceleration of full composting processes. In addition, vermicomposting increase the nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) content of the treated sludge, and eliminate the potential pathogens.

We examined the vermicomposting processes both in laboratory scale, in pilot scale (open and closed environmental conditions) and among industrial composting conditions, where the compost piles were covered with straw-mulch or with geotextile and uncovered. Eisenia foetida worms were inoculated into the compost-piles. Samples were taken at the beginning, at half time and at the end of the experimental period. Physical and chemical characteristics, such as the pH, dry matter content, organic matter content, total salinity, total nitrogen, total phosphorus content (P₂O₅), potassium content (K₂O), humus content (H%), humus quality and the dehydrogenase enzyme activities were determined. Temperature and redox potential were assessed twice a week in order to characterize oxidation-reduction conditions. Heavy metal concentrations (Pb, Zn, Fe, Cu, Mn) in the starting sludge, in the finished vermicompost and in the earthworms were also measured, which means, that bioaccumulation of heavy metals by earthworms can be determined.

The vermicomposting technology can be a potential tool for reducing the environmental risks of the increasing amount of communal sewage sludge wastes.

Keywords: communal sewage sludge, vermicomposting, *Eisenia foetida*

Bevezetés

A vermikomposztálás olyan szerves hulladékgazdálkodást jelent, mely során a gyűrűsféregek közé tartozó gilisztaféléket használják fel a szerves hulladék átalakítására. A víztelenített és rothasztott szennyvíziszapban lévő szerves anyag átalakítása többek között az *Eisenia foetida* tárgygilisztával lehetséges (VISVANATHAN et al., 2005). A giliszták anyagcseréjüknek köszönhetően eltávolítják az előregedő baktérium populációkat az iszapból, 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. Ezen paraméterek a további, mezőgazdasági felhasználás szempontjából meghatározó jelentőségűek. A gilisztatenyésztés fenntartása viszonylag egyszerűen megoldható (KASZA et al., 2015). Az elkészült glisztakomposztból az élő egyedek könnyen elválaszthatóak, amelyek a továbbiakban takarmányozási célokra is felhasználhatóak.

A vermikomposztálás és a vermikomposzt (gilisztahumusz) a következő tulajdonságokkal jellemezhető. A szerves anyagok és tápelemek újrahasznosításának egyik leghatékonyabb módja, a konvencionális komposztálás időigényének mindössze 50%-a alatt produkál készterméket (VISVANATHAN et al., 2005). A szemcseméret-eloszlása, szerkezetessége kedvezőbb a hagyományos komposztnál a gilisztaürülék mérettartományának köszönhetően, ugyanis 3-3,5 mm-es méretű szemcséi a bél-exudátumoknak (ragasztó hatású nyálka) köszönhetően jelentősen javítják a talajrészecskék aggregátum-stabilitását (DOMINGUEZ et al., 1997; MADARÁSZ et al. 2021). A tápanyagokat (N, P, K és Ca, Mg) a 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, és a hagyományos komposzthoz viszonyítva jelentősen nagyobb metabolikus enzimaktivitásokkal bír (HONG et al., 2011; KOTROCZÓ et al., 2020; KOTROCZÓ – FEKETE, 2020). 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., 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, és a humátok is növényi növekedést serkentő hatású anyagok (TICHY – PHUONG, 1975; DAVID et al., 1994; BÁDONYI et al., 2008; KOTROCZÓ et al., 2022). A vermikomposztálás során a komposztokhoz képest jelentősebb mértékben csökken a patogén mikroorganizmusok száma (EASTMAN et al., 2001; YADAV et al., 2010; KOCSIS et al. 2020). A vermikomposztálás tehát adott esetben előkezelés és adalékanyag nélkül alkalmazható szennyvíziszap stabilizálására és ártalmatlanítására. Ugyanakkor rugalmasan ötvözhető, illetve integrálható a konvencionális komposztálási technológiával (prizmás technológia vagy más, innovatív eljárások), a vermikomposzt ugyanis adalékanyagként alkalmazható gyenge beltartalmi tulajdonságokkal bíró szennyvíziszapok KOMPOSZTÁLÁSÁNÁL (NDEGWA – THOMPSON, 2001; HAIT – TARE, 2011a,b).

A vermikomposztálás további előnye a hagyományos komposztáláshoz képest, hogy míg az utóbbi folyamán a toxikus elemtartalom egyértelműen nagyobb a komposztban, mint a nyersanyagokban, addig a vermikomposztban - megfelelő törzsek alkalmazása esetén - ez épp fordítva alakul (LIU et al., 2005; MALLEY et al., 2006; WANG et al., 2013).

Az ezredforduló környékén több tanulmány született a földgiliszták nehézfém akkumulációs képességéről és annak szennyvíziszap kezelésre való alkalmazásáról. Iráni kutatók például arra keresték a választ, hogy a szennyvíziszap nehézfém-tartalmának csökkentése milyen módon valósítható meg a leggyakrabban alkalmazott gilisztafaj, az *Eisenia foetida* különböző területekről (Irán, Ausztrália) származó törzsei segítségével és milyen összefüggés figyelhető meg a szennyvíziszapban lévő egyedszám, illetve a nehézfém-koncentráció között. A kísérlet során alkalmazott törzsek egyedeinek testében nehézfémek (króm, kadmium, ólom, réz és cink) bioakkumulációját végezték el. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a szennyvíziszapban mérhető nehézfém-koncentráció a kísérlet során eltelt idő előrehaladásával csökken. A kétféle származási hellyel rendelkező faj közül az iránt nagyobb mikrotápanyag (réz, cink) hasznosítás jellemezte, míg a nem-esszenciális elemek (króm, kadmium, ólom) bioakkumulációja az ausztráliai törzse esetén mutatott nagyobb értéket. A kutatás végeredményeként mindkét esetben azt állapították meg, hogy a *foetida* faj törzsei testszövetekben nehézfémek felhalmozására képesek (SHAHMANSOURI et al., 2005).

Anyag és módszer

A kommunális szennyvíziszap vermikomposztálási kísérleteinket laboratóriumi, félüzemi és üzemi körülmények között is elvégeztük. A továbbiakban röviden bemutatjuk a kísérleti periódusokat, az alkalmazott szennyvíziszapot, valamint a legfontosabb mérési módszereinket, amelyeket mind a három technológiai szinten alkalmaztunk a minták vizsgálatára.

Anyag

A laboratóriumi kísérleti periódus bemutatása

Laboratóriumi munkánk során két giliszta állomány (érdi [G1], gyöngyöstarjáni [G2], összehasonlítását végeztük el két eltérő környezeti feltétel mellett. Az egyik a laboratóriumon belüli (zárt), valamint egy külső, az aktuális meteorológiai viszonyoknak kitett (nyílt) környezetben. A legfontosabb meteorológia adatok is mérésre kerülnek. A két helyszínen összesen 18 ládában folyt a kísérlet. A kísérleti periódus 15 hetes volt. A kísérleti munka 15 héten át folyamatosan tartott, majd az azt követő 5 héten át magára hagytuk az állományokat, semmiféle külső beavatkozás nem érte őket, mintavételezés, szerves anyag utánpótlás sem

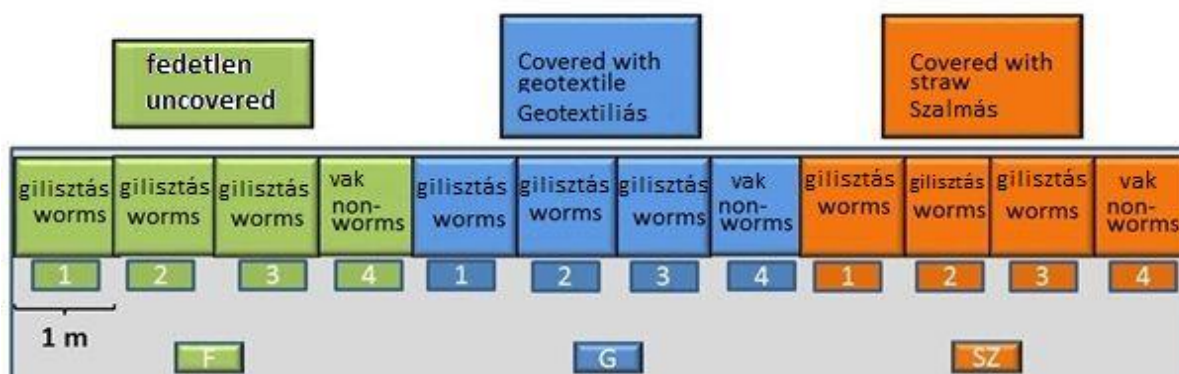
történt. Az 5. hét után, amely a teljes kísérleti periódus 20. hete, mintát vettünk minden kísérleti ládából és a mintákat a korábbiaknak megfelelően vizsgáltuk.

A félüzemi kísérleti periódus bemutatása

A félüzemi szintű vermikomposztálási technológiai kísérleteinket a Sósikúti telephelyen (Szigépszerek Kft.) kialakított területeken végeztük zárt (fólia sátor alatt), illetve nyitott körülmények között, így vizsgáltuk az eltérő környezeti feltételek hatását (hőmérséklet, csapadék intenzitás, a komposzthalom nedvessége) a vermikomposztálás félüzemi technológiájára. A kísérletek 3 hónapig tartottak, összesen 21 komposzt-prizmát vizsgálva. Mind a nyitott, mind pedig a zárt környezetben 2-2 db, gilisztát nem tartalmazó (vak) komposztprizmát, valamint a nyitott környezetben 8 db, a zárt környezetben pedig 9 db, gilisztát tartalmazó komposzthalmot alakítottunk ki. A kísérleti periódus alatt nem használtunk fel egyéb szerves anyagot tartalmazó kevert iszapot vagy növényi hulladékot.

Az üzemi kísérleti periódus bemutatása

Az üzemi szintű vermikomposztálási technológiai kísérleteinket továbbra is a sósikúti telephelyen kialakított területeken végeztük nyitott körülmények között, de három eltérő technológiai kialakítás mellett. Az első technológiai kivitelezés során nem takartuk le a kommunális szennyvíziszap-komposzthalmokat, ezek mindvégig fedetlenek voltak. A második technológiai kialakítás során minden halmot geotextíliával fedtünk le, míg a harmadik technológiai kialakítás során szalmával fedtük le a komposztprizmákat. Minden technológiai kialakítás során három-három gilisztát tartalmazó komposzthalmot és egy, gilisztát nem tartalmazó (vak) komposztprizmát alakítottunk ki. A kísérleteket ebben az esetben is 3 hónapig végeztük, összesen 12 komposzt-prizmát vizsgálva. A kísérleti kiosztást az 1. ábra mutatja be.



1. ábra: Az üzemi szintű technológiai elrendezés vázlata / Figure 1. Schematic of the industrial-level technological design

A felhasznált kommunális szennyvíziszap és giliszta állomány bemutatása

A szennyvíziszap előzetes, hivatalos vizsgálatok alapján minden esetben 15-20%-os száraz anyag tartalmú érdi kommunális szennyvíziszap volt. Száraz anyag tartalmának kb. 50 %-a a szerves anyag 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 giliszta az *Eisenia foetida*, ami a *Eisenia* nembe, a Lumbricidae családba, Haplotaxida rendbe, Nyergesképzők osztályába, Gyűrűsférgék törzsébe tartozik. A faj, mint bizonyos körülményekhez jól alkalmazkodott specialista, trágya-, illetve komposztlakóként a bomlásban lévő szerves anyagok további feltárásában vesz részt, miközben biztosítja saját szervezete tápanyag- és energia ellátását.

Módszer

A kísérleti munkánk során a komposztmintákból a következő paramétereket vizsgáltuk: a kémhatás [pH (H₂O)], a szárazanyag tartalom, a szerves anyag tartalom, a fajlagos elektromos vezetőképesség (*EC*), amely értékéből a komposztkivonat összes sótartalma kiszámítható. Továbbá meghatároztuk a foszfor tartalmat (P₂O₅), a kálium tartalmat (K₂O), a humuszmennyiségét (H%) és a Hargitai-féle humuszminőségét, valamint a bakteriális sejtek össze aktivitását jellemző dehidrogenáz enzimaktivitás. Naponta ellenőrizzük a ládák, illetve a prizmák hőmérsékletét és az oxidációs-redukciós folyamatokat jellemző redoxipotenciál értékeket is. Terjedelmi okok miatt cikkünkben a potenciális mezőgazdasági felhasználás miatt csak a legfontosabb kémiai paramétereket (összes só-, kálium-, foszfor és humusztartalom) ismertetjük részletesebben. A vizsgálandó paraméterek körének kialakításakor és a mintázás körülményeinek megállapításakor figyelembe vettük a 40/2008. kormányrendeletet, a 36/2006. FVM rendeletet.

Mind a három technológiai szintű kísérleti periódusunkban a kísérletsorozat kezdetén minden komposzthalomból (vagy ládából) átlagmintát vettünk, amelyek laboratóriumi fizikai és kémiai vizsgálatait elvégeztük. A következő mintavételezés a kísérlet sorozat közepén (középső állapot), majd az utolsó mintavételezésre a kísérlet zárásakor került sor (végső állapot). A laboratóriumi kísérletsorozatban minden héten vettünk mintát. Minden kísérleti periódus kezdetén és végén mintát vettünk a gilisztákból is, hogy vizsgálhassuk a giliszták általi potenciális toxikus fém akkumulációját. A kísérleti periódusainkból származó giliszták, a kiindulási iszapminták és a komposztálási folyamatok lejátszódása utáni, elkészült iszapkomposzt minták elemanalitikai vizsgálatára (vas, ólom, kobalt, nikkel, cink, mangán, króm, bór, molibdén, magnézium, illetve nátrium, kálium, kalcium, bárium, lítium) került sor. Az iszapmintákat, a komposztmintákat és az előkészített giliszta mintákat megfelelő előkészítés után salétromsavas – hidrogén-peroxidos feltárást követően vizsgáltuk AURORA AI1200 (AURORA Instruments Ltd.) atomabszorpciós spektrométerrel (2. ábra), valamint FP910 (PG Instruments) lángfotométerrel (3. ábra).



2. ábra: AURORA AI1200 atomabszorpciós spektrométer / Figure 2. AURORA AI1200 atomic absorption spectrometer

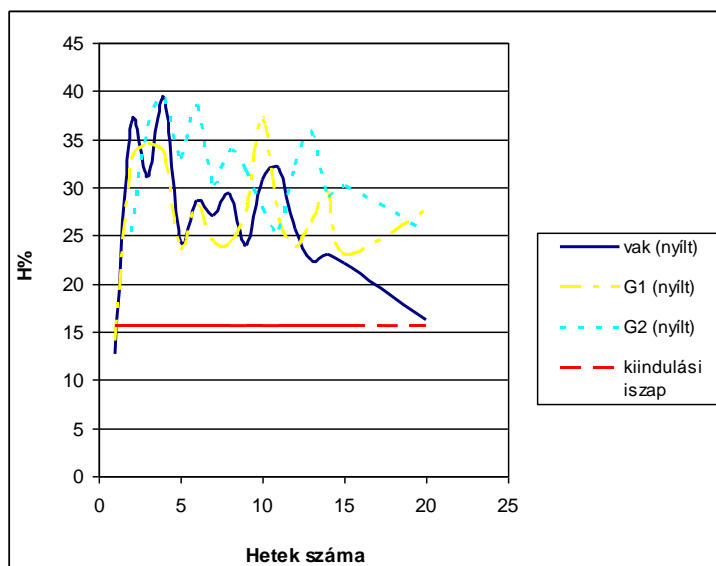


3. ábra: FP910 (PG Instruments) lángfotométer / Figure 3. FP910 (PG Instruments) flame photometer

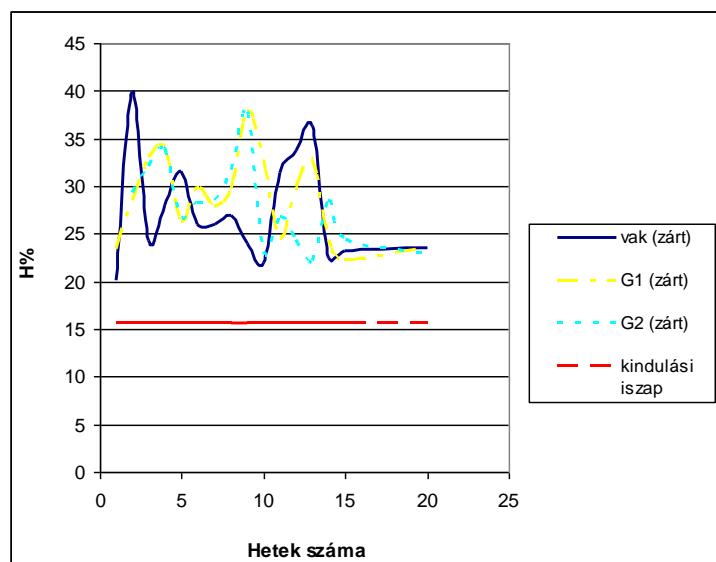
Eredmények

A vizsgálati eredményeink alapján megállapítható, hogy a vermikomposztálás folyamata minden kísérleti periódusban megfelelően zajlott, ezt támasztják alá a fizikai, a kémiai paraméterek változásai és ezt erősítették meg az enzimaktivitás vizsgálataink eredményei is. A vermikomposztálás során a baktériumok és a giliszták megfelelő együttélésével értékes talajutánpótló anyag állítható elő. Terjedelmi korlátok miatt a mezőgazdasági termelés szempontjából meghatározó jelentőségű kémiai paraméterek változásait, valamint az elemanalitikai vizsgálatok eredményeit a kísérleti technológiai szinteknek megfelelően részletesebben ismertetjük.

A laboratóriumi kísérleti periódusunkban a humusz mennyiségét és minőségét jellemező értékek a kezdeti visszaesés ellenére átlagosan mindkét környezeti feltétel mellett és mindkét gilisztatorzs esetében növekedést mutattak (4. és az 5. ábra). A két, szennyvíziszapra előzetesen adaptált gilisztatorzs között számottevő különbséget nem tapasztaltunk. Mindkét törzs egyedei adaptálódtak az új környezeti feltételekhez, szemmel láthatólag is 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 csökkenést 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. Kiemelendő továbbá a káliumtartalom jelentős növekedése és az összes sótartalom csökkenése, amely a későbbi mezőgazdasági felhasználás szempontjából kedvező változás.



4. ábra: A humusmennyiség (H%) változása a nyílt környezetben / Figure 4.
Changes in the concentration of humus (H%) in the open environment



5. ábra: A humusmennyiség (H%) változása a zárt környezetben / Figure 5.
Changes in the concentration of humus (H%) in the closed environment

A 4. és az 5. ábráról megállapítható, hogy a kiindulási iszap humusmennyiségéhez képest mindkét környezeti feltétel mellett és gilisztállomány esetében növekedést tapasztalunk. A humusmennyiség 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, ezt a kísérleti periódus 14-15. hetétől tapasztaltuk, főként a nyílt környezetben lévő minták esetében. A helyszíni szemrevételezések alapján a nyílt környezetben lévő G2 állomány ritkulását is ezzel magyarázhatjuk. A 20. héten mért humusz eredmények egyértelműen az elfogyott kiindulási szerves anyag hiányával magyarázhatóak.

A főlüzemi kísérletsorozatban a legfontosabb paraméterek változásait az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az összes sótartalom esetében a nyitott környezetben vermikomposztált iszap mintáknál tapasztaltunk nagyobb csökkenést. A foszfor tartalom esetében növekedést tapasztaltunk. A növekedés mértéke a zárt környezet esetében nagyobb, a kezdeti 1573 ± 234 mg/kg értékről 2859 ± 197 mg/kg értékre nőtt, ez 182%-ra történő növekedést jelent. A nyitott környezetben a változás kisebb mértékű, a növekedés 118%-os. A kálium tartalom esetében is növekedést tapasztaltunk. A nagyobb növekedést a zárt környezet esetében figyelhettük meg, a kezdeti 2173 ± 546 mg/kg értékről 4079 ± 822 mg/kg értékre nőtt, ez 188%-ra történő növekedést jelent. A nyitott környezetben a változás kisebb mértékű, a növekedés csupán 149%-os. Mindkét környezeti feltétel mellett kismértékben növekedett a humusztartalom, amely a későbbi mezőgazdasági hasznosítás miatt kedvező változás. A nagyobb növekedést a nyitott környezetben tapasztaltuk.

Az üzemi szintű kísérleti periódusban is mind a három technológiai változat esetében a komposztálás megfelelően zajlott. A gilisztát nem tartalmazó, vak mintákhoz képest összességében eredményesebb volt a gilisztákkal történő vermikomposztálás technológiája. A sótartalom csökkent a komposztálás hatására, amely a későbbi mezőgazdasági felhasználás szempontjából továbbra is kedvező. A sótartalom csökkenés a szalmával fedett technológia esetében volt a legnagyobb mértékű. A foszfortartalom jelentősen, egy nagyságrendet növekedett a kísérleti periódus alatt. Ez összhangban áll a főlüzemi kísérleti tapasztalatainkkal. A növekedés a fedetlen technológia esetébe volt nagyobb, de azt közvetlenül követte a szalmával fedett technológia. A kálium tartalom növekedését tapasztaltuk a kiindulási iszaphoz képest, ezen növekedés összhangban áll a laboratóriumi és főlüzemi kísérleti eredményeinkkel. A legnagyobb növekedést a szalmával fedett technológia kialakításnál tapasztaltunk. A humusztartalom növekedett mindhárom technológiai kialakítás mellett.

1. táblázat: A legfontosabb kémiai paraméterek változása a főlüzemi kísérleti periódus alatt / Table 1. Changes in the most important chemical parameters during the pilot-scale experimental period

		Zárt környezet (Closed environment) n=27		Nyitott környezet (Open environment) n=24	
		Átlag (Average)	Szórás (SD)	Átlag (Average)	Szórás (SD)
Összes sótartalom (Total salt concentration) (mg/kg)	kiind. áll. (starting state)	14706	1772	16645	3231
	középső áll. (middle state)	14025	1389	10327	1075
	végső áll. (final state)	11784	2389	6895	558
P ₂ O ₅ (mg/kg)	kiind. áll. (starting state)	1573	234	2799	102
	középső áll. (middle state)	2789	222	3153	676
	végső áll. (final state)	2859	197	3289	588
K ₂ O (mg/kg)	kiind. áll. (starting state)	2173	546	2309	662
	középső áll. (middle state)	3993	834	2763	540

	végső áll. (final state)	4079	822	3437	444
H (%)	kiind. áll. (starting state)	27,66	6,18	29,37	4,50
	középső áll. (middle state)	27,35	4,91	30,35	5,14
	végső áll. (final state)	27,72	4,39	31,36	4,96

Az üzemi kísérleti periódus eredményei alapján megállapítható volt, hogy szalmával fedett technológia alkalmazása volt a legeredményesebb, ennek alátámasztására a 2. táblázatban a sótartalom változását, míg a 3. táblázatban a kálium-tartalom változását mutatjuk be.

2. táblázat: A sótartalom változása az üzemi kísérleti periódusban / Table 2.

Changes in the salt concentration during the industrial scale experimental period

Só tartalom (Salt content) (mg/kg)	Fedetlen (Uncovered) n=9		Geotextiliával fedett (Covered with geotextile) n=9		Szalmával fedett (Covered with straw) n=9	
	Átlag (Average)	Szórás (SD)	Átlag (Average)	Szórás (SD)	Átlag (Average)	Szórás (SD)
Kezdő áll. (Starting state)	14233	1650	15417	104	16733	333
Középső áll. (Middle state)	18150	1150	17017	1115	16633	3177
Végső áll. (Final state)	14917	1422	14667	765	11728	2811
Változás (Change) (%):	4,80		-4,86		-29,91	

3. táblázat: A káliumtartalom változása az üzemi kísérleti periódusban / Table 3.

Changes in the potassium concentration during the industrial scale experimental period

K ₂ O tartalom (Potassium content) (mg/kg)	Fedetlen (Uncovered) n=9		Geotextiliával fedett (Covered with geotextile) n=9		Szalmával fedett (Covered with straw) n=9	
	Átlag (Average)	Szórás (SD)	Átlag (Average)	Szórás (SD)	Átlag (Average)	Szórás (SD)
Kezdő áll. (Starting state)	1888	436	1312	266	1195	69
Középső áll. (Middle state)	1312	67	1118	65	1120	67
Végső áll. (Final state)	1466	66	1351	66	1312	66
Változás (Change) (%):	-22,39		2,91		9,82	

A félüzemi kísérletsorozatban nyitott és zárt környezeti feltételek mellett is fém akkumulációt tapasztaltunk, amelyeket a 4. és 5. táblázatban ismertetünk. A legnagyobb giliszták általi akkumulációt a réz esetében tapasztaltuk. Jelentős továbbá a vas és a magnézium elemek akkumulációja is. Legkisebb mértékben az ólom akkumulációja volt kimutatható.

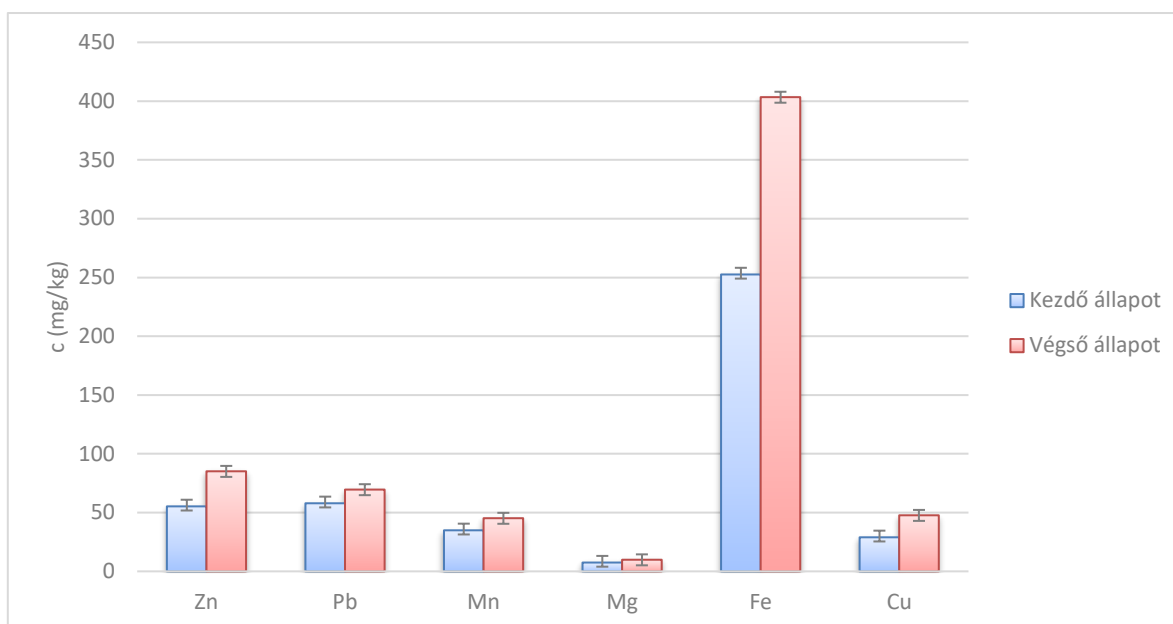
4. táblázat: A fém koncentrációk változása nyitott környezetben lévő félüzemi kísérletsorozatban / Table 4. Changes in metal concentrations during the pilot-scale experimental period in open environment

mg/kg	Kezdő állapot (Starting state) n=24		Végso állapot (Final state) n=24		Változás (Change)
	Átlag (Average)	Szórás (SD)	Átlag (Average)	Szórás (SD)	%
Zn	55,28	4,58	79,12	3,52	43,13
Pb	61,91	4,68	69,76	8,75	12,68
Mn	36,91	2,47	46,21	5,66	25,18
Mg	8,41	0,51	11,88	0,70	41,31
Fe	296,53	47,66	469,74	79,87	58,41
Cu	27,01	1,29	49,69	1,45	83,99

5. táblázat: A fém koncentrációk változása zárt környezetben lévő félüzemi kísérletsorozatban / Table 4. Changes in metal concentrations during the pilot-scale experimental period in closed environment

mg/kg	Kezdő állapot (Starting state) n=27		Végso állapot (Final state) n=27		Változás (Change)
	Átlag (Average)	Szórás (SD)	Átlag (Average)	Szórás (SD)	%
Zn	53,28	4,77	63,18	3,17	18,58
Pb	56,99	4,75	63,26	7,85	10,99
Mn	33,14	2,07	41,10	4,62	24,03
Mg	6,64	0,67	10,38	0,98	56,37
Fe	286,69	42,56	439,70	51,87	53,37
Cu	31,01	1,86	52,69	1,19	69,93

Az üzemi körülmények között végzett kísérleteink közül a szalmával fedett komposztálási körülmények közötti eredményeket ismertetjük a 6. ábrán. A diagrammról jól látható, hogy hasonlóan a laboratóriumi és félüzemi kísérlet sorozat eredményeihez a legnagyobb mértékű akkumulációt a réz esetében tapasztaltuk (átlagos 28,96±1,29 mg/kg-ról 47,69±1,45 mg/kg-ra, amely 64,66%-os növekedést jelent). A második legnagyobb növekedést (59,72%) a vas estében mértük (átlagos 252,55±47,66 mg/kg-ról 403,39±79,87 mg/kg-ra).



6. ábra: A giliszták általi fém akkumuláció a szalmával fedett üzemi kísérlet sorozatból származó minták esetében / Figure 6. Metal accumulation by earthworms in the case of samples from the straw-covered industrial scale experiment period (n=9)

Következtetések

Mind a három technológiai szinten megfelelően zajlott a kommunális szennyvíziszap giliszták általi vermikomposztálása. A giliszták és a baktériumok közötti együttműködés hatékonyabb szerves anyag átalakítást eredményezett, ezt támasztják alá a nagyobb humusz mennyiségi és minőségi adatok, valamint a tápelemek mennyiségének változásai. Vizsgálataink alapján megállapítható volt, hogy a giliszták akkumulálták a vizsgált nehézfémeket, jelentősen a rezet és a vasat. Nyitott környezetben akkumuláció mértéke nagyobb volt.

Köszönetnyilvánítás / Acknowledgement

Kutatómunkánk **PIAC13-1-2013-0143 projekt (Szigépszerc Kft.)** azonosítójú projekt támogatta.

Hivatkozott források

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 (1), S65–S69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.06.004>

ATIYEH, R.M. – SUBLER, S. – EDWARDS, C.A. – BACHMAN, G. – METZGER, J.D. – SHUSTER, W. (2000): Effect of vermicompost on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*, 44 (5), 579–590. DOI: [https://doi.org/10.1078/S0031-4056\(04\)70073-6](https://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70073-6)

- BÁDONYI, K. – HEGYI, G. – BENKE, SZ. – MADARÁSZ, B. – KERTÉSZ, Á. (2008): Talajművelési módok agroökológiai összehasonlító vizsgálata. *Tájökológiai Lapok*, 6 (1–2), 145–163.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904169409364717>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2001.10702015>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00634103>
- GRAPPELLI, A. – TOMATI, U. – GALLI, E. – VERGARI, B. (1985): Earthworm casting in plant propagation. *HortScience*, 20 (5), 874–876. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.20.5.874>
- HAIT, S. – TARE, V. (2011a): Vermistabilization of primary sewage sludge. *Bioresour. Technol.*, 102 (3), 2812–2820. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.031>
- HAIT, S. – TARE, V. (2011b): Optimizing vermistabilization of waste activated sludge using vermicompost as bulking material. *Waste Manage.*, 31 (3), 502–511. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.11.004>
- 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. *Bioresour. Technol.*, 102 (10), 6344–6347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.02.096>
- KASZA GY. – BÓDI B. – SÁRKÖZI E. – MÁZSA Á. – KARDOS L. (2015): Vermicomposting of sewage sludge – Experiences of a laboratory study. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 5 (1), 1–10. DOI: <https://doi.org/10.17706/ijbbb.2015.5.1.1-10>
- KOCSIS T. – KOTROCZÓ ZS. – KARDOS L. – BIRÓ B. (2020): Optimization of increasing biochar doses with soil–plant–microbial functioning and nutrient uptake of maize. *Environmental Technology & Innovation*, 20: 101191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101191>
- KOTROCZÓ ZS. – FEKETE I. (2020): Significance of soil respiration from biological activity in the degradation processes of different types of organic matter. *DRC Sustainable Future: Journal of Environment, Agriculture, and Energy*, 1 (2), 171–179. DOI: <https://doi.org/10.37281/DRCSF/1.2.10>
- KOTROCZÓ ZS. – JUHOS K. – BIRÓ B. – KOCSIS T. – PABAR S.A. – VARGA CS. – FEKETE I. (2020): Effect of Detritus Manipulation on Different Organic Matter Decompositions in Temperate Deciduous Forest Soils. *Forests*, 11 (6), 675. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11060675>
- KOTROCZÓ, Z. – KOCSIS, T. – JUHOS, K. – HALÁSZ, J. – FEKETE, I. (2022): How Does Long-Term Organic Matter Treatment Affect the Biological Activity of a Centre European Forest Soil? *Agronomy*, 12 (10), 2301. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102301>

- LIU, X. – HU, C. – ZHANG, S. (2005): Effects of earthworm activity on fertility and heavy metal bioavailability in sewage sludge. *Environment International*, 31 (6), 874–879. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.05.033>
- LOEHR, R.C. – NEUHAUSER, E.F. – MALECKI, M.R. (1985): Factors affecting the vermistabilization process. *Water Res.*, 19(10), 1311–1317. DOI: [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(85\)90187-3](https://doi.org/10.1016/0043-1354(85)90187-3)
- MADARÁSZ B. – JAKAB G. – SZALAI Z. – JUHOS K. – KOTROCZÓ ZS. – TÓTH A. – LADÁNYI M. (2021): Long-term effects of conservation tillage on soil erosion in Central Europe: A random forest-based approach. *Soil & Tillage Research*, 209, 104959, 13p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104959>
- 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 (13), 1498–1502. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.06.012>
- NDEGWA, P.M. – THOMPSON, S.A. (2001): Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresour. Technol.*, 76 (2), 107–112. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00104-8)
- SHAHMANSOURI, M.R. – POURMOGHADAS, H. – PARVARESH, A.R. – ALIDADI, H. (2005): Heavy Metals Bioaccumulation by Iranian and Australian Earthworms (*Eisenia fetida*) in the Sewage Sludge Vermicomposting, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2 (1), 28–32.
- TICHY, V. – PHUONG, H.K. (1975): On the character of biological effect of humic acids. *Humus Planta*, 6, 379–382.
- TOMATI, U. – GRAPPELLI, A. – GALLI, E. (1988): The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biol. Fertil. Soils*, 5, 288–294. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00262133>
- VISVANATHAN C. – TRANKLER J. – JOSPEH K. – NAGENDRAN R. (eds.) (2005): Vermicomposting as an Eco-Tool in Sustainable Solid Waste Management. *Asian Institute of Technology*, Annamalai University, Chidambaram. 25–45.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.11.036>
- YADAV, K.D. – TARE, V. – AHAMMAD, M.M. (2010): Vermicomposting of source-separated human faeces for nutrient recycling. *Waste Management*, 30, 50–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.034>

Szerzők

Dr. KARDOS Levente PhD

levelező szerző

egyetemi docens, tanszékvezető

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Agrárkörnyezettani Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

kardos.levente@uni-mate.hu

ERŐSS Attila

PhD hallgató

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Agrárkörnyezettani
Tanszék 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

borealis1@gmail.com

NAGY-MEZEI Csenge

PhD hallgató, technológus mérnök

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Agrárkörnyezettani
Tanszék 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. 1087 Budapest, Asztalos Sándor út. 4.

pribelszkycs@fcsm.hu

BEZSENYI Anikó

PhD hallgató, biológus-mérnök

Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest

Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. 1087 Budapest, Asztalos Sándor út. 4.

bezsényia@fcsm.hu

Haimei CHEN

PhD hallgató

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti
Intézet, Dísznövény és Dendrológiai Tanszék 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

ellenchm@yahoo.com

Lara Rúbia BORGES Silva

PhD hallgató

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet, Agrárkörnyezettani
Tanszék 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

borgesrubialara@gmail.com

