

A MŰTRÁGYÁK SZERVES TRÁGYÁVAL TÖRTÉNŐ HELYETTESÍTHETŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA KÖRNYEZETVÉDELMI ASPEKTUSBÓL AZ ELŐÁLLÍTÁSUK ALAPJÁN

Kiss Nikolett Éva^{1} – Tamás János¹ – Nagy Attila¹*

*¹Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és
Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet*

**Corresponding author, kiss.nikolett@agr.unideb.hu*

Abstract

The aim of this research was to measure and evaluate the environmental impacts during the production of composted and pelletized poultry litter (CPPL) compared to the environmental impacts during the production of different chemical fertilizers. As a result of the comparison, it can be decided whether CPPL is a suitable alternative to fertilizers. The environmental impacts were measured and assessed using a life cycle assessment methodology in accordance with the ISO14040:2006 series of standards. Four impact categories were included in the assessment, these were Acidification Potential (AP), Eutrophication Potential (EP), Global Warming Potential (GWP) and Human Toxicity Potential (HTP).

The results showed that although the acidification potential and eutrophication potential were higher for CPPL production due to gas emission during composting of organic material (in this

case chicken manure), the global warming potential and human toxicity potential were similar or lower compared to chemical fertilizers.

The preference for organic fertilizers over chemical fertilizers is even more important today than before, partly because efforts to reduce chemical fertilizer use are in line with the objectives of the European Green Deal, and partly because of current events, fertiliser shortages and rising fertiliser prices. Organic fertilizers can therefore be a suitable alternative to chemical fertilizers, both from an environmental and an economic point of view.

Keywords: life cycle assessment, environmental impacts, composted and pelletized poultry litter (CPPL), chemical fertilizers

Összefoglalás

Jelen kutatás során a komposztált és pelletált baromfi alom (composted and pelletized poultry litter, CPPL) előállításánál fellépő környezeti hatások mérése és értékelése volt a cél, összehasonlítva a különböző műtrágyák gyártása során fellépő környezeti hatásokkal. Az összehasonlítás eredményeként eldönthetjük, hogy a CPPL alkalmas alternatíva-e a műtrágyák helyettesítésére. A környezeti hatások mérése és értékelése életciklus-értékelés módszertanával történt, az ISO14040:2006 szabványsorozatnak megfelelően. Négy hatáskategória lett az értékelésbe vonva, ezek voltak a savasodási potenciál (AP), eutrofizációs potenciál (EP), globális felmelegedési potenciál (GWP) és humán toxicitási potenciál (HTP).

Az eredmények alapján elmondható, hogy bár a szerves anyag komposztálása során fellépő gázemisszióknak köszönhetően a savasodási potenciál és az eutrofizációs potenciál magasabb volt a CPPL gyártásánál, viszont a globális felmelegedési potenciál és humán toxicitási potenciál esetében hasonló vagy alacsonyabb értékek voltak tapasztalhatók összehasonlítva a műtrágyákkal.

A szerves trágyák előnyben részesítése a műtrágyákkal szemben napjainkban megfontolandó, részben azért, mert a műtrágya-használat csökkentésére irányuló törekvések összhangban állnak az Európai Zöld Megállapodás és a Zöldítés célkitűzéseivel, részben pedig a napjainkban zajló események, a műtrágya-hiány és a műtrágya árának drágulása miatt. Tehát a szerves trágyák mind környezetvédelmi, mind gazdasági szempontból alkalmas alternatívák lehetnek a műtrágyák helyettesítésére.

Kulcsszavak: élelciklus-értékelés, környezeti hatás, komposztált és pelletált baromfi alom (CPPL), műtrágyák

Bevezetés

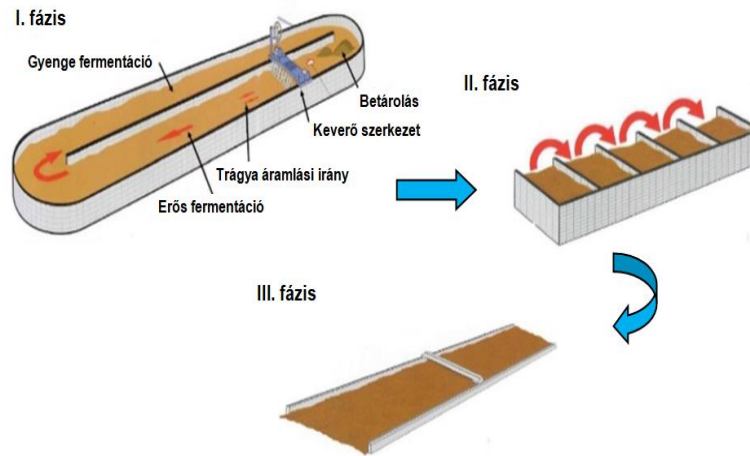
Az állattartásban keletkező, de az állattartási technológiák számára hasznosíthatatlan produktumok, mint a trágya, és más szerves anyagok (például komposzt, hús-, csont- és tollliszt, stb.), jelentős szerepet játszhatnak a talajerőforrás-utánpótlásban, sőt potenciális alternatívát jelenthetnek a műtrágyák helyettesítésére (Mézes et al., 2015; He et al., 2016, 2020; Gorliczay et al., 2021), ezáltal a tenyésztett állatállományoknak a talajerő utánpótlásban igen fontos szerepe lehet (Moyo és Swanepoel, 2010; Magnusson, 2016). Az utóbbi években az olyan gyorsan növekvő állattenyésztési ágazatoknak köszönhetően, mint a brojleritenyésztés (Chia et al., 2019; Nalunga et al., 2021), a megnövekedett mennyiségű trágya ártalmatlanításának és hasznosításának kérdése egyre fontosabbá válik, környezetvédelmi és fenntarthatósági szempontból egyaránt (Enahoro et al., 2018; Janković et al., 2020; Kasule et al., 2014).

A környezet, valamint a természeti erőforrások védelme, megőrzése érdekében vezette be a közös agrárpolitika (KAP) 2015-ben a zöldítést, amely a környezet szempontjából előnyös, a környezetet kevésbé terhelő mezőgazdasági gyakorlatokat takar (NAK, 2017; 2018). Szintén a környezetvédelmi problémák átfogó kezelésére vezette be az Európai Unió az Európai zöld

megállapodást (European Green Deal), azzal a fő céllal, hogy Európa 2050-re klímasemlegessé és fenntarthatóvá váljon (Internet1). A megállapodásnak a mezőgazdaságot érintő célkitűzései közül igen fontosak azok a törekvései, melyek a műtrágya használat csökkentését és a szerves trágya alkalmazásának előnyben részesítését célozzák, mert bár a műtrágyák gyorsan, nagy mennyiségben és könnyen hozzáférhető formában biztosítják a tápanyagot a növényzet számára (Scholl és Nieuwenhuis, 2004; Chen et al., 2007; Han et al., 2016), használatuk több negatív hatással is járhat környezetvédelmi aspektusból. A túlzott műtrágyázás például felgyorsítja a talaj szervesanyag-készletének bomlását, a talajszerkezet romlásához vezetve ezáltal, továbbá szennyezheti a víztesteket is, kimosodást és savasodást okozva (Bíró et al., 1998; Adediran et al., 2004; Alimi et al., 2007; Sayci, 2012).

A trágya hasznosításának legismertebb formája az anyagában történő hasznosítás, ami nem egy újkeletű dolog, hisz az állattartásban képződő szerves trágyák növénytermesztésben történő alkalmazása tápanyag-utánpótlóként már régóta ismert. Hazánkban is az 1900-as évek első harmadáig kizárólag szerves trágyával pótolták vissza a növények által elvont tápanyagokat, az intenzív gazdálkodás miatt viszont – a nagyobb hatóanyag-tartalmú műtrágyák megjelenésével – alkalmazása háttérbe szorult. Fontos viszont, hogy a szerves trágyát a kijuttatás előtt megfelelően kezeljük, ártalmatlanítsuk, a kezeletlen trágya ugyanis igen veszélyes, számos olyan mikroorganizmust tartalmaz, mely veszélyt jelenthet állatra és emberre egyaránt, sőt élelmiszerszennyezéseket és járványokat is okozhatnak. Világszerte számos élelmiszer eredetű betegség kapcsolódik közvetlenül, vagy közvetve a trágyához (García et al., 2010; Heredia és García, 2018). A trágya kezelésének egy lehetséges módszere az aerob körülmények között végbemenő komposztálás, ami a szervesanyag-tartalmú hulladékok, melléktermékek ártalmatlanításának régóta ismert és alkalmazott módszere (Filep, 1999; Modderman, 2020). Kevés szakirodalom említi a baromfitrágya komposztálását, ugyanis a baromfi ürüléke

rostokban és nitrogénben gazdag, valamint magas a nedvességtartalma, ezek a jellemzők pedig nem kedveznek a komposztálásnak. Georgakakis és Krintas (2000) két japán eredetű rendszert,



1. ábra A Hosoya komposztáló üzem fázisai (Internet2)

az Okada és a Hosoya rendszert nevezik meg az ilyen kedvezőtlenebb tulajdonságú melléktermékek komposztálására. Maga a technológia egy háromfázisú rendszert takar, amely kétfázisú aerob fermentációból és egyfázisú végszárításból tevődik össze (1. ábra).

A folyamat végére 80-85% szárazanyag-tartalmú granulátum lesz a végtermék (Internet3; Csiba és Fenyvesi, 2012; Szabó, 2016), a továbbiakban CPPL (composted and pelletized poultry litter – komposztált és pelletált baromfitrágya). Az így előállított granulált termékek előnye, hogy a hőkezelés hatására megsemmisülnek a káros ammóniagázok, gyommagvak, s a patogén baktériumok (Gaál, 2011).

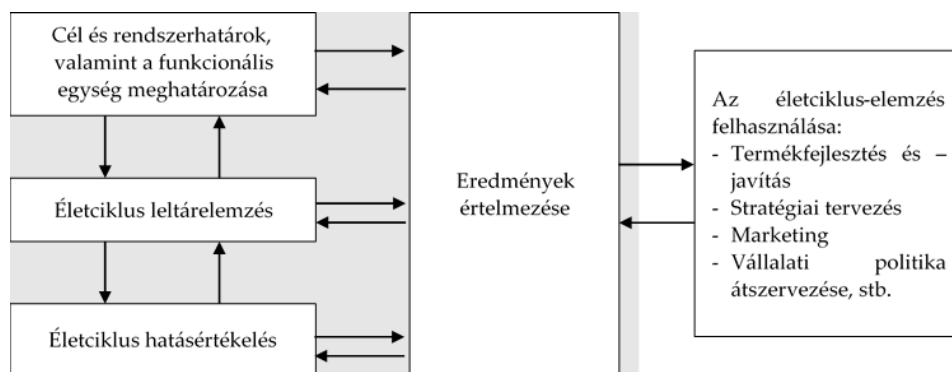
Jelen kutatás egyik célja a Hosoya komposztáló üzem környezeti hatásainak vizsgálata volt, megállapítva, hogy a CPPL megfelelő alternatívája lehet-e a műtrágyáknak a gyártás környezeti hatásait alapul véve. Az összehasonlító elemzéshez az életciklus-értékelés (LCA – life cycle assessment) módszertana volt alkalmazva (ISO14044:2006, „Környezetközpontú irányítás. Életciklus-értékelés” szabvány alapján). Az LCA a főbb környezeti terhelések és a folyamatok során fellépő kritikus pontok feltárásának és nyomonkövetésének módszere. Az elemzés során

a műtrágyák (ammónium-nitrát (AN), kalcium ammónium-nitrát (CAN), karbamid, triple szuperfoszfát (TSP), monoammónium-foszfát (MAP), kálium-klorid (KCl)) és a CPPL előállításának környezeti terhelése volt vizsgálva és értékelve először 1 kg termékre vonatkoztatva, majd olyan mennyiségben, amellyel egy 100 hektáros szántó föld tápanyag-utánpótlását el lehet végezni.

Anyag és módszer

Az életciklus-értelmezés az ISO 14040:2006 szabvány alapján a következő főbb lépésekből áll:

1. Cél és rendszerhatárok meghatározása,
2. Életciklus leltárelemzés,
3. Életciklus hatásértékelés,
4. Eredmények értelmezése.



2. ábra Az életciklus-értékelés lépései (Saját szerkesztés az ISO 14040:2006 szabvány alapján, 2020)

Cél és rendszerhatárok, valamint funkcionális egység meghatározása

Az életciklus-értékelés kezdeti szakasza az elemzés céljának, alkalmazási területének (rendszerhatárok) és a funkcióegységnek meghatározása.

Jelen kutatás célja a CPPL szerepének értékelése a műtrágyák potenciális alternatívájaként, feltárva, értékelve és összehasonlítva a környezeti hatásokat a CPPL Hosoya komposztáló

üzemben történő előállításánál és a különböző műtrágyák gyártásánál. A termékek gyártásának környezeti terhelése két lépcsőben lett meghatározva.

Szcenárió 1: Első lépésként 1 kg termék (1 kg CPPL és 1-1 kg AN, CAN, karbamid, TSP, MAP, KCl) előállításakor fellépő környezeti terhelés meghatározása volt a cél. A funkcionális egység tehát 1 kg termék volt.

Szcenárió 2: A második szcenárió során egy 100 hektár nagyságú szántóföld tápanyag-utánpótlásához szükséges CPPL és műtrágya mennyiség előállítása alatt fellépő környezeti terhelés feltárása volt a cél. Meghatározva ezzel, hogy komplex műtrágyázást feltételezve (tehát N-, P- és K-műtrágyázást is) mekkora környezeti terheléssel jár a termékek előállítása, összehasonlítva az eleve komplex, makro- és mikroelemeket egyaránt tartalmazó CPPL-lel.

Életciklus leltárelemzés

Az életciklus leltárelemzés számszerűsíti az életciklus során fellépő input és output adatokat, ami vonatkozhat a nyersanyagra, s az emissziókra is.

1. táblázat A CPPL gyártásának (Hosoya komposztáló üzem) életciklus leltárelemzése

| Input anyag- és energiaáramok | 1 kg végtermék |
|--|-----------------------|
| Baromfitrágya (hozzáadott szennyvíziszappal és nedves csirketrágyával, baromfitrágyával szennyezett víz) | 1,338 kg |
| Víz | 0,067 l |
| Elektromosság | 0,45 MJ |
| Üzemanyag | 0,087 MJ |
| Output anyag- és energiaáramok | |
| CPPL | 1 kg |
| Levegőbe történő emisszió: | |
| Ammónia (NH ₄) | 0,0012 kg |
| Dinitrogén-oxid (N ₂ O) | 0,00006 kg |
| Metán (CH ₄) | 0,0001 kg |

Az életciklus leltárelemzéshez szükséges input adatok egy részét (trágya és szennyvíziszap, víz, üzemanyag) a komposztáló üzem biztosította, illetve a saját számítások (elektromosság, emissziók) alapján lettek meghatározva az adatok (1. táblázat).

A műtrágyák környezeti terhelésének értékeléséhez szükséges anyag- és energiaáramokat az OpenLCA szoftver, azon belül az Agribalyse adatbázis biztosította. (Az alkalmazott szoftver és az adatbázis a következő, Életciklus hatásértékelés alfejezetben lesz részletezve.)

Életciklus hatásértékelés

Az életciklus hatásértékelés (Life cycle impact assessment, LCIA) szakaszában a leltárelemzés során összegyűjtött adatok feldolgozása és értékelése történik.

Gyakorlatban az életciklus-értékelések elvégzéséhez szoftvereket alkalmaznak. Jelen elemzésekhez az OpenLCA szoftver lett kiválasztva, ami teljeskörűen biztosítja az elemzések összes szintjéhez szükséges anyag- és energiaáramokat. A szoftvert 2006-ban hozta létre egy német szoftverfejlesztő cég, a Greendelta, azzal a szándékkal, hogy egy megbízható és nagy teljesítményű szoftvert álljon a rendelkezésre az életciklus-értékeléshez. A szoftver ingyenesen letölthető és szabadon felhasználható. Az OpenLCA fejlesztői folyamatosan gondoskodnak a szoftver fejlesztéséről, amely rugalmas modellezést tesz lehetővé az egyszerű modellek számára (Internet4).

Az elemzések az ingyenesen is letölthető, francia Agribalyse adatbázisban lettek elvégezve, mely nagyszámú adatot tartalmaz az összes szükséges elemzéshez (Colomb et al., 2015; Koch és Salou, 2020; Asselin-Balençon et al., 2020).

Jelen tanulmányban a CML IA baseline hatásvizsgálati módszer volt alkalmazva, mely nemzetközileg elfogadott és igen széles körben használt módszer. A módszer összhangban van a nemzetközi szabványosítási törekvésekkel, mivel magába foglalja a célmeghatározást (cél és hatásterület), az életciklus-leltárt (leltárelemzés), a hatáselemzést (hatásvizsgálat) és az értékelést (az eredmények értelmezése) (Gabathuler, 2006). A CML IA baseline hatásértékelő módszer az életciklus-értelmezés 11 leggyakrabban alkalmazott hatáskategóriája alapján értékeli a vizsgált folyamatokat, termékeket (Guinée et al., 2002; Geier et al., 2015).

1. Savasodási potenciál – Acidification potential (AP). Mértékegysége: kg SO₂-egyenérték. A savasodásért főképp a kén-dioxid (SO₂) és a különböző nitrogén-oxidok (NO_x) a felelősek. Előbbi főleg a hagyományos erőművekből, míg utóbbi nagyrészt a gépjárművekből származik. Ezekből a gázokból a légkörben – oxidáció útján kénsav, kénessavak és nitrogénsav keletkezik, amelyek csökkentik a csapadék kémhatását (Guinée et al., 2002).
2. Eutrofizációs potenciál – Eutrophication potential (EP). Mértékegysége: kg PO₄-egyenérték. Az eutrofizáció számos tengeri és édesvízi ökoszisztéma károsodásának egyik fő oka. Az algák és növények túlzott növekedése jellemzi, ami egy vagy több korlátozó növekedési tényező megnövekedett elérhetőségének köszönhető (pl. a túltrágyázás vagy a túlzott tápanyagellátás, a két legfontosabb tápanyagra, a nitrogénre (N) és a foszforra (P) összpontosítva) (Guinée et al., 2002).
3. Globális felmelegedési potenciál – Global warming potential (GWP). Mértékegysége: kg CO₂-egyenérték. A leggyakoribb üvegházhatású gázok közé tartozik a szén-dioxid (CO₂), a metán (CH₄) és a fluorozott-klórozott szénhidrogének (CFC-k). A globális felmelegedési potenciál (GWP) egy olyan mérőszám, amelyet a különböző gázok légkörre gyakorolt hatásának összehasonlítására fejlesztettek ki. Az index arra ad választ, hogy ha egy adott gázból pl. 1 tonna kerül a légkörbe egy bizonyos időszak alatt (20, 50 vagy 100 év), az mennyire melegíti a légkört 1 tonna szén-dioxid kibocsátásához képest. Ebben az esetben minél nagyobb a GWP, annál negatívabb a környezetre nézve. A GWP-hez általában 100 évet használnak, ahogy jelen tanulmányban is, a CML IA baseline hatásvizsgálati módszer a GWP100-at alkalmazta, de léteznek 20 (GWP20) és 50 (GWP50) évre vonatkozó előrejelzések is (Guinée, 2002; IPCC, 2013).

4. Humán toxicitási potenciál – Human toxicity potential (HTP). Mértékegysége: kg 1,4-DB-egyenérték. A kibocsátott anyagok emberi egészségre gyakorolt, potenciálisan károsító hatását jellemzi. Ezek a vegyi anyagok (pl.: arzén, hidrogén-fluorid, nátrium-dikromát) érintkezés útján, belégzéssel vagy lenyeléssel kerülhetnek az emberi szervezetbe (Rosenbaum et al., 2008).

Életciklus eredmények értékelése

Az életciklus eredmények értékelése során az előző két fázisban kapott eredményeket és megállapításokat értelmezik. Az értelmezés és az eredmények értékelése után fogalmazzák meg a javaslatokat. Az értelmezés fázisnak feladata még, hogy a leltárelemzés eredményeit érthetően és átfogóan mutassa be a tanulmány céljainak megfelelően. Az értelmezés olyan eljárás, mely alkalmas arra, hogy meghatározzák, minősítsék és kiértékeljék az LCA, valamint az LCIA tanulmányokon alapuló következtetéseket (Muralikrishna és Manickam, 2017).

Jelen tanulmányban a CPPL-ből kijuttatandó mennyiség 1,5 t/ha-ban lett megállapítva a terméket előállító cég és Szabó et al. (2019) javaslatára. Továbbá meg lett határozva, hogy a 1,5 t/ha dózisban kijuttatott CPPL hatóanyag-tartalmának megfelelően, hogy mekkora mennyiségben kell kijuttatni az egyes műtrágyákat (2. táblázat). Ez a kijuttatott CPPL mennyiség 82,5 kg/ha N-tartalomnak felel meg, mely összhangban van Kátai et al. (2021) ajánlásával, miszerint 80 kg/ha a minimális N-szükséglet az alacsony, illetve közepes nitrogén-ellátottságú talajok esetében.

2. táblázat NPK műtrágyák 100 hektáronkénti kijuttatandó mennyisége a CPPL hatóanyag-tartalmának függvényében

| Termék | Kijuttatandó mennyiség a CPPL függvényében 100 hektárra (t/100 ha) |
|-------------|--|
| CPPL | 150 |
| AN | 24,6/21,5 * |
| CAN | 30,5/26,7 * |
| Karbamid | 18/15,7 * |
| TSP | 9,6 |
| MAP | 8,6 |
| KCl | 6,25 |

*A N-műtrágyák kijuttatandó mennyisége, amennyiben a P-műtrágya a MAP (Figureyelembevétel a MAP N-tartalmát)

Mivel a CPPL egy komplex hatóanyag-tartalmú termék, mely kombináltan tartalmazza makro- és mikroelemeket egyaránt, ezért a 100 hektárra elegendő műtrágyák előállítás is kombináltan történt a szcenárióban. A különböző műtrágya-kombinációk – a CPPL hatóanyag-tartalmával megegyezően – a következőképp alakultak (3. táblázat):

3. táblázat A N-, P-, K-műtrágyákból létrehozott kombinációk és a 100 hektárra kijuttatandó összmennyiség

| NPK kombináció megnevezése | NPK kombináció összetétele | t/100 ha |
|----------------------------|----------------------------|----------|
| NPK1 | AN + TSP + KCl | 40,45 |
| NPK2 | AN + MAP + KCl | 36,35 |
| NPK3 | CAN + TSP + KCl | 46,15 |
| NPK4 | CAN + MAP + KCl | 41,51 |
| NPK5 | Karbamid + TSP + KCl | 33,85 |
| NPK6 | Karbamid + MAP + KCl | 30,59 |

Az életciklus-értékelés során kapott eredmények végül három kategóriába (alacsony, közepes és magas környezeti hatás) lettek sorolva az egyes hatáskategóriáknál meghatározott maximális és minimális értékek közötti különbség három egyenlő intervallumra való felosztása alapján.

Eredmények és értékelésük

Szenárió 1: A CPPL és műtrágyák előállításának környezeti hatásai

A CPPL és a különböző műtrágyák (ammónium-nitrát (AN), kalcium ammónium-nitrát (CAN), karbamid, triple szuperfoszfát (TSP), monoammónium-foszfát (MAP), kálium-klorid (KCl)) előállításának környezeti hatása először 1 kg végtermékre lettek meghatározva (4. táblázat).

4. táblázat Életciklus-értékelés eredményei 1 kg végtermékre vonatkoztatva

| Hatáskategóriák | CPPL | AN | CAN | Urea | TSP | MAP | KCl |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Savasodási potenciál (kg SO ₂ -egyenérték) | 0,024 | 0,006 | 0,005 | 0,005 | 0,010 | 0,003 | 0,002 |
| Eutrofizációs potenciál (kg PO ₄ - egyenérték) | 0,005 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,004 | 0,002 | 0,001 |
| Globális felmelegedési potenciál (kg CO ₂ - egyenérték) | 0,273 | 1,382 | 1,137 | 1,127 | 0,657 | 0,826 | 0,399 |
| Humán toxicitási potenciál (kg 1,4-DB-egyenérték) | 0,032 | 0,449 | 0,429 | 0,534 | 0,172 | 0,502 | 0,334 |

A hatáskategóriák közül a savasodási (AP) és eutrofizációs potenciál (EP) esetében magasabb volt a károsanyag kibocsátás a CPPL előállításakor.

A savasodási potenciál értéke – a műtrágya típusától függetlenül – 0,002 és 0,01 kg SO₂-egyenérték/kg termék körül alakul. A legalacsonyabb mértékű kibocsátást a KCl műtrágyánál, a legnagyobb mértékű kibocsátást pedig a TSP-nél tapasztaltuk a műtrágyák közül. Előbbinél a legnagyobb hozzájáruló folyamatok a gőztermelés és a nyersanyagok kitermelése, feldolgozása volt (SO₂ miatt), utóbbinál pedig a H₂SO₄ gyártás. A CPPL a KCl-nél 93, a TSP-nél 58%-kal több emissziót produkált (0,024 kg SO₂-egyenérték/kg termék). A CPPL-nél a trágyafeldolgozás miatti NH₃-emisszó okozta a magas savasodási potenciál értéket. Az AN és CAN műtrágyáknál a HNO₃-előállítás (NH₃ és NO_x), a karbamidnál a gőztermelés és a nyersanyagok kitermelése, feldolgozása (SO₂ és NH₃), a MAP-nál pedig az áramfogyasztás és a nyersanyagok kitermelése (SO₂ és NH₃) voltak a savasodási potenciálhoz leginkább hozzájáruló folyamatok.

Hasonlóan alakult a kibocsátás az eutrofizációs potenciált tekintve. Ennél a hatáskategóriánál szintén a KCl műtrágyánál volt a legalacsonyabb kibocsátás (0,0007 kg PO₄-egyenérték/kg KCl) és a TSP-nél a legmagasabb (0,0041 kg PO₄-egyenérték/kg TSP). Mindkettőnél a nyersanyagok kitermelése, feldolgozása volt a kibocsátás fő oka, a foszfát és foszfor vízbe történő emissziója miatt. A CPPL előállításánál az eutrofizációs potenciál 0,0054 kg PO₄-egyenérték volt, mely az előbbi műtrágyánál 88%-kal, utóbbinál 24%-kal volt magasabb érték. Ebben az esetben a trágya feldolgozása során fellépő NH₃- és N₂O-emisszió, valamint az áramfogyasztás voltak a magas környezeti terhelés hozzájárulói. A többi műtrágyánál hasonlóan alakultak a hozzájáruló folyamatok, mint a savasodási potenciálnál. Az AN és CAN műtrágyáknál a HNO₃-előállítás (NH₃ és NO_x), a karbamidnál és a MAP-nál pedig a nyersanyagok kitermelése, feldolgozása (PO₄, NH₃) voltak az EP hozzájáruló folyamatai.

A globális felmelegedési potenciál (GWP) a CPPL-nél volt a legalacsonyabb mértékű (0,27 kg CO₂-egyenérték/kg termék). A kibocsátáshoz az áramfogyasztás (CO₂ és CH₄), a trágya feldolgozása (N₂O és CH₄), az üzemanyagfogyasztás (CO₂) és a keletkezett hulladékok további kezelése (CO₂) járultak hozzá. A műtrágyák közül ismét a KCl előállításánál volt a legalacsonyabb a kibocsátás (0,4 kg CO₂-egyenérték/kg KCl). A legnagyobb mértékű kibocsátás a N-műtrágyáknál, azok közül is leginkább az AN-nál (1,38 kg CO₂-egyenérték/kg AN) fordult elő. Az AN előállítása során ötször annyi károsanyag kibocsátás történt az eredmények alapján, mint a CPPL gyártásánál. A műtrágyáknál szinte egyöntetűen a műtrágyák előállításához szükséges gőztermelés miatti CO₂- és CH₄-emisszió okozza a magas GWP-t.

A humán toxicitási potenciál (HTP) a TSP-nél volt a legalacsonyabb (0,17 kg 1,4-DB-egyenérték/TSP). A legnagyobb mértékű kibocsátást a karbamid produkálta (0,53 kg 1,4-DB-egyenérték/karbamid). A műtrágyák előállítása során, maga a nyersanyag-kitermelés és -előállítás, valamint az áramfogyasztás és a gőztermelés voltak a jellemző hozzájáruló

folyamatok, főként a Cr-emisszió miatt. Az TSP emissziója ötszöröse, a karbamidé mintegy tizenhétszerese volt a CPPL-nek (0,03 kg 1,4-DB- egyenérték/trágya), melynél az áramfogyasztás, a hulladékkezelés és a broiler csirketrágya-feldolgozás közbeni kibocsátások járultak hozzá a humán toxicitási potenciálhoz.

A Hosoya technológiával történő granulátum gyártás környezeti hatásairól nem áll rendelkezésre szakirodalom, csak hasonló, félig zárt és zárt komposztálási technológiákról. A különböző állati trágyák közül Zhu et al. (2014) a csirketrágya és az elhullott állatok komposztálását vizsgálták. Az általuk vizsgált rendszer CO₂-kibocsátása 3-6-szor alacsonyabb volt, mint a Hosoya üzemé. Az ADAME (2012) kutatási programja a komposztálásból származó levegőbe történő kibocsátást vizsgálta. Az e tanulmány keretében vizsgált szennyvíziszap komposztálása 0,089 és 0,298 kg CO₂-egyenérték kibocsátással járt. Ez utóbbi érték áll a legközelebb a CPPL gyártásánál megállapított 0,27 kg CO₂-egyenértékhez. Vizsgálták az állati hulladék komposztálásából származó kibocsátást is, ahol a mért értékek átlagosan ötször magasabbak a Hosoyánál tapasztalt értéknél. Luske (2010) csirke- és marhatrágya komposztálását vizsgálta. Az általa vizsgált komposztáló üzem kibocsátása körülbelül fele (0,147 kg CO₂-egyenérték/kg termék) volt a Hosoya komposztáló üzemének. Általánosságban a szerzők megállapították, hogy a kibocsátások nagymértékben függenek a komposztálandó nyersanyagok összetételétől és arányától, valamint a komposztálási technológiától.

Szenárió 2: 100 hektár szántó föld tápanyag-ellátáshoz szükséges mennyiségű CPPL és műtrágyák előállításának környezeti hatásai

Az 1 kg végtermék környezeti hatásainak megállapítása után a 100 hektár tápanyag-ellátáshoz szükséges mennyiségű CPPL és NPK műtrágyakombinációk előállítása során fellépő károsanyag-kibocsátás lett meghatározva (5. táblázat).

5. táblázat A 100 hektáros szántóföldre kijuttatott CPPL és NPK műtrágyák előállításánál fellépő emisszió

| Hatáskategóriák | CPPL | NPK1 | NPK2 | NPK3 | NPK4 | NPK5 | NPK6 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Savasodási potenciál (kg SO ₂ -egyenérték) | 3620 | 262,9 | 173,3 | 265,3 | 175,3 | 196,0 | 115,6 |
| Eutrofizációs potenciál (kg PO ₄ -egyenérték) | 816,1 | 98,7 | 65,8 | 101,0 | 67,7 | 75,8 | 46,1 |
| Globális felmelegedési potenciál (kg CO ₂ -egyenérték) | 40880 | 43005 | 39357 | 43654 | 39886 | 29113 | 27372 |
| Humán toxicitási potenciál (kg 1,4-DB-egyenérték) | 4833 | 14818 | 16069 | 16868 | 17841 | 13323 | 14823 |

zöld = alacsony környezeti terhelés; sárga = közepes környezeti terhelés; piros = magas környezeti terhelés

A savasodási (AP) és eutrofizációs potenciál (EP) a 150 t CPPL előállítása során volt magasabb.

A savasodási potenciál esetében átlagosan 94%-kal, az eutrofizációs potenciál esetében pedig átlagosan 90%-kal volt alacsonyabb a kibocsátás az NPK műtrágya kombinációk előállításánál.

Ennek lehetséges oka, hogy a magas savasodási potenciálhoz az NH₃- és N₂O-emisszió, az eutrofizációs potenciálhoz pedig a NO₃- és PO₄-kibocsátás járulnak hozzá. Az eredmények alapján a CPPL előállítása a savasodási és eutrofizációs potenciál tekintetében is a magas környezeti terhelés kategóriába sorolható, köszönhetően a szerves anyag komposztálása során fellépő gázok emissziójának.

A GWP esetében az NPK1 és NPK3 kombinációkhoz képest a CPPL átlagosan 5,5%-kal kisebb globális felmelegedési potenciált eredményezett, míg az NPK2 és NPK4 kombinációkhoz képest a CPPL GWP értékei hasonlóak voltak. Az NPK1 és NPK3 kombinációk környezeti terhelése volt a legmagasabb, míg az NPK2 és NPK4 kombinációk előállítása, a CPPL-lel egyetemben a közepes környezeti terhelés csoportba tartoznak. Azoknak az NPK kombinációknak a GWP-értéke, ahol a nitrogéntrágya karbamid volt (NPK5 és NPK6), 29-33%-kal alacsonyabb volt, mint a CPPL-é, ami a karbamid előállításának alacsony környezeti hatásának köszönhető, mivel a karbamid a legkoncentráltabb nitrogéntrágya (46%-os N-tartalommal), és kisebb mennyiség kijuttatása elegendő a nitrogén-szükséglet pótlásához.

A humán toxicitási potenciál (HTP) a 150 t CPPL-nél 4833 kg 1,4-DB-egyenérték, míg a műtrágyák előállítása során átlagosan 70%-kal magasabb az emisszió mértéke. A műtrágya-kombinációknál a legalacsonyabb kibocsátást az NPK5 kombináció eredményezte, de még ez is több, mint két és félszerese volt a CPPL előállítása során fellépő környezeti terhelésnél.

Bár a 150 t CPPL előállítása során magas a környezeti terhelés a savasodási és eutrofizációs potenciál tekintetében, valamint közepes a környezeti terhelés a globális felmelegedési potenciál esetében, nem lehet Figureyelman kívül hagyni, hogy míg a CPPL-ből 150 tonnát kell előállítani a 100 hektáros terület tápanyag-utánpótlásához, addig például az NPK5 és NPK6 műtrágya-kombinációkból mindössze 33,85 t (18 t karbamid + 9,6 t TSP + 6,25 KCl) és 30,59 t (15,7 t karbamid + 8,6 t MAP + 6,25 t KCl) szükséges.

Következtetések

Következtetésként elmondható, hogy akár 1 kg termékre vonatkoztatva, akár a nagyobb mennyiségre (100 hektáros szántó föld tápanyag-utánpótlásához szükséges mennyiség) vetítve határozzuk meg a környezeti terhelést, a savasodási és eutrofizációs potenciál magasabb a CPPL előállításánál, összehasonlítva a műtrágyákkal. Ennek oka a szerves trágya feldolgozása során fellépő NH₃, N₂O és más gázok emissziója. A műtrágyáknál leginkább a gőztermelés és az áramfogyasztás járulnak hozzá a savasodási és eutrofizációs kibocsátáshoz. A globális felmelegedési potenciál 1 kg CPPL előállítását tekintve jóval alacsonyabb CO₂-egyenértékű kibocsátással jár, mint a műtrágyák esetében. Nagyobb mennyiségben viszont a közepes környezeti terhelés kategóriába tartozik a 150 t CPPL előállítása, míg az NPK5-6 kategóriák az alacsony környezeti terhelés csoportba. A humán toxicitási potenciál tekintetében mind az 1 kg, mind a nagy mennyiségben előállított termék esetében a CPPL-nek volt a legalacsonyabb a környezeti terhelése.

Az eredmények alapján tehát a globális felmelegedési és a humán toxicitási potenciált tekintve a CPPL potenciális alternatíva lehet a műtrágyák helyettesítésére komplex műtrágyázást feltételezve. Így a műtrágyák helyettesítése révén eleget tesz az Európai zöld megállapodás és a zöldítés erre irányuló törekvéseinek is. A CPPL emellett magas mikroelem-tartalommal is rendelkezik, s szerves trágya révén a talaj termékenységére, szerkezetére és szervesanyag-tartalmára, valamint vízgazdálkodási tulajdonságaira is kedvező hatást gyakorolhat. A környezetvédelmi érvek mellett gazdasági érvek is szólnak a szerves trágyák előnyben részesítése mellett, köszönhetően a napjainkban történő eseményeknek, a földgáz-hiány miatti műtrágya-készlethiánynak és drágulásnak.

A talajra gyakorolt kedvező hatások vizsgálatára és a gazdasági előnyök alátámasztására azonban átfogó vizsgálatokra és elemzésekre van még szükség, melyek a további kutatások alapját képezik.

Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A kutatás a GINOP 2.2.1.-15-2017-00043 európai uniós támogatásból valósult meg.

Irodalom

Adediran, J. A., Taiwa, L. B., Akande, M. O., Sobulo, R. A., Idowu, O. J. 2005. Application of Organic and Inorganic Fertilizer for Sustainable Maize and Cowpea Yield in Nigeria. *Journal of Plant Nutrition* **27**(7). 1163–1181. <https://doi.org/10.1081/PLN-120038542>

Alimi, T., Ajewole, O. C., Awosola, O., Idowu, E. O. 2007. Organic and Inorganic Fertilizer for Vegetable Production under Tropical Conditions. *Journal of Agriculture & Rural Development* **1**. 120–136.

Asselin-Balençon, A., Broekema, R., Teulon, H., Gastaldi, G., Houssier, J., Moutia, A., Rousseau, V., Wermeille, A., Colomb, V. 2020. AGRIBALYSE v3.0: the French agricultural and food LCI database. Methodology for the food products. Ed. ADEME.

Bíró, T., Tamás, J., Thyll, S. 1998. Risk assessment of nitrate pollution in lower watershed of the Berettyó River. In: Filep, Gy. (ed.) *Soil Water Environment Relationships*. 239–247. Wageningen–Debrecen; Wageningen University and Research, Wageningen, Netherland; University of Debrecen, Debrecen, Hungary.

Chen, J.-H., Wu, J.-T., Young, C. 2007. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. *Environmental Science & Technology* **10**. 1–12. <https://doi.org/10.30058/SE.200706.0001>

Chia, S. Y., Tanga, C. M., van Loon, J. J., Dicke, M. 2019. Insects for sustainable animal feed: Inclusive business models involving smallholder farmers. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **41**. 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.09.003>

Colomb, V., Amar, S. A., Mens, C. B., Gac, A., Gaillard, G., Koch, P., Mousset, J., Salou, T., Tailleur, A., van der Werf, H. M. G. 2015. AGRIBALYSE®, the French LCI Database for agricultural products: high quality data for producers and environmental labelling. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids* **22**(1). D104. <https://doi.org/10.1051/ocl/20140047>

Csiba, A., Fenyvesi, L. 2012. Facilities of poultry manure processing and utilization with environmental technologies. AgEng Konferencia Valencia.

Enahoro, D., Lannerstad, M., Pfeifer, C., Dominguez-Salas, P. 2018. Contributions of livestock-derived foods to nutrient supply under changing demand in low- and middle-income countries. *Glob. Food Secur* **19**. 1–10.

Gaál K. 2011. Trágyakezelés- és hasznosítása a baromfitelepeken. In: Bogenfürst F., Horn P., Sütő Z., Kovácsné Gaál K., Kovács G. 2011. *Baromfitartás*. Egyetemi jegyzet, Kaposvári Egyetem; Pannon Egyetem; Nyugat-Magyarországi Egyetem.

Gabathuler, H. 2006. The CML Story: How Environmental Sciences Entered the Debate on LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* **11**. 127–132. <https://doi.org/10.1065/lca2006.04.021>

García, A., Fox, J.G., Besser T.E. 2010. Zoonotic enterohemorrhagic *Escherichia coli*: A one health perspective. *ILAR Journal* **51**(3). 221–232. <https://doi.org/10.1093/ilar.51.3.221>

Georgakakis, D., Krintas, TH. 2000. Optimal use of the Hosoya system composting poultry manure. *Bioresource Technology* **72**(3). 227–233. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00122-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00122-4)

Gorliczay, E., Boczonádi, I., Kiss, N. É., Tóth, F. A., Pabar, S. A., Bíró, B., Kovács, L. R., Tamás, J. 2021. Microbiological Effectivity Evaluation of New Poultry Farming Organic Waste Recycling. *Agriculture* **11**(7). 683. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070683>

Guinée, J. B., Gorree, M., Heijungs, R., Huppes, G., Renekleijn – de Koning, A., van Oers, L., Sleeswijk, A. W., Suh, S., udo de Haes, H. A., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M. A. J., Lindeijer, E., Roorda, A. A. H., van der Ven, B. L., Weidema, B. P. 2002. *Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to the ISO Standards*. Kluwer Academic Publisher, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.

Han, S. H., Young, J., Hwang, J., Kima, S. B., Parka, B. 2016. The Effects of Organic Manure and Chemical Fertilizer on the Growth and Nutrient Concentrations of Yellow Poplar (*Liriodendron tulipifera* Lin.) in a Nursery System. *Forest Science and Technology* **12**. 137–143. <https://doi.org/10.1080/21580103.2015.1135827>

- He, Z. 2020. Organic Animal Farming and Comparative Studies of Conventional and Organic Manures. In Waldrip, H.M., Pagliari, P.H., He, Z. (eds.) *Animal Manure: Production, Characteristics, Environmental Concerns, and Management*. American Society of Agronomy: Madison, WI, USA. **67**. 165–182. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub67.c9>
- He, Z., Pagliari, P.H., Waldrip, H.M. 2016. Applied and Environmental Chemistry of Animal Manure: A Review. *Pedosphere* **26**(6). 779–816. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60087-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60087-X)
- Heredia, N., García, S. 2018. Animals as sources of food-borne pathogens: A review. *Animal Nutrition* **4**(3). 250–255. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.04.006>
https://2015-2019.kormany.hu/download/5/06/01000/5_zold_gazdalk_kezikonyv.pdf
<https://www.nak.hu/kiadvanyok/kiadvanyok/2285-zoldites-a-gyakorlatban-gazdalkodoi-segedlet/file>
- IPCC, 2005. *Odour Management at Intensive Livestock Installations*. Environment Agency.
- Janković, L.J., Petrujkić, B., Aleksić, N., Vučinić, M., Teodorović, R., Karabasil, N., Relić, R., Drašković, V., Nenadović, K. 2020. Carcass characteristics and meat quality of broilers fed on earthworm (*Lumbricus rubellus*) meal. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society* **71**(1). 2031–2040. <https://doi.org/10.12681/jhvms.22953>
- Kasule, L., Katongole, C., Nambi-Kasozi, J., Lumu, R., Bareeba, F., Presto, M., Ivarsson, E., Lindberg, J. E. 2014. Low nutritive quality of own-mixed chicken rations in Kampala City, Uganda. *Agronomy for Sustainable Development* **34**. 921–926. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0205-2>
- Kátai, J. 2011. *Alkalmazott talajtan. Egyetemi jegyzet*. Debreceni Egyetem, Debrecen.
- Koch, P., Salou, T. 2020. *AGRIBALYSE®: Methodology, Agricultural stage – Version 3.0*. Ed ADAME, Angers, France.

Luske, B. 2010. Reduced GHG Emissions due to Compost Production and Compost Use in Egypt. Comparing Two Scenarios; 2010-016 LbD; Louis Bolk Instituut, Bunnik, The Netherlands.

Magnusson, U. 2016. Sustainable Global Livestock Development for Food Security and Nutrition Including Roles for Sweden; Ministry of Enterprise and Innovation: Stockholm, Sweden; Swedish FAO Committee: Stockholm, Sweden, 2016.

Mézes, L., Nagy, A., Gálya, B., Tamás, J. 2015. Poultry feather wastes recycling possibility as soil nutrient. *Eurasian Journal of Soil Science* **4**. 244–252.
<http://dx.doi.org/10.18393/ejss.2015.4.244-252>

Modderman, C. 2020. Composting with or without additives. In Waldrip, H.M., Pagliari, P.H., He, Z. (eds.) *Animal Manure: Production, Characteristics, Environmental Concerns, and Management – American Society of Agronomy: Madison, WI, USA*. **67**. 245–254.

Moyo, S., Swanepoel, F.J.C. 2010. Multifunctionality of livestock in developing communities. In Swanepoel, F.J.C., Stroebel, A., Moyo, S. (eds.) *The Role of Livestock in Developing Communities: Enhancing Multifunctionality*. University of Free State (UFS) and the technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA). Cape Town, South Africa; Wageningen, The Netherlands. 1–11.

Muralikrishna, I.V., Manickam, V. 2017. Life Cycle Assessment. In: Muralikrishna, I.V., Manickam, V. (Eds.) *Environmental management: Science and Engineering for Industry*. Butterworth-Heinemann kiadó, Oxford, Egyesült Királyság. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811989-1.00005-1>

NAK (2017): Zöldítés. Gazdálkodói kézikönyv.

NAK (2018): Zöldítés a gyakorlatban. Gazdálkodói segédlet.

- Nalunga, A., Komakech, A.J., Jjagwe, J., Magala, H., Lederer, J. 2021. Growth characteristics and meat quality of broiler chickens fed earthworm meal from *Eudrilus eugeniae* as a protein source. *Livestock Science* **245**. 104394. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104394>
- Rosenbaum, R.K., Bachman, T.M., Gold, L.S. 2008. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*. **13**. 533.
- Scholl, L., Nieuwenhuis, R. 2004. *Soil Fertility Management*; Agromisa Foundation: Wageningen, The Netherlands. 48–55.
- Szabó L. 2016. *Hosoya trágyakezelési technológia*. Gödöllő
- Szabó, A., Tamás, J., Nagy, A. 2019. Spectral evaluation of the effect of poultry manure pellets on pigment content of maize (*Zea mays* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Natural Resources and Sustainable Development* **9**(1). 70–79. <https://doi.org/10.31924/nrsd.v9i1.025>
- Tóthné, SZ. K. 2008. Életciklus-elemzés, életciklus hatásértékelés.
- Zhu, Z., Dong, H., Xi, J., Xin, H. 2014. Ammonia and greenhouse gas emissions from co-composting of dead hens with manure as affected by forced aeration rate. *Trans. ASABE American Society of Agricultural and Biological Engineering*. **57**. 211–217.

Internetes források:

Internet1: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF

Internet2: <http://www.k-hosoya.co.jp/en/file/pdf/Hosoy%20Poultry%20Manure%20Fermentation%20System%20ver200602.pdf>

Internet3: <http://www.k-hosoya.co.jp/en/product/> HOSOYA & CO. (1996). Hosoya Manure Fermentation System. Hoyosa & Co., 412 Fukaya, Ayase-Shi, Kanagawa-ken 252, Japan.

Internet4: www.openlca.org