

# **SZAKDOLGOZAT**

**Becker Roland Barnabás**

**2024**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**

**Szent István Campus**

**Környezettudományi Intézet**

**Hulladékkezelési- és hasznosítási szakmérnök szakirányú  
továbbképzési szak**

**Mikrobiológiai és ásványi adalékanyagok hatása a komposzt  
minőségére, beltartalmára, összehasonlítva a visszaforgatott  
rostamaradékkal, mint "telepi oltóanyaggal"**

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Belső konzulens:                      | Dr. Aleksza László<br>egyetemi docens,<br>kihelyezett tanszékvezető |
| Belső konzulens<br>intézete/tanszéke: | Környezettudományi Intézet  |
| Készítette:                           | Becker Roland Barnabás  |

**Gödöllő**

**2024**

## Tartalomjegyzék:

|  |    |
|--|----|
| 1. Bevezetés, célkitűzések   | 3  |
| 1.1. Tápanyaggazdálkodás helyzete az elmúlt évtizedekben és a komposztálás aktualitásai                        | 3  |
| 1.2. A komposztálás Magyarországi helyzete   | 4  |
| 1.3. A körforgásos gazdaság definíciója  | 4  |
| 2. Jogszabályi környezet   | 7  |
| 2.1. A komposzt és a terménynövelő anyagok kapcsolata  | 8  |
| 2.2. Komposztok engedélyezési eljárása, forgalomba hozatala, felhasználása                                     | 9  |
| 3. A vizsgált komposztálási technológia, input anyagok, komposztálás gépei- és eszközei                        | 12 |
| 3.1. Komposztálási technológiák  | 12 |
| 3.2. Komposztálás során hasznosított inputanyagok előkezelése, az alkalmazott gépek és eszközök                | 15 |
| 4. A komposztáláshoz javasolt adalékanyagok  | 19 |
| 4.1. Nemzetközi tapasztalatok mikrobiális komposztálási oltóanyagokkal kapcsolatosan (szakirodalmi kitekintés) | 21 |
| 5. A kísérlet során alkalmazott adalékanyagok  | 22 |
| 5.1. Dolomit   | 22 |
| 5.2. Biofluid  | 22 |
| 5.3. Telepi oltóanyag  | 22 |
| 6. Kísérleti terv  | 23 |
| 7. Laborvizsgálatok  | 24 |
| 8. Mintavétel  | 25 |
| 9. Laboreredmények összehasonlítása, a kísérlet kiértékelése   | 26 |
| 10. Piaci környezet, költségelemzés  | 28 |
| 11. Összefoglalás  | 30 |
| 12. Irodalomjegyzék  | 32 |

# 1. Bevezetés és célkitűzések

## 1.1. Tápanyaggazdálkodás helyzete az elmúlt évtizedekben és a komposztálás aktualitásai

Az 1990-es évek elején bekövetkezett társadalmi, és gazdasági rendszerváltás erőteljes változásokat hozott a mezőgazdaságban, melynek eredményeként lényegesen átalakult annak tulajdonosi köre, szerkezete és nagymértékben megváltoztak az alkalmazott gazdálkodási gyakorlatok.

Jelentősen eltávolodott egymástól a mezőgazdaság két fő ágazata: a növénytermesztés és az állattenyésztés. A hatékonyság csökkenése, a piactudományi változások az állatállomány drasztikus visszaesését eredményezte, ami a szervezetrágya mennyiségének csökkenését vonta maga után. A több évtizedes egyoldalú műtrágya-használatnak mára egyértelműen kimutathatóak a terméseredményre és a talaj állapotára gyakorolt káros következményei. A túlzott mértékű műtrágyahasználat károsította az ökoszisztémák egészét, negatív hatással van a talajéletre, a talajban élő mikroorganizmusok, baktériumok és gombák csíraszámára, sokszínűségére, összességében a talaj mikrobiális egyensúlyára.

A műtrágyák jelentős sótartalommal bírnak, azok túlzott talajba juttatása káros mértékben növeli a talajok sótartalmát. A magas sótartalom negatív hatással lehet a növények fejlődésére, vitalitására. A túlzott sómennyiség károsíthatja a növények gyökereit, csökkentheti a vízfelvételüket, és gátolhatja a szükséges tápanyagok felszívódását. A magas sótartalom növelheti a talaj vízelvezetési problémáit, és csökkentheti a talaj termékenységét.

A fenti kedvezőtlen körülmények elkerülése végett, valamint a talajok előnyös tulajdonságainak fenntartásához elengedhetetlen a szerves anyagok pótlása. A szervesanyag-igény biztosításának egyik lehetőségét adja a komposztálás, melynek széles alapanyag bázisa lehetővé teszi – szigorú előírások betartása mellett – különböző szerves, biológiailag lebomló hulladékok hasznosítását egyaránt.

A jogszabályok egyértelműen definiálják a biológiailag lebomló hulladék fogalmát. Minden szervesanyag-tartalmú hulladék, amely aerob vagy anaerob úton biológiailag lebomlik, vagy lebontható, ideértve a biohulladékot együttesen biológiailag lebomló hulladék. A jogszabályok megfogalmazzák azon alapelvet is, mely szerint a lehető legnagyobb mértékben elő kell segíteni a biológiailag lebomló hulladékok elkülönített gyűjtését és hasznosítását annak érdekében, hogy a hasznosítás után a természetes szervesanyag-körforgásba minél nagyobb tisztaságú értékes tápanyag kerülhessen vissza. Az Európai Unió kötelezettségünknek eleget téve el kell érni rögzített határidőre a lerakóktól való hulladék-eltérítés előírt mértékét. A hulladékok eltérítési arányának eléréséhez elengedhetetlen a biológiailag lebomló hulladékok hasznosítása, például komposztálással.

A szakdolgozat célkitűzése a komposztálás helyzetének, jogi hátterének, technológiai lehetőségeinek, piaci potenciáljának bemutatása mellett annak elemzése, hogy mikrobiológiai adalékanyagokkal „irányított” komposztálás alkalmazásával magasabb tápértékű komposzt állítható-e elő. Amennyiben növeli a komposzttermék tápértékét az adalékolás, a piaci szereplők, illetve felhasználók megfizetik-e az adalék hozzáadásának többletköltségét.

Összehasonlításra kerül a dolgozatban a kialakult telepi (rostamaradék) oltóanyag bekeverésével készített komposztok tápértéke a mikrobiológiai adalékanyagokkal kezelt komposztok tápanyag tartalmával kiemelve a nitrogén, foszfor és káliumtartalmat.

## 1.2. A komposztálás Magyarországi helyzete

Az elmúlt évtizedek tapasztalatai alapján a gazdálkodók egyre inkább nyitottá váltak és vállnak az egysíkú műtrágya felhasználás mellett egyéb talajerőpótló készítmények alkalmazására. Ennek fő oka, hogy a talajvizsgálatok szerint a talajaink szerkezete, vízmegtartóképessége rohamosan romlik, a talajokban található mikrobiális „élőanyag” jelenléte, a talajok felvehető tápanyagszintjének mértéke nagyon alacsony a folyamatos műtrágyázás ellenére is. A haszonnövények a talaj és a talajban található mikroorganizmusok egy komplex, egymást segítő ökoszisztémaként működnek. Amennyiben a talajban található mikroorganizmusok egyensúlya felborul, vagy egész egyszerűen a mikroorganizmusok sokszínűsége, össz-csírászama lecsökken érzékelhetően romlanak a terméseredmények, illetve azonos műtrágya mennyiségek kijuttatása esetén sem garantált a rentábilis gazdálkodás.

A szervesműtrágyázás háttérbe szorulása miatt, illetve a nem megfelelő minőségű, „érett trágya” hiánya miatt igény jelentkezett egy szerves tápanyagok kijuttatására.

A szerves tápanyagok iránti igény mellett egyre inkább előtérbe kerül a biológiailag lebomló hulladékok hasznosításának szükségessége az Európai Unió kötelezettségei teljesítése miatt, valamint a körforgásos gazdaságra való átállás igénye miatt egyaránt.

## 1.3. A körforgásos gazdaság definíciója:

A körforgásos gazdaság termelési és fogyasztási modellje arra épül, hogy egyszeri fogyasztás helyett a termékek élettartamát a lehető legjobban meghosszabbítsuk. Erre alkalmas módszer lehet, ha vásárlás helyett kölcsönzünk, a már megvásárolt termékeknek pedig „második esélyt” adunk azzal, hogy megjavítjuk, átalakítjuk, esetleg továbbadjuk őket. Amikor az adott termék eléri az életciklusa végét, akkor az alapanyagokat újra lehet hasznosítani. Így csökken a hulladék mennyisége, ráadásul az alapanyagok és késztermékek újbóli felhasználása gazdaságilag is értékteremtő.

A komposztálás esetében a zöldhulladék, élelmiszerhulladék, víztelenített kommunális eredetű szennyvíziszap, mezőgazdasági melléktermékek, illetve bármely biológiailag lebomló hulladék olyan jellegű hasznosítása a cél, hogy a terméként keletkező komposztot a mezőgazdaságban vagy kertészetekben tápanyagforrásként felhasználhassák. A felsorolt hulladékok ne hulladéklerakókban kerüljenek lerakásra.

1. ábra A körforgásos gazdaság modellje  
(forrás: Európai Parlament honlapja; 2024.)

### A körforgásos gazdaság modellje: kevesebb nyersanyag, kevesebb hulladék, alacsonyabb kibocsátás



Forrás: Európai Parlament Kutatószolgálat



A Központi Statisztikai Hivatal idősoros adattáblái szerint (2. ábra) a komposztálással hasznosított hulladékok mennyisége 2006. évről 2022. évre megötszöröződött.

2. ábra Komposztálással hasznosított hulladék mennyisége tonnában 2006-2022. (forrás: KSH honlapja; statinfo.ksh.hu; 2024.)

| Időszak  | Mutatók  |
|----------|--|
| 2006. év | Az újrafeldolgozott hulladékból komposztálással hasznosított hulladék... (tonna) |
| 2007. év | 61 392.4   |
| 2008. év | 72 374.0   |
| 2009. év | 81 592.6   |
| 2010. év | 110 952.4  |
| 2011. év | 103 442.9  |
| 2012. év | 113 225.8  |
| 2013. év | 128 901.2  |
| 2014. év | 189 959.9  |
| 2015. év | 194 226.9  |
| 2016. év | 228 393.1  |
| 2017. év | 264 489.6  |
| 2018. év | 275 435.2  |
| 2019. év | 352 887.8  |
| 2020. év | 349 986.5  |
| 2021. év | 357 544.9  |
| 2022. év | 320 787.6  |

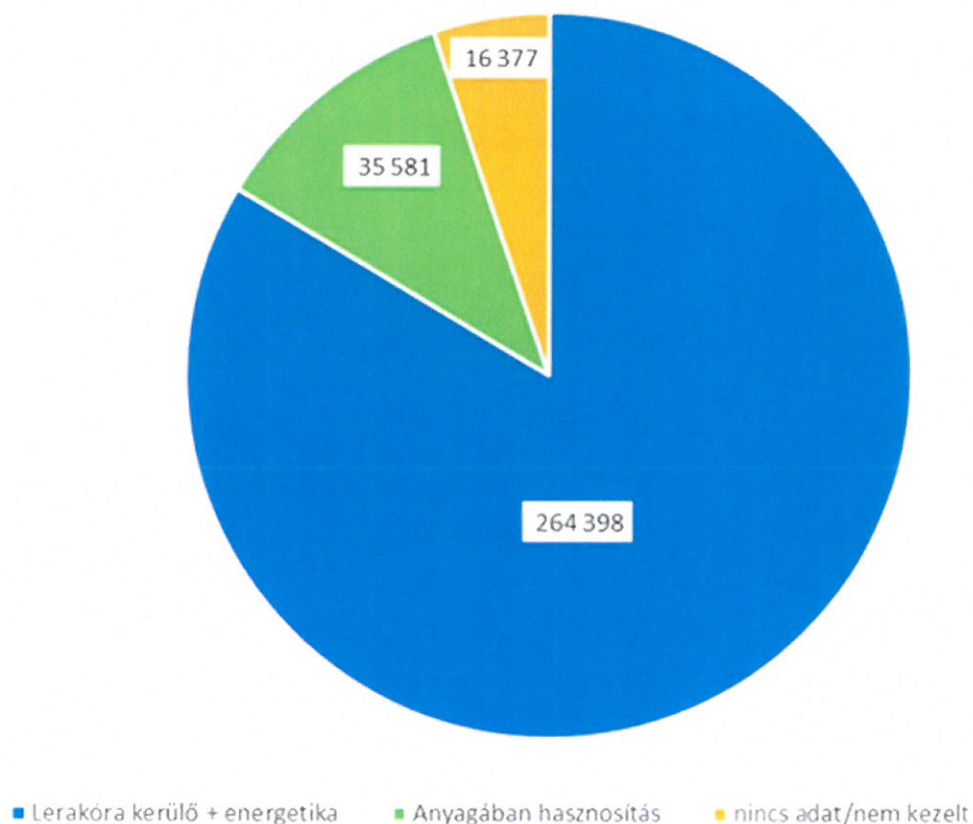
Az NHKV által 2019-ben készített tanulmány szerint azonban a helyzet nem ennyire biztató. Az elemzés során mintegy 60 db, az országban található komposztálótelepet vizsgáltak elsősorban zöldhulladék komposztálással történő hasznosításával kapcsolatosan.

A tanulmány megállapította, hogy az adatszolgáltatásokban „hasznosításként” szereplő zöldhulladékok jelentős része nem a körforgásos gazdaság elvei szerint történtek.

Az NHKV és a hatóságok számára csak az volt látható, hogy a közszolgáltatás keretén belül összegyűjtött zöldhulladék mennyisége 291 000 tonna. Ebből 21 000 tonna közvetlen lerakásra kerül, a fennmaradó 234 000 t-t pedig a közszolgáltatók hasznosítják.

A felmérés megállapította, hogy a begyűjtött zöldhulladék mennyisége 316 357 tonna, ami több, mint az adatszolgáltatás szerinti mennyiség. Látható azonban, hogy szemben a kimutatásokban szereplő 80 % feletti hasznosítással a valóságban a tényleges, anyagában történő hasznosítás aránya mindössze 11,2 % azaz 35 581 tonna. Ezen kívül energetikai hasznosításra kerül további 15,76 % azaz 49 854 t. A zöldhulladékok 67,82 %-a, azaz 214 544 tonna mennyisége végül hulladéklerakókra kerül, többségében, mint takaró föld.

3. ábra Közszolgáltatók által begyűjtött zöldhulladékok hasznosítása  
(forrás: NHKV;2020)



A felmérés alapján kijelenthető, hogy az adatszolgáltatásokban szereplő hasznosítások túlnyomó többsége, csak a jelenlegi hazai jogszabályok alapján számítanak hasznosításnak, az EU-s körforgásos gazdasági értelmezése alapján csak elenyésző részük az.

A körforgásos gazdaság értelmezésében hasznosításnak csak azon tevékenységek fogadhatók el, ahol a haszonanyagok visszajutnak az eredeti funkciójuknak megfelelő gazdasági körforgásba és ott újra hasznosulnak. A közös célunk az lenne, hogy a zöldhulladékokból és az egyéb biológiailag lebomló hulladékokból 100 %-ban (szennyvíziszap, mezőgazdasági melléktermékek, élelmiszerhulladékok) értékes, a mezőgazdaság, élelmiszertermelés, vagy a virágkertészetek számára használható szerves tápanyagforrások váljanak.

## 2. Jogszabályi környezet

A komposztálással, illetve a termékengedélyezéssel kapcsolatos jogszabályi környezet áttekintése előtt szükséges néhány fogalom pontos meghatározása:

Komposzt:

a növények tápanyagellátásának, illetve a talaj tápanyag-szolgáltató képességének javítására szolgáló, szerves, szervesetlen és ásványi eredetű anyagokból külön jogszabály előírásainak megfelelő komposztálás útján előállított terménynövelő anyag.



Biológiailag lebomló hulladék (másnéven biohulladék):

minden szervesanyag-tartalmú hulladék, amely aerob vagy anaerob úton biológiailag lebomlik vagy lebontható.

Zöldhulladék:

a komposzthoz felhasználható biológiailag lebomló hulladékok lehetnek többek közt zöldhulladékok is, amelyek a 23/2003. (XII. 29.) KvVM rendelet „a biohulladék kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről” szövegezése szerint olyan növényi hulladékok, amelyek kertekből, parkokból származnak (fanyesedék, ág, gally, fű, lomb, fűrészpor, faforgács stb.), a külön jogszabályban meghatározott úttisztításból származó hulladék kivételével.

Szennyvíziszap:

biológiai, kémiai, illetve hőkezeléssel vagy más megfelelő eljárással nyert olyan iszapok, melyek szennyezőanyag tartalma az 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet „a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól” előírásainak megfelel, és amelyekben a kezelés hatására a fekálcoli és a fekál streptococcus szám iszap ml-ben mért mennyisége az eredeti érték tíz százaléka alá csökken.

Szennyvíziszap-komposzt:

olyan szennyvíziszap, amelyhez a megfelelő minőség elérése érdekében biohulladékot, illetve ásványi eredetű adalékokat kevertek.

Komposztálás:

az elkülönítetten gyűjtött biohulladék ellenőrzött körülmények között, oxigén jelenlétében történő autotermikus és termofil biológiai lebontása, mikro- és makro organizmusok segítségével. Olyan irányított szervesanyag kezelési és újrahasznosítási módszer, melynek során általában oltóanyag nélkül, spontán alakul ki olyan mikroba közösség, mely képes a szerves hulladékanyagok lebontására. A folyamatban a szerves polimerek egyszerűbb vegyületekre bomlanak és a nem mineralizálódott anyagokból a mikroszervezetek aktivitásának eredményeként tápelemekben gazdag komposzt keletkezik, ami mentes a gyommagvaktól és kártevőktől egyaránt. A komposztálás folyamata négy szakaszra különíthető el: kezdő, bevezető fázis (25-30 °C), termofil szakasz (60 °C feletti hőmérséklet), mezofil szakasz (60 °C alá csökkenő hőmérséklet) majd végül a poikilotherm szakasz. Utóbbit nevezzük érési, vagy felépülési fázisnak. (Aleksza et al.; 2017)

## 2.1. A komposzt és a termélnövelő anyagok kapcsolata

A komposzt előállítása:

„A komposzt a biohulladék komposztálással történő hasznosításával keletkező – külön jogszabályban meghatározott – termélnövelő anyag, amely a növények tápanyagellátásának, illetve a talaj tápanyag-szolgáltató képességének javítására szolgál.” A termélnövelő anyag gyűjtőnév sokféle terméket takar, jelenleg ide tartoznak a műtrágyák, ásványi trágyák, engedélyköteles szerves trágyák, komposztok, gilisztahumuszok, talaj- és növénykondicionáló készítmények, természetű kezegek és mikrobiológiai készítmények.

A termélnövelő anyagok lehetnek engedélyköteles termélnövelő anyagok és EK műtrágyák (Európai Közösségi műtrágyák), ez utóbbiak forgalomba hozatala nem kötött engedélyhez.

Ahogy a felsorolásból is látszik, a termélnövelő anyagok egyrészt a talajba, másrészt közvetlenül a növényre kerülve bekerülnek az élelmiszerláncba, a környezetbe.

Alkalmazásukkal kapcsolatban alapvető elvárás, hogy vizsgálatokkal, kísérletekkel alátámasztott kedvező hatást tudjanak kifejteni a talajra vagy a termesztett növényre, és előírászerű és szakszerű felhasználásuk során ne okozzanak kedvezőtlen másodlagos hatást a növényre, a talajra, az ember és az állat egészségére, továbbá a környezetre és a természetre.

A komposztot termélnövelő anyagként a következő pontban ismertetettek szerint lehet engedélyeztetni. A termélnövelő anyagokat csak olyan módon és mennyiségben lehet felhasználni, hogy a talajok a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges kockázatos anyagtartalma ne haladja meg tartós használat esetén sem, a szennyezettségi határértéket, valamint a felszín alatti vizek állapota a termélnövelő anyagok felhasználása következtében ne romoljon.

## 2.2. Komposztok engedélyezési eljárása, forgalomba hozatala

A komposztnak, mint termélnövelő anyagnak az engedélyezési, forgalomba hozatali, felhasználási feltételeit az 2008. évi XLVI. törvény „az élelmiszerláncról és hatósági felügyeletéről”, valamint az 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet „a termélnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról” előírásai szabályozzák.

A termélnövelő anyagok engedélyezésének, forgalomba hozatalának feltétele, hogy vizsgálatokkal, kísérletekkel alátámasztott kedvező hatást fejtenek ki a talajra vagy a termesztett növényre, előírászerű és szakszerű alkalmazás során nem okoznak kedvezőtlen mellékhatást a növényre, a talajra, az ember és az állat egészségére, és nem jelentenek megengedhetetlen veszélyt a környezetre és a természetre.

A Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (a továbbiakban: engedélyező hatóság) által kiadott termélnövelő anyag forgalomba hozatali és felhasználási engedéllyel (a továbbiakban: engedély) rendelkeznek.

Az engedélyezéshez kapcsolódó laboratóriumi vizsgálatok csak állami laboratóriumban vagy az élelmiszerlánc-felügyeleti szerv által engedélyezett nem állami laboratóriumban végezhető. Az 36/2006.(V. 18.) FVM rendelet 3. számú melléklete tartalmazza azokat a határértékeket, amelyeket a fizikai, kémiai, biológiai vizsgálatok során kötelező jelleggel vizsgálnak.

A komposzt esetében az alábbi határértékeknek szükséges megfelelni:

- |  |         |
|--|---------|
| - pH (10%-os vizes szuszpenzióban)   | 6,5–9,5 |
| - térfogattömeg (kg/dm <sup>3</sup> ) legfeljebb   | 0,9     |
| - szárazanyag-tartalom (m/m%) legalább   | 50,0    |
| - szervesanyag-tartalom (m/m%) sz.a. legalább  | 25,0    |
| - vízben oldható összes sótartalom (m/m%) sz.a. legfeljebb                                 | 4,0     |
| - szalma eredetű struktúra anyag szemcseméret eloszlás 25,0 mm alatt legalább              | 80,0%   |
| - szalma eredetű struktúra anyag szemcseméret eloszlás 25,0 mm – 50,0 mm között legfeljebb | 20%     |

- N-tartalom (m/m%) sz.a. legalább 1,0
- gombakomposztok esetében legalább 20 m/m%
- P2O5-tartalom (m/m%) sz.a. legalább 0,5
- K2O-tartalom (m/m%) sz.a. legalább 0,5
- Ca-tartalom (m/m%) sz.a. legalább 1,2
- Mg-tartalom (m/m%) sz.a. legalább 0,5
- kizárólag zöldhulladékból készült komposztok N-tartalma (m/m%) sz.a. legalább 0,5

1.táblázat: Toxikus elemekre vonatkozó előírások komposztok esetében  
(forrás: 36/2006.(V. 18.) FVM rendelet)

| As                                    | Cd | Co | Cr  | Cu  | Hg | Ni | Pb  | Se |
|---------------------------------------|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|
| tartalom legfeljebb mg/kg szárazanyag |    |    |     |     |    |    |     |    |
| 10                                    | 2  | 50 | 100 | 300 | 1  | 50 | 100 | 5  |

Szerves szennyezőkre vonatkozó előírások:

- összes PAH tartalom (19 vegyület) < 1,0 mg/kg sz.a.
- benz(a)pirén tartalom < 0,1 mg/kg sz.a.
- ásványolaj-tartalom (TPH C5-C40) < 100,0 mg/kg sz.a.
- összes jelző PCB tartalom < 0,1 mg/kg sz.a.  
(PCB-28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 összege)
- összes PCDD/F tartalom WHO TEQ-ekben kifejezve < 5,0 ng/kg sz.a. T.E.Q

Nem tartalmazhat a biológiai körforgásba nem vihető idegen anyagot, csírázást, növekedést gátló anyagokat, zárlati gyomok magvait, illetve ezek vegetatív részeit, humán-, állat- és növényegészségügyi szempontból káros, fertőző makro- és mikroszervezeteket, mérgező, szennyező és radioaktív anyagokat.

A biológiai hatékonyságnak meg kell felelnie a gyártó által garantált hatásnak.

Talajhigiénés mikrobiológiai előírások:

- Fekál coliform szám < 10 db/g vagy 10 db/ml
- Fekál streptococcus szám < 10 db/g vagy 10 db/ml
- Pseudomonas aeruginosa szám < 10 db/g vagy < 10 db/ml
- Salmonella sp. negatív /  $2 \times 10$  g vagy ml
- Humán parazita bélféreg peteszám negatív 100 g vagy 100 ml

A mikroelemek és toxikus elemek vizsgálatában alkalmazott módszer adott elemre vonatkozó kimutatási határa legfeljebb a bejelentett érték vagy a határérték 10%-a lehet.

Amennyiben a gyártó olyan alapanyagokat használ fel a komposzt készítéséhez, amelyek fentiekén kívül további tápelemeket, például mikroelemeket tartalmaznak, és a gyártó ezt szeretné deklarálni, akkor ezek meghatározását is el kell végeztetnie.

A forgalomba hozatali és felhasználási engedélyezési eljárás kérelemre indul, amelynek kötelező tartalmát az FVM rendelet 1. számú melléklete sorolja fel.

Kérelmező a gyártó, illetve a gyártó hozzájárulása alapján bármely természetes vagy jogi személy, vagy jogi személyiséggel nem rendelkező gazdálkodó szervezet lehet. Az elbírálás időtartama terméskövelő anyagok engedélyezése esetén maximum 5 hónap lehet.

Az engedély akkor adható meg, ha a terméskövelő anyag megfelel az alábbiaknak:

- a kérelemben megjelölt felhasználási célnak,
- annak a kritériumnak, hogy vizsgálatokkal, kísérletekkel alátámasztott kedvező hatást fejt ki a talajra vagy a természetett növényre, előírászerű és szakszerű alkalmazás során nem okoz kedvezőtlen mellékhatást a növényre, a talajra, az ember és az állat egészségére, és nem jelent megengedhetetlen veszélyt a környezetre és a természetre, foglaltaknak,
- a terméktípusonként meghatározott minőségi előírásoknak,
- a rendelet 3. számú mellékletben a toxikus elemekre előírt határértékeknek azzal, hogy a toxikus elemek határértéke 0,5 l/ha felhasználási mennyiség alatt a 3. számú mellékletben előírt határérték háromszorosa lehet, 0,5 l/ha és 1 l/ha felhasználási mennyiség között a 3. számú mellékletben előírt határérték kétszerese lehet.

Az engedélyről az engedélyező hatóság engedélyokiratot állít ki és hivatalos honlapján közzé teszi az engedélyezett terméskövelő anyagok engedélyokiratának adatait, az engedély lejártának időpontját. Az engedély 10 évig hatályos. Ezt követően az engedély ismételt megadását lehet kérni.

Fontos megemlíteni továbbá a 23/2003. (XII. 29.) KvVM rendelet „a biohulladék kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről” című jogszabályt. A teljesség igénye nélkül a szakdolgozatban végrehajtott kísérletnek is követnie szükséges a jogszabályban leírtakat. Kiemelendő a komposztálás előírt ciklusideje:

A rendelet szerint az elérendő higiénizációs hőmérsékletek és azok minimális időtartalma technológiafüggő az alábbiak szerint:

2.táblázat: Egyes komposztálási módszerek esetében elérendő hőmérsékleti értékek és forgatási gyakoriságok a kezelési idő függvényében  
(forrás: 23/2003. (XII. 29.) KvVM rendelet)

| Technológia                 | Hőmérséklet | Kezelés időtartama | Forgatás gyakorisága |
|-----------------------------|-------------|--------------------|----------------------|
| Prizmakomposztálás (1)      | 55 °C       | 2 hét              | 5                    |
| Prizmakomposztálás (2)      | 65 °C       | 1 hét              | 2                    |
| Zárt rendszerű komposztálás | 60 °C       | 1 hét              | -                    |

A fentiek alapján az előírt higiénizációs hőmérséklet alapján 5 forgatással két hétre lehetne rövidíteni a komposztálás időtartamát.

Gyakorlati tapasztalatok alapján azonban 2 x 21 nap ciklusidőt érdemes tervezni annak érdekében, hogy megfelelő minőségű, beltartalmú és fizikai tulajdonságokkal rendelkező komposztterméket kapjunk. Jelen kísérlet során is a 2 x 21 napos ciklusidőt választottam.

Kormányzati stratégia:

A Kormány a 1403/2017. (VI. 28.) Korm. határozatában Szennyvíziszap Kezelési és Hasznosítási Stratégiát (2018-2023) fogadott el, amely szerint a hasznosítási módok prioritási sorrendje a mezőgazdasági hasznosítás, a rekultivációs hasznosítás, majd az égetési célú hasznosítás.

A stratégia hangsúlyozza, hogy a fejlesztési lehetőségek vizsgálatában alapvetés, hogy előtérbe kell helyezni a szakszerű komposztálást, illetve a szennyvíziszap komposztok terméké minősítését, a célkitűzése az volt, hogy 2023-ig lehetőség szerint minden szennyvíztisztító telepi komposztálót fejlesszenek fel terméké nyilvánított komposzt előállítására alkalmas létesítményé, a szakszerűtlen komposztálást pedig haladéktalanul fel kell számolni.

### 3 A vizsgált komposztálási technológia, input anyagok, komposztálás gépei- és eszközei

#### 3.1. Komposztálási technológiák

A jelenlegi hazai és nemzetközi gyakorlatban elterjedt leginkább alkalmazott technológiák:

- a. légbefúvásos szabadon álló, nyitott teres komposzt-prizmatér Gore-tex takarással, vagy takarás nélkül
- b. légbefúvásos komposztsiló Gore-tex takarással
- c. szabadon álló, nyitott teres komposztalótér, komposztforgató gép alkalmazásával
- d. fedett komposztalótér komposztforgató alkalmazásával

A komposzt érlelése során a kívánt oxigénellátást hivatott biztosítani mind a betontérbe süllyesztett - vagy a prizmatestben lévő légbefúvó - perforált cső, mind a géppel történő prizma forgatás. Az egymást követő komposztalódási fázisok során a biológiai folyamatok optimális végbemeneteléhez elengedhetetlen nagy mennyiségű oxigén egyenletes biztosítása.

Egyes vizsgálatok szerint a komposztalódás intenzív szakaszában az üzemi méretű (általában 150-450 m<sup>3</sup>-es) prizmák belsejében akár már 20 perccel a forgatást követően elfogyhat a mikroorganizmusok tevékenységéhez szükséges oxigén mennyisége.

A felsorolt eljárások esetében várhatóan a lebomlási-, átalakulási folyamatok gyorsaságában és intenzitásában mutatható ki a különbség. Ha a költséghatékonyság oldaláról kívánjuk vizsgálni a felsorolt technológiákat, egyértelműen a légbefúvásos eljárás a kedvezőbb.

Az inputanyagok homogén bekeverése nagyban hozzájárul ahhoz, hogy a biológiai, illetve biokémiai folyamatok nagyjából hasonlóképpen menjenek végbe a prizmatest egészében. A homogenitást komposztforgató, vagy egyes esetekben komposzt előkeverőgép alkalmazásával érhetjük el leginkább. A meghatározott időnként beiktatott forgatás segít kiküszöbölni azt a hátrányt is, hogy a prizma kérge (prizma külső felszínétől 25-40 cm-es sáv) a prizmatesttől eltérő módon viselkedjen (pl. kiszáradás, hőmérséklet különbség a prizmatesthez képest).

A komposztforgató berendezések magas fenntartási, működési költsége mellett behatárolják a prizma méretét, elhelyezkedését. Az önjáró hidas forgatók egyértelműen behatárolják a prizma magasságát és talpszélességét. Egységnyi betonterületen ezáltal a prizma maximális térfogatát is behatárolják (prizmatér hosszának függvényében).

Alkalmazható prizmaátrakó és prizmaforgató egyaránt. Utóbbi megoldással magasabb, nagyobb térfogatú prizmák is építhetők, azonban minden forgatásnál szükséges plusz egy prizmányi területet fenntartani a prizma egyik oldalán az átforgatáshoz.

5. ábra: Doppstadt komposztáthelyező-komposztforgató  
(forrás: saját kép)



6. ábra: önjáró hidas komposztforgató  
(forrás: Komptech honlap;2024)

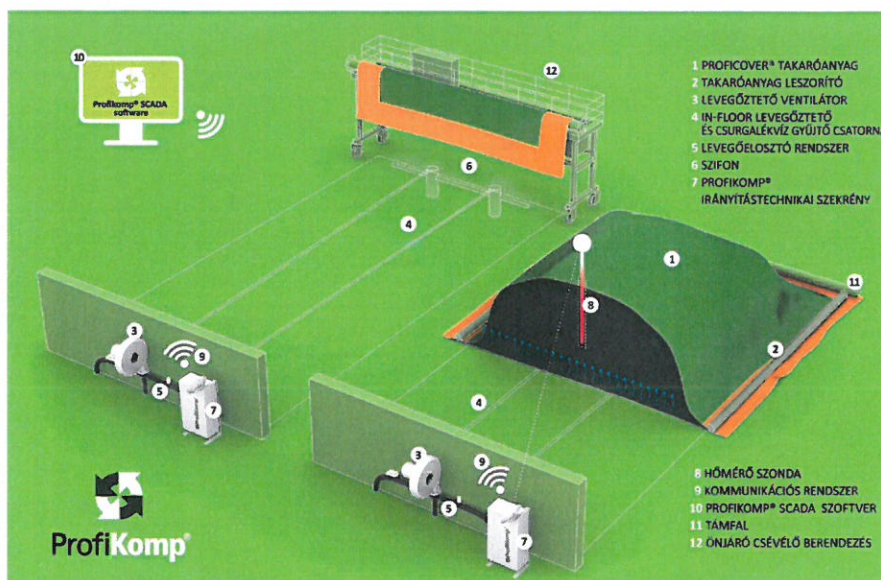


A takarás nélküli szabadon álló prizmák kitéttek az időjárás viszontagságainak. Egy kiadós zápor túláztathatja a prizma felső-, külső részeit.

A Gore-tex fólia takarás megóvja a prizmákat a nagy mennyiségű, hirtelen lezúduló csapadéktól, valamint a tapasztalatok alapján segíti a végtermék nitrogéntartalmának növelését.

A speciális fólia másik alkalmazási területe a száraz, meleg nyári hónapokban a prizma kiszáradás elleni védelme, a prizma nedvesség visszatartása.

7. ábra: ProfiKomp® levegőztetett prizmás rendszer  
(forrás: Profikomp Zrt. honlapja; 2024.)



Körül kell járni a prizma megfelelő nedvességtartalmának kérdését is, hiszen eltérő évszakokban eltérő nedvességtartamú inputanyagokkal – főként a zöldhulladék, valamint struktúraanyag esetében – dolgozunk. Másrészt a külső hőmérséklet alakulása (pl. nyári meleg, száraz időszakok) is nagyban befolyásolja a komposztálás minőségét. A prizma megépítésekor javasolt beállítani a kezdeti optimális 60 % körüli nedvességtartalmat. Azonban, amennyiben a prizma túlszárad, a komposztálás során is pótolni szükséges a nedvességet a prizma egész testében amennyire lehet egyenletesen. Erre a célra jó megoldásnak mutatkozik a komposztforgatóra épített vízadagoló berendezés, így a prizma forgatása során a prizmatestbe is bekeverhetünk elegendő mennyiségű vizet. Amennyiben csak locsolótömlős megoldásunk van, abban az esetben a prizma forgatások között, illetve alatt szükséges a belocsolást elvégezni. A felhasznált vízmennyiség minél pontosabb mérése javasolt, a túlnedvesítés elkerülése végett.

A légbefúvós komposztszilók estén a komposztforgató alkalmazása nem megoldható. Ebben az esetben az egyes komposztálási fázisok között a prizma átpakolásával lehet a szükséges beavatkozásokat megoldani.

Optimális megoldás lehet a prizmatér felett kiépített automata esőztető berendezés alkalmazása is. Jól beállított vízadagolással és porlasztással egyenletesen nedvesíthető a prizma. A forgatás biztosítja azonban a leghomogénebb prizmákat.

Az eredményes komposztálás egyik sarokköve a prizma szén-nitrogén aránya. A kommunális szennyvíziszapokban az átlagos szén/nitrogén arány (C/N) jellemzően 5-7:1, ami eltér a komposztálási folyamat során ideálisnak tekinthető 25-30:1 aránytól. Ezért a komposztálás során, a komposztálást végző mikrobák szén-igényének kielégítése érdekében megfelelő széntartalmú alapanyagok hozzáadása szükséges (faapríték, zöldhulladék)

A struktúra anyagok megfelelő méretűre aprítása elengedhetetlen.

8.ábra Nyersanyagok szén-nitrogén aránya  
(forrás: Agrárium7 online újság)

| Nyersanyagok                  |                    | Izzítási<br>vesztesség<br>(%) | C/N (-) | N (%)   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | K <sub>2</sub> O (%) | CaO (%) | MgO<br>(%) |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------|---------|-----------------------------------|----------------------|---------|------------|
| Kommunális<br>hulladék        | Konyhai hulladékok | 20-80                         | 12-20   | 0,6-2,2 | 0,3-1,5                           | 0,4-1,8              | 0,5-4,8 | 0,5-2,1    |
|                               | Biohulladék        | 30-70                         | 10-25   | 0,6-2,7 | 0,4-1,4                           | 0,5-1,6              | 0,5-5,5 | 0,5-2,0    |
|                               | Zöldhulladék       | 15-75                         | 20-60   | 0,3-2,0 | 0,1-2,3                           | 0,4-3,4              | 0,4-12  | 0,2-1,5    |
|                               | Szennyvíziszap     | 20-70                         | 15      | 4,5     | 2,3                               | 0,5                  | 2,7     | 0,6        |
| Istállótrágya                 | Kartonpapír        | 75                            | 170-800 | 0,2-1,5 | 0,2-0,6                           | 0,02-0,1             | 0,5-1,5 | 0,1-0,4    |
|                               | Szarvasmarha       | 20,3                          | 20      | 0,6     | 0,4                               | 0,7                  | 0,6     | 0,2        |
|                               | Ló                 | 25,4                          | 25      | 0,7     | 0,3                               | 0,8                  | 0,4     | 0,2        |
|                               | Juh                | 31,8                          | 15-18   | 0,9     | 0,3                               | 0,8                  | 0,4     | 0,2        |
| Hígtrágya                     | Sertés             | 18-25                         | 14-18   | 0,8     | 0,9                               | 0,5                  | 0,8     | 0,3        |
|                               | Szarvasmarha       | 10-16                         | 8-13    | 3,2     | 1,7                               | 3,9                  | 18      | 0,6        |
|                               | Sertés             | 10-20                         | 5-7     | 5,7     | 3,9                               | 3,3                  | 3,7     | 1,2        |
|                               | Baromfi            | 10-15                         | 5-10    | 9,8     | 8,3                               | 4,8                  | 17,3    | 0,7        |
| Mezőgazdasági<br>melléktermék | Szalma             |                               | 50-100  | 0,4     | 2,3                               | 2,1                  | 0,4     | 0,2        |
|                               | Répaléví           | 70                            | 15      | 2,3     | 0,6                               | 4,2                  | 1,6     | 1,2        |
|                               | Friss fakéreg      | 90-93                         | 85-180  | 0,5-1,0 | 0,06                              | 0,06                 | 0,5-1,0 | 0,04-0,1   |
|                               | Fakéreg mulcs      | 60-85                         | 100-300 | 0,2-0,6 | 0,1-0,2                           | 0,3-1,5              | 0,4-1,3 | 0,1-0,2    |
|                               | Szőlő törköly      | 80,8                          | 25-35   | 1,5-2,5 | 1,0-1,7                           | 3,4-5,3              | 1,4-2,4 | 0,21       |
|                               | Gyümölcs törköly   | 90-95                         | 35      | 1,1     | 0,62                              | 1,57                 | 1,1     | 0,21       |

Jelen szakdolgozat során végrehajtott kísérlet esetében egy Gore takarófoliás, süllyesztett légbefúvóval ellátott prizmateret használunk.

### 3.2. Komposztálás során hasznosított inputanyagok előkezelése, az alkalmazott gépek és eszközök

A komposztálási technológia ismertetése során ki kell térnünk az input alapanyagok előkezelésének, valamint a készkomposzt rostálásának kérdéskörére is.

#### a) Aprítás:

A megfelelő minőségű és szemeloszlású struktúraanyag előfeltétele az eredményes komposztálásnak. A közszolgáltatás során begyűjtött zöldhulladékok évszakok függvényében más-más mértékben tartalmaznak fásszárú, illetve lágyszárú összetevőket. Az aprítást elsődlegesen a fásszárúak esetében szükséges elvégezni. Ez feltételezi, hogy a telepi munkaszervezéssel megoldott a fásszárú összetevők elkülönítése. Nem mindegy azonban, hogy milyen az aprítás minősége, milyen méret intervallumok jellemzik az aprítékot. A prizmák megfelelő átlevégtetéséhez elengedhetetlen, hogy a nagyobb – nem porszerű 20-45 mm méretű fás alkotók képezzék a struktúraanyag javát. Ellenkező esetben, ha túlaprított a fás anyag, nem alakítható ki optimális hézagterfogót.



Az aprítást a komposztálótelepeken elsősorban kalapácsos aprítókkal végzik, elvértve késes aprítókat is alkalmaznak. Utóbbi eszköz csak a tiszta fásszárú aprítására alkalmas, igaz egyöntetűbb végterméket eredményez.

A késes aprító hátránya, hogy nagyon kényes a fásszárúban maradt idegen anyagokra, a kicsorbult kések javítása vagy cseréje költséges. Kevésbé érzékenyek a kalapácsos aprítók, valamint alkalmasak a fás-zöld vegyes zöldhulladék együtt aprítására is, amennyiben nem megoldott a különválogatásuk. Az aprítottság fokát a kalapácsos aprítók esetében a gép rostájának lyukméretével, illetve az aprítás során a visszafajtás mértékével szabályozhatjuk.

9.ábra: Willibald kalapácsos aprító  
(forrás: saját kép)



10.ábra: Jenz késes aprító  
(forrás: saját kép)



Az elmúlt időszakban egyre inkább elterjedőben vannak a korábban említett gyorsforgású kalapácsos aprítókkal szemben a lassú forgású shredderek is.

11.ábra: Komptech schredder  
(forrás: Komptech honlapja)



b) rostálás:

A kívánt minőségű komposztvégtermék megfelelő maximális szemcse méretét, szemcse eloszlását rosta alkalmazásával érhetjük el.

Nagyon fontos szempont a piaci igényekhez igazítható komposzt szemcse eloszlás biztosítása. A parkosítás során, a focipályák, valamint golfpályák esetében alkalmazott komposzt finomabb szemcse eloszlást (10-15 mm legnagyobb szemcseméret), míg a szántóföldi alkalmazás durvább (maximum 25 mm-es szemcseméret) szemcseméretet követel meg. A szántóföldi alkalmazás esetében kényes pont lehet a kiszórhatóság. Az ideális komposzt megfelelő nedvességtartalmú (20-30 %-os), a már említett maximum 25 mm-es szemcseméretű, valamint poros összetevőt nagyon csekély mértékben tartalmazó termék.

Rostatípusok:

- dobrosta
- síkrosta
- csillagrosta

A kívánt termékminőség, valamint a telepen keletkező komposzt mennyiség figyelembevételével szükséges a megfelelő rosta kiválasztása. A komposzt frakcióméretét a rosta lyukátmérőjével lehet befolyásolni. Dobrosták esetében előnyös a minél nagyobb felületű dobbal rendelkező eszköz alkalmazása. A dob kialakítása is fontos szempont. Beszerezhető szőtt rostahálós szerelt eszköz, de javasolt inkább a perforált lemezes változat alkalmazása. Utóbbi kevésbé érzékeny az eldugulásra. Síkrosták esetében nagyon fontos a megfelelő rostabetét kialakítása. A szőtt hálós betét kényes a dugulásra nedvesebb, valamint szálasabb anyag esetében. Ennél fejlettebb megoldás a húrrosta betét alkalmazása, ami öntisztulásra képes, így eldugulásra kevésbé érzékeny. A csillagrostát elsődlegesen a bemeneti anyag, zöldhulladék, valamint struktúraanyag előkezelésére használhatjuk.

Tökéletesen alkalmas az egyes frakciók kívánt méret szerinti különválasztására ugyanakkor a porszerű alpanyagrészek leválasztására is megoldást nyújthat.

12. ábra: Doppstadt dobrosta  
(forrás: Doppstadt honlapja)



13. ábra: Terex síkrosta  
(forrás: saját kép)



14. ábra: Doppstadt csillagrosta  
(forrás: Doppstadt honlapja)



15. ábra: Flexstar csillagrosta  
(forrás: saját kép)



Összességében elmondható, hogy az adott telep adottságait (méret, meglévő infrastruktúra), a hasznosítandó hulladékok fajtáit és éves mennyiségét, az egyes gépek működési-, és fenntartási költségeit, valamint a beruházásra szánt keretösszeget figyelembevéve lehetséges komoly tervezési munkával az ideális komposztálási technológiát és a gépparkot kiválasztani

#### 4. Komposztáláshoz javasolt adalékanyagok

A kísérlet segédanyagaival a lebomlás gyorsítását és a komposztprizma biológiai sokszínűségét kívánjuk elérni. A humuszképzésben résztvevő mikroorganizmusok felhasználásával gyorsabb szervesanyag átalakulást- és magasabb humuszminőséget ígérnek a forgalmazók.

A hasznosított zöldhulladék felhasználásával a szezonális miatt eltérő minőségű komposztok készülhetnek, valamint a zöldhulladékban található, illetve abban felszaporodó mikrobáknak a mennyisége és a faji sokszínűsége egyaránt változó (gombák, sugárgombák és baktériumok aránya). Az oltóanyagokkal előállított prizmáknak a komposztálási sebessége és a minősége is eltérő lehet. A komposztprizma beoltásától azt várjuk el - a gyártói ajánlások alapján -, hogy a komposzt jobb beltartalmú- és minőségű lesz, valamint csökkenhet az érési idő. A kísérlet során összehasonlítjuk a kiválasztott oltóanyaggal adalékolt komposzt végterméket a telepi oltóanyaggal bekevert komposzttal. Telepi oltóanyagnak nevezzük az érési és utóérlelési cikluson átesett komposztok rostálása során keletkezett közép és felső frakciót (3 frakcióra rostálni képes csillagrosta alkalmazása esetén). A tisztább és homogénebb középfrakció visszakeverése ajánlott, mivel ezen frakcióban található fás anyag mérete 25-60 mm. A középfrakció gazdag a komposztálási folyamat során felszaporodott mikroorganizmusokban. Ezért feltételezzük, hogy a „telepi oltóanyag” is eredményesen segíti a komposztálódási folyamatot.

Az alábbiakban a teljesség igénye nélkül bemutatásra kerül néhány, a kereskedelemben kapható „komposzt adalék” és azok felhasználási ajánlása:

a) A BED baktérium koncentrátum:

folyékony halmazállapotú oltóanyag, amit a komposztprizma térfogatának arányában szükséges alkalmazni. Minden 100 m<sup>3</sup> összekevert prizma input anyaghoz 1 liter BED Baktérium készítményt szükséges adagolni. A koncentrátumot langyos vízben feloldva 5 literes kézi permetezővel, vagy egyéb adagoló berendezéssel a prizma felületére szükséges egyenletesen kijuttatni. A beoltást követően a prizma átforgatása elengedhetetlen. A készítmény olyan baktérium törzseket tartalmaz, amelyek segítik a komposzt inputanyagok átalakulási, bomlási folyamatait. Felszaporodásukkal a komposztálás ciklusideje rövidíthető, a komposzt végtermék tápértéke növelhető.

b) BioFluid

gilisztahumusz vizes kivonata, mely tartalmazza a szántóföldön előforduló sugárgombákat és baktériumközösségeket, melyek a növények tápanyagfelvételét közvetve-, vagy közvetlenül segítik, valamint a komposztálás során felgyorsítja a bomlási, átalakulási folyamatokat.

c) Esstence koncentrátum:

A Biofluidhoz hasonlóan gilisztahumuszból kinyert baktérium készítmény. Segíti a komposztálódás során az iszap, illetve iszap plusz struktúraanyag stabilizálását. A lebomlási, átalakulási folyamatokat gyorsítja. Tartamhatású kötött tápanyag képződését segíti elő, így az Esstence-el kezelt komposztok talajjavító hatása is jelentkezhet.

A vizsgálatok eddig 1200 baktérium- és 250 gombafaj jelenlétét igazolták. A nitrogénkötő baktériumok mellett a szennyezőanyagok elbontására képes mikroorganizmusok is megtalálhatóak a termékben.

d) Dolomit:

A dolomit egy karbonátásvány, a kalcium-magnézium-karbonát trigonális kristályrendszerű ásványa. A dolomit hozzáadásával megnövelt pH-szint a kalcium felvételét is segítheti a növények számára. A dolomit komposzthoz adását a talaj, illetve a komposzt kémhatásának befolyásolása teheti indokolttá semlegesítés céljából. A dolomitpor a pH-szintre gyakorolt hatása miatt a nitrogénfelvételt és a közeg nitrogénháztartását is befolyásolja. Szakirodalom említi, hogy 10% dolomit komposzthoz adása növelte a csírázóképeséget (Keeling, A. A., Paton, I. K., & Mullett, J. A. 1994).

e) Kalk (német) mészkő adalék:

a mészkő adalékot a már 40 °C alatti hőmérsékletű prizma felületére szükséges kijuttatni. Minden az utóérlelésre kerülő anyag tonnájára vetítve legalább 1 kg adalékot szükséges a prizma tetején egyenletesen szétosztani. Ezután 2 hét nyugalmi időszak következik. Két hét elteltével a prizmát össze kell keverni, például prizmaforgatóval, ezután ismét két hét nyugalmi időszakot szükséges a készítménynek biztosítani. Az adalék segítheti a felületén megtelepedő gombák élettevékenységét, ezáltal felgyorsulhat jellemzően a szálas, fás részek átalakulása, bomlása.

#### 4.1. Nemzetközi tapasztalatok mikrobiális komposztálási oltóanyagokkal kapcsolatosan (szakirodalmi kitekintés)

Az élelmiszerhulladék mikrobiális beoltása kísérletekben ígéretes eredményeket hozott, javította a lignocellulóz biodegradációját, csökkentette a savasodást és lerövidítette a komposztálási időt (Kumar Awasthi et al.; 2019.). A komposztálás során fellépő nitrogénveszteségek csökkentésére *Bacillus cereus*, *Pseudomonas donghuensis* és *Bacillus licheniformis* mikrobiális beoltás hatásosnak bizonyult (Hoang et al.; 2022.). Egyes vizsgálatok során az illékonyodás ellen nitrifikáló baktériumok alkalmazása a komposztálási idő jelentős meghosszabbodásával járt. A meghosszabbodott hűlési és érési fázis lehetővé tette a nitrogénmegkötő mikroorganizmusokkal való beoltást, ezáltal növelve a végtermék tápanyagértékét (Sánchez et al.; 2017.). Egy másik kísérlet során, ahol szintén a nitrogénveszteség mikrobiológiai beoltással való csökkentése volt a cél, 15 nappal rövidebb komposztálási időt eredményezett, amellel, hogy az  $\text{NH}_3$  veszteség 58,8%-kal csökkent, nitrogénmegtartó mikrobiológiai oltóanyag bevetése mellett. A nitrátképződés segíthet a komposzt nitrogénjének megőrzésében. A nitrifikáló baktériumok és ammóniaoxidáló archeák nitrogénveszteség-csökkentő tevékenységét már többen tapasztalták. A sokoldalú, számos mikrobát tartalmazó oltóanyagkomplexek várhatóan hatékonyabbak, mint egy bizonyos mikroorganizmus önmagában, hiszen az oltóanyaggal bejuttatott mikroorganizmusoknak a komposztálandó anyagban eleve jelenlévő mikroorganizmusokkal vetélkedniük kell az erőforrásokért (Shan, G., Li, W., Gao, Y., Tan, W., & Xi, B.; 2021.)

A mikrobiális beoltás egyik lehetséges célja a hipertermofil baktériumok segítségével hipertermofil komposztálási körülmények elősegítése. A hipertermofil komposztmintákban az egyik nagy mennyiségben észlelt baktérium család a Thermoactinomycetaceae (Yu, Z., Tang, J., Liao, H., Liu, X., Zhou, P., Chen, Z., Rensing, C. & Zhou, S.; 2018.) Hipertermofil mikrobákkal történő beoltás segítségével a komposztálandó anyag hőmérséklete képes külső forrásból származó melegítés nélkül  $80^\circ\text{C}$  felé emelkedni. (Wang, S., & Wu, Y. ;2021.)

A települési szilárd hulladék többlépcsős beoltása jobb komposztálási hatékonysággal és stabilabb eredménnyel járt, mint a beoltás nélküli, az első szakaszban beoltott és a kétszer beoltott kísérletek. A többlépcsős beoltás során szagtalanító mikroorganizmusok beoltása a kezdeti szakaszban, cellulózbontó mikroorganizmusok hozzáadása az aktív szakasz lehűlési időszakában, majd a ligninbontó mikroorganizmusok beoltása eshet meg, amikor a hőmérséklet  $40^\circ\text{C}$  alá csökken (Xi, B. D., He, X. S., Wei, Z. M., Jiang, Y. H., Li, M. X., Li, D., Li, Y. & Dang, Q. L.; 2012.).

A mikrobiális oltóanyagok az élelmiszer-hulladék komposztálása során a savak lebontása révén képesek a pH-szintet emelni. A  $\text{CH}_4$ -kibocsátás csökkentése érdekében metanotróf baktériumokat lehet hozzáadni. Más kísérletek a növényi foszforfelvétel növekedéséről számoltak be a biológiai adalékanyagokkal történő együttes komposztálást követően (Barthod, J., Rumpel, C., & Dignac, M. F.; 2018.).

Tapasztalat „telepi oltóanyaggal:

Egy vizsgálatban nitrifikáló mikroorganizmusokban gazdag kész komposzt hozzáadása élelmiszerhulladékhoz a kezdeti N-mennyiség  $\text{NH}_3$ -ként való eltávozását 36%-kal csökkentette, azonban a komposzt hozzáadása magában hordozta az  $\text{N}_2\text{O}$ -kibocsátás serkentésének kockázatát (Wang, S., & Zeng, Y.; 2018).

Egyes tanulmányok szerint az érett komposzt kiindulási oltóanyagként való használata előnyösebb lehet, mint a kereskedelmi forgalomban kapható oltóanyagok használata. Az érett komposzt hozzáadása 7 nappal lerövidítette a komposztálási időt és növelte a mikrobák mennyiségét (Wang, Y., Tang, Y., & Yuan, Z.; 2022.).

## 5. A kísérlet során alkalmazott adalékanyagok

A szakdolgozat gyakorlati részében olyan komposztokat hasonlítottunk össze, amelyek azonos érlelési és utóérlelési fázison estek át, azonban 2 végtermék esetében Biofluid baktérium készítményt adtunk az inputanyagokhoz a prizmaépítés előtt, 1 komposzt esetében a rostált komposzthoz kevertünk dolomit őrleményt, 2 termék esetében „telepi oltóanyagot” - rostálásból származó 25-60 mm hosszúságú közepes frakciót - kevertünk a komposztálandó anyagokhoz a prizmaépítés előtt.

Választásom a korábban felsorolt lehetséges oltóanyagok közül a dolomitra, illetve a Biofluid baktérium készítményre esett.

### 5.1. Dolomit:

A dolomit egy karbonátásvány, a kalcium-magnézium-karbonát trigonális kristályrendszerű ásványa. Legtöbbször dolomitnak nevezik a túlnyomórészt dolomitból álló üledékes kőzetet, a dolomitmövet is. A természetben jellemzően mészkővel keveredve alkot kőzetet, e kőzettípust együttesen karbonátos kőzeteknek hívjuk. Ha a kőzetben kalcit a több, mészkőről beszélünk, ha a dolomit, meszes dolomitról. A dolomit hazánkban könnyen beszerezhető dolomitbányákból.

### 5.2. Biofluid

A Biofluid oltóanyag gilisztahumusz vizes kivonata, mely tartalmazza a szántóföldön előforduló sugárgombákat és baktériumközösségeket, melyek a növények tápanyagfelvételét közvetve-, vagy közvetlenül segítik. A kísérlet során feltételeztük, hogy a komposztálás során felgyorsítja a bomlási, átalakulási folyamatokat, és növeli a készkomposzt tápértékét, különös tekintettel a N tartalomra. A Biofluid folyékony koncentrátum. A gyártói ajánlás alapján minden bekevert inputanyag köbméterenként 0,5-1 liter Biofluidot szükséges adagolni az előkeverék készítésekor. Az adagolást előkeverék rétegenként végeztük locsolókannás kijuttatással. Nagyüzemi méretekben ez az adagolási mód nagyban lassítja az előkeverék készítését, erre speciális szórófejes adagoló készítése indokolt.

### 5.3. Telepi oltóanyag

Telepi oltóanyagoknak nevezzük a korábbi komposztálás végső fázisában a rostálás során visszamaradt középfrakciót. A középfrakció bekeverése egyrészt ideális struktúraanyagként szolgál az új komposztprizma építésekor, segíti az átlegegőzést, az aerob rendszer szükséges oxigénmennyiségének biztosítását. a középfrakció szemcsemérete, szálhosszúsága 25-60 mm, ez a rosta megfelelő beállításával érhető el. A középfrakcióhoz hozzátapad nagy mennyiségű komposztálódott anyag, ezzel nagymennyiségű, a komposztáláshoz ideális mikroorganizmus is. A mikroorganizmusok nagy száma miatt alkalmazhatjuk oltóanyagként. A kísérlet során összehasonlítjuk ezen oltóanyag hatását az 5.2. -ban nevezett baktérium készítménnyel.

## 6. Kísérleti terv

A dolomit bekeverését az intenzív érlelési ciklust, valamint a rostálást követően terveztük 15 térfogat %-os arányban, az utóérlelést megelőzően. A vizsgálat célja az volt, hogy miként változtatja a komposzt kalcium és magnézium tartalmát. Továbbá választ kívántunk kapni arra, hogy az utóérlelési fázisban tapasztalható-e minőségváltozás azáltal, hogy a dolomit segíti a mikrobák élettevékenységét, illetve emeli a komposzt pH értékét. Azért választottam a rostált komposzthoz való keverést, mert nagy esélyt láttam annak, hogy ha az inputanyagokhoz keverjük 15 térfogat %-ban, ugyan kedvezhet a mikrobák élettevékenységének, életterének, azonban a rostálás során lehetségesnek találtam, hogy nagyrésze nem jelenik meg a készkomposztban (rostálás során a közép és felső frakcióhoz kötődik). Mivel azonban a kalcium, valamint magnézium tartalom változására fókuszáltam, jobbnak láttam a készkomposzthoz keverni a dolomitot az utóérlelést megelőzően. A megfelelő homogenitású keverés is fejtörést okozott, hiszen kisebb, kísérleti mennyiségnél könnyen megoldható az egyenletes keverés, azonban egy, vagy több teljes prizmányi készkomposzthoz már nehézkes a pontos adagolás és a homogén bekeverés.

A Biofluidot első esetben egy szennyvíziszap, valamint előkezelt zöldhulladékból készített prizmához, második esetben élelmiszerhulladékból, szennyvíziszapból és előkezelt zöldhulladékból épített prizmához kevertem oltóanyagként.

A telepi oltóanyagot szintén az előbb említett szennyvíziszapból és zöldanyagból, illetve élelmiszerhulladékból és zöldanyagból épített prizmához kevertük.

3.táblázat keverési arányok a kísérleti prizmákban  
(forrás: saját munka)

|                     | szennyvíz<br>iszap<br>(m <sup>3</sup> ) | zöld<br>hulladék<br>(m <sup>3</sup> ) | élelmiszer<br>hulladék<br>(m <sup>3</sup> ) | telepi<br>oltóanyag<br>(m <sup>3</sup> ) | Biofluid<br>(L) | Dolomit<br>a komposzt<br>végtermékhez<br>keverve<br>(térfogat %) |
|---------------------|---|---------------------------------------|---|--|-----------------|--|
| 1.prizma            | 100                                     | 200                                   | -   |  | 150             | -  |
| 2.prizma            | 100                                     | 150                                   | -   | 50                                       | -               | -  |
| 3.prizma            | 100                                     | 100                                   | 100   |  | 150             | -  |
| 4.prizma            | 100                                     | 50                                    | 100   | 50                                       | -               | -  |
| készkomposzt<br>„A” | 100                                     | 200                                   | -   |  | -               | -  |
| készkomposzt<br>„B” | 100                                     | 200                                   | -   |  | -               | 15   |

A prizmákat süllyesztett légbefúvóval rendelkező prizmatéren érleltük 2x21 napig. Ezután egy Willibald Flexstar rostával rostáltuk a komposztprizmákat. A rostálást követően 1 hónap utóérlelés következett, ezután szállítottam a mintákat akkreditált laborba. A dolomitot a rostált komposzthoz kevertük (kísérleti mennyiségben) közvetlenül a rostálást követően.



## 7. Laborvizsgálatok

Az akkreditált laboratóriumok a laborvizsgálatokat szabványok szerint végzik. Az alábbi táblázat felsorolja az akkreditált laborvizsgálatok elvégzése során alkalmazott főbb szabványokat.

### 16.ábra komposztvizsgálatok során alkalmazott szabványok

(forrás: Bálint Analitika Kft.; 2023)

|  |   |
|--|---|
| SM-SZTL-001:2017 egyedi módszer  | Küllem: szín, szag, állmazállapot meghatározása       |
| MSZ 9693-2:1978 2. fejezet<br>Mérési bizonytalanság: $\pm 10\%$<br>Alsó méréshatár: 0,01 m/m %   | Nedvességtartalom meghatározása                       |
| MSZ EN 13037:2012<br>Mérési bizonytalanság: $\pm 10\%$<br>mérési tartomány: 1-13 pH egység<br>mérési bizonytalanság: $\pm 0,1$ pH egység   | pH mérés  |
| MSZ EN 12580:2014<br>Mérési bizonytalanság: $\pm 10\%$<br>Alsó méréshatár: 0,01 g/dm <sup>3</sup>  | Térfogsűrűség meghatározása                           |
| MSZ EN 12948:2011<br>Mérési bizonytalanság: $\pm 10\%$<br>Alsó méréshatár: 0,01 m/m%   | Szemcseméret-eloszlás meghatározása                   |
| MSZ-08-0012-9:1987<br>Mérési bizonytalanság: $\pm 10\%$<br>Alsó méréshatár: 0,01 m/m% sz.a.  | Vízben oldható összes só tartalom meghatározása       |
| MSZ EN 13039:2012<br>Mérési bizonytalanság: $\pm 10\%$<br>Alsó méréshatár komponensenként: 0,01 m/m%   | Szervesanyag tartalom meghatározása                   |
| MSZ EN 13654-1:2002<br>Mérési bizonytalanság: $\pm 10\%$<br>Alsó méréshatár: 0,5 mg /kg sz.a.  | Összes nitrogén tartalom meghatározása                |
| MSZ-08-0210:1977 2.1 szakasz<br>Mérési bizonytalanság: $\pm 10\%$<br>Alsó méréshatár: 0,1 m/m% sz.a.   | Szerves szén (humusz tartalom) meghatározása          |
| EPA 6020B:2014<br>Mérési bizonytalanság: $\pm 10\%$<br>Alsó méréshatár:<br>Cd, Co 0,003 mg/kg sz.a.<br>As, Hg, Ni, Pb 0,005 mg/kg sz.a.<br>Cr 0,03 mg/kg sz.a.<br>Cu, Se 0,1 mg/kg sz.a.<br>Mg, P 0,5 mg/kg sz.a.<br>Ca 2 mg/kg sz.a.<br>K 5 mg/kg sz.a. | Elemtartalom meghatározása (ICP-MS)                   |
| MSZ EN 13137:2003 (visszavont szabvány)<br>Mérési bizonytalanság: $\pm 10\%$<br>Alsó méréshatár:<br>TC: 200 mg/kg sz.a.  | Összes széntartalom (TC) meghatározása                |
| EPA 8082A:2007<br>EPA 1668C:2010<br>Mérési bizonytalanság: $\pm 10\%$<br>Kísérő standarddal korrigált érték.   | Poliklór-bifenil markervegyületek (PCB) meghatározása |

Nagyon fontos, hogy a kísérlet tervezése során pontosan meghatározzuk a vizsgált paramétereket továbbá, hogy ezek a jellemzők egyértelműen összehasonlíthatóak legyenek. A kiértékelés alapfeltétele a pontos laborvizsgálati sorok megtervezése. Rögzíteni szükséges továbbá, hogy a komposztálás melyik időpontjában vesszünk mintát laborvizsgálat céljából. Jelen kísérlet során az utóérlelési fázist követően vesszük a mintákat mindegyik komposzt esetében.

4.táblázat: A kísérlet során vizsgált paraméterek

(forrás: saját munka)

|  | mértékegység      |
|--|-------------------|
| pH                                       |                   |
| térfogattömeg                            | kg/m <sup>3</sup> |
| szárazanyag tartalom                     | m/m%              |
| szervesanyag tartalom                    | m/m% sz.a.        |
| vízoldható összes só                     | m/m% sz.a.        |
| Nitrogén                                 | m/m% sz.a.        |
| Foszfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | m/m% sz.a.        |
| Kálium (K <sub>2</sub> O)                | m/m% sz.a.        |
| Kalcium                                  | m/m% sz.a.        |
| Magnézium                                | m/m% sz.a.        |

## 8. Mintavétel:

Elsődleges szempont minden mintavételezésnél, hogy a vizsgált minták reprezentatívak legyenek, könnyen, szakszerűen elvégezhető legyen a mintavétel. Mivel effektív nagyméretű és térfogatú komposztprizmákról beszélünk elengedhetetlen, hogy több helyről vegyünk mintát, azokat összekeverve egy közel az egész prizmára jellemző átlag mérési eredményt kapjunk.

A kísérlet célkitűzése miatt, azaz a termékben lévő tápanyagszintek összehasonlíthatósága miatt jelen esetben a komposztálási folyamat legvégén, az utóérlelő fázist követően vesszük a mintákat egységesen.

Mintavételi lehetőségek:

a) mintavétel profilból

A mintavételi profilt homlokrakodóval szükséges kialakítani. A teljes profilmagasságot egyenletesen kell megmintázni. Javasolt minimum 30 liter minta vételezése profilonként.

b) mintavétel tárolt komposztból

Talajfűrővel végezhető. Minimum 5 mintát szükséges venni több mélységből.

c) mintavétel mozgó anyagból (a kísérlet során nem releváns)

Meghatározott számú rész minta szükséges.

Rész minta:

egy munkaművelettel vett komposzt mennyiség

Átlagminta:

megfelelően homogenizált rész mintákból álló minta

Átlagmintát úgy képzünk, hogy a szedett rész mintákat egy fóliára helyezük és alaposan összekeverjük. A minta mennyiségét úgy csökkenthetjük, hogy egy negyedét elveszük, majd tovább keverjük és ismét elveszük a maradék egynegyedét. A folyamatot addig folytatjuk, amíg a kívánt mennyiségű mintát elérjük.

Jelen kísérlet során prizmáknak minimum 1 kg minta vizsgálatát írta elő a labor.

A minták szállítása zárt edényben vagy zacskóban történhet. A mintáknak 24 órán belül a laborba kell érniük, lehetőleg hűtve. A minta vételének pontos adminisztrálása és a minta sorszáma nagyon fontos a beazonosítás szempontjából.

## 9. Laboreredmények összehasonlítása, a kísérlet kiértékelése

A kísérleti tervben szereplő komposztok laboreredményeit táblázatos formában célszerű összehasonlítani. Három összehasonlítást lehet elvégezni külön-külön:

1. Szennyvíziszapból + zöldhulladékból + telepi oltóanyagból készült prizma (1.a) eredményeinek összehasonlítása szennyvíziszap + zöldhulladék + Biofluid (1.b) keverékből készült komposzttal
2. Szennyvíziszapból + zöldhulladékból + ételmaradékból + telepi oltóanyagból készült prizma (2.a) eredményeinek összehasonlítása szennyvíziszap + zöldhulladék + élelmiszermaradék + Biofluid (2.b) keverékből készült komposzttal
3. Dolomittal kevert komposztot (3.a), dolomit nélküli komposzttal (3.b)

Az alábbiakban táblázatban vetjük össze a laboreredményeket:

5.táblázat: Kísérlet 1. összehasonlítás  
(forrás: saját munka)

| paraméter                                | mértékegység | 1.a prizma | 1.b prizma |
|--|--------------|------------|------------|
| pH                                       |              | 7,68       | 7,67       |
| szárazanyag tartalom                     | m/m%         | 56,7       | 57,1       |
| szervesanyag tartalom                    | m/m% sz.a.   | 44         | 43,4       |
| vízoldható összes só                     | m/m% sz.a.   | 0,21       | 0,21       |
| Nitrogén                                 | m/m% sz.a.   | 1,52       | 1,57       |
| Foszfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | m/m% sz.a.   | 0,90       | 0,95       |
| Kálium (K <sub>2</sub> O)                | m/m% sz.a.   | 0,99       | 1,00       |
| Kalcium                                  | m/m% sz.a.   | 3,30       | 3,24       |
| Magnézium                                | m/m% sz.a.   | 0,79       | 0,78       |

6.táblázat: Kísérlet 2. összehasonlítás  
(forrás: saját munka)

| paraméter             | mértékegység      | 2.a prizma | 2.b prizma |
|-----------------------|-------------------|------------|------------|
| pH                    |                   | 7,93       | 7,85       |
| térfogattömeg         | kg/m <sup>3</sup> | 0,8        | 0,87       |
| szárazanyag tartalom  | m/m%              | 64,65      | 61,42      |
| szervesanyag tartalom | m/m% sz.a.        | 24,49      | 24,54      |
| Nitrogén              | m/m% sz.a.        | 0,42       | 0,46       |
| Összes foszfor        | m/m% sz.a.        | 1,961      | 2,135      |
| Kálium                | mg/kg sz.a.       | 4123       | 4349       |
| Kalcium               | mg/kg sz.a.       | 44 211     | 41 912     |
| Magnézium             | m/m% sz.a.        | 5454       | 4995       |

7.táblázat: Kísérlet 3. összehasonlítás  
(forrás: saját munka)

| paraméter                                | mértékegység      | 3.a komposzt | 3.b komposzt |
|--|-------------------|--------------|--------------|
| pH                                       |                   | 7,21         | 7,12         |
| térfogattömeg                            | kg/m <sup>3</sup> | 0,64         | 0,61         |
| szárazanyag tartalom                     | m/m%              | 46,4         | 44,1         |
| szervesanyag tartalom                    | m/m% sz.a.        | 41,4         | 44,0         |
| Nitrogén                                 | m/m% sz.a.        | 1,96         | 1,90         |
| Foszfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | m/m% sz.a. sz.a.  | 0,96         | 0,97         |
| Kálium (K <sub>2</sub> O)                | m/m% sz.a.        | 0,91         | 0,87         |
| Kalcium                                  | m/m% sz.a.        | 4,40         | 4,57         |
| Magnézium                                | m/m% sz.a.        | 0,99         | 0,98         |

Az 5. és 6. táblázatból is látható, hogy csak csekély mértékben magasabb a Biofluiddal beoltott prizmák nitrogén, foszfor, valamint kálium tartalma. Elsősorban ezen tápanyagok mértékére fókuszáltunk, hiszen a felhasználó gazdálkodókkal történő egyeztetés alapján az értékesítés során ezek az értékek befolyásolják leginkább a döntést. Látható, hogy az 1. összehasonlításban a Nitrogén szint 3,5 %-al, a foszfor 5,5 %-al, a Kálium 1 %-al volt magasabb Biofluid prizmaépítéskori beoltása a telepi oltóanyag visszakeverésével szemben, ami csekélynek mondható. Korábbi tapasztalatok alapján az ugyanolyan anyagokból épített prizmák esetében is kapunk ekkora szórást.

A második összehasonlításban (6. táblázat) az élelmiszerhulladékok felhasználásával épített prizmák tápanyagszintjei a következőképpen alakultak:

A nitrogén szint 9,7 %-al, a foszfor szint 8,9 %-al, a Kálium szint pedig 5,5 %-al volt magasabb, ami nagyobb emelkedés, mint az 1. összehasonlítás prizmáinál tapasztaltak, de még mindig a korábban említett és tapasztalt szóráshoz közeli értékek.

A bemenő anyagok tápértéke nagyban befolyásolja a komposzt tápértékét is, a tapasztalatok szerint a magasabb fás arányt tartalmazó zöldhulladék magasabb kálium tartalmat okoz.

A harmadik összehasonlításban (7. táblázat) az utóérlelés előtt hozzáadott 15 térfogat% dolomit hatását vizsgáltuk. Elsősorban a kalcium és magnéziumtartalom változására fókuszáltunk.

A laborvizsgálatok szerint a kalcium szint 4 %-al volt magasabb, míg a magnézium szintje stagnált, illetve alig mérhetően csökkent. Ez esetben sem tapasztaltunk markáns emelkedést.

A lakossági zöldhulladékból és szennyvíz eredetű alapanyagokból előállított komposzt dolomit hozzáadása nélkül is jelentős mennyiségben tartalmazhat növények számára felvehető káliumot, kalciumot, foszfort és magnéziumot. A dolomit közvetlenül a szántóterületre kijuttatva segíthet a túl alacsony pH szintű talaj kémhatásának a semleges felé változtatásában. A dolomit hozzáadásával megnövelt pH-szint a kalcium felvételét is segítheti a növények számára. A dolomit komposzthoz adását a talaj vagy a komposzt kémhatásának befolyásolása teheti indokolttá semlegesítés céljából, a savas termőközeget kedvelő növényekre viszont növekedéskorlátozó hatású lehet. A dolomitpor a pH-szintre gyakorolt hatása miatt a nitrogénfelvételt és a közeg nitrogénháztartását is befolyásolja.

Szakirodalom említi, hogy 10% dolomit komposzthoz adása növelte a csírázóképeséget, azonban ugyanennyi homok is növelte, feltehetően inkább az adott komposzt szerkezeti elégtelensége miatt (Keeling, A. A., Paton, I. K., & Mullett, J. A. 1994). A komposzthoz hozzáadott anyagok az utóérlelés, majd tárolás során a körülményektől és a létrejövő kémiai reakcióktól függően akár a nitrogén megőrzéséhez, lekötődéséhez, akár az elillanásához is hozzájárulhatnak, amit előre nehéz megjósolni a komposzt változatos, nehezen szabványosítható összetétele miatt. A kalcium és magnézium élelmiszerhulladék- és szennyvíziszap-eredetű komposzt esetében gyakran magas értéket mutat. Tehát ott, ahol a talaj vagy a komposzt biztosítja a megfelelő tápanyagokat és pH-t, ott nem indokolt dolomit hozzáadása.

## 10. Piaci környezet, költségelemzés

A magas szervesanyag- és tápanyagtartalmú komposzt iránt a piaci igény folyamatosan növekszik, melynek fő okai az alábbiak:

- a) A műtrágyák egyoldalú használata és a szervesanyag visszapótlás hiánya miatt a termőföldek többségének a termőképessége drasztikusan és folyamatosan csökken.
- b) A termőföldek biodiverzifikációja folyamatosan csökken az utóbbi évtizedekben. Ennek megállítására ad egy lehetséges alternatívát a komposztok mezőgazdasági alkalmazása.
- c) A magyarországi állattartás visszaszorulása miatt nem áll rendelkezésre elegendő mennyiségű, jó minőségű állati szerves trágya hazánkban.

Az Európai Unió előírta a műtrágyák 30%-os csökkentését, mely automatikusan maga után vonja a szerves alapú talajjavító termékek térnyerését. Az EU 2018/842 rendelete „a rugalmassági mechanizmusról” szabályozza a mezőgazdasági CO<sub>2</sub> kibocsátás kezelését. A dokumentumban a termőföldre kihelyezett biomassza, mint CO<sub>2</sub> elnyelő közeg van definiálva.

A potenciális komposzt felhasználókkal történt egyeztetések alapján egyértelműen kimondható, hogy igénylik a magas szervesanyagtartalmú tápanyagok alkalmazását. A komposztok iránti kereslet egyre növekszik, azonban azok piaci árszabását nagymértékben befolyásolja a műtrágyaárak alakulása. Az elmúlt 1,5 évben a műtrágya árak hektikusan ugráltak, fél éves időintervallumon belül háromszorosára emelkedtek, majd rövid idő alatt visszaeset az árak a kiindulási szintre.

A jelenlegi műtrágya árak nem kedveznek a komposztálás költségét növelő adalékanyagok alkalmazásának. Országos kitekintésben nettó 5000-12.000 Ft /tonna áron beszerezhetőek a komposztok. Egy átlagosan nettó 7-8000 Ft/tonna árú komposzt, amennyiben nincs markáns tápérték növekedés, nem viseli el a kísérletben szereplő adalékanyagok alkalmazásának többletköltségét. Tapasztalható volt, hogy a „telepi oltóanyag” hozzáadása csaknem ugyanolyan tápértéket eredményezett. Mindkét esetben végbement a komposztálás összes fázisa. Korábbi tapasztalati számítások alapján egy 300 m<sup>3</sup>-es prizma esetében - ami nagyságrendileg 140 tonna - az intenzív érés során bekövetkezett tömegvesztés hatására a rostálendő komposzt tömege 93 tonna. A rostálást követően körülbelül 75 tonna komposztot kapunk. Erre a mennyiségre vetítjük a 300 m<sup>3</sup>-es prizmához felhasznált adalékanyag árát. Ehhez a kísérleti prizmához 150 liter Biofluidot adtunk, ami nettó 140.250 Ft összesen. Ez az adalékolás a komposzt tonnánkénti árát nettó 1.870 Ft-al emeli. Ehhez hozzá kell számolni a bekeverés gépi és humán erőforrás költségét is. Látható, hogy összességében csaknem 25 %-al emeli meg az adalékanyag alkalmazása az előállítási költséget, ellenben nem hoz markáns tápérték növekedést. A vásárlók ezt a többletköltséget nem fizetik meg.

A dolomit esetében egyszerűbben számolhatunk. Mivel csaknem komposzt átlagáron szerezhető be a dolomit (telepi leszállítás esetén). A készkomposzt súlyához hozzáadhatjuk a dolomit súlyát, ezzel növekszik az összes eladható termék, ellenben mivel az komposztáron szerezhető be, így a nyereség nem változik mérhetően. A dolomit pontos arányú és egyben teljesen homogén komposzthoz keverése nagyon nagy gépi és humán erőforrást igényel, ami nagyban növeli a költségeket. A dolomit hozzáadás csak akkor kifizetődő, ha a megrendelő kifejezetten igényli a „talajjavító (pH emelés) terméket”. Vélelmezhető, hogy a talajok pH emelése a közvetlen kijuttatással optimálisabb megoldás.

## 11. Összefoglalás

Az ezredfordulót megelőző évtizedek talajerőgazdálkodási gyakorlata a talajaink minőségének nagymértékű romlásához vezetett. A talajok levegő és vízháztartása leromlott, a humusz-, valamint tápanyagtartalma jelentősen csökkent, miközben a talajélet is nagyban mérséklődött. A mezőgazdasági ágazat fenntarthatósága veszélybe kerül, amennyiben a gazdálkodók nem nyitnak a talajok minőségét javító, a talajéletet serkentő, illetve visszaállító, nagy szervesanyag tartalmú tápanyagforrások alkalmazása felé. A szükséges szerves tápanyagok előállítása megoldható egyes, magas tápértékű hulladékfajták (például zöldhulladék, kommunális szennyvíziszap, mezőgazdasági melléktermékek) komposztálással történő hasznosításával. A szakdolgozat célja a komposztálás jelen helyzetének, jelentőségének, lehetőségeinek, valamint a jogszabályi környezetének bemutatásán túl a komposzt végtermék minőségét javító adalékanyagok alkalmazásának relevanciáját vizsgálja.

A gazdálkodók egyértelműen felismerték, hogy a szerves tápanyagforrások használata elengedhetetlen ahhoz, hogy megfelelő terméseredményeket érjenek el, valamint, hogy a talajok minősége hosszútávon fenntartható legyen. A talajhasználók érdeke egybevág azon Európai Unió kötelezettségünkkel, miszerint el kell érni rögzített határidőre a lerakóktól való hulladék-eltérítés előírt, egyre növekvő arányát. A hulladékok eltérítési arányának eléréséhez elengedhetetlen a biológiailag lebomló hulladékok hasznosítása.

A szakdolgozat célja annak elemzése, hogy mikrobiológiai és ásványi adalékanyagokkal „irányított” komposztálás alkalmazásával magasabb tápértékű komposzt állítható-e elő. Kérdésként merült fel, hogy amennyiben az adalékanyagok használata növeli a komposzttermék tápértékét, vajon a piaci szereplők, a vásárlók megfizetik-e az adalék alkalmazásának többletköltségét. Összehasonlításra került a dolgozatban a kialakult telepi oltóanyag (rostamaradék) bekeverésével készített komposztok tápértéke a mikrobiológiai adalékanyagokkal kezelt komposztok tápanyag tartalmával kiemelve a nitrogén, foszfor és káliumtartalmat.

A dolgozat gyakorlati fejezeteiben az alábbi komposztprizmák végtermékét hasonlítottam össze:

1. Szennyvíziszapból + zöldhulladékból + telepi oltóanyagból készült prizma eredményeinek összehasonlítása szennyvíziszap + zöldhulladék + Biofluid keverékéből készült komposzttal.
2. Szennyvíziszapból + zöldhulladékból + ételmaradékból + telepi oltóanyagból készült prizma eredményeinek összehasonlítása szennyvíziszap + zöldhulladék + élelmiszermaradék + Biofluid keverékéből készült komposzttal.
3. Dolomittal kevert komposztot, dolomit nélküli komposzttal.

A felsorolt komposztálási kísérletek során egységesen 2 x 21 napos érlelési ciklust alkalmaztam. A végtermékekből reprezentatív mintavétel után azonos mennyiségű minta került beszállításra a laborba.

A laboreredményeket összevetve az alábbi megállapításokat tettem:

- a mikrobiológiai oltóanyaggal kezelt komposztprizmák végtermékében csekély mértékben növekedett a vizsgált nitrogén, foszfor és kálium szint,
- a vizsgált tápanyagok mértékének növekedése a kezeletlen, illetve csupán rostamaradékkal kevert komposztok idősoros laboreredményeinek szórásánál kisebb mértékű volt,
- a kezelések anyag, energia, gépi- és humán erőforrás többletköltségét nem fizetik meg a potenciális vevők,
- dolomit bekeverése esetlegesen akkor releváns, ha kifejezetten a savanyú talajok minőség javítása, pH érték emelése a cél.

A komposztálás - mint hulladék hasznosítási mód – jövője és szükségessége megkérdőjelezhetetlen. Napjainkban egyre inkább célként fogalmazódik meg a körforgásos gazdaságra történő átállás szükségessége. A körforgásos gazdaság elveit szem előtt tartva az emberi tevékenység hatására keletkező hulladékokat alapanyagként újra lehet hasznosítani komposztálással. Ezáltal csökken a lerakókba kerülő hulladékok mennyisége, ráadásul az „alapanyagok újbóli felhasználása” gazdaságilag is értékteremtő.



## 12. Irodalomjegyzék

1. Európai Parlament honlapja. Letöltés dátuma: 2024.03.28. forrás: [www.europarl.europa.eu](http://www.europarl.europa.eu)
2. Nemzeti Hulladékgazdálkodási Koordináló és Vagyonkezelő Zrt. (2020): *A közszolgáltatásban gyűjtött zöldhulladékok hasznosításának helyzete és lehetőségei az EU irányelvek teljesíthetősége szempontjából, különös tekintettel a körkörös gazdaság által elvárt termékesítésre és értékesíthetőségre*. Budapest
3. KSH honlapja. Letöltés dátuma: 2024.02.09. *Komposztálással hasznosított hulladék mennyisége tonnában (2006-2022)*. forrás: [statinfo.ksh.hu](http://statinfo.ksh.hu)
4. Jogtár. Letöltés dátuma: 2024.02.14. *50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól*. forrás: [www.net.jogtar.hu](http://www.net.jogtar.hu)
5. Jogtár. Letöltés dátuma: 2024.02.14. *36/2006. (V. 18.) FVM rendelet a terméshozó anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról*. forrás: [www.net.jogtar.hu](http://www.net.jogtar.hu)
6. Jogtár. Letöltés dátuma: 2024.02.14. *2008. évi XLVI. törvény az élelmiszerláncról és hatósági felügyeletéről*. forrás: [www.net.jogtar.hu](http://www.net.jogtar.hu)
7. Jogtár. Letöltés dátuma: 2024.02.14. *23/2003. (XII. 29.) KvVM rendelet a biohulladék kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről*. forrás: [www.net.jogtar.hu](http://www.net.jogtar.hu)
8. Aleksza László, Antal Tamás, Béres András, Bodnárné Sándor Renáta, Dér Sándor, Farkas Hilda, Füleky György, Gyuricza Csaba, Hartman Mátyás, Kalmár Imre, Kalmárné Vass Eszter, Kiss Jenő, Kovács József Attila, Mozsgai Katalin, Nagyné Szendefy Judit, Posta Katalin, Simándi Péter, Simon László, Szigeti Ferenc, Szöllősi István, Uri Zsuzsanna, Vígh Szabolcs, Vincze György, *Hulladékgazdálkodás Kézikönyv (2017); 277-279.*
9. Profikomp Zrt. honlapja. Letöltés dátuma: 2024.02.15. forrás: [www.profikomp.hu/hu](http://www.profikomp.hu/hu)
10. Talajreform honlapja. Letöltés dátuma: 2024.02.20. forrás: [www.talajreform.hu](http://www.talajreform.hu)
11. Gyakorlati leírások; Hulladékkezelési és hasznosítási szakmérnök képzés (2023)
12. Kumar Awasthi, S., Sarsaiya, S., Kumar Awasthi, M., Liu, T., Zhao, J., Kumar, S., Zhang, Z., *Changes in global trends in food waste composting: Research challenges and opportunities*, *Bioresource Technology* (2019)
13. Hoang, H. G., Thuy, B. T. P., Lin, C., Vo, D. V. N., Tran, H. T., Bahari, M. B., & Vu, C. T. (2022). *The nitrogen cycle and mitigation strategies for nitrogen loss during organic waste composting: A review*. *Chemosphere*.
14. Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). *Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process*. *Waste Management*, 69, 136-153.
15. Shan, G., Li, W., Gao, Y., Tan, W., & Xi, B. (2021). *Additives for reducing nitrogen loss during composting: A review*. *Journal of Cleaner Production*, 307.
16. Yu, Z., Tang, J., Liao, H., Liu, X., Zhou, P., Chen, Z., Rensing, C. & Zhou, S. (2018). *The distinctive microbial community improves composting efficiency in a full-scale hyperthermophilic composting plant*. *Bioresource technology*, 265, 146-154.
17. Wang, S., & Wu, Y. (2021). *Hyperthermophilic Composting Technology for Organic Solid Waste Treatment: Recent Research Advances and Trends*. *Processes*, 9(4), 675.

18. Xi, B. D., He, X. S., Wei, Z. M., Jiang, Y. H., Li, M. X., Li, D., Li, Y. & Dang, Q. L. (2012). Effect of inoculation methods on the composting efficiency of municipal solid wastes. *Chemosphere*, 88(6), 744-750.
19. Barthod, J., Rumpel, C., & Dignac, M. F. (2018). Composting with additives to improve organic amendments. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(2), 17.
20. Wang, S., & Zeng, Y. (2018). Ammonia emission mitigation in food waste composting: a review. *Bioresource technology*, 248, 13-19.
21. Wang, Y., Tang, Y., & Yuan, Z. (2022). Improving food waste composting efficiency with mature compost addition. *Bioresource Technology*, 349.
22. Keeling, A. A., Paton, I. K., & Mullett, J. A. (1994). Germination and growth of plants in media containing unstable refuse-derived compost. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(6), 767-772.

## NYILATKOZAT

### szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Becker Roland Barnabás  
A Hallgató Neptun kódja: DKL224  
A dolgozat címe: Mikrobiológiai és ásványi adalékanyagok hatása a komposzt minőségére, beltartalmára, összehasonlítva a visszaforgatott rostamaradékkal, mint "telepi oltóanyaggal"  
A megjelenés éve: 2024  
A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet  
A konzulens tanszékének a neve: Kihelyezett Hulladékgazdálkodási Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2024. év április hó 17. nap

Hallgató aláírása

## NYILATKOZAT

Becker Roland Barnabás (hallgató Neptun azonosítója: DKL2Z4) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom<sup>1</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem<sup>\*2</sup>

Kelt: Gödöllő, 2024. év április hó 18. nap

  
belső konzulens

---

<sup>1</sup> A megfelelő aláhúzendó.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendó.