

DIPLOMADOLGOZAT

Zakar Szilvia

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet

környezetgazdálkodási agrármérnök mesterképzési szak

**Komposztálási alapanyagok sótartalmának csökkentési
lehetőségei**

Belső konzulens: Dr. Cserhádi Mátyás István
Egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete:** Akvakultúra és
Környezetbiztonsági Intézet

Készítette: Zakar Szilvia

**Gödöllő
2024**

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés és célkitűzések	3
2	Szakirodalmi áttekintés	5
2.1	A talaj funkciói, fontossága.....	5
2.2	Talajdegradációs folyamatok.....	6
2.2.1	Szikesedés.....	8
2.2.2	Szervesanyag csökkenés.....	9
2.3	Talajjavítási módszerek.....	10
2.3.1	Szikesek javítása	11
2.3.2	Szervesanyag utánpótlás lehetőségei	11
2.4	Komposztálás.....	12
2.4.1	A komposztálás folyamata	13
2.4.2	A komposztálást befolyásoló tényezők.....	14
2.4.3	Komposztálási technológiák.....	15
2.4.4	A komposztálás során felhasználható anyagok.....	17
2.4.5	A komposzt késztermék minősítése, tartalma	19
3	Anyag és módszer.....	21
3.1	A Dunacell Kft. tevékenysége és a kutatás alapjai	21
3.1.1	Cellulózgyártás	23
3.1.2	Szennyvíztisztítás.....	24
3.1.3	Komposztálás.....	25
3.2	A komposztálási anyagok tulajdonságai, problémái	33
3.3	A komposztálási alapanyagok tulajdonságai	34
3.4	A vízben oldott összes sótartalom csökkentésének vizsgálata	35
3.4.1	Víztelenített minták vizsgálata	37
3.4.2	Szuszpenziók vizsgálata	39
4	Eredmények és értékelésük	39

4.1	Mésziszap vizsgálati eredményei.....	39
4.1.1	Víztelenített méziszap.....	39
4.1.2	Víztelenítés előtti méziszap szuszpenzió	41
4.2	Biológiai fölősiszap vizsgálati eredményei	42
4.2.1	Víztelenített biológiai fölősiszap	42
4.2.2	Víztelenítés előtti biológiai fölősiszap szuszpenzió.....	44
4.3	A vizsgálati eredmények értékelése	45
4.3.1	Víztelenített alapanyagok eredményeinek értékelése	45
4.3.2	Víztelenítés előtti fázisban lévő alapanyagok vizsgálati eredményeinek értékelése.....	47
5	Következtetések és javaslatok.....	48
5.1	Mésziszap sótartalmának csökkentési javaslatai	48
5.2	Biológiai fölősiszap sótartalmának csökkentési javaslatai	49
6	Összefoglalás	51
7	Irodalomjegyzék	53
8	Ábrák és táblázatok jegyzéke	56
8.1	Ábrák jegyzéke.....	56
8.2	Diagramok jegyzéke.....	57
8.3	Táblázatok jegyzéke.....	57
9	Köszönetnyilvánítás.....	59
10	Nyilatkozatok.....	60
10.1	Hallgatói nyilatkozat.....	60
10.2	Konzulensi nyilatkozat	61

1 Bevezetés és célkitűzések

A globális hatású problémákról és kihívásokról rengeteg szempontból beszélhetünk, elemezhetjük őket, vizsgálhatjuk egyik és másik egymásra való hatását, de következtetésként minden esetben arra a végkifejletre jutunk, hogy az egész világot érintő problémákat komplexen kell kezelni. A XX. században elindult népességgrobbanás óriási hatást gyakorolt az iparszerű mezőgazdasági termelés kialakulására. Ennek fő oka, hogy a népesség számával arányosan az élelmiszerigény is megnövekedett. Az ENSZ adatai alapján 1950-ben összesen 2,5 milliárd ember lakta a bolygót, mára ez a szám már átlépte a 8 milliárd főt (Központi Statisztikai Hivatal).

Az élelmiszerigény biztosítására a mezőgazdaságnak reagálnia kellett, elterjedt a nagyüzemi termelés. A talajállapot figyelmen kívül hagyása, nagy mennyiségű műtrágya- és növényvédőszer kijuttatása és az intenzív művelés jellemezte ezt az időszakot. A különféle kemikáliák nagy mértékű felhasználása a felszíni és felszín alatti vizek elszennyezését, az intenzív művelés a talajok kimerülését és gyorsított ütemű pusztulását eredményezte.

Az Európai Unió elhivatott környezetvédelem terén, számos intézkedést hozott annak érdekében, hogy csökkentse a környezeti terhelést, megvédje a természeti erőforrásokat és előmozdítsa a fenntarthatóságot. Elkötelezett a hulladékgazdálkodás és az erőforrások hatékonyabb felhasználása mellett, melynek érdekében támogatja a körkörös gazdaságot, amelyben a termékek életciklusa során keletkező hulladékot újrahasznosítják és minimalizálják a természetes erőforrások felhasználását.

Véleményem szerint alapvetőnek kell lennie azon technológiák széleskörű alkalmazásának, amelyek komplexen képesek hozzájárulni a fenntarthatóság megteremtéséhez. A hulladékhasznosítás lényege, hogy minél kevesebb hulladék kerül a hulladéklerakókra, ezáltal csökkenteni képes a környezet terhelését, valamint a hasznosított anyag a jövőben értéket képvisel. Ilyen technológia a napjainkban egyre népszerűbbé váló – de már az ókorban is alkalmazott – komposztálás is. Alkalmazásának elterjedését a gazdasági, környezeti és jogi tényezők kényszerítő ereje okozza, továbbá a fenntartható mezőgazdaság támogatója, mivel környezetkímélő talajjavítás valósítható meg vele.

Diplomamunkám témaválasztásakor szem előtt tartottam, hogy egy olyan témát dolgozzak fel, ami környezetvédelmi és fenntarthatósági szempontból egyaránt prioritást élvez, relevanciája egyértelmű.

A környezetgazdálkodási agrármérnöki alapképzésem során, 2019-ben befejezett szakdolgozatom témája volt a Dunacell Kft.-nél végzett komposztálási folyamat részletes bemutatása, valamint az abban az időszakban aktuális – elsősorban értékesítési – problémákra tartós megoldások keresése. Az akkori problémák megoldottá váltak, mivel az elmúlt öt éves ciklusban nem kellett komposztfelhalmozódási gondokkal szembenézni. Az évek alatt kialakult állandó vevőkörhöz és a vevői elégedettséghez nagyban hozzájárul, hogy a Dunacell Kft. által gyártott komposzt beváltotta a hozzá fűzött reményeket a mezőgazdasági felhasználás során. Ennek ellenére az előforduló műszaki problémák kihívásai mellett az állandó termékminőség biztosítása néha nem várt akadályokba ütközhet. A termékek beltartalmi mutatóinak ellenőrzése mind gyártói-, mind hatósági oldalról rendszeres, de így is előfordult már, hogy megengedett határérték feletti volt a komposzt vízben oldható összes sótartalma.

A Dunacell Kft. elkötelezett az iránt, hogy folyamatosan biztosítani tudja a megfelelő minőségű és mennyiségű terméket vevői részére, ezért mindent megtesz annak érdekében, hogy az esetleges nemmegfelelőségeket megszüntesse.

Diplomamunkám elkészítése során először bemutatom és elemzem a komposztálást, komposztálási alapanyagok keletkezési folyamatát, majd az aktuális problémára, az alapanyagok vízben oldható összes sótartalmának csökkentésére, mosási lépcsők beillesztésével teszek kísérletet. Megvizsgálom ezek hatékonyságát, javaslatot teszek megoldási lehetőségekre és a gyakorlati megvalósításukra.

2 Szakirodalmi áttekintés

2.1 A talaj funkciói, fontossága

A talaj egy feltételesen megújuló erőforrás, a földkéreg legkülső részén elhelyezkedő, háromfázisú diszperz rendszer, melynek egyik fő tulajdonsága a termékenység. Ezen tulajdonsága révén kellő időben és helyen képes a növények számára megfelelő mennyiségű és minőségű tápanyagot és vizet szolgáltatni.

Funkcióit tekintve két nagy csoportra oszthatók:

1. ökológiai funkciók: termékenység (élelmezésbiztonság), szabályozó funkciók (szűrő-tompító-védő hatás), élőhely (talajban és talajon élő ökoszisztémák), valamint
2. az emberi tevékenységhez köthető funkciók: közeg és élettér az élőlények, építmények és a közlekedés számára, továbbá a történelmi örökségek őrzője (Michéli, 2011).

A funkciók összetettségét megvizsgálva egyértelmű, hogy az egészséges talaj megléte, az élet nélkülözhetetlen összetevője.

A fenntartható mezőgazdasági fejlődés napjaink egyik legfontosabb kérdésévé vált. A népesség rendületlen növekedése oly mértékűvé vált, hogy az elegendő mennyiségű élelmiszer biztosítása a mezőgazdaság iparosodásának meghatározó oka lett. A megnövekedett igényhez ezzel együtt a termelés intenzitásának fokozása vált szükségessé, ami a talajok fokozott igénybevételét eredményezte.

A Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján Magyarországon 2022. évben mezőgazdasági területként 5 080,1 ezer hektárnyi terület volt regisztrálva, melynek több mint 81%-a (4 162,9 ezer hektár) szántó művelési ágba tartozik (Központi Statisztikai Hivatal). Egyes becslések szerint, a termőtalajaink legalább tízszer gyorsabban használódnak el, mint amilyen gyorsan újra tudnának épülni. Ez a valóságban a jövőre nézve annyit jelent, hogy amennyiben a termelés módszerén nem következik be egy szemléletváltás, 2040 és 2080 között bekövetkezhet a termőrétegek elsivatagosodása, a nem megfelelő művelés, a vízhiány, a klímaváltozás és a talajpusztulás következtében, globális mértékben. Ez a degradációs folyamat most is gyorsul, a humuszos termőréteg folyamatosan csökken. A népességrobbanás időszakában a termelés maximalizálást inputnöveléssel próbálták elérni. Ennek szoros velejárója a tápanyagok felhalmozódása, – hiszen az ökoszisztéma nem tud többet hasznosítani, hiába juttatják ki a sokszorosát – végsősoron a környezet szennyeződése (Lőrinczy, 2022.).

2.2 Talajdegradációs folyamatok

A talajokat számos tényező veszélyezteti, melyek lehetnek természetes és mesterséges eredetűek egyaránt, melyek egyidejű fellépése visszafordíthatatlan károkat eredményezhet.

A talajpusztulás természetes kiváltói lehetnek az árvizek, földcsuszamlások és a klímaváltozás is. Mesterséges eredetű okok közé tartozik az ipari tevékenység, az urbanizáció, a bányászat, az ésszerűtlen földhasználat és a településfejlesztés is (Prof. Dr. Várallyay, 2012.).

A termőtalaj készlet és minőség változása pozitív irányú is lehet, az 1. táblázat mutatja be a változások irányát és lehetséges okait, példákkal.

1. táblázat - A talaj egyes jellemzőinek változási irányai és okai (Forrás: Talaj, növény és környezet, Várallyay, 2012)

Talaj jellemző	Kedvezőtlen változást eredményező tényezők	Kedvező változást eredményező tényezők
Termőterület változás	földhasználat módosulása: - felszíni bányászat, - hulladék elhelyezésére újonnan létesített terület, - iparfejlesztés, - településfejlesztés, - urbanizáció...stb.	- ezelőtt nem használt - de művelésre alkalmas – területek művelésbe vonása: füves sztyeppék, szavanna - kis termékenyséű vagy terméketlen területek művelésbe vonása meliorációs tevékenységgel - természeti tényezők – pl. csapadékhiány – miatt nem művelt területek művelésbe vonása (öntözéssel)
Termőréteg vastagság változás	- erózió - defláció	- természetes feltöltődés: lejtőhordalék, öntésanyag - mesterséges feltöltés: melioráció
Minőségi változás	- degradációs folyamatok: erózió, defláció, sófelhalmozódás, szikesedés, savanyodás, tápanyagforgalom	- talajjavítás - ésszerű talajhasználat - vetésforgó alkalmazás, megfelelő agrotechnikával - okszerű tápanyag bevitel

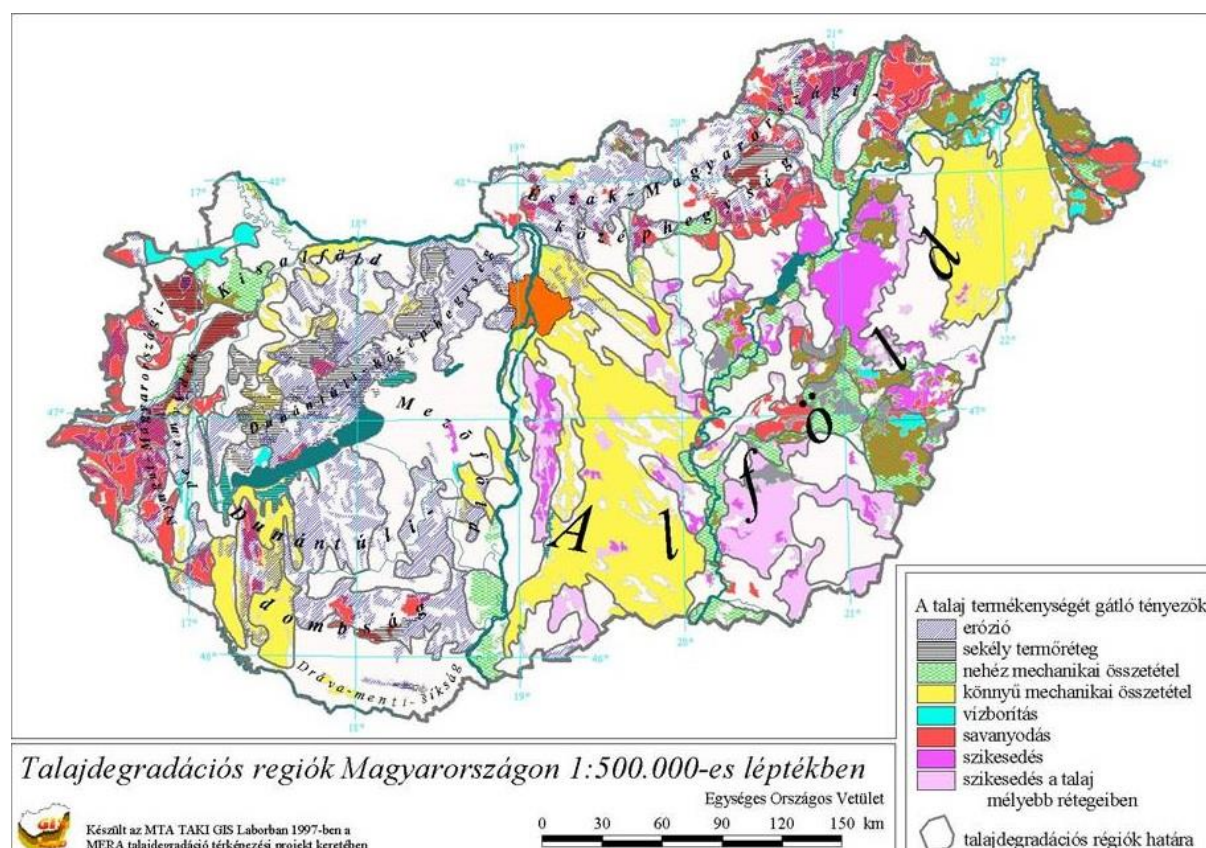
	megváltozása, mikrobiális aktivitás csökkenése, fizikai degradáció - intenzív talajhasználat következményei: szerkezetromlás, szervesanyag csökkenés	- szervesanyag utánpótlás
--	--	---------------------------

Mint ahogy a felsorolt tevékenységek száma is mutatja, az emberi tevékenység igen nagy hatással van a talajok minőségére.

A magyarországi talajok állapotát veszélyezteti a talajsavanyodás, a szikesedés, a fizikai degradáció, a szélsőséges vízháztartás, a humusz- és tápanyag készlet csökkenése, a talajerózió, valamint a talajszennyezés (Dr. Szabó, 2018.). Az 1. ábrán látható Magyarország talajdegradációs térképe. Ezt vizsgálva megállapítható, hogy az ország talajainak állapota jelentős változékonyságot mutat, és számos tényező befolyásolja a talajdegradációs folyamatok kialakulási helyét. Ilyen befolyásoló tényezők lehetnek például az éghajlati adottságok, a domborzat, a talajtípus, a földhasználati forma és az emberi tevékenységek összessége egyaránt.

1. ábra - Magyarország talajdegradációs régiói, MTA TAKI, 1997 (forrás:

https://enfo.hu/sites/default/files/Talajdegrad%C3%A1ci%C3%B3s%20r%C3%A9gi%C3%B3k%20Mo_0.jpg)



A talajminőség romlása a mezőgazdasági termelés kontextusában az alábbi problémákat okozza:

- csökken a talaj- és a termőterület,
- növekszik az aszályérzékenység, megnövekszik a vízigény,
- csökken a szervesanyag tartalom és a mikrobiális aktivitás,
- kevesebb idő jut az agrotechnikai műveletekre, energiaigényesebbé és ennél fogva költségesebbé válnak, megemelkedik a termelési költség,
- megnövekszik a tápanyagigény, magasabb műtrágya inputokat alkalmaznak,
- megnő a felszíni és felszín alatti vizek szennyeződésének lehetősége,
- csökken a táj változatosság (Dr. Szabó, 2018.).

Dolgozatom témája szempontjából a szikesedéssel és a szervesanyag csökkenéssel foglalkozom az alábbiakban részletesebben.

2.2.1 Szikesedés

A szikesedési folyamatok együttesen jelentik azt az állapotot, mely során a felhalmozódott sók hatására kedvezőtlen tulajdonságok alakulnak ki a talajban, termékenységük jelentősen lecsökken (Michéli, 2011).

Sófelhalmozódás esetén a vízben oldódó (főleg nátrium, magnézium, kalcium, és ezek karbonátjai, bikarbonátjai, kloridjai vagy szulfátjai) sók mennyisége megnő a feltalajban. Amennyiben ez természetes úton következik be, akkor a mállási-, vagy transzport folyamatokban halmozódik fel a só a talajvízben vagy a talajképző üledékben. Az emberi hatásra kialakuló másodlagos folyamat a nem megfelelő öntözési technika és/vagy öntözővíz, vagy a nem megfelelő vízelvezetés miatt következik be (Michéli, 2011).

A szikesedés másik folyamata a szódásodás, mely során nátrium ionok halmozódnak fel a talajban különböző formában:

- szilárd, kristályos (NaHCO_3 vagy Na_2CO_3) sóként,
- erős lúgosságot okozva oldott állapotban,
- kicserélhető ionokként a kolloidok felületén (Michéli, 2011).

Magyarországon körülbelül 1 millió hektáron (összterület több mint 10%-a) szikes a talaj, vagy jelentkezik (másodlagos) szikesedési folyamat (Dr. Farsang, 2011.).

A talajok vízben oldható sótartalma tömeg%-ban (só%) adható meg, vagy a vizes talajkivonatok elektromos vezetőképességével (EC) lehet jellemezni. Ez alapján a talajok sótartalom szerinti osztályozása öt féle kategóriába sorolja a talajokat.

1. $EC < 2 \text{ mS/cm}$ (só% $< 0,1$): nem sós, a növények fejlődése nem gátolt,
2. $EC = 2\text{--}4 \text{ mS/cm}$ (só% $\approx 0,1 - 0,25$): gyengén sós, az állapot néhány sóérzékeny növény fejlődését gyengíti,
3. $EC = 4\text{--}8 \text{ mS/cm}$ (só% $\approx 0,25 - 0,5$): közepesen sós, a legtöbb termesztett növény terméshozama csökken, csak a sótűrő növények fejlődése nem gátolt,
4. $EC = 8\text{--}16 \text{ mS/cm}$ (só% $\approx 0,5 - 1,0$): sós, csak a sótűrő növények fejlődnek zavartalanul,
5. $EC > 16 \text{ mS/cm}$ (só% $> 1,0$): igen sós, ezeken a talajokon csak néhány sótűrő növény él meg (Stefanovits, Filep, & Fülek, 1999).

A magas sótartalomnak és a szikesedésnek számos káros hatása van:

- termékenység és mikrobiális aktivitás csökkenés
- kedvezőtlen kémhatás kialakulása (lúgos)
- a talaj adszorpciós felületén a nátrium ionok dominanciája miatt vízzel érintkezve könnyen szétiszapolódhat,
- megnő a belvíz kialakulásának veszélye,
- romlik a művelhetőség,
- az agyagásványok mozoghatnak, széteshetnek,
- foszfor megkötődik, a növények számára felvehetetlen, kalcium-foszfátok formájában,
- a nélkülözhetetlen mikroelemek kicsapódnak, ezáltal felvehetetlenné szintén válnak (Dr. Farsang, 2011.).

A talaj állapotának kedvezőtlen irányú változása – a toxicitás növekedése, a vízforgalom megzavarása – tovább ronthatja a termesztett növények terméshozamát (Lakhdar, és mtsai., 2009.).

2.2.2 Szervesanyag csökkenés

A talajok szervesanyag tartalmának megőrzése, illetve növelése napjainkra elsődleges feladattá vált, mivel szerepe igencsak sokrétű a termékenység szempontjából. Ahhoz, hogy ezt megértsük, tisztázni kell, hogy a talaj szervesanyaga miként befolyásolja a termékenységet.

Összefoglalóan a talaj szervesanyaga növényi és állati szerves anyagokból és a talajban a mikrobiális lebontás által átalakított, különböző fázisaiban lévő anyagokból áll (EIP-AGRI Szolgáltató Pont, 2016.). Számos okból nélkülözhetetlen a talaj termékenységének fokozása és minőségének javítása szempontjából:

- ✓ tápanyagforrás,

- ✓ kationcsere kapacitása révén nélkülözhetetlen a tápanyag felvételben, megőrzésben, a talaj kémhatásának semlegesítésében, esetleges toxikus hatások mérséklésében,
- ✓ a talaj szerkezetének és megfelelő porozitásának kialakításában (tömörödés és elporosodás lehetősége egyaránt csökken) az ásványi részekkel való kapcsolódásával játszik szerepet, így javít annak vízgazdálkodási tulajdonságain és az erózió elleni küzdelemben,
- ✓ sötét színe segíti a talaj felmelegedését, jobb életfeltételeket biztosít a növényi gyökereknek,
- ✓ szénbefogó képessége szerepet játszik a klímaváltozás elleni küzdelemben (szén-dioxid megkötés),
- ✓ a talajlakó szervezetek számára tápanyagot biztosít, aktivitásukat növeli, fokozza a biodiverzitást (Michéli, 2011), (EIP-AGRI Szolgáltató Pont, 2016.).

A szervesanyag tartalom csökkenésének okai igen széles skálán mozognak, melyek lehetnek természetes és antropogén eredetűek egyaránt. Ide tartozik a művelési ág váltás, az erózió, a defláció, az intenzív talajművelés és mélyszántás, a nem okszerű és eltúlzott nitrogén utánpótlás – mely gyorsítja a szervesanyag készlet mineralizációját -, a drénezés és a lápok lecsapolása is. A fő problémát a talajművelés – ezen belül pedig lényeges helytelen mezőgazdasági gyakorlat (Michéli, 2011). A fedetlen talajt az egyre gyakrabban jelentkező szélsőséges időjárási körülmények nem kímélik, ennek leginkább a felső humuszos réteg látja kárát. A szármaradványok beforgatásának gyakorlata csak a közelmúltban kezdett elterjedni, ehhez nagyban hozzájárult az agrártámogatási rendszer feltételrendszerének módosítása. A magyarországi állattartás nem képes akkora mennyiségű istállótrágyát biztosítani a növénytermesztés számára, mint amekkora szervesanyag utánpótlásra szükség lenne.

A szervesanyag hiány nem csak hazánkra, hanem egész Európára jellemző, 2002-ben az Európai Bizottság a talaj csökkenő szervesanyag tartalmát jelölte meg a talajok romlásának egyik legsúlyosabb okaként, főként Dél-Európában (EIP-AGRI Szolgáltató Pont, 2016.).

2.3 Talajjavítási módszerek

Talajjavításról akkor beszélünk, ha a talajok termékenységét próbáljuk javítani, különböző fizikai, kémiai, mechanikai, biológiai és vízrendezési beavatkozásokkal, amikkel tartós és lényeges változást érünk el az egyes talajtulajdonságok tekintetében (Stefanovits, Filep, & Fülek, 1999).

2.3.1 Szikesek javítása

Szikes talajok javítása esetén komplex megoldásokat alkalmaznak a gyakorlatban, mivel a talaj kémiai tulajdonságainak megváltoztatása mellett fontos megteremteni a megfelelő vízmozgást is, ezért a kémiai-fizikai-vízrendezési eljárásokat egymást kiegészítve használják (Stefanovits, Filep, & Fülek, 1999).

A vízrendezési eljárások szükségessége leginkább ott érvényesül, ahol a talajvíz sekélyen helyezkedik el, nagy gyakorisággal és könnyedén éri el a felszínt, belvizes állapotot eredményes, valamint ahol az éves vízmérleg negatív eredményt mutat, tehát az evapotranszspirációval távozott vízmennyiség meghaladja a csapadék összegét (Anda, Burucs, & Kocsis, 2009.).

Talajművelési módszerek tekintetében szikes talajoknál pozitív hatást érhetünk el a B szint mélylazításos és az A szint forgatásos művelésével (Stefanovits, Filep, & Fülek, 1999).

A talajok különbözőségüknél fogva eltérő talajjavító anyagok használatát kívánják, Magyarországon elterjedt talajjavító anyagok közé tartozik a cukorgyári mésziszap, a digó föld, a mészkőpor és a gipsz (Stefanovits, Filep, & Fülek, 1999).

2.3.2 Szervesanyag utánpótlás lehetőségei

A szervesanyag utánpótlás a vitathatatlan, hogy a fenntartható növénytermesztés alapját képezi. A termesztett növények tápanyagigénye viszonylag könnyedén fedezhető műtrágyák alkalmazásával, de a hosszú távú termékenység biztosítása és megőrzése érdekében a szervesanyag készlet növelése nélkülözhetetlen.

Számos lehetőségünk van, amivel a fennálló szervesanyag hiány csökkenthető. Ilyenek lehetnek például:

- ✓ istállótrágya, hígtrágya kijuttatás,
- ✓ zöldtrágya növények alkalmazása,
- ✓ szár- és gyökérmaradványok talajba forgatása,
- ✓ tőzeg és tőzegtészítmények kijuttatása,
- ✓ komposztok alkalmazása (Antos, és mtsai., 2006.).

Bár a legjobb megoldás az istállótrágya kijuttatása lenne, elérhetősége a magyarországi állattartás csökkenő állatállománya révén korlátozott.

Zöldtrágyázással és a szármaradványok tarlón hagyásával stabil C/N arányú anyagokkal – például búzaszalma – és könnyen lebomló anyagokkal fedjük be a talajokat. A növények gyökérzete és a különböző komposztok lassan bomló anyagokat, a vegetatív növényi részek

pedig könnyen bomló – tápanyagforrásként szolgáló – anyagokat adnak a talaj rendszeréhez, ezzel gyarapítva a szervesanyag készletet (Diriczi).

2.4 Komposztálás

A komposztálás az egyik legrégebb óta ismert hulladékhasznosítási eljárás, relevanciája napjainkra erősen felértékelődött. Az iparszerű mezőgazdaság kialakulásával és a műtrágyák térhódításával háttérbe szorult technológia egyre növekvő jelentőségét több tényező együttesen adja:

1. Kiváló szerves anyag utánpótlási és talajjavítási biztosít.
2. Fenntartható növénytermesztésbe tápanyagutánpótlási módszerként beilleszthető.
3. A hulladékhasznosításban kiemelt szerepet betöltő technológia.
4. Segíti a körkörös mezőgazdasági gyakorlat megvalósulását.

Mindezek mellett számos jótékony hatással rendelkezik, melyeket a talaj meghálál:

- ✓ humusztartalmában a tápanyagok növények számára felvehető formában van jelen, valamint javítja a talaj tápanyag tároló képességét,
- ✓ sötét színéből adódóan segíti a talaj felmelegedését,
- ✓ javítja a talaj szerkezetét, ezzel együtt javul annak levegőzöttsége,
- ✓ jó vízmegkötő képességű, ennél fogva javítja a talaj vízháztartását,
- ✓ növeli a mikrobiális aktivitást,
- ✓ lassú feltáródású, sokáig fejti ki pozitív hatásait és a kimosódásának is kicsi a veszélye,
- ✓ javítja a növények ellenállóképességét betegségekkel és kórokozókkal szemben (Dr. Kocsis, 2011.).

A komposztálás egy oxigénigényes, biológiai hőfejlődéssel járó folyamat, mely során mikro- és makroorganizmusok tevékenysége során a szerves anyagok egyszerű alapvegyületekre és vízre bomlanak le, a nem mineralizálódott anyagokból pedig humusz anyagok keletkeznek (Alexa & Dér, 1998.). A lebontás kétféleképpen mehet végbe. Levegő jelenlétében az aerob fajok (aerob baktériumok, élesztőgombák, sugárgombák, penészgombák, kalaposgombák) szaporodnak el, ebben az esetben – oxidációs folyamat - korhadás zajlik. A levegőtlen körülmények az anaerob fajok (anaerob baktériumok) elszaporodásának kedveznek, ebben az esetben rothadási – redukciós – folyamatok játszódnak le. A folyamat során mindkét folyamat lejátszódik, de törekedni kell az aerob körülmények túlsúlyának biztosítására (Dr. Kocsis, 2011.).

2.4.1 A komposztálás folyamata

A komposztálási folyamat négy fő szakaszból áll.

1. Bevezető/iniciális szakasz: hossza néhány óra, de 1-2 nap is lehet. Ekkor indulnak meg a reakciók, a mikroorganizmusok elszaporodnak és a hőmérséklet gyorsan a termofil fázisba lép. Rövidsége miatt sok szerző nem említi külön szakaszként, a gyakorlat szempontjából is elhanyagolható (Alexa & Dér, 1998.). A hőmérséklet alapján mezofil fázis, mivel körülbelül 40 °C-ig melegszik a keverék (Dr. Kocsis, 2011.).
2. Lebomlási/termofil szakasz: A szerves anyag lebontását a mezofil mikroorganizmusok kezdi meg 25-30 °C hőmérsékleten. Gyors anyagcseréjük révén a hőmérséklet rohamos emelkedésnek indul, termofil fázisba 45 °C felett lép, 50 °C felett már nagy arányban elpusztulnak. A mezofil szervezetek pusztulásával egy időben a termofil mikroszervezetek szaporodni kezdenek (Alexa & Dér, 1998.). 50 °C körül a termofil gombák és sugárgombák, 65 °C körüli hőmérsékleten a spórás baktériumok végzik lebontó munkájukat. A könnyen bomló vegyületeket (például cukrok, zsírok, fehérjék és keményítő) a mikrobák hamar elfogyasztják, a cellulóz bontása már ebben a szakaszban elkezdődik. A mezofil mikrobák anyagcseréje általi hőtermelés biztosítja a termofil mikrobák hőmérsékleti optimumát, az elvégzett átalakítási tevékenységük pedig a tápanyagok könnyebb hozzáférhetőségét (Ángyán, 2003.). A fehérjék lebontása közben ammónia szabadul fel, a komposztalom pH értéke megemelkedik (Dr. Kocsis, 2011.). 75 °C fok feletti hőmérsékleten a biológiai folyamatok leállnak, autooxidatív és pirolitikus reakciók indulnak be (Alexa & Dér, 1998.). A cellulóz bontásának következtében a folyamat sebessége és ezzel együtt a hőmérséklet is csökkenésnek indul, a termofil szakasz körülbelül egy hétig tart (Dr. Kocsis, 2011.).
3. Átalakulási/mezofil szakasz: A néhány hétig tartó szakasz kezdetét a nagyfokú hőmérsékletcsökkenés jelzi, a mikroszervezetek ekkor kezdik el a ligninbontást (Alexa & Dér, 1998.). A termofil gombák újra elszaporodnak a keverékben, továbbá ekkor kezdődik el a későbbi humuszanyagok kiindulási vegyületeinek létrejötte (Dr. Kocsis, 2011.).
4. Érés/felépülési szakasz: A keverék hőmérsékletének további csökkenése és stabilizálódása jelzi a szakasz eljöttét, ekkor történik meg a szervesanyag humifikálódása (Alexa & Dér, 1998.). A szakasz hossza változó, akár néhány hónapot is igénybe vehet. A komposztkeverékben elszaporodnak a talajlakó élőlények, melyek a

fizikai szétdarabolásban vesznek részt. A komposztálási folyamat befejeztével egy morzsalékos, nedves, sötét színű, földszerű komposztot kapunk (Dr. Kocsis, 2011.).

2.4.2 A komposztálást befolyásoló tényezők

A komposztálást számos tényező befolyásolja, melyeket figyelembe kell vennünk a folyamat során. Mindenekelőtt alapvető fontosságú a komposztálandó anyagok minősége, ezekről a következő fejezetben, részletesebben lesz szó.

2.4.2.1 Oxigénellátás

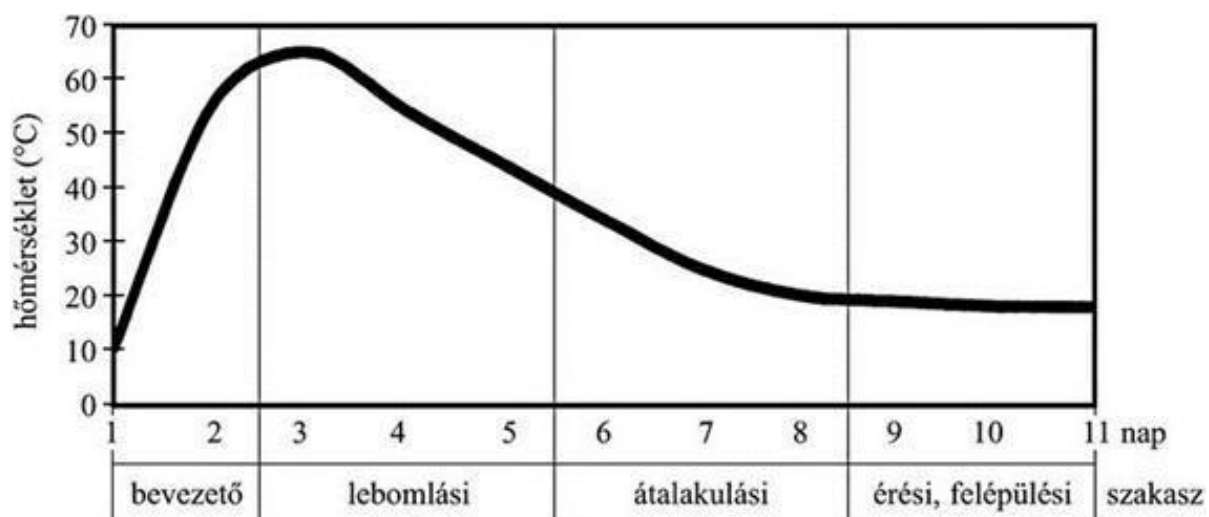
Az aerob lebontáshoz a mikroszervezeteknek oxigénre van szüksége. A legnagyobb igény a termofil fázisban jelentkezik, ekkor a prizmás rendszerek esetén megfelelő számú forgatással célszerű biztosítani ezt. Megfelelően beállított komposztkeverék összetétel esetén jó a levegőellátottság (Ángyán, 2003.).

2.4.2.2 Hőmérséklet

A megfelelő hőmérséklet beállítása elsősorban bekeveréskor, illetve a túlmelegedés elkerülése végett releváns. A bekeverés után a mikroorganizmusok lebontási, átalakítási és anyagcsere folyamataik révén biztosítják a megfelelő hőmérsékletet. A 2. ábra szemlélteti a hőmérséklet alakulását az egyes fázisok folyamán. A levegőztetés a termofil fázisban a legfontosabb, ezzel tudjuk szabályozni a hőmérsékletet is.

Egyes mikroszervezetek életképesek 75 °C-on is, de efelett már jelentős pusztulás tapasztalható (Alexa & Dér, 1998.).

2. ábra - Hőmérsékleti görbe a komposztálás során (forrás: Ángyán József, 2003.)



A hőmérsékletnek meghatározó szerepe van a higiénizációban. Ahhoz, hogy a fertőző betegségek kórokozói elpusztuljanak, legalább 50 °C-os hőmérsékletet el kell érni a keverékben és ezt minimum 1-2 órán át tartani kell (Dr. Kocsis, 2005.).

Az 559/2023. (XII. 14.) Korm. rendelet 3. melléklete alapján készült 2. táblázat tartalmazza az elérendő hőmérsékletre vonatkozó szabályozást.

2. táblázat - Telepi komposztálás műszaki szabályai - hőmérsékletszabályozás (forrás: 559/2023. Korm.rendelet, saját szerkesztés)

Technológia típusa	Forgatások száma	Elérendő hőmérséklet	Időtartam
Nyílt technológia	legalább 5	minimum 55 °C	legalább 14 nap
	legalább 2	minimum 65 °C	legalább 7 nap
Zárt technológia	-	minimum 60 °C	legalább 7 nap

2.4.2.3 Nedvességtartalom

Az aerob komposztálási folyamat optimális lefolyásához a nedvességtartalomnak 40-60% közötti tartományban kell lennie. Ha a keverék nagyon száraz, csökkenhet a mikrobiális aktivitás, ha nagyon nedves, anaerob állapot alakulhat ki (Dr. Kocsis, 2005.).

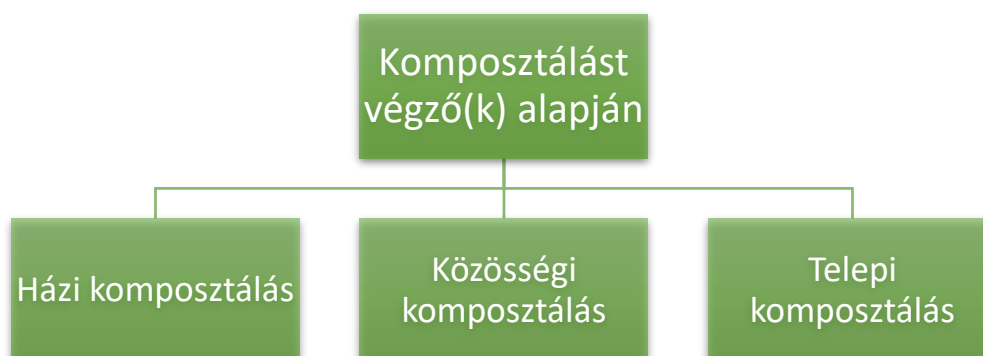
2.4.2.4 C/N arány

A komposztkeverék optimális szén és nitrogén aránya 25-35:1. A lebontást végző mikroszervezetek a rendelkezésre álló szént energiaforrásként, a nitrogént pedig a fehérjeszintézishez hasznosítják. A megadottnál kisebb arány nitrogénvesztességhez (jelzi az erős ammónia szag), a nagyobb arány pedig a lebontási folyamat meghosszabbodásához vezethet (a felesleges szén szén-dioxid formájában távozik a rendszerből, a folyamat csak ezután indul be) (Dr. Kocsis, 2005.), (Alexa & Dér, 1998.).

2.4.3 Komposztálási technológiák

Számos komposztálási technológia létezik, csoportosításuk többféleképpen történhet. A 3. ábra mutatja be a komposztálást végző személy/közösség/intézmény alapján történő csoportosítást.

3. ábra - Komposztáló méret szerinti csoportosítása (forrás: 559/2023. Korm.rendelet, saját szerkesztés)

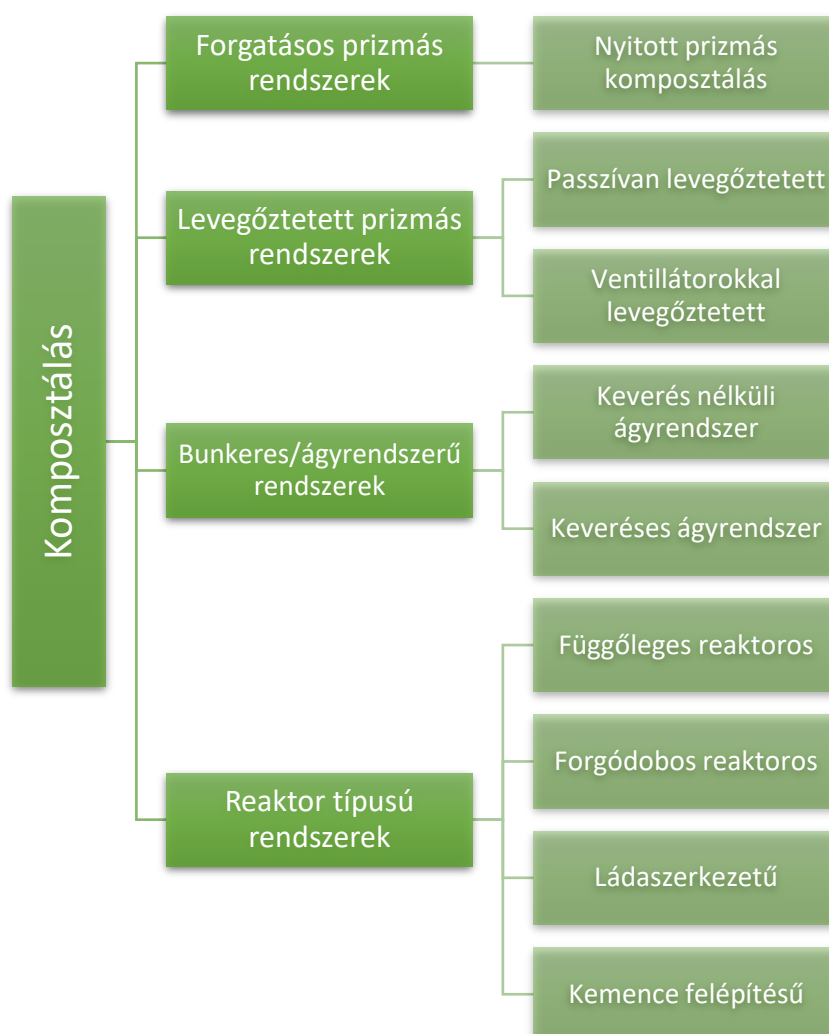


A házi és közösségi komposztálást hasonló céllal végzik, a háztartásokban keletkező komposztálható anyagokat szeretnék a hulladékáramból kivenni, egyúttal hasznos anyagot előállítani belőle. Az 559/2023. (XII.14.) Korm.rendelet alapján házi komposztálást – akinek adottak a lehetőségei hozzá – maga végezheti a saját ingatlana területén, közösségi komposztálást társasház, társasházak vagy kis közösségek végeznek. Egyik sem engedélyköteles tevékenység.

A telepi komposztálás engedélyköteles, az engedély formáját elsősorban a hasznosítandó hulladék mennyisége, minősége és a telep kapacitása határozza meg.

Mivel a komposztálás oxigénigényes folyamat, csoportosíthatjuk aszerint is, hogy a folyamat lejátszódásához szükséges oxigént/levegőt miként adjuk a rendszerhez. Ezt a csoportosítást a 3. ábra mutatja be. Fontos megjegyezni, hogy a különböző komposztálási rendszerek között nincs éles határvonal, a kialakításukban rugalmasak lehetünk, mivel a komposztálandó anyagok minősége, a rendelkezésre álló gazdasági és környezeti feltételek mind módosíthatnak az esetleges létrehozható kombinációkon (Dr. Kocsis, 2005.).

4. ábra - Komposztálás csoportosítása oxigénbejuttatás szerint (forrás: Dr. Kocsis István, 2005, saját szerkesztés)



2.4.4 A komposztálás során felhasználható anyagok

A komposztálható anyagok száma igen nagy, gyakorlatilag a környezetünkben keletkező szerves hulladék egésze lebontható. Ilyenek lehetnek például a mezőgazdasági termelésben keletkező hulladékok, az élelmiszeriparban keletkező feldolgozási hulladékok, a trágyák, lakossági hulladékok, a fafeldolgozás hulladékai, kerti hulladékok, növényi maradványok, fűnyesedék és faapríték, a környezetet nem veszélyeztető ipari melléktermékek, valamint a lakossági és egyes ipari szennyvíz tisztítása során keletkező szennyvíziszapok is (Fazekas, Pitás, dr. Thury, & dr. Kárpáti, 2004.).

Az 559/2023. (XII.14.) Kormányrendelet 9. § (2) pontja alapján biológiai hulladékból történő telepi komposztálás esetén csak az 1. mellékletben felsorolt hulladéktípusok és segédanyagok, továbbá segédanyagként felhasználható hulladékfajták használhatók fel.

Ahhoz, hogy jó minőségű komposztot tudjuk előállítani, ismernünk kell a lebontani kívánt anyagok tulajdonságait.

2.4.4.1 Kémiai összetétel

Ide tartozik a megfelelő szervesanyag tartalom, melyről általánosságban elmondható, hogy minimum 30%-nak kell lennie, mert ez alatt már nehezen bonthatóak az anyagok. Tápanyagtartalom (nitrogén és foszfor) tekintetében nincs pontos irányszám, a lebontáshoz szükséges mennyiség rendre elérhető, amennyiben szükséges, a kész komposzt felhasználása előtt még pótolható. Ami sokkal inkább lényeges, az a C/N arány. Optimálisnak mondható a 25-30:1, ezt az alapanyagok ismeretében, megfelelő arányú keverékkel biztosítani tudjuk (Alexa & Dér, 1998.).

2.4.4.2 Komposztálhatóság

Az alapanyagok eltérő mértékben állnak ellen a mikrobiális lebontásnak, ezért ezt figyelembe kell vennünk a komposztkeverék összetételének tervezésekor (Alexa & Dér, 1998.). A lebontást végző mikrobák a keményítőt és a monomer cukrokat szinte teljes egészében hasznosítani tudják. Abban az esetben, ha a keverék nagyobb mennyiségű monomer cukrot tartalmaz, az segíti a cellulózbontást, ami a komposztálási folyamat limitáló lépése. Amennyiben megfelelőek a lebontás körülményei, a cellulóz nagyobb arányban bomlik le (Dr. Kocsis, 2005.).

2.4.4.3 Szerkezeti stabilitás, térfogattömeg és nedvességtartalom

Szerkezeti stabilitás alatt azt értjük, hogy a komposztálási folyamat alatt milyen mértékben hajlamos az adott nyersanyag a tömörödéssre. Tömörödéssre hajlamosak a különböző eredetű iszapok, a hígtrágya és a törköly. Jó, vagy közepesen jó szerkezeti stabilitású például a szalma és a fakéreg. A tömörödés károsnak tekintendő a folyamat szempontjából, mivel anaerob állapotot eredményez. A megfelelő porozitás beállításához az anyagkeverék összetételét helyesen kell megválasztani. A komposztkeverék térfogattömege meghatározó a folyamat tervezésekor, mivel nagyban meghatározza a területigényt, az esetleges berendezés/célgép méret és kapacitásigényét. A nedvességtartalom változó a különböző nyersanyagokat vizsgálva. Komposztálás szempontjából 40-60% közötti állapot az optimális. Magas nedvességtartalmúak az iszapok, a trágyák és a frissen vágott zöldnyesedék, ezeknél lényegesen szárazabb a fakéreg, a fűrészpor és a szalma (Alexa & Dér, 1998.).

2.4.4.4 Szennyezőanyagok

A tervezésskor természetesen a nyersanyagok szennyezőanyag tartalma sem elhanyagolható. Szervetlen szennyezők esetén a következő elemeket vizsgálják: arzén, kadmium, kobalt, króm, réz, higany, nikkel, ólom, szelén. Mindenhol jelen vannak, kis mennyiségben is mérgezőek lehetnek, károsan hathatnak a mikroszervezetek életfolyamataira és a folyamatban sem bomlanak le, ezért fontos ismerni a koncentrációjukat. Szerves szennyezőkkel szintén szennyeződhetnek a nyersanyagok. Ilyenek a poliklórozott bifenilek, a poliaromás szénhidrogének, a klórozott peszticidek, a poliklórozott dibenzo-dioxinok, és dibenzo-furánok. Ezek nagy része perzisztens és mérgező, ezért mint jelentős veszélyforrások, fontos a jelenlétük vizsgálata és a kérdéses eredetű nyersanyagok kizárása a komposztálásból (Alexa & Dér, 1998.).

2.4.4.5 Vízben oldható sók

A szennyvíztisztítókból származó iszapok (ipari és kommunális egyaránt) különböző mértékben tartalmazhatnak vízben oldható sókat, az alkalmazott tisztítási technológiától és a nyers szennyvíz eredetétől függően. A vas-kloridot, alumíniumot vagy meszet flokkuláló- és kondicionálószerként felhasználó szennyvíztisztítók esetén az iszapban megnövekedhet a sótartalom, ami a későbbi felhasználás – például komposztálással történő hasznosítás – szempontjából problémát okozhat sóérzékeny növények esetén (Dr. Kocsis, 2005.).

2.4.5 A komposzt késztermék minősítése, beltartalma

A különböző összetevők és eljárások, valamint a biológiai lebomlás változékonysága miatt nem lehet általános összetétellel jellemezni az érett komposztokat.

A 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet a termésnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról tartalmazza a termésnövelő anyagokra vonatkozó előállítási, minőségi, forgalmazási, csomagolási és felhasználási szabályokat. Magyarországon jelenleg az engedélyező hatóság a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal.

Alapvető, hogy a végtermékként keletkező komposzt, szakszerű és előírásokat követő használatával ne legyen ártalmas hatású a környezetre és az emberre, valamint fontos, hogy kellő hatékonyságú legyen, továbbá, hogy kedvező hatása vizsgálatokkal és kísérletekkel is bizonyítva legyen (Polgárné Balogh, 2020.).

Ezzel az eljárással előállított termékkomposzt a kiállított engedélyokiratban feltüntetett felhasználási előírások szerint alkalmazható.

Az 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól határozza meg a szennyvíziszap komposzt felhasználási és beltartalmi előírásait. A szennyvíziszap komposzt olyan kezelt szennyvíziszap, amelyhez a megfelelő minőség elérése érdekében biohulladékot és ásványi eredetű adalékokat kevertek, és komposztáló telepen állították elő. Ez az anyag eltér a termékkomposzttól, felhasználása a talajvédelmi hatóság engedélyéhez kötött.

Az 559/2023. (XII. 14.) Korm. rendelet a biológiailag lebomló hulladék képződésének megelőzésére vonatkozó tevékenységekről, a biológiailag lebomló hulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységek részletes szabályairól és a biohulladékból előállított komposzt osztályozásának szabályairól komposztokra vonatkozó fizikai, kémiai és biológiai követelményeket állapít meg nem mezőgazdasági célú felhasználás esetére.

2.4.5.1 A komposztok sótartalma

Az vízben oldható sók a komposztban jelen lévő ionokra utalnak, mint például Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} és Na^{+} . A sótartalom közvetve, kumulatív módon meghatározható az elektromos vezetőképességen keresztül (Weindorf, Thiel, Kleinheinz, & Gondek, 2020.).

A meghatározáshoz a komposzt- vagy talajmintát vízzel összekeverik, iszapot képeznek. Az elektródát a mintába merítik, így mérik a vezetőképességet. Minél magasabb a minta sótartalma, annál nagyobb lesz a mért vezetőképesség értéke. Fontos megjegyezni, hogy a mérés nem alkalmas a minta sóösszetételének meghatározására, ez csupán az összes sótartalomra világíthat rá (Weindorf, Thiel, Kleinheinz, & Gondek, 2020.).

Az elektromos vezetőképesség elfogadható aránya a komposztban egyes ajánlások szerint legfeljebb 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1:1 komposzt:víz arányban) (Lakhdar, és mtsai., 2009.).

3 Anyag és módszer

3.1 A Dunacell Kft. tevékenysége és a kutatás alapjai

A Dunacell Kft. az egyetlen magyar élelmiszeripari rost előállításával foglalkozó vállalat, valamint szintén egyedülálló üzem Európában, mely búzaszalmából állít elő étkezési rostot. A gyár jelenlegi területén 1962-ben kezdődött el a szalmacellulóz gyártás, akkoriban még Dunai Szalmacellulóz Gyár cégnév alatt. A gyártás elsődleges célja a papírgyártáshoz szükséges cellulóz előállítása volt, melyet elsősorban a gyár szomszédságában található papírgyártó üzemek használtak fel. Ezek az üzemek (Hamburger Hungária Kft., Dunafin Zrt.) átalakították termelési folyamatukat, nem igénylik a cellulózyár termékét, így a Dunacell Kft. kizárólag élelmiszeripari célra gyárt rostanyagot. A JRS (J. Rettenmaier & Söhne GMBH+CO.KG) csoport a világ egy jelentős szerves rost előállító vállalata, mely 2010. óta a Dunacell Kft. tulajdonosa. A cég fő tevékenysége a cellulózyártás, rendelkezik saját szennyvíztisztító teleppel (2018 óta), valamint ezen felül a „zero waste”, vagyis hulladékmentes technológia megvalósításának elősegítésére 2014-ben komposztáló telepet kezdett el üzemeltetni. A komposztálás alapanyagait elsősorban a termelésből érkező anyagok teszik ki, így a gyárat termelési hulladék, illetve melléktermék nem hagyja el. Az üzem 2019-ben készült légifelvételét az 5. ábra mutatja be.

5. ábra - Dunacell Kft. (forrás: <https://www.dunacell.com/kep/thumb2/0000000001.jpg>)



2022-ben – a gyár fennállásának 60. évfordulóján – a vállalat 7 milliárd forintos, háromlépcsős kapacitásnövelő beruházásba kezdett, mellyel lehetővé vált az addig gyártott félkész termék késztermékké alakítása. A beruházás során megépült az őrlő üzem, illetve a hozzá tartozó csomagoló és raktár épület. A gyár áttekintő térképeit mutatja be a 6. és 7. ábra.

6. ábra - Dunacell Kft. grafikus térképe (forrás: Dunacell Kft.)



7. ábra - Dunacell Kft. áttekintő térképe (forrás: Dunacell Kft.)



Pályafutásom 2011-ben kezdtem a vállalatnál, ezalatt számos munkakörben tevékenykedtem. Négy évig alapanyag koordinátorként dolgoztam, ahol főként a cellulózyártáshoz szükséges alapanyag minőségi és mennyiségi átvétele, továbbá a kiszállításokhoz szükséges dokumentáció elkészítése volt a feladatom. A komposztáló üzem létesítése adott lehetőséget a váltásra, 2015-ben lettem komposztálói asszisztens. A komposztálási folyamat terepi és

laboratóriumi ellenőrzése mellett részt vettem adminisztratív feladatok ellátásában, valamint hatósági és engedélyeztetési ügyintézésben egyaránt. 2019-ben neveztek ki komposztáló üzemvezetővé, mellyel a feladatok szélesebb körűvé váltak. A komposztálói személyzet munkájának koordinálása mellett, a beruházásokban, fejlesztésekben és a fenntartásban való aktív részvétel szintén a feladatommá vált. Az üzem eddigi tíz éves működése során számos és sokféle nehézséggel és akadállyal kellett szembe nézni, melyeket minden esetben kezelni kellett az eredményesség elérése érdekében.

Diplomamunkám témájának szempontjából azon folyamatokat érdemes részletebben megvizsgálni, amelyek a komposztálás alapanyagait állítják elő, ezért nem térek ki a cellulózgyártási és szennyvíztisztítási technológia teljes folyamatára. A gyár fő szerkezeti egységét a cellulózgyár, a mellékegységeit a szennyvíztisztító és a komposztáló üzem képzik. A mellékegységek szoros összhangban üzemelnek a cellulózgyárral.

3.1.1 Cellulózgyártás

A gyártási folyamat négy fő részre osztható: nyersanyag előkészítés, rost kinyerés és vegyszer regenerálás, a kinyert rost tisztítása és kiserelés/porítás és kiserelés. A komposztálás egyik alapanyaga a vegyszer regenerálási vonalon keletkező méssziszap, ezért annak keletkezését fejtem ki az alábbiakban.

A regeneráló rendszer elválaszthatatlan része a rostanyaggyártási technológiának, célja kettős:

- a szervesetlen feltáró vegyszerek visszanyerése,
- a szerves anyagok elégetésével gőz előállítása.

A regenerálási folyamat mosással kezdődik, ahol a főzés során keletkezett feketelúgot (elhasznált főzőlúg és kioldott szerves anyag) elválasztják a cellulózzrosttól. A következő lépcső a mosás során elválasztott híg feketelúg bepárlása, melynek szárazanyag tartalma 12-15% közötti, de az éghetőség biztosításához legalább 48-50%-os szárazanyag tartalmat kell elérni. A bepárlás során keletkező sűrű feketelúgot a regeneráló kazánban elégetik.

Az égetési folyamat során végbemenő fő reakciók:

- szerves anyagok égés közbeni oxidációs bomlása,
- az alkáliák elkarbonátosodása.

A regeneráló kazánból kikerülő ömledéket – jellemzően nátrium-karbonát – gyengelúgban feloldják. Az így keletkezett zöldlúgot mésszel kausztifikálják. A lejátszódó reakció:

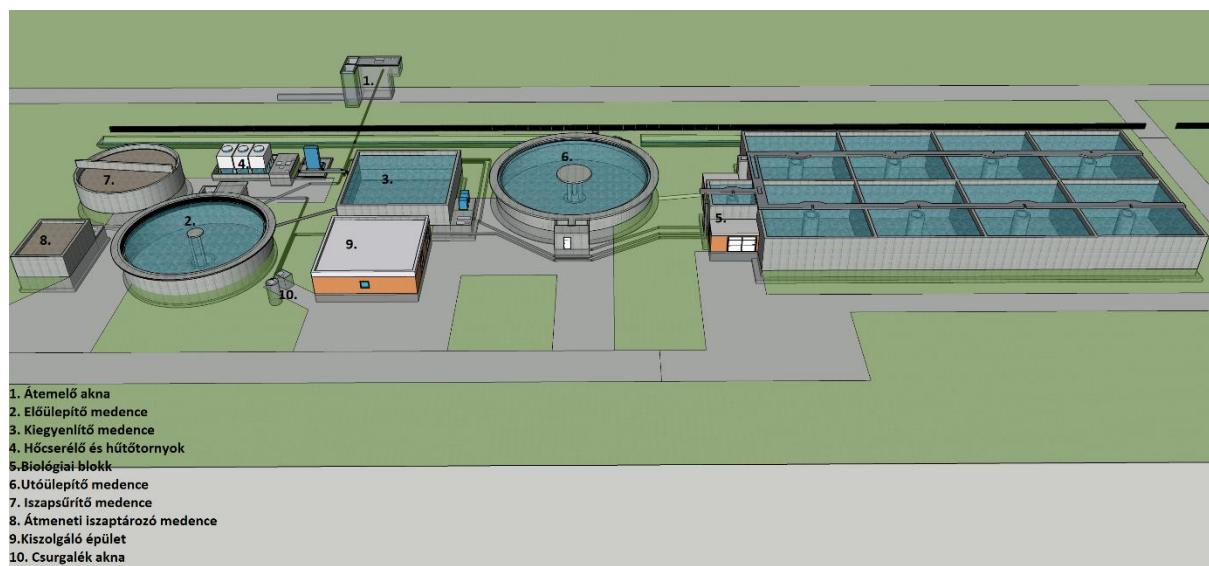


A keletkező nátrium-hidroxid újrafelhasználható (feltáráshoz), így csak a veszteséget szükséges pótolni friss vegyszerrel. A folyamat másik terméke a kalcium-karbonát (mésziszap), amit egy többlépcsős mosási folyamatban választanak el a fehérلúgtól, majd átvezetik egy kis méretű, majd egy nagy méretű vákuumdobszűrőn, így keresztül veszik ki a rendszerből. A komposztálóba teherautóval szállítják egy vízzáró burkolattal ellátott tárolóba. Ennek a mésziszapnak – üzemmenettől függően – 30-50% körüli a szárazanyag tartalma.

3.1.2 Szennyvíztisztítás

A Dunacell Kft. ipari szennyvizét a múltban a Hamburger Hungária Kft. szennyvíztisztító telepén kezelték. 2018. február 1-jével azonban már a saját telephelyén létesített szennyvíztisztítón történik a cellulózgyártás és a komposztálás során keletkező szennyvíz és csurgalékvíz kezelése. A 8. ábra mutatja be a szennyvíztisztító telepének felépítését.

8. ábra - A Dunacell Kft. szennyvíztisztító telepe (forrás: Dunacell Kft.)



A telepre beemelt (1.) nyers szennyvíz először egy 2 mm pálcaközü dobszűrőn halad át, itt történik a termelésből származó durvább szennyeződések kiszűrése (pl. szalma), ami később a komposztálóba kerül. A megközelítőleg 1300 m³ térfogatú előülepítőben (2.) történik a primer iszap elvétele és fölösizap vonalra történő vezetése.

Az előkezelt szennyvíz ezután egy 1500 m³ hasznos térfogatú kiegyenlítő medencébe (3.) érkezik, mely telepítésének célja a mennyiségi és a minőségi kiegyenlítés (pH beállítás, célérték 7,4). A medence keverését durvabuborékos keverés biztosítja. A kiegyenlítőből a mechanikailag előkezelt, semlegesített és homogenizált szennyvíz egy hőcserélőn (4.) keresztül kerül feladásra a biológiai tisztításra.

A biológiai kezelést egy sorba kapcsolt eleveniszapos reaktorokból álló kaszkárendszer (5.) végzi, melyet egy kisebb szelektor medence (250 m³) és nyolc reaktor (8 x 1 350 m³) alkot. Az

eleveniszapos térfogat összességében 11 050 m³, ami nagyjából 2-2,5 napos tartózkodási időt tesz lehetővé, attól függően, hogy mekkora az aktuális hidraulikus terhelés.

Az eleveniszap és a tisztított szennyvíz fázisszétválasztása az utóülepítőben történik, melynek térfogata 1500 m³. A kifolyó tisztított szennyvíz a Dunafin Zrt. és a Hamburger Hungária Kft. tisztított szennyvizével együtt kerül bevezetésre a Dunába.

A komposztálás egyik alapanyaga a tisztítási folyamat során keletkező fölösiszap. Az elvételezett primer- és fölösiszapot együtt sűrítik és víztelenítik.

Az iszapsűrítő medence (7.) kör alakú, 15 m átmérőjű műtárgy. Pálcákból álló kotró berendezése elősegíti az iszapok keveredését és sűrűsödést. Az elérhető iszapkoncentráció függ a beérkező iszapok arányától, ideális esetben 4%.

Az átmeneti iszaptározó (8.) egy 303 m³-es medence a sűrített iszap ideiglenes tárolására szolgál, durvabuborékos levegőztetéssel keverhető. Két prés került beépítésre, egy 1,2 m és egy 2 m szalagszélességű, melyekhez tartozik egy automata polimeroldó berendezés. Rendes üzemben a 2 m-es prés elegendő a keletkező iszapok víztelenítésére. Az átmeneti iszaptározóból egy csigaszivattyúval az iszap először egy flokkulátorba kerül, ahova adagolják a polielektrolitot. Az összekevert elegy rákerül a szalapprés felső szalagjára és elindul a víztelenítés. A víztelenített iszapot, melynek szárazanyag tartalma 18-20% körüli, két kihordó szalap juttatja el egy teherautóra, majd a komposztáló telepre.

3.1.3 Komposztálás

A Dunacell Kft.-nél végzett komposztálási tevékenység *A környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról* szóló 314/2005. (XII. 25.) Kormányrendelet 2. sz. melléklete alapján 75 tonna/nap kapacitáson felüli nem veszélyes hulladék hasznosítás – biológiai kezelés, ezért FE/KTF/12518-19/2023. iktatószámú egységes környezethasználati engedéllyel rendelkezik.

Az engedélyezett tevékenység kapacitása: 121 tonna/nap.

A telephelyen egyidejűleg tárolható hulladékok mennyisége: 17 618 tonna.

A telephely az alapanyagok számára kialakított tárolóhelyből (536 m²), a késztermék tárolására kialakított utótárolóból (12 000 m²), csurgalék- és csapadéktározóból (1 664 m²), valamint egy komposztáló térből (17 519 m²) áll. A komposztáló téren egy időben összesen 31 db, átlagosan 60 m hosszú, 6 m széles, 2,4 m magas prizma alakítható ki.

Az éves átvehető hulladékmennyiség a 44 000 tonna, ennek megoszlása az engedély hulladékgazdálkodási előírásai szerint történhet.

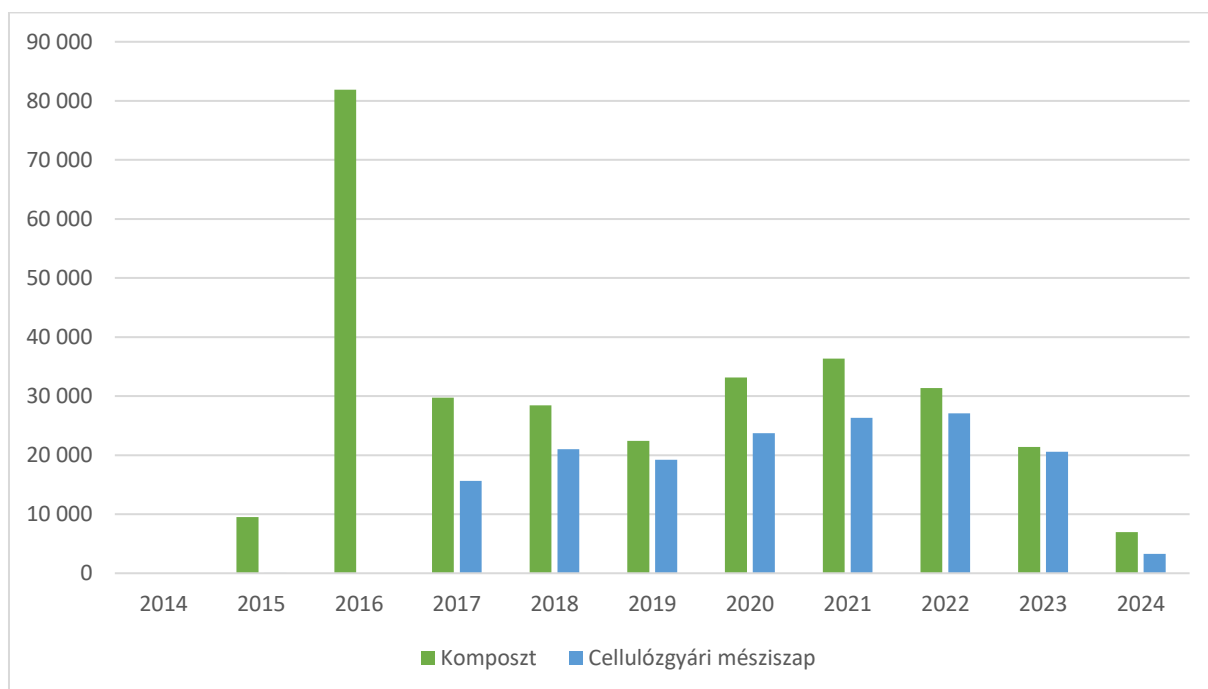
A 3. táblázatban felsorolt, a Dunacell Kft. komposztáló üzemében előállított terménőnövelő anyagok a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal által kiadott forgalomba hozatali és felhasználási engedéllyel rendelkeznek. Az egyes komposztok összetétele eltérő, a rendelkezésre álló alapanyagok, illetve hulladékok mennyisége és minősége alapján keverik be a komposztprizmákat, a megadott receptúrák alapján.

3. táblázat – Érvényes termékengedélyek (forrás: saját szerkesztés)

Készítmény kereskedelmi megnevezése	Készítmény típusa	Alapokirat száma Módosítások
Cellulózgyári mézsiszap	szerves anyaggal dúsított talajjavító anyag	04.2/1883-3/2015 04.2/1347-1/2016
Biomass Super Duna komposzt	komposzt	04.2/3162-1/2014 04.2/5899-2/2015
Biomass Super Vital A komposzt	komposzt	04.2/253-1/2016 6300/927-1/2019
Biomass Super Vital B komposzt	komposzt	04.2/4147-2/2016 6300/928-1/2019
Biomass Super Vital C komposzt	komposzt	6300/1615-1/2020

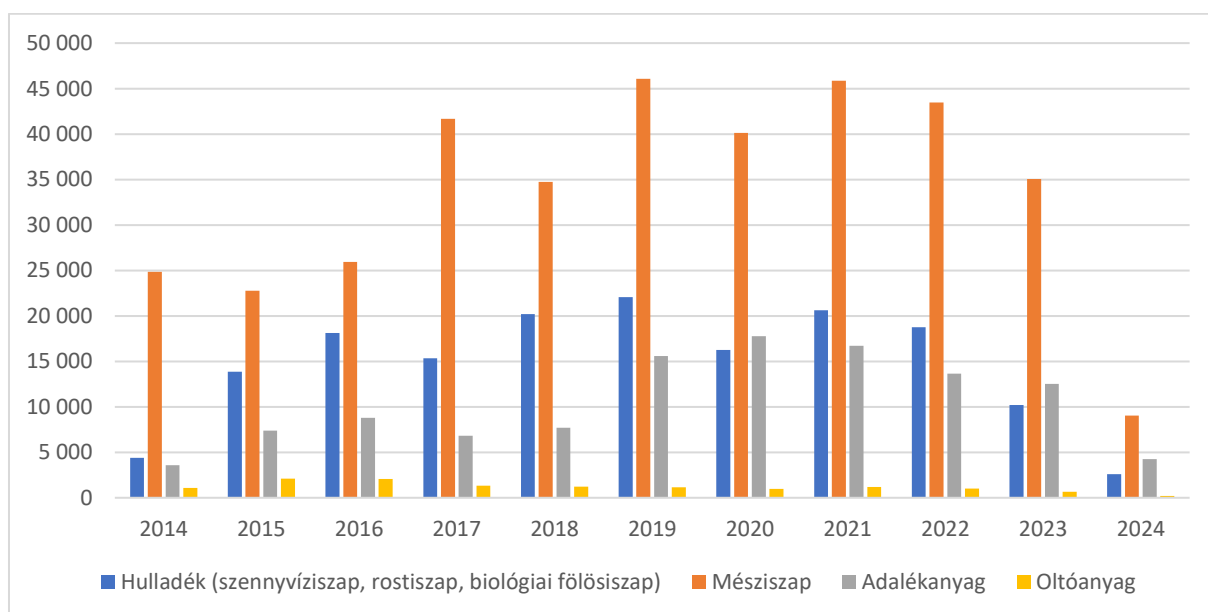
Az üzem 2014-ben megkezdődött működése óta hat féle komposztot, és egy féle talajjavító anyagot állított elő és értékesített. A termelést, ezzel együtt az értékesítést számokban kifejezve, 2024. márciusáig ez összesen 301 186 tonna komposztot és 156 821 tonna Cellulózgyári mézsiszapot jelent. Ennek éves megoszlását mutatja be az 1. diagram.

1. diagram - Értékesített késztermék éves bontásban (t) (forrás: saját szerkesztés)



A termékek gyártásához felhasznált alapanyag, illetve hasznosított hulladékmennyiséget mutatja be a 2. diagram.

2. diagram - A komposztáló üzem által átvett és felhasznált alapanyag és hulladék mennyisége éves bontásban (t) (forrás: saját szerkesztés)



Jelenleg kizárólag Cellulózgyári mésziszap és Biomass Super Vital C komposzt gyártása folyik a telepen, nem tervezik egyéb komposzt gyártását. A két termék gyártási összetételét mutatja be a 4. táblázat.

4. táblázat - Termékek összetétele (forrás: saját szerkesztés)

Biomass Super Vital C komposzt		Cellulózgyári mésziszap	
biológiai fölősiszap	30 V/V%	mésziszap	90 V/V%
mésziszap	25 V/V%	szalmatörek	10 V/V%
adalékanyagok (szalma, szalmatörek, kukorica, nyesedék, miscanthus)	40 V/V%	-	-
Biomass Kappa oltóanyag	5 V/V%	-	-

Az alapanyagok az átmeneti tárolóba kerülnek deponálásra, amíg összegyűlik elegendő mennyiség egy prizma felépítéséhez. Az adalékanyagok egy része a cellulózgyártási és a szennyvíztisztítási folyamatokból (szalmatörek, mésziszap, biológiai fölősiszap), más része (szalma, kukorica, nyesedék, energianád, oltóanyag) pedig külső forrásból – beszerzési folyamat útján érkezik.

A hulladékok tárolása típusonként egymástól elkülönítetten, szilárd burkolatú, szivárgásmentes tárolóban történik (9. ábra). A hulladéktároló kialakításából adódóan három különböző iszap, illetve a starter – Biomass Kappa oltóanyag – tárolására lett kialakítva, de a piaci igények, illetve egyéb gazdasági tényezők okán már csak a Dunacell Kft. saját szennyvíztisztítóján keletkező iszap és a starter tárolása történik itt.

9. ábra – Hulladéktároló, biológiai fölősiszap (forrás: Saját)



A prizma építése az alapanyagok rétegezésével kezdődik (10. ábra). A homlokrakodóval való halomba helyezésnél már a kezdetben is a gúlatest kialakítására kell törekedni, a későbbi forgatás megkönnyítése és a szétesés elkerülése érdekében.

A prizma építésének felénél (alapanyagok fele, mészsizap teljes mennyisége) történik meg az első forgatás.

10. ábra - Prizmaépítés - rétegzett állapot (forrás: saját)



A rétegzett, egyszer átforgatott alapanyagok tetejére homlokrakodó segítségével ráhelyezik a szilárd fázisú oltóanyagot, valamint az adalékanyagok és a fölösiszap másik részét. A prizma felépítése után a komposztforgató célgéppel (11. ábra) a prizma átforgatásra/homogenizálásra kerül, ami egyben a megfelelő méretre formázást is jelenti (12. ábra).

11. ábra - Backhus 17.60 típusú komposztforgató célgép (forrás: saját)



12. ábra - Bekevert komposztprizma az érési folyamat 2. napján (forrás: saját)



A kezelés során a prizmákat kezdetben 3 naponként, a 15. nap után legalább hetente át kell levegőztetni. Ezzel egy menetben az aerob mikroorganizmusok levegővel történő ellátásán kívül a komposztálandó anyagok ismételt homogenizálása is megvalósul.

A komposztálás hőfejlődéssel járó folyamat, melyet szabályozni szükséges. A komposztálás első szakaszában (1-15 nap) a hőmérséklet a 60-70°C-ot is elérheti. A 65 °C fölötti tartós hőmérséklet kedvezőtlen a komposztálási folyamat szempontjából, amely minőségromláshoz is vezethet. A hőmérséklet ellenőrzését minden munkanap, az összes érésben lévő komposztprizma (13. ábra) öt pontján elvégzik egy bálahőmérő segítségével.

13. ábra - Érésben lévő komposztprizmák (forrás: saját)



A tartósan magas hőmérséklet elkerülése érdekében hűtés szükséges, ami levegőztetéssel, vagyis célgéppel történő átforgatással oldható meg. Az átforgatásokkal nem csak a megfelelő hőmérsékletet, hanem a kellő mennyiségű oxigént is biztosítani tudják az aerob lebontáshoz. A 14. és 15. ábrán láthatók a forgatásról készült felvételek, melyek megmutatják, hogy a

komposztforgató célgép miként homogenizálja a keveréket, illetve, hogy maga a folyamat során mennyire látványos a hőfelszabadulás.

14. ábra - Homogenizálás fogatással (forrás: saját)



15. ábra - Hőmérséklet szabályozás forgatással (forrás: saját)



Hosszú szárazság, meleg nyári időjárás esetén felléphet a prizmák oly mérvű kiszáradása (35-40% alatti nedvességtartalom), hogy a komposztot nedvesíteni kell. A csurgalékvíz-tárolóban összegyűlt csurgalékvíz a visszanedvesítéshez felhasználható, mivel a komposztforgató célgép forgatás közben ezt a beépített permetező rendszerével ki tudja juttatni. Erre a komposztáló üzem működésének kezdete óta még nem volt szükség.

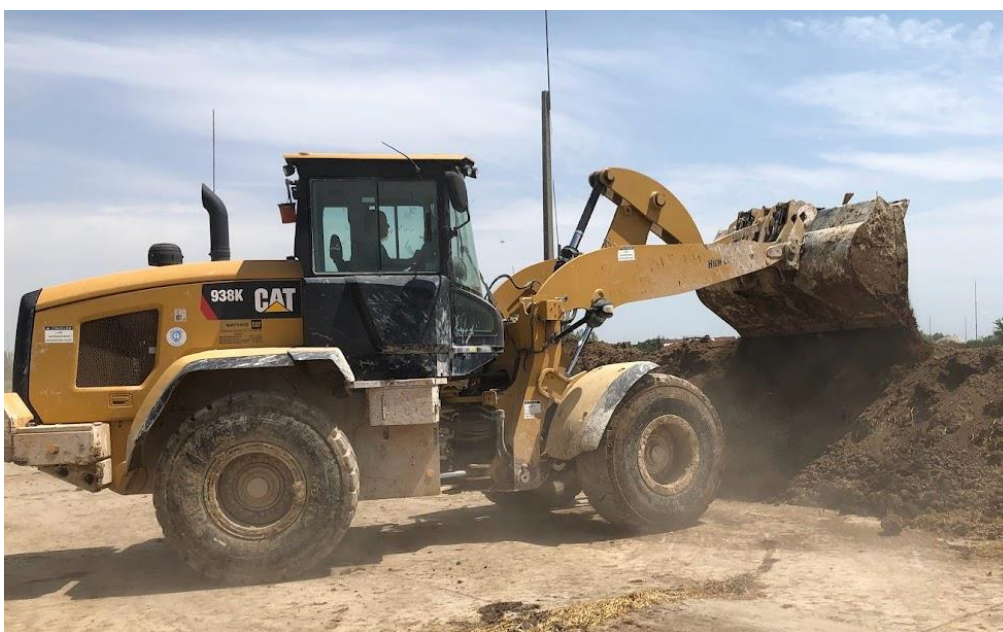
A külső körülményektől függően (hőmérséklet, csapadék), a starter (Biomass Kappa oltóanyag) alkalmazását követő – legkésőbb - 12. héten a komposztálás gyakorlatilag befejeződik, melyet a hőmérséklet csökkenése és stabilizálódása jelez. Ekkorra az anyag már nem veszélyezteti a környezetet és a felhasználásig vagy a csomagolásig gúlákban tárolható az

utótároló téren, ahová a kész komposztot (16.ábra) homlokrakodó (17.ábra) segítségével lehet áthelyezni.

16. ábra - Komposzt késztermék (forrás: saját)



17. ábra - Caterpillar 938K típusú homlokrakodó (forrás: saját)



A szerves anyaggal dúsított talajjavító anyag – Cellulózgyári mézsiszap (18. ábra) – esetén nincs meghatározott érési idő, bekeverés után azonnal értékesíthető. A gyakorlat azt mutatja, hogy a prizmaforma összeállítása után kétszeri átforgatás szükséges a megfelelően homogén állapot eléréséhez.

18. ábra - Cellulózgyári mésziszap, két forgatás után (forrás: saját)



3.2 A komposztálási anyagok tulajdonságai, problémái

A kész komposzt minőségi ellenőrzése minden gyártónak jogszabályi kötelezettsége. A termék az esetben értékesíthető, amennyiben az előírt minőségi követelményeknek maradéktalanul eleget tesz. A beérkező alapanyagok, hulladékok, valamint a késztermékek vizsgálata folyamatos. A hulladékok vizsgálata a beérkezéskor megmért pH-érték és szárazanyag tartalom mellett, az 5. táblázatban felsoroltak szerint működik.

5. táblázat - Hulladékvizsgálatok (forrás: saját szerkesztés, Dunacell Kft.)

Anyag	Gyakoriság	Helyszín	Vizsgálat
biológiai főlősiszap (HAK 19 08 12)	évente 2 alkalommal	akkreditált laboratórium (Eurofins Minerág Kft.)	össz N, K ₂ O, P ₂ O ₅ tartalom, vízben oldható összes sótartalom, nehézfém tartalom
szennyvíziszap (HAK 19 08 05)			
rostiszap (HAK 19 08 14)			

A komposzt minőségét mind az érési szakaszban, mind késztermékként a 6. táblázatban részletezett módon ellenőrizni kell.

Anyag	Gyakoriság	Helyszín	Vizsgálat
komposzt (érési idő alatt)	minimum 2 hetente	komposztáló	pH, szárazanyag tartalom
	naponta		hőmérséklet
	érési idő alatt legalább egy alkalommal		szervesanyag tartalom
komposzt (késztermék)	évente legalább két alkalommal	akkreditált laboratórium	össz. N, K ₂ O, P ₂ O ₅ , Ca, Mg, nehézfém, szervesanyag és vízben oldható összes sótartalom
	évente két alkalommal		szerves szennyező tartalom

Érési szakaszban a hőmérsékletmérés és az esetlegesen szükséges beavatkozás – forgatás – a korábban részletezett módon történik. A kész komposzt szemcseméretét szemrevételezéssel kell ellenőrizni, és szükség esetén rostálni kell. Ha a késztermék megközelítőleg 80 %-ban a megengedettnél nagyobb szemcseméretű (25 mm), akkor azt vissza kell vezetni a komposztálási folyamatba.

A hatósági ellenőrzések alkalmával történt mintavételezések és a hozzájuk kapcsolódó vizsgálati jegyzőkönyvek alapján a tíz éves működés során két alkalommal a komposzt késztermék nem felelt meg az előírt minőségi követelményeknek. A nemmegfelelőséget első alkalommal a nem megfelelő nedvességtartalom, pH érték és szemcseösszetétel, a második alkalommal pedig a nem megfelelő pH érték és vízben oldható összes sótartalom (4 m/m% sz.a. helyett 4,33 m/m% sz.a.) okozta. A nem megfelelő pH érték minimális eltérésére tett intézkedések kiküszöbölték a nemmegfelelőséget. Az egyszerű mérhetőség és kontrollálhatóság ebben az esetben hatékony megoldást eredményezett. A vízben oldható összes sótartalom eltérése – káros hatása végett – indokoltá teszi a probléma gyökerének megkeresését és annak megfelelő kezelését.

3.3 A komposztálási alapanyagok tulajdonságai

A cellulózgyártás és a gyártási folyamán keletkező szennyvíz tisztítására alkalmazott technológia magában hordozza a savak és lúgok egymással való reakcióba lépésekor keletkező

sók mennyiségének megnövekedését, melyek belekerülhetnek a komposztálási alapanyagokba, ezáltal a komposztba.

A technológia fő alapanyagai a kausztifikálási folyamatban keletkező mészsizap és a szennyvíztisztítási folyamatban keletkező biológiai fölösizap. Megjelenési formájuk és kiserelési módjuk hasonló, mindegyik egy víztelenítési/folyadékkelválasztási fázis után kerül a komposztálóba, további hasznosításra.

Az alapanyagok beltartalmi mutatóinak rendszeres gyakorisággal történő meghatározására nincs előírás és megengedett határértékek sincsenek, ezért az akkreditált laboratóriumi vizsgálatok elsősorban a késztermékekre terjednek ki. A megfelelő minőség biztosítása érdekében a Dunacell Kft. évente legalább két alkalommal vizsgálhatja a biológiai fölösizapot, a mintákat az Eurofins Minerág Kft. vizsgálja.

Mészsizap esetén külön alapanyag vizsgálat nem történik.

3.4 A vízben oldott összes sótartalom csökkentésének vizsgálata

Kutatási munkám során a termelésből vett minták – mészsizap és biológiai fölösizap – különböző mosási (hígítási) fázisban mért elektromos vezetőképességét, ezáltal az összes oldott sótartalmának változását vizsgáltam. Az elektromos vezetőképességgel nem lehet sóösszetételt, illetve pontos sómennyiséget meghatározni, de igen beszédes mérőszáma lehet annak, mivel arányosan változik vele.

Centrifugálás: Az elválasztási művelet az elegyet alkotó komponensek eltérő sűrűségén, a művelet lényege pedig a centrifugális erőhatáson alapszik, ami az ülepedő részecskékre erősebben hat centrifugálás közben. Alkalmazható szuszpenziók és folyadékkelegyek (emulziók) elválasztására egyaránt (Gyepes, Szarka, Hegedűs, & Mészáros, 2021).

Elektromos vezetőképesség: Elektromos tér hatására az oldatban ionvándorlás alakul ki, ez az elektromos vezetés oka. Additív tulajdonság, mértékét az oldatban lévő összes ion mennyiségét határozza meg, tehát nem szelektív. Mérésére vezetőképességi cellát használnak, ez általában harangelektród. A konduktometriás mérés kétféle lehet: direkt (közvetlen koncentrációmérés) és indirekt (konduktometriás titrálás). (Boros, és mtsai., 2011.) A direkt konduktometria közvetlen jól alkalmazható többkomponensű rendszerekben is oldatok (például vizek, szennyvizek, talaj- és hulladékkivonatok) összes sótartalmának jellemzésére. (SULINET)

Az általam vizsgált paraméter minden esetben az elektromos vezetőképesség, mely a sótartalom közvetett mérésére alkalmas módszer. A mérések során változtattam a tartózkodási időn, illetve az előzetes mintavétel helyén és idején.

A kutatási témám meghatározásakor még nem merült fel, hogy több mintavételi helyről vegyek mintát, minden esetben a kisserelt, komposztálóba szállított alapanyagokat szerettem volna vizsgálni. Az idő és a kutatás előrehaladtával realizáltam, hogy a fejlesztéseket és változtatásokat minden szempontból értékelnem és elemeznem kell, ezért a gazdaságossági tényezőket is figyelembe kell vennem. Ebből az aspektusból érdemes megvizsgálni az anyag azon állapotát, amikor még tulajdonképpen félkész állapotban, víztelenítés előtt kivehető a rendszerből.

A mintavétel minden esetben a Dunacell Kft. különböző üzemrészeiben történt, a 7. táblázatban meghatározottak szerint:

7. táblázat - Mintavételi helyek meghatározása (forrás: saját szerkesztés)

	Mésziszap		Biológiai fölösizap	
Mintavétel helye	Vegyi üzem - Nagydob után (víztelenített)	Vegyi üzem- Kisdob után	Szennyvíztisztító – Szalagprés után (víztelenített)	Szennyvíztisztító – Iszapsűrítő medence
Mintajel	1/a, 1/b, 2/a, 2/b, 3/a, 3/b	4/a, 4/b	1/a, 1/b, 2/a, 2/b, 3/a, 3/b	4/a, 4/b

A méréseket Dr. Horváth Márk egyetemi docens, tanszékvezető engedélyével és segítségével, a Környezettudományi Intézet Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszékén végeztem el.

Az alkalmazott eszközök minden mérés esetén ugyanazok:

- Digicen 21R laborcentrifuga
- 50 cm³-es centrifugacsövek csavaros kupakkal (Falcon forma, 16 db)
- Grant-bio PTR-60 típusú multirotátor
- hordozható vezetőképesség mérő (Multi 3630 IDS SET G)
- automata pipetta
- mérőhenger
- főzőpohár
- kémcsőállvány

3.4.1 Víztelenített minták vizsgálata

A mintavétel helye a 7. táblázatban leírtak alapján mészszip esetén a nagy vákuumdobszűrő után, biológiai fölöszip esetén pedig a szennyvíztisztító telep szalagos iszapprése után történt.

A minták szárazanyag tartalma átlagosan mészszip esetén 40% feletti, biológiai fölöszip esetén pedig 18% körüli.

A mérések során a vizsgálati eljárás a következő volt:

1. A vizsgálandó mintából 2,5 g-ot mértem be, analitikai pontossággal egy 50 cm³-es centrifugacsőbe.
2. A bemért mintához adtam 25 cm³ desztillált vizet.
3. A szuszpenziót meghatározott ideig (10 vagy 20 perc) kevertettem a multirotátor segítségével (19. ábra).

19. ábra - Bemért mészszip és biológiai fölöszip minták, keverés után (forrás: saját)



4. Az összekevert mintákat ezután a laborcentrifugába tettem (20. ábra), ahol 10 percig 4000 fordulat/perc fordulatszámon centrifugáltam.

20. ábra - digicen 21 R típusú laborcentrifuga (forrás: saját)



Ennek hatására a 21. ábrán látható módon a szilárd fázis elvált a felúszó, folyadékfázistól.

21. ábra - Mésziszap és biológiai fölösiszap minták az első mosás és centrifugálás után (forrás: saját)



5. Megmértem a folyadékfázis elektromos vezetőképességét. A folyadékfázist leöntöttem, a szilárd fázist fellazítottam, majd újabb 25 cm³ desztillált vizet adtam hozzá, és megismételtem a folyamatot.
6. Ezeket a hígításokat – mosásokat – többször (négyyszer vagy kétszer, méréstől függően) megismételtem. Minden változtatott paraméter esetén külön mérési sorozatot végeztem el, a mért értékeket táblázatban összesítettem.

3.4.2 Szuszpenziók vizsgálata

A mintavétel helye a 7. táblázatban leírtak alapján mésziszap esetén a nagy vákuumdobszűrő előtt, a kis vákuumdobszűrő utáni mintavételi ponton, biológiai fölösizap esetén pedig az iszapsűrítő medence mintavételi pontján történt.

A vizsgálathoz minden alkalmazott eszköz megegyezik a fentebb leírtakkal, főként a minták bemérésén változtattam.

1. A keveréssel és rázással homogenizált szuszpenziókból 20 cm³-t mértem be a centrifugacsövekbe, analitikai pontossággal megmértem a tömegüket majd ezeket kicentrifugálva, fázis elkülönülés után megmértem a felúszó folyadékfázis vezetőképességét.
2. A felúszó fázist leöntve megmértem a visszamaradt szilárd fázis tömegét.
3. Első mosási lépésként a fellazított szilárd fázishoz annyi desztillált vizet adtam, hogy a szuszpenzió összesen 20 cm³ mennyiségű legyen.
4. A szuszpenziókat multi rotátorral 10 percig kevertem, majd a centrifugálás 4000 fordulat/perc fordulatszámon, 10 percig tartott.
5. Az elektromos vezetőképességet megmértem a felúszó folyadékfázisban, leöntöttem, majd következett az újabb mosási lépés. Összesen öt mosási lépést végeztem el a fenti módon, majd mért értékeket táblázatban összesítettem.

4 Eredmények és értékelésük

A mérési eredmények összegzése és kiértékelése az alábbiakban komposztálási alapanyagok sótartalmának csökkenése szempontjából történik. A kutatómunkám konkrét célja ennek az összetevőnek a vizsgálata, változtatási lehetőségének meghatározása.

4.1 Mésziszap vizsgálati eredményei

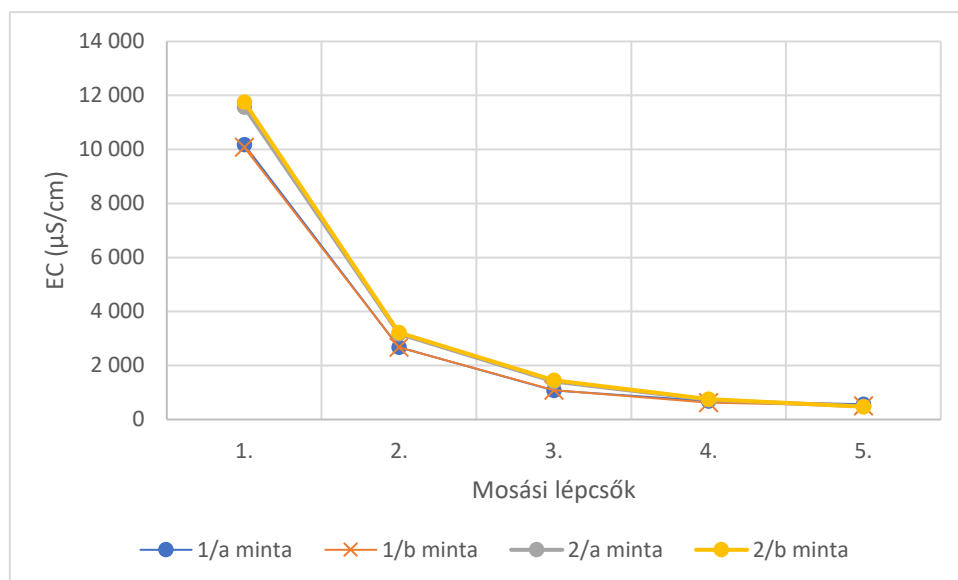
4.1.1 Víztelenített mésziszap

A 8. táblázatban összesítettem az azonos mérési paraméterekkel elvégzett hígítási sorozat eredményeit, mésziszapra vonatkozóan. Az elektromos vezetőképesség változását a 3. diagram szemlélteti.

8. táblázat - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 1/a, 1/b, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés)

2,5 g + 25 cm ³ víz	tartózkodási idő: 10 perc			
Mintavétel ideje	2024.01.26		2024.02.09	
Mésziszap	Vezetőképesség (µS/cm)			
Mosási lépcsők (25 cm ³ víz hozzáadása)	1/a minta	1/b minta	2/a minta	2/b minta
1.	10 180	10 080	11 570	11 760
2.	2 680	2 680	3 170	3 220
3.	1 078	1 084	1 410	1 450
4.	680	630	737	758
5.	566	508	482	475

3. diagram - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 1/a, 1/b, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés)

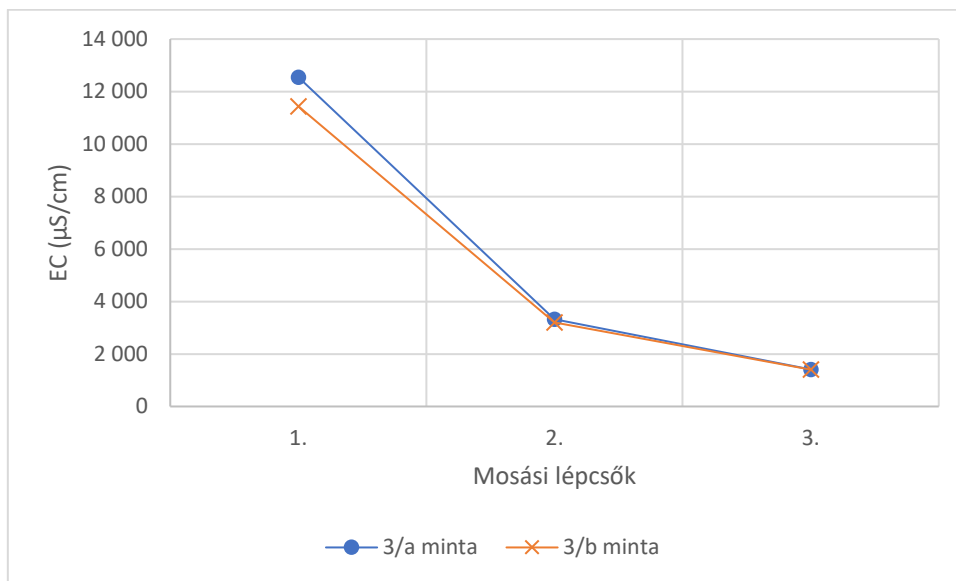


A tartózkodási idő megnövelésére, ebben az esetben a keverési idő növelésére – 10 perc helyett 20 perc – is elvégeztem egy mérési sorozatot. A mérés eredményeit a 9. táblázatban foglaltam össze és az 4. diagramon szemléltettem.

9. táblázat - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés)

2,5 g + 25 cm ³ víz	tartózkodási idő: 20 perc	
Mintavétel ideje	2024.02.09	
Mésziszap	Vezetőképesség (μS/cm)	
Mosási lépcsők (25 cm ³ víz hozzáadása)	3/a minta	3/b minta
1.	12 550	11 440
2.	3 320	3 200
3.	1 412	1 405

4. diagram - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, megnövelt tartózkodási idővel, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés)



4.1.2 Víztelenítés előtti mésziszap szuszpenzió

A mésziszapra vonatkozó bemérési adatokat a 10. táblázat tartalmazza.

10. táblázat - Mésziszap szuszpenzió bemérési adatai (forrás: saját szerkesztés)

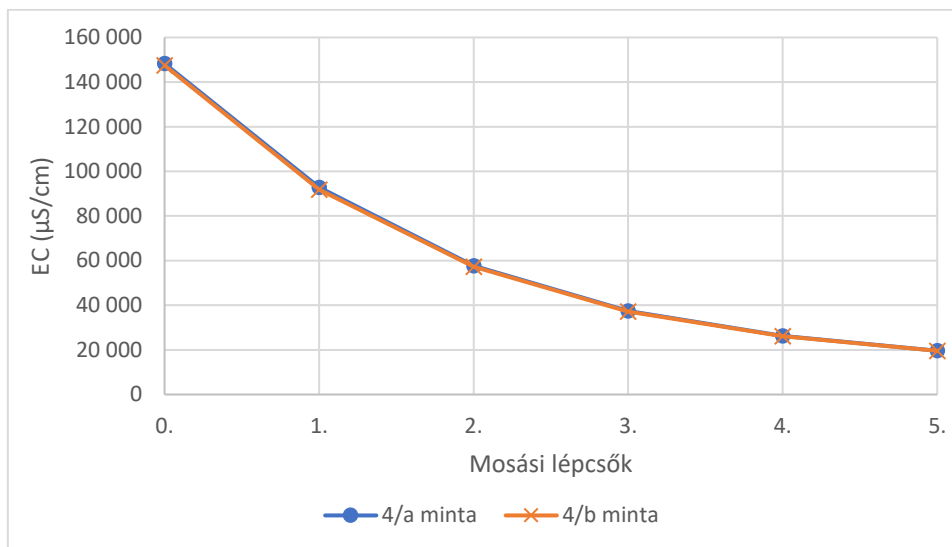
20 cm ³ bemérés	4/a minta	4/b minta
m _{centrifugacső} (g)	14,4023	14,414
m _{centrifugacső+szuszpenzió} (g)	37,7131	37,2946
m _{szilárd fázis nedves tömege} (g)	23,3108	22,8806

Az mosási lépcsők során mért elektromos vezetőképesség eredményeit a 11. táblázatban összesítettem, és az 5. diagramon ábrázoltam.

11. táblázat - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés)

20 cm ³ + 20 cm ³ víz	tartózkodási idő: 10 perc	
Mintavétel ideje	2024.04.09	
Mésziszap	Vezetőképesség (µS/cm)	
Mosási lépcsők (20 cm ³ víz hozzáadása)	4/a minta	4/b minta
0.	148 300	147 500
1.	92 800	91 900
2.	57 700	57 300
3.	37 500	37 200
4.	26 300	26 100
5.	19 630	19 580

5. diagram - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés)



4.2 Biológiai fölösizap vizsgálati eredményei

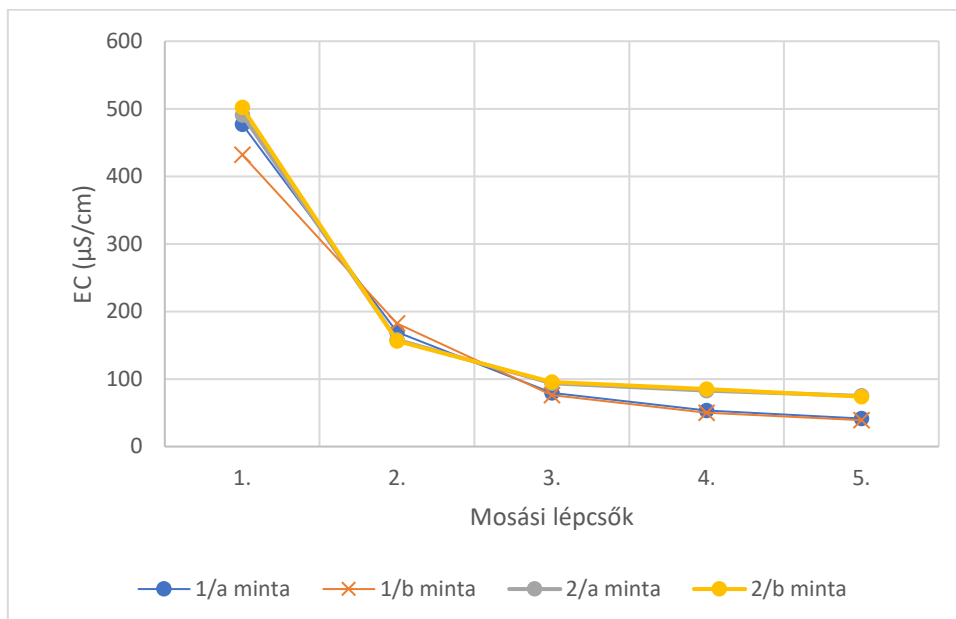
4.2.1 Víztelenített biológiai fölösizap

A 10. táblázatban összesítettem az azonos mérési paraméterekkel elvégzett hígítási sorozat eredményeit, biológiai fölösizapra vonatkozóan. Az elektromos vezetőképesség változását az 5. diagram szemlélteti.

12. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 1/a, 1/b, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés)

2,5 g + 25 cm ³ víz	tartózkodási idő: 10 perc			
Mintavétel ideje	2024.01.26		2024.02.09	
Fölösizap	Vezetőképesség (µS/cm)			
Mosási lépcsők (25 cm ³ víz hozzáadása)	1/a minta	1/b minta	2/a minta	2/b minta
1.	477	432	491	502
2.	169,5	182,2	158	156,4
3.	79,7	76,3	93,5	95,4
4.	53,4	49,9	83	85,1
5.	41,5	39,1	75	73,9

6. diagram - Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 1/a, 1/b, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés)

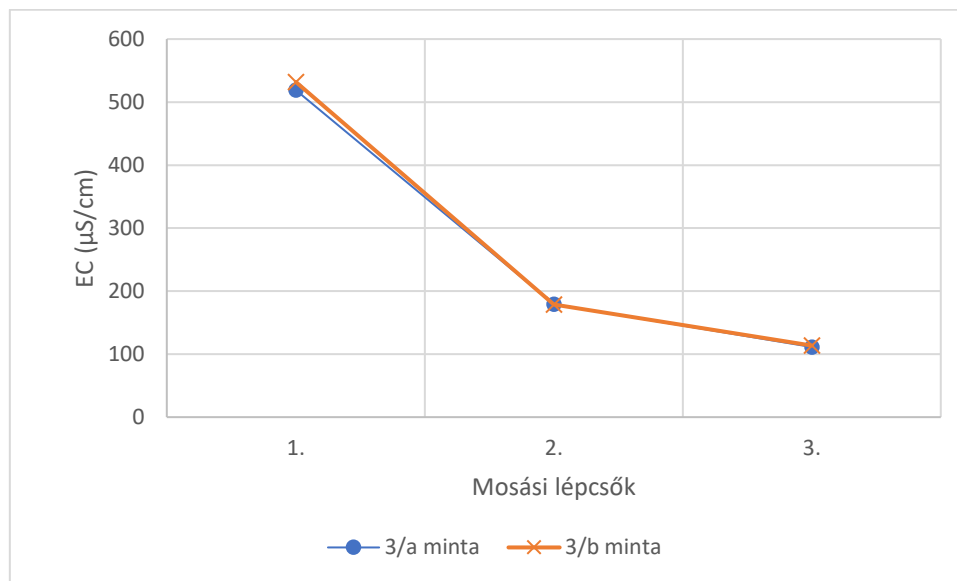


A tartózkodási idő megnövelésére, ebben az esetben is a keverési idő növelésére – 10 perc helyett 20 perc – is elvégeztem egy mérési sorozatot. A mérés eredményeit a 11. táblázatban összesítettem és a 6. diagramon szemléltettem.

13. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, tartózkodási idő megnövelésével, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés)

2,5 g + 25 cm ³ víz	tartózkodási idő: 20 perc	
Mintavétel ideje	2024.02.09	
Fölösizap	Vezetőképesség (µS/cm)	
Mosási lépcsők (25 cm ³ víz hozzáadása)	3/a minta	3/b minta
1.	519	532
2.	179,1	178,9
3.	111,3	113,6

7. diagram - Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, tartózkodási idő megnövelésével, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés)



4.2.2 Víztelenítés előtti biológiai fölösizap szuszpenzió

A biológiai fölösizap bemérésére vonatkozó adatokat a 14. táblázat tartalmazza.

14. táblázat – Biológiai fölösizap szuszpenzió bemérési adatai (forrás: saját szerkesztés)

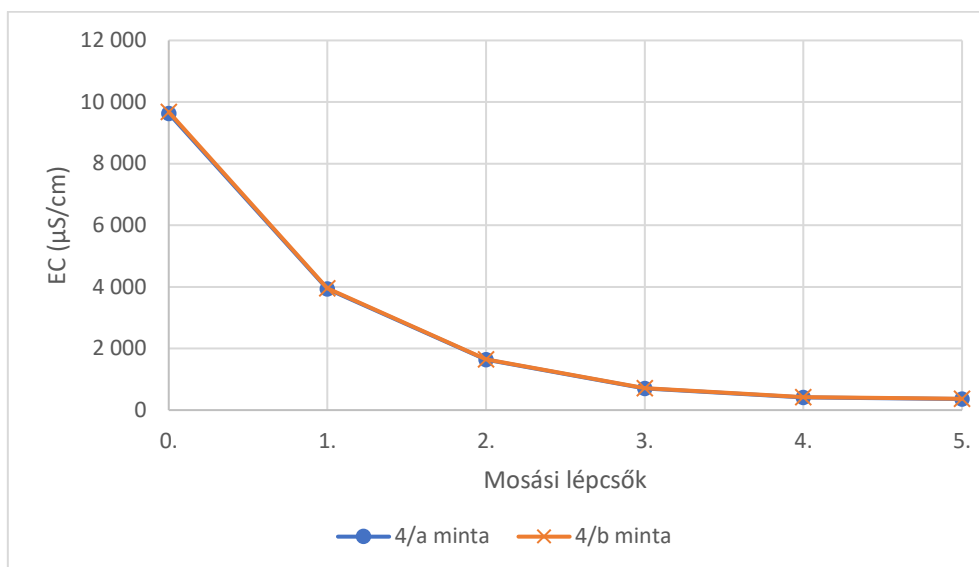
20 cm ³ bemérés	4/a minta	4/b minta
m _{centrifugacső} (g)	14,3712	14,2979
m _{centrifugacső+szuszpenzió} (g)	34,998	35,009
m _{szilárd fázis nedves tömege} (g)	20,6268	20,7111

Az mosási lépcsők során mért elektromos vezetőképesség eredményeit a 15. táblázatban összesítettem, és az 8. diagramon ábrázoltam.

15. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés)

20 cm ³ + 20 cm ³ víz	tartózkodási idő: 10 perc	
Mintavétel ideje	2024.04.09	
Fölösizap	Vezetőképesség (µS/cm)	
Mosási lépcsők (20 cm ³ víz hozzáadása)	4/a minta	4/b minta
0.	9 630	9 680
1.	3 930	3 950
2.	1 641	1 648
3.	705	709
4.	410	418
5.	360	368

8. diagram – Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés)



4.3 A vizsgálati eredmények értékelése

A mérési eredmények összegzése és ábrázolása után megállapítható, hogy a mintavétel helyétől függetlenül, minden mosási lépcső beiktatásakor csökkent az elektromos vezetőképesség. Az alábbiakban a csökkenés mértékét mutatom be a különböző mintákon.

4.3.1 Víztelenített alapanyagok eredményeinek értékelése

Azokban az esetekben, amikor a vizsgálat menete azonos, az „a” és „b” jelű minták kis mértékű különbözőségét az eltérő mintavételi időpont okozza. A folyamatos termelésű üzemek által kibocsátott anyagáramok összetétele minimálisan változhat, ez az aktuális alapanyagok és segédanyagok minőségétől és a gyártási beállításoktól függhet.

Víztelenített mészsizap esetén a 16., 17. és 18. táblázatok, fölösizap esetén pedig a 19., 20. és 21. táblázatok szemléltetik a sótartalom csökkenésének mértékét az adott mosási lépcsőt megelőző állapothoz, illetve a kiindulási állapothoz (egyszeres hígítás) viszonyítva. Ezekben az esetben mosás nélküli érték nem meghatározott, mivel a szuszpenzió elkészítésekor 2,5 g mészsizapból és 25 cm³ desztillált vízből készítettem el a vizsgált szuszpenziót.

16. táblázat - Mészsizap vezetőképességének csökkenési mértéke, 1/a, 1/b minta (forrás: saját szerkesztés)

Mészsizap	Vezetőképesség (µS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)	Vezetőképesség (µS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)
Mosási lépcsők (25 cm ³ víz hozzáadása)	1/a minta			1/b minta		
1.	10 180	-	-	10 080	-	-
2.	2 680	73,67	73,67	2 680	73,41	73,41
3.	1 078	59,78	89,41	1 084	59,55	89,25
4.	680	36,92	93,32	630	41,88	93,75
5.	566	16,76	94,44	508	19,37	94,96

17. táblázat - Mésziszap vezetőképességének csökkenési mértéke, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés)

Mésziszap	Vezetőképesség (μS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)	Vezetőképesség (μS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)
Mosási lépcsők (25 cm ³ víz hozzáadása)	2/a minta			2/b minta		
1.	11 570	-	-	11 760	-	-
2.	3 170	72,60	72,60	3 220	72,62	72,62
3.	1 410	55,52	87,81	1 450	54,97	87,67
4.	737	47,73	93,63	758	47,72	93,55
5.	482	34,60	95,83	475	37,34	95,96

18. táblázat - Mésziszap vezetőképességének csökkenési mértéke, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés)

Mésziszap	Vezetőképesség (μS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)	Vezetőképesség (μS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)
Mosási lépcsők (25 cm ³ víz hozzáadása)	3/a minta			3/b minta		
1.	12 550	-	-	11 440	-	-
2.	3 320	73,55	73,55	3 200	72,03	72,03
3.	1 412	57,47	88,75	1 405	56,09	87,72

A mésziszap mérési eredményei egyöntetűen azt tükrözik, hogy már a második mosási fázis több, mint 70%-al csökkentette az elektromos vezetőképességet, ez a lépés eredményezte a legnagyobb mértékű változást. Az összes mosási lépcső további vezetőképesség csökkenést eredményezett, melynek mértéke a mosási lépések előrehaladtával egyre kisebb lett.

19. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének csökkenési mértéke, 1/a, 1/b minta (forrás: saját szerkesztés)

Fölösizap	Vezetőképesség (μS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)	Vezetőképesség (μS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)
Mosási lépcsők (25 cm ³ víz hozzáadása)	1/a minta			1/b minta		
1.	477	-	-	432	-	-
2.	169,5	64,47	64,47	182,2	57,82	57,82
3.	79,7	52,98	83,29	76,3	58,12	82,34
4.	53,4	33,00	88,81	49,9	34,60	88,45
5.	41,5	22,28	91,30	39,1	21,64	90,95

20. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének csökkenési mértéke, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés)

Fölösizap	Vezetőképesség (μS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)	Vezetőképesség (μS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)
Mosási lépcsők (25 cm ³ víz hozzáadása)	2/a minta			2/b minta		
1.	491	-	-	502	-	-
2.	158	67,82	67,82	156,4	68,84	68,84
3.	93,5	40,82	80,96	95,4	39,00	81,00
4.	83	11,23	83,10	85,1	10,80	83,05
5.	75	9,64	84,73	73,9	13,16	85,28

21. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének csökkenési mértéke, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés)

Fölösizap	Vezetőképesség (μS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)	Vezetőképesség (μS/cm)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)
Mosási lépcsők (25 cm ³ víz hozzáadása)	3/a minta			3/b minta		
1.	519	-	-	532	-	-
2.	179,1	65,49	65,49	178,9	66,37	66,37
3.	111,3	37,86	78,55	113,6	36,50	78,65

Biológiai fölösizap esetén szintén a második mosási fázis eredményezte a legnagyobb vezetőképesség csökkenést, ennek értéke minden mérés esetén több mint 60% volt. Összességében hasonló eredményt tapasztaltam a mésziszap vizsgálatával összevetve,

minden egyes további mosási lépcső vezetőképesség csökkenést okozott, a mértéke folyamatosan csökkent.

4.3.2 Víztelenítés előtti fázisban lévő alapanyagok vizsgálati eredményeinek értékelése

Víztelenítés előtti mésziszap esetén a 22. táblázat, az iszapsűrítóból vett fölösiszap esetén pedig a 23. táblázat szemlélteti a sótartalom csökkenésének mértékét az adott mosási lépcsőt megelőző állapothoz, illetve a kiindulási állapothoz viszonyítva. Ezekben az esetben mosás nélküli érték mérhető volt, mivel alapvetően egy szuszpenzió volt a minta.

22. táblázat – Mésziszap vezetőképességének csökkenési mértéke, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés)

Mésziszap	Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)	Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)
Mosási lépcsők (20 cm ³ szuszpenzió képzése)	4/a minta			4/b minta		
0.	148 300	-	-	147 500	-	-
1.	92 800	37,42	37,42	91 900	37,69	37,69
2.	57 700	37,82	61,09	57 300	37,65	61,15
3.	37 500	35,01	74,71	37 200	35,08	74,78
4.	26 300	29,87	82,27	26 100	29,84	82,31
5.	19 630	25,36	86,76	19 580	24,98	86,73

23. táblázat – Biológiai fölösiszap vezetőképességének csökkenési mértéke, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés)

Fölösiszap	Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)	Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Csökkenés mértéke az előző értékhez viszonyítva (%)	Csökkenés mértéke a kiindulási értékhez viszonyítva (%)
Mosási lépcsők (20 cm ³ szuszpenzió képzése)	4/a minta			4/b minta		
0.	9 630	-	-	9 680	-	-
1.	3 930	59,19	59,19	3 950	59,19	59,19
2.	1 641	58,24	82,96	1 648	58,28	82,98
3.	705	57,04	92,68	709	56,98	92,68
4.	410	41,84	95,74	418	41,04	95,68
5.	360	12,20	96,26	368	11,96	96,20

A víztelenítés előtti minták sótartalma mésziszap esetén a kiindulási értékhez mérten kisebb léptékben, de folyamatosan csökkent, a víztelenített minták adataival összevetve. A legnagyobb csökkenést az első két mosási lépcső eredményezte. Az összes mosási lépcsővel összességében 86%-os sótartalom csökkenés érhető el.

Az iszapsűrítóból vett biológiai fölösiszap minta a szalagprés utáni – víztelenített – mintához hasonló sótartalom csökkenést mutatott a mosás folyamán, minimális az eltérés. A legnagyobb csökkenést ebben az esetben is az első lépcső eredményezte, a vizsgálat alapján öt mosási fázis beiktatásával több, mint 96%-os sótartalom csökkenés érhető el.

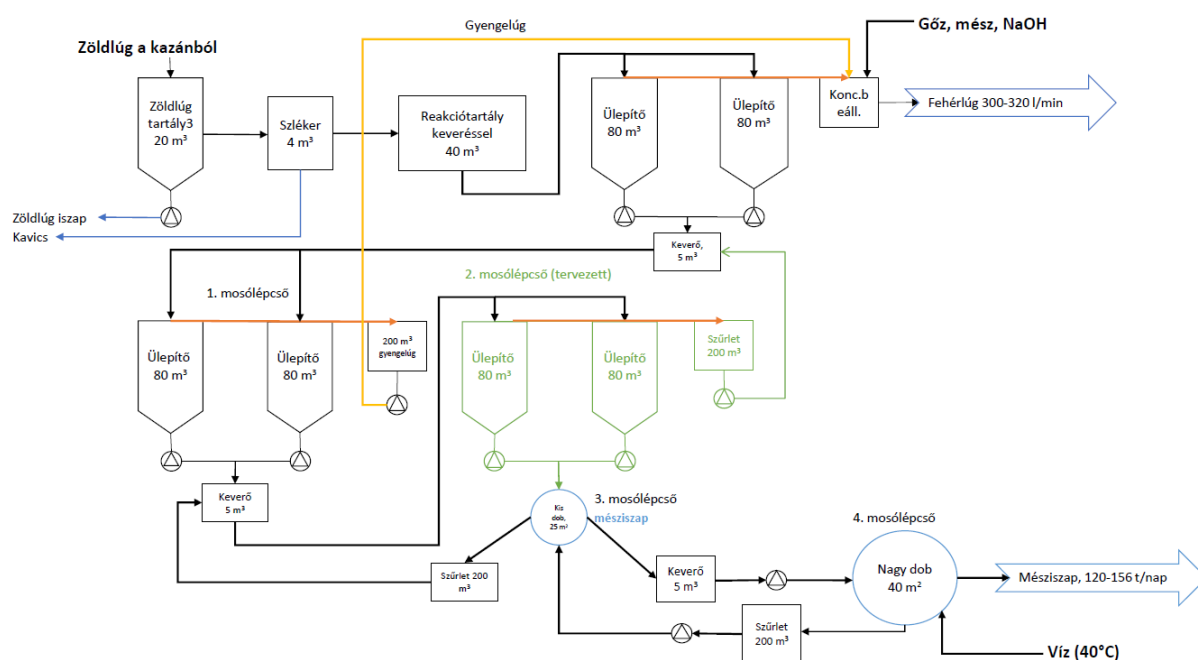
5 Következtetések és javaslatok

A kutatási munkám fő célja a komposzt késztermékben mért vízben oldható összes só tartalom eltéréseinek kiküszöbölése, a megfelelő – határérték alatti - só tartalom folyamatos biztosítása. Az alapanyag minták vizsgálati eredményei alapján azt a következtetést vontam le, hogy egy mosási lépcső alkalmazása a gyakorlatban nagy hatékonysággal csökkentené a só tartalmat.

5.1 Mésziszap sótartalmának csökkentési javaslatai

A kausztifikálási folyamat során keletkező mészsízap sótartalmának csökkentésére több lehetőség létezik a gyakorlatban. Szloboda Györggyel, a Dunacell Kft. vegyi vonali üzemvezetőjével egyeztettem a témával kapcsolatban. A nagy vákuumdobszűrőről lekerülő, már víztelenített mészsízap újbóli mosása és ismételt víztelenítése természetesen a gyakorlatba átültethető de a jelenlegi technológiai igényeket, valamint gazdasági és környezetvédelmi – víztakarékossági – szempontokat figyelembe véve sem lenne alkalmazható. Ehelyett egy mosási lépcső beépítése javasolt már a kis vákuumdobszűrő előtt. A jelenlegi háromlépcsős mosási folyamat mellé javasolt beépíteni még egy mosólépcsőt (22. ábra, zöld jelölés), ahol az ellenáramban érkező mosófolyadék nagyobb hatásfokkal képes a vízben oldott sókat eltávolítani a rendszerből. Ez a mosólépcső a gyakorlatban két új 80 m³-es ülepítőtartály és egy szűrletelvezetési és betáplálási pont kiépítését jelenti, amit a kis vákuumdobszűrő elé lehet betelepíteni. Az alkalmazott mosófolyadék mennyiségét ebben az esetben növelni nem szükséges, csak a mosási lépcsők száma nő meg.

22. ábra - Mosási lépcső beillesztése a kausztifikálási folyamatba (forrás: saját szerkesztés)



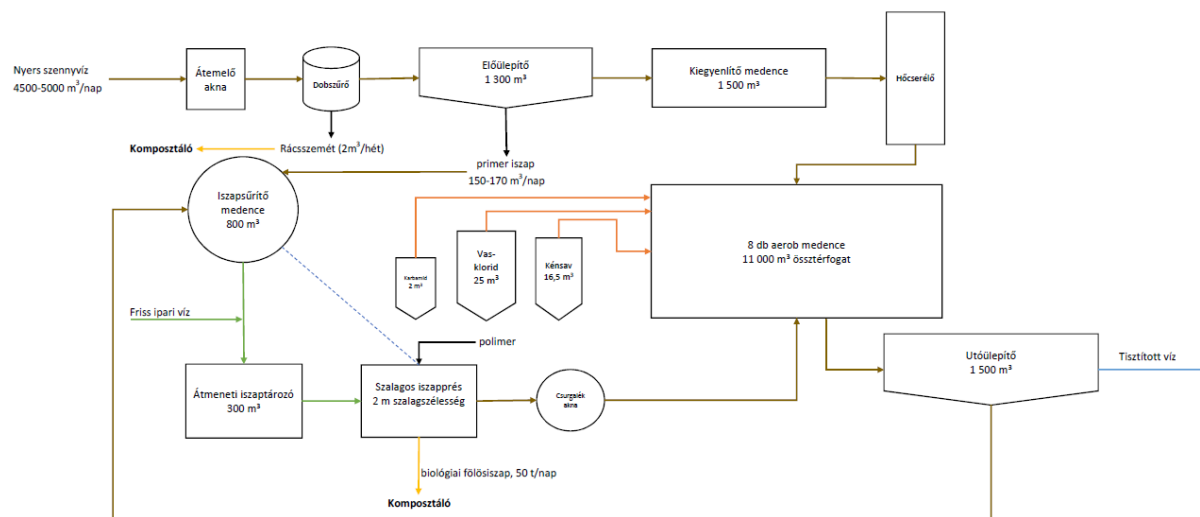
A Dunacell Kft. egyéb gazdaságossági és hatékonysági elemzései alapján úgy döntött, hogy az említett mosási lépcsőt beépíti a vegyszer regenerálási folyamatba, 2024-ben ez a beruházás megvalósul. Jelenleg terület előkészítési munkálatok zajlanak.

5.2 Biológiai fölösiszap sótartalmának csökkentési javaslatai

A szennyvíztisztítási folyamatban keletkező biológiai fölösiszapról Eizenberger Dáviddal, a Dunacell Kft. szennyvíztisztító üzemvezetőjével egyeztettem. Két megoldást elemeztünk, melyeknél figyelembe vettük a jelenleg rendelkezésre álló infrastruktúrát, a szabad kapacitást, illetve a beruházási és működési költségeket.

1. Víztelenített iszap: A jelenlegi művelet szerint a 18-20% szárazanyag tartalmú iszap a kihordó szalagról egy kamion pótkocsijába van vezetve. Itt a szalag meghosszabbításával a keletkező iszapot be lehetne vezetni az átmeneti iszaptározóba, ahol friss víz betáplálásával és keveréssel megvalósulna a mosás. A tartózkodási idő meghatározásához, illetve a bevezetendő vízmennyiség meghatározásához előzetes mérésekre lenne szükség. Az átmosott iszap víztelenítése történhet egy másik szalagos iszapprésszel, de egy centrifugával nagyobb szárazanyagtartalmú iszap kiserelése válna lehetővé. Ennek a megoldásnak a beruházási és üzemeltetési költsége igen magas, mivel a keletkező iszap víztelenítése kétszer történik meg, új berendezésekre van szükség (centrifuga vagy szalagos iszapprés) és a friss víz bevezetés szintén növelné a költségeket. Összességében a megoldás gyakorlati megvalósítására csekély esély van.
2. Iszapsűrítőben lévő iszap (víztelenítés előtti): Az iszapsűrítőben lévő iszap átvezetése az átmeneti iszaptározóba folyamatos vízbetáplálással szintén egy működőképes megoldás lehet. Ezt a lehetőséget mutatja be a 23. ábra. A zöld jelölés mutatja a javasolt iszapvezetési utat, a kék szaggatott vonal pedig a jelenlegi állapotot.

23. ábra - Mosási lépcső beillesztése a szennyvíztisztítási folyamatba (forrás: saját szerkesztés)



Ennek előfeltétele, hogy a tartózkodási idő megnövelésével az iszapot átvezetés előtt legalább 6%-os szárazanyagtartalmúra be tudják állítani. Az előző megoldástól eltérően az átmeneti tározóban mosott iszap víztelenítése már történhet a szalagos iszapprésen, nincs szükség másik víztelenítő berendezés beépítésére. A friss víz bevezetésének költsége itt is megjelenne, de lényegesen gazdaságosabb megoldás az előbbinél, mivel a szükséges műtárgyak és berendezések már kiépítettek, rendelkezésre állnak.

6 Összefoglalás

Az iparszerű mezőgazdaság kialakulásának fő okozója, a XX. századi népességnövekedés és az ezzel együtt jelentkező megnövekedett élelmiszerigény voltak. Az emberiséget el kellett látni elegendő élelmiszernel, ezért a mezőgazdasági termelést maximálizálni kellett. Az intenzív művelés és a megnövekedett mennyiségű kemikáliák alkalmazása a termőterületek és környezetük szennyezéséhez, a talajok felgyorsult pusztulásához vezetett. Ami egy ideig növekedést, azaz a plusz hozam lehetőségét rejtette magában, később már korlátozó tényezővé vált.

Az Európai Unió szabályozás a környezetvédelem terén igen széleskörű. A környezeti elemek védelmére túl, kiterjed a rendelkezésre álló természetes erőforrások hatékonyabb felhasználására és védelmére a fenntarthatóság megvalósításának jegyében. Ennek egyik pillére a körkörös gazdaság, melyben a hulladékhasznosítás kiemelt szerepet játszik.

Témaválasztásom a hulladékhasznosításra, ezen belül pedig a komposztálásra esett, mert ez egy olyan technológia, mellyel hozzájárulhatunk a hulladéktér csökkentéséhez, továbbá egy szerves anyagban gazdag talajjavító anyagot tudunk előállítani.

A Dunacell Dunaújvárosi Cellulógyár Kft. 1962-ben kezdte meg működését, akkor még papíripari alapanyag – szalmacellulóz – gyártási tevékenységgel. A 2010-ben bekövetkezett tulajdonosváltás óta a vállalat kizárólag élelmiszeripari rostot állít elő. A cég elkötelezett a fenntarthatóság megvalósításában, melyet tevékenysége tükröz. A cellulósgyártás egyik sajátossága a szalma feltáráshoz használt főzőlúg – nátrium-hidroxid – vegyszer regenerálási folyamatában való visszanyerése, mely környezetvédelmi és gazdaságossági oldalról is meghatározó. A regenerálás egyik részfolyamata a kausztifikálás, mely során mészszipap keletkezik. A mészszipap kezelésére megoldást kellett találni, ezért a vezetőség 2013-ban egy teljesen új üzemrész – komposztáló telep – létesítése mellett döntött.

A Dunacell Kft-nél végzett komposztálás immár tíz éves múltat tekint vissza, 2014 óta töretlenül zajlik a talajjavító anyag előállítása. Folyamatosan új kihívásokkal kell szembenézni a gyártás során, diplomamunkában egy éppen aktuális problémára keresem a lehetséges megoldásokat.

A komposztálási alapanyagok közé tartozik a mészszipap és a vállalat saját szennyvíztisztítójában keletkező biológiai fölöszipap. A komposztálási folyamat során a megfelelő biológiai lebontáshoz számos tényezőt – például hőmérséklet és nedvességtartalom – figyelembe kell venni, de a készen kapott alapanyagok beltartalmi

értékeit nehéz kontrollálni. Ezek minősége sokszor csak a már érett komposztban mutatkozik meg, mivel a késztermékek ellenőrzése folyamatos. Hatósági ellenőrzés során fordult elő, hogy a komposzt vízben oldható összes sótartalma meghaladta a megengedett határértéket, ennek az eltérésnek az oka az alapanyagokban keresendő.

Diplomamunkám készítése során végzett kutatásom összességében három fő részre bontható.

1. Elsőként azt vizsgáltam, hogy az alapanyagok – mészsizap és biológiai fölősiszap – keletkezése miként történik, valamint ismereteket szereztem az egyes üzemegységek működéséről, felépítéséről.
2. Előzetes ismereteim alapján feltételeztem, hogy az alapanyagok vízben oldható összes sótartalma mosással csökkenthető. Mindkét anyag esetén két-két mintavételi helyet jelöltem ki, az innen vett mintákat vizsgáltam. Meghatározott számú mosási-víztelenítési lépésben mértem és elemeztem a minták vezetőképességének változását. A mérési eredményekkel igazoltam a mosás hatékonyságát.
3. A mérési eredmények elemzése után módosítási lehetőségeket kerestem a kausztifikálásban és a szennyvíztisztításban, mellyel csökkenthető a mészsizap és a biológiai fölősiszap vízben oldható összes sótartalma. A gyakorlati megvalósítás megtervezésénél figyelembe vettem a gazdaságossági, technológiai és környezetvédelmi szempontokat is.

Összességében megállapítottam, hogy a feltételezés igazolást nyert, a mosási lépcsők nagyon hatékonysággal csökkentették a sótartalmat. További pozitívum, hogy a Dunacell Kft. a gyakorlati megvalósítás mellett döntött, kausztifikálás esetén.

A szennyvíztisztítóban felvázolt változtatásokat mindenképpen javaslom a közeljövőben elvégezni, hiszen beruházási költsége minimális, ellenben a vele nyerhető haszon – a garantált termékminőséggel egybekötött vevői elégedettség – lényeges a piaci biztonság szempontjából.

7 Irodalomjegyzék

- Alexa, L., & Dér, S. (1998.). *A komposztálás elmélet és gyakorlati alapjai*. Gödöllő: Bio-Szaktanácsadó Bt., 12.o., 32-33.o.
- Anda, A., Burucs, Z., & Kocsis, T. (2009.). *Digitális Tankönyvtár*. Letöltés dátuma: 2024. március 8., forrás: https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/8634/0032_fenntart_hato_fejlodes.pdf?sequence=2&isAllowed=y, 141.o.
- Ángyán, J. (2003.). *Védett és érzékeny természeti területek mezőgazdálkodásának alapjai*. Budapest: Mezőgazda Kiadó., 272-273.o., 269-270.o.
- Antos, G., Árendás, T., Birkás, M., Blaskó, L., Cserni, I., Farkas, C., . . . Zsigrai, G. (2006.). *Földművelés és földhasználat*. (M. Birkás, Szerk.) Budapest: Mezőgazda kiadó., 237-256.o.
- Boros, B., Bufa, A., Csóka, B., Dörnyei, Á., Farkas, N., Felinger, A., . . . Petz, A. (2011. január 10.). *Műszeres analitika gyakorlatok*. Pécs: Pécsi Tudományegyetem. Forrás: <https://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kemia7/www/book.html>
- Diriczi, Z. (dátum nélk.). *Szervesanyag-gazdálkodás haladóknak*. Nyíregyháza. Letöltés dátuma: 2024. március 10., forrás: <https://talajreform.hu/tudasbazis/szervesanyag-gazdalkodas-haladoknak/>
- Dr. Farsang, A. (2011.). *Talajvédelem*. Veszprém: Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet., 13.o.
- Dr. Kocsis, I. (2005.). *Komposztálás*. Budapest: Szaktudás Kiadó Ház., 42-45.o., 63.o., 100-116.o.
- Dr. Kocsis, I. (2011.). *Komposztálás, biogáz termelés*. Gödöllő: Szent István Egyetem., 5.o.
- Dr. Szabó, A. (2018. február 15.). *www.parlament.hu*. Letöltés dátuma: 2024. február 27., forrás: https://www.parlament.hu/documents/10181/1479843/Infojegyzet_2018_8_termofold_vedelme.pdf/13dbe87c-7178-351f-a8c7-2c1cbea20af8, 3.o.
- EIP-AGRI Szolgáltató Pont. (2016.. július). *ec.europa.eu*. Forrás: https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/eip-agri_brochure_soil_organic_matter_hu_web.pdf
- Eurostat. (dátum nélk.). *Generation of municipal waste, 2020*. Letöltés dátuma: 2024. április 20., forrás: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/digpub/keyfigures/>

- Eurostat. (dátum nélk.). Recycling of municipal waste, 2020. Letöltés dátuma: 2024.. április 20., forrás: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/digpub/keyfigures/>
- Fazekas, B., Pitás, V., dr. Thury, P., & dr. Kárpáti, Á. (2004.). *Komposztálás*. Veszprém: Pannon Egyetem, Környezetmérnöki Intézet., 2.o.
- Gyepes, R., Szarka, K., Hegedűs, O., & Mészáros, R. (2021). *A laboratóriumi technika alapjai*. Komárom: Selye János Egyetem Tanárképző Kar., 62-63.o.
- Humusz Szövetség. (2020.). *Komposztálás közösségben*. Budapest.
- Központi Statisztikai Hivatal. (dátum nélk.). A világ népessége régiók szerint, 1950-2100. Letöltés dátuma: 2024.. április 20., forrás: https://www.ksh.hu/interaktiv/grafikonok/vilag_nepessege.html
- Központi Statisztikai Hivatal. (dátum nélk.). Magyarország földterülete művelési ágak szerint [ezer hektár]. Letöltés dátuma: 2024.. április 6., forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0008.html
- Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N., & Abdelly, C. (2009.). Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *Journal of Hazardous Materials.*, 34-38.o.
- Lőrinczy, M. (2022. február). Mi a mezőgazdaság fenntarthatóságának tétje? I. rész - Látsz bármilyen hibát? *Mezőhír*, old.: 54.
- Michéli, E. (2011). *Talajvédelem*. Gödöllő: Szent István Egyetem.1-2.o., 22-24.o
- Polgárné Balogh, E. (2020. május 5.). Változások a terménővelők hatásági engedélyezésében. Agroforum Online. Letöltés dátuma: 2024.. március 25., forrás: <https://agroforum.hu/szakcikkek/novenytermesztes-szakcikkek/valtozasok-a-termesnovelok-hatosagi-engedelyezeseben/>
- Prof. Dr. Várallyay, G. (2012.). *Talaj, növény és környezet*. (J. Prof. dr. Kátai, K. Dr. Fürjné Rádi, & Z. Dr. Sándor, szerk.) Debrecen, Magyarország: Prof. dr. Nagy János. Letöltés dátuma: 2024.. február 27., 24.o., 28.o.
- Stefanovits, P., Filep, G., & Fülek, G. (1999). *Talajtan*. Budapest: Mezőgazda Kiadó., 67-70.o., 290.o., 297.o.
- SULINET. (dátum nélk.). Közvetlen és közvetett konduktometria. Letöltés dátuma: 2024.. április 10., forrás: https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/0d0cc85d-f7b5-41fb-aec0-d1b8362c7ebf_e90c4562-46d5-4b3a-a5ed-d640f67b512a_f3498c96-96ef-4452-8ffe-419da3b58d40_34711704-ac23-469b-8a93-c074c2799627_e274b74d-68a3-4baa-ad04-1241477800d1_4911ce2c-e7d5-45e4-a99a-8223836a3716_

Weindorf, D., Thiel, C., Kleinheinz, G., & Gondek, M. (2020. augusztus 19.). Soluble Salts in Compost and Their Effects on Soil: A Review. *Compost Science & Utilization.*, 3.o., 7-8.o.

8 Ábrák és táblázatok jegyzéke

8.1 Ábrák jegyzéke

1. ábra - Magyarország talajdegradációs régiói, MTA TAKI, 1997 (forrás: https://enfo.hu/sites/default/files/Talajdegrad%C3%A1ci%C3%B3s%20r%C3%A9gi%C3%B3k%20Mo_0.jpg)	7
2. ábra - Hőmérsékleti görbe a komposztálás során (forrás: Ángyán József, 2003.)	14
3. ábra - Komposztáló méret szerinti csoportosítása (forrás: 559/2023. Korm.rendelet, saját szerkesztés)	15
4. ábra - Komposztálás csoportosítása oxigénbejuttatás szerint (forrás: Dr. Kocsis István, 2005, saját szerkesztés).....	16
5. ábra - Dunacell Kft. (forrás: https://www.dunacell.com/kep/thumb2/0000000001.jpg) ..	21
6. ábra - Dunacell Kft. grafikus térképe (forrás: Dunacell Kft.)	22
7. ábra - Dunacell Kft. áttekinthető térképe (forrás: Dunacell Kft.)	22
8. ábra - A Dunacell Kft. szennyvíztisztító telepe (forrás: Dunacell Kft.).....	24
9. ábra – Hulladéktároló, biológiai fölösizap (forrás: Saját)	28
10. ábra - Prizmaépítés - rétegzett állapot (forrás: saját)	29
11. ábra - Backhus 17.60 típusú komposztforgató célgép (forrás: saját)	29
12. ábra - Bekevert komposztprizma az érési folyamat 2. napján (forrás: saját)	30
13. ábra - Érésben lévő komposztprizmák (forrás: saját).....	30
14. ábra - Homogenizálás fogatással (forrás: saját)	31
15. ábra - Hőmérséklet szabályozás forgatással (forrás: saját).....	31
16. ábra - Komposzt késztermék (forrás: saját)	32
17. ábra - Caterpillar 938K típusú homlokrakodó (forrás: saját)	32
18. ábra - Cellulózgyári mésziszap, két forgatás után (forrás: saját)	33
19. ábra - Bemért mésziszap és biológiai fölösizap minták, keverés után (forrás: saját).....	37
20. ábra - digicen 21 R típusú laborcentrifuga (forrás: saját)	38
21. ábra - Mésziszap és biológiai fölösizap minták az első mosás és centrifugálás után (forrás: saját)	38
22. ábra - Mosási lépcső beillesztése a kausztifikálási folyamatba (forrás: saját szerkesztés)	48
23. ábra - Mosási lépcső beillesztése a szennyvíztisztítási folyamatba (forrás: saját szerkesztés)	50

8.2 Diagramok jegyzéke

1. diagram - Értékesített késztermék éves bontásban (t) (forrás: saját szerkesztés)	27
2. diagram - A komposztáló üzem által átvett és felhasznált alapanyag és hulladék mennyisége éves bontásban (t) (forrás: saját szerkesztés)	27
3. diagram - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 1/a, 1/b, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés).....	40
4. diagram - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, megnövelt tartózkodási idővel, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés).....	41
5. diagram - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés).....	42
6. diagram - Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 1/a, 1/b, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés).....	43
7. diagram - Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, tartózkodási idő megnövelésével, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés)	44
8. diagram – Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés	45

8.3 Táblázatok jegyzéke

1. táblázat - A talaj egyes jellemzőinek változási irányai és okai (Forrás: Talaj, növény és környezet, Várallay, 2012).....	6
2. táblázat - Telepi komposztálás műszaki szabályai - hőmérsékletszabályozás (forrás: 559/2023. Korm.rendelet, saját szerkesztés).....	15
3. táblázat – Érvényes termékengedélyek (forrás: saját szerkesztés)	26
4. táblázat - Termékek összetétele (forrás: saját szerkesztés).....	28
5. táblázat - Hulladékvizsgálatok (forrás: saját szerkesztés, Dunacell Kft.)	33
6. táblázat - Komposzt vizsgálatok (forrás: saját szerkesztés, Dunacell Kft.).....	34
7. táblázat - Mintavételi helyek meghatározása (forrás: saját szerkesztés)	36
8. táblázat - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 1/a, 1/b, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés).....	40
9. táblázat - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés).....	40
10. táblázat - Mésziszap szuszpenzió bemérési adatai (forrás: saját szerkesztés)	41

11. táblázat - Mésziszap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés).....	41
12. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 1/a, 1/b, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés).....	42
13. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, tartózkodási idő megnövelésével, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés)	43
14. táblázat – Biológiai fölösizap szuszpenzió bemérési adatai (forrás: saját szerkesztés) ...	44
15. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének változása különböző hígítási fázisokban, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés).....	44
16. táblázat - Mésziszap vezetőképességének csökkenési mértéke, 1/a, 1/b minta (forrás: saját szerkesztés)	45
17. táblázat - Mésziszap vezetőképességének csökkenési mértéke, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés)	46
18. táblázat - Mésziszap vezetőképességének csökkenési mértéke, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés)	46
19. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének csökkenési mértéke, 1/a, 1/b minta (forrás: saját szerkesztés)	46
20. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének csökkenési mértéke, 2/a, 2/b minta (forrás: saját szerkesztés)	46
21. táblázat - Biológiai fölösizap vezetőképességének csökkenési mértéke, 3/a, 3/b minta (forrás: saját szerkesztés).....	46
22. táblázat – Mésziszap vezetőképességének csökkenési mértéke, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés).....	47
23. táblázat – Biológiai fölösizap vezetőképességének csökkenési mértéke, 4/a, 4/b minta (forrás: saját szerkesztés)	47

9 Köszönetnyilvánítás

Elsőként szeretném megköszönni konzulensemnek, Dr. Cserhádi Mátyásnak a diplomamunkám készítése során nyújtott szakmai útmutatást, a hasznos tanácsokat és legfőként az idejét, amit arra szánt, hogy egy kerek-egész munkát alkothassak a segítségével. Szintén köszönettel tartozok Dr. Horváth Márknak, aki biztosította a helyet, a szükséges eszközöket és berendezéseket a laboratóriumi mérések elvégzéséhez, valamint szakmai támogatást nyújtott, melyet alkalmazni tudtam a mérések elvégzése és a mért eredmények kiértékelése során.

Köszönettel tartozom kollegáimnak, a vegyi vonal üzemvezetőjének, Szloboda Györgynek és a szennyvíztisztító telep üzemvezetőjének, Eizenberger Dávidnak, amiért minden kérdésemre készséggel válaszoltak, illetve, hogy szakmai hozzáértésükkel nagy segítséget nyújtottak a diplomamunkám elkészítéséhez.

Végül, de nem utolsósorban szeretném megköszönni a páromnak és testvéreimnek, akik az első perctől fogva mellettem álltak, támogattak és támaszt nyújtottak a nehezebb időszakokban is.

Köszönöm szépen még egyszer mindenkinek!

10 Nyilatkozatok

10.1 Hallgatói nyilatkozat

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Zakar Szilvia
A Hallgató Neptun kódja: WJ14LG
A dolgozat címe: Komposztálási alapanyagok sótartalmának csökkentése
A megjelenés éve: 2024.
A konzulens intézetének neve: Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Molekuláris Ökológia Tanszék

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

Ha a fenti nyilatkozással valótlan 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 szellemi tulajdon-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 25. nap


Hallgató aláírása

10.2 Konzulensi nyilatkozat

NYILATKOZAT

Zakar Szilvia (hallgató Neptun azonosítója: **WJ14LG**) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: Gödöllő, 2024. április hó 27.



belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.