

TELEPÍTHETŐ KOMPOSZTKAZÁN FEJLESZTÉSE

**OTDK PÁLYAMUNKA
2024-2025**

BMSZC PETRIK LAJOS KÉT TANÍTÁSI NYELVŰ TECHNIKUM

**ORSZÁGOS KÖZÉPISKOLAI FÖLDTUDOMÁNYI
DIÁKKONFERENCIA 2024**

**Felkészítő:
Gógh Zsolt**

**Készítők:
Kovács Benedek
László Dezső Levente
Szigeti Szabolcs**

**BUDAPEST
2025**

Tartalom:

1. Absztrakt	4
2. Bevezetés	5
2.1 A Komposztkazán: Definíció és Lehetőségek	5
2.2 A Komposztkazán Innovációs Alapelvei és Kihívásai	5
2.3 A kutatás első fázisának eredményei és jövőbeli lépések	6
2.4 Műszaki integráció és rendszertervezés	6
2.5 A komposztkazán jelentősége és kutatási célkitűzései	7
3. Szakirodalmi áttekintő	8
4. Berendezés	11
4.1 A metodika	11
4.2 A komposzt	12
4.3 Kialakításának alapelvei	13
4.4 Gépészeti kialakítás:	14
4.4.1 Hőcserélő	14
4.4.2 Biológiai igények kielégítése:	17
Szellőztetés:	17
Öntözés:	18
5. Automatizálás	20
5.1 Back end	20
5.2 Front end	21
6. Prototípusok, jövőbeli tervek:	25
6.1 Prototípus 1: A kezdeti tesztkazán	25
6.1.1 Előnyök	26
6.1.2 Hátrányok	27
6.1.3 Tanulságok és pozitív tapasztalatok	27
6.2 Prototípus 2: Új megoldások és kísérleti fejlesztések	27
6.2.1 Levegőztetési fejlesztések	28
6.2.2 Automatizálás és Monitorozás	29
6.2.3 Működési tapasztalatok és kihívások	31
6.3 Jövőbeli modellek és koncepciók	31
7. Kiértékelés	33
7.1 Teljesítmény számolás:	33
7.1.1 Számolási adatok:	33
7.1.2 Számítások:	34
7.2 Kvantitatív analitikai meghatározások:	36
7.2.1 Eddig elvégzett mérések:	36

7.2.2	Jövőbeli műszeres analitikai meghatározás	38
8.	Telepíthetőség	40
9.	Gazdasági Irányvonal	41
10.	Eddigi eredmények és együttműködések	42
11.	Összefoglalás	43
12.	Jegyzékek	44
12.1	Ábra jegyzék	44
13.	Felhasznált Szakirodalom	45

1. ABSZTRAKT

A mostanában nagy divatot élő komposztálás egy a természetben is végbemenő folyamat, ami nem csak éltető humuszt ad, de akár más, jól felhasználható lehetőség alapját is nyújthatja. Az érlelődő komposzt a hozzávaló nyersanyagok biológiai lebomlása során hatalmas hőt bocsájt ki, amely hő szabályozott körülmények között fűtési célokra is felhasználható.

Immár harmadik éve fejlesztjük elképzelésünket. Célunk egy mobil, telepíthető, érzékelőkkel és szabályozással, közüzemi csatlakozási lehetőséggel rendelkező, konténer típusú egység létrehozása. A tervezett üzleti stratégia velejárója lenne az a szolgáltatás is, amely biztosítja a fent leírt „blokk” stabil összetételű komposztkeverékkel történő ellátását.

A komposzt fűtőanyag élethosszát a helyesen beállított szén–nitrogén arány növeli. Emellett igen fontos, hogy a teljes térfogatát átjárja a levegő, lassú oxidálás menjen végbe nem pedig rothadási folyamat induljon be. Ennek okán a „töltetben” egy a friss oxigénnel rendelkező levegőztető rendszert kell létrehozni. Ehhez hasonlóan a megfelelő nedvesség tartalom biztosítása miatt úgyszintén egy ilyen öntöző rendszert kell kiépíteni, amely megfelelő időbeli leosztásban, kellő mértékben adagolja a biológiai-kémiai folyamatokhoz szükséges vizet. A szabályozásokhoz a „töltetben” páratartalom-, és szén-dioxid érzékelőket, továbbá termoszenzorokat szükséges telepítenünk. Utóbbiakat a kísérletben nagyszámban építjük majd be, ezáltal térbeli hőeloszlás képet tudunk előállítani. A hőcserélők ki- és belépő ágába telepített hőérzékelőkkel pedig a keringtetett melegvíz állapotáról kapunk megfelelő tájékoztatást.

A folyamat során a beépített szenzorok segítségével állandóan mérjük és optimalizáljuk a paramétereket (pl.: maghőmérsékletet a komposzt belsejében, vízhőmérsékletet, hőleadási teljesítményt).). A keringető szivattyút a szenzoroktól begyűjtött adataink alapján egy Arduino (ESP) mikrovezérlő irányítja (20.ábra)

Az eddigi kutatásaink eredménye során két prototípus adataiból és tapasztalatiból tudunk gazdálkodni. A jövőben újabb prototípusokat állítunk fel több különböző technológiai eljárás alkalmazásával. Az egyes kísérletek teljesítménybeli eltéréséből jelöljük majd ki kutatásunk további irányát. A töltet homogenizálása és a teljesítmény növelése érdekében több kísérleti, kisméretű komposztáló testet hozunk létre, ahol a különböző fajtájú, arányú komposztalapanyagok minőségi, teljesítménybeli és fűtési hatásfokát fogjuk elemezni. A keletkező komposzttrágya összetételét analitikailag a végtermék jogszabályi határozata mellékletében szereplő főbb komponensek mentén fogjuk vizsgálni, az esetleges piacra hozatal indoka miatt.

2. BEVEZETÉS

2.1 A Komposztkazán: Definíció és Lehetőségek

A komposztkazán olyan speciális berendezés, amely a komposztálódás során felszabaduló hulladékhő-energiát hőforrásként hasznosítja. Ezen folyamat során mikroorganizmusok dolgoznak a szerves anyag lebontásán, amely közben jelentős mennyiségű hő keletkezik. Az így termelt hő felhasználható fűtési rendszerekhez, mint például padlófűtéshez vagy melegvíz-előállításához. Bár a módszer nem új keletű, a komposztálás hőenergiájának hatékony kihasználása még nem vált széleskörűen alkalmazott alternatívává a fűtési technológiák körében.

Számos tanulmány foglalkozott már a komposztálási folyamat során keletkező hővel, amely a biodegradáció és a mikrobiológiai aktivitás mellékterméke, azonban eddig egyetlen kutatás sem tudott olyan mértékű előrelépést felmutatni, amely e kiaknázatlan területet a gyakorlatban is széles körben elterjedt technológiává fejlesztette volna. Kutatásunk célja, hogy az eddig alulértékelt komposztkazán technológia valóban működő, fenntartható és széleskörűen alkalmazható rendszerévé váljon, amely a fűtési piacon egy környezetbarát és költséghatékony alternatívát kínál.

2.2 A Komposztkazán Innovációs Alapelvei és Kihívásai

A komposztkazán tervezésének célja egy olyan rendszer létrehozása, amely egyesíti a mobilitást, a telepíthetőséget és az egyszerű kezelhetőséget. Egyedülálló elképzelésünk szerint a komposztkazán szinte bárhol és bármikor telepíthető, ami rendkívül rugalmassá és sokféleképpen felhasználhatóvá teszi. Ez különösen fontos lehet olyan helyeken, ahol a hagyományos fűtési megoldások nem elérhetők, illetve ahol a komposztanyag könnyen hozzáférhető, például mezőgazdasági létesítményekben.

A komposztkazán tervezésének egyik legfontosabb eleme, hogy a komposztálási folyamat során fellépő mikrobiológiai egyensúly fenntartását is biztosítani kell. A komposzt biológiai anyag, amely különféle környezeti feltételeket igényel az optimális működéshez, így például megfelelő oxigénellátást, nedvességet és hőmérsékletet. A hőkinyerés során azonban fennáll annak a veszélye, hogy a komposztanyag hőtermelési kapacitása csökken, mivel a mikroorganizmusok tevékenységét befolyásolja a hőmérséklet-ingadozás. (Lásd 29. ábra, a

hideg és meleg sávokat bemutató rajz) Ezért egy olyan szabályozott rendszert szükséges kialakítani, amely stabil környezetet biztosít a komposzt számára a hőkinyerés teljes időtartama alatt.

2.3 A kutatás első fázisának eredményei és jövőbeli lépések

Kutatásunk első fázisában két prototípus fejlesztését valósítottuk meg, amelyek sikeresen igazolták, hogy a komposztálási folyamat során jelentős hőmennyiség nyerhető ki. Ezek a prototípusok alapot adtak a komposztkazán hőteljesítményének további finomhangolásához és optimalizálásához, amely lehetővé teszi, hogy egy egész fűtési szezon alatt stabil és megbízható hőforrást biztosítson. A következő kutatási fázisban újabb prototípusok felállítása a célunk, amelyek különböző technológiai megoldásokat alkalmaznak a hatékonyság növelése érdekében, azt kutatva, melyik út lesz a legeredményesebb a legnagyobb teljesítmény elérése végett. Ezek az eltérő prototípusok segítenek meghatározni, hogy mely megoldások és tervezési elvek a legmegfelelőbbek a komposztkazán technológia fejlesztéséhez is.

Az új prototípusok segítségével az alapanyag összetételének és a komposztálási körülmények változóinak hatásait is vizsgáljuk. E kísérletek során különféle komposztanyagokat és adalékanyagokat alkalmazunk, hogy megértsük, mely kombinációk eredményeznek magasabb hőtermelési hatékonyságot. Továbbá, a komposzt végtermékét, a komposzttrágyát is elemezzük, hogy megfeleljen a jogszabályi előírásoknak, és gazdasági szempontból értékes mezőgazdasági talajjavítóként alkalmazható legyen.

2.4 Műszaki integráció és rendszertervezés

A komposztkazán megvalósítása számos műszaki kihívást rejt magában, mivel a komposzt élő anyagként komplex biológiai és fizikai követelményekkel rendelkezik. A komposzt megfelelő működéséhez elengedhetetlen az optimális oxigénellátás és nedvességtartalom biztosítása. Ehhez egy integrált szenzorrendszert tervezünk, amely képes a hőmérséklet, a páratartalom és a szén-dioxid-szint folyamatos mérésére. Az adatokat egy Arduino mikrovezérlő dolgozza fel, amely a rendszer működését szabályozza. Az így összegyűjtött információk alapján automatikusan beállítjuk a komposztkazán paramétereit, így biztosítva, hogy a komposztálási folyamat folyamatosan optimális környezetben történjen.

A hőkinyerési folyamat szintén körültekintő szabályozást igényel, mivel a komposzt belső hőmérséklete folyamatosan változik. Az így létrejövő rendszert egy intelligens mobilalkalmazáson keresztül is nyomon lehet követni és szabályozni, amely valós idejű visszajelzéseket ad a hőmérsékleti viszonyokról, a fűtési teljesítményről és a komposzt állapotáról. Az innovációs célkitűzések egyik fontos eleme, hogy a komposztkazán hosszútávon, autonóm módon működjön minimális emberi beavatkozás mellett.

2.5 A komposztkazán jelentősége és kutatási célkitűzései

A kutatásunk legfőbb célkitűzése, hogy egy teljesen önállóan működő komposztkazán-rendszert hozzunk létre, amely egyaránt hasznosítja a komposztálási folyamat melléktermékeként keletkező hőenergiát és a komposztrágyát, amely értékes mezőgazdasági felhasználásra alkalmas. Ennek az innovatív fűtési rendszernek az előnyei közé tartozik a fenntarthatóság, a zero károsanyag-kibocsátás és a helyi biomassza erőforrások kihasználása, esetlegesen olyan zöldhulladékok felhasználása, amelyek hozzájárulnak a környezetvédelmi célok megvalósításához. A komposztkazán széles körű elterjedése hosszú távon költséghatékony és környezetbarát megoldást kínálhat különösen olyan területeken, ahol a hagyományos energiaforrások nem, vagy csak korlátozottan érhetők el.

A kutatás és fejlesztés során további célunk, hogy a komposztkazán teljesítményét és hatékonyságát folyamatosan növeljük, és egy olyan általánosan alkalmazható fűtési rendszert fejlesszünk ki, amely képes alternatívaként szolgálni a hagyományos fosszilis alapú fűtési megoldásokkal szemben és emellett környezetkímélő módon szolgáltatja a hőt.

3. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTŐ

A történelem során már az újkor Európájában (16. század, Franciaország) is ismert eljárás volt a friss állati trágya, szalma és egyéb összevágott fahulladék keverékének használata. Ezt a keveréket melegházak és üvegházak alá helyezték talajtakaróként, amely a tél folyamán a bomlási folyamatok révén hőt termelt, így biztosítva a növények 15-20 °C körüli hőigényét. Ennek köszönhetően a téli termés időszaka meghosszabbítható volt, és a magvetést is korábban el lehetett kezdeni. Érdekességként említhető, hogy Kínában már több mint 2000 évvel ezelőtt is alkalmaztak ehhez hasonló technológiai eljárást. (Matthew , John , & Robert, 2016)

A középkori feljegyzések és történetek inspirálták Jean Pain francia innovátort, aki 1980-ban „Another Kind of Garden – The Methods of Jean Pain” című művében részletesen bemutatta az ökológiailag fenntartható mezőgazdasági termesztési módszereket, különös tekintettel a komposztáláson alapuló alternatív fűtési technikákra. Pain a fa nyesedékét, amely erdőgazdálkodási melléktermékként keletkezett, faforgács formájában aprította össze, ez elősegítette a homogén elegy kialakulását és a jobb nedvszívó képességet. (Jean & Ida, 1980)

Kísérletei során Pain mintegy 50 tonnás komposzthalmot hozott létre (6 m hosszú, 5 m széles és 2,5 m magas, azaz 75 m³), amelynek sűrűsége az áztatástól függően változott: kezdetben 0,3 g/cm³, míg vízfelvétel után elérte az 1-1,5 g/cm³-t. A kész trágya sűrűsége 0,6-0,7 g/cm³ volt, a teljes folyamat során a nedvességtartalmat 40-50% -ra állította be. Ezzel a komposztáló rendszerrel képes volt állandó hőleadást biztosítani: a hőcserélő rendszerbe 10 °C hőmérsékletű vizet vezetett be, amely a kimeneténél már 60 °C-ra melegedett fel. Mindezt 4 liter/perc áramlási sebességgel működtette. (Jean & Ida, 1980)

Pain tapasztalatai szerint a vízszintes hőcserélő csőrendszer bizonyult hatékonyabbnak az 50 tonnás halmoknál, míg a függőleges elrendezés nagyobb precizitást igényelt, és csak 200 tonnás vagy annál nagyobb halmok esetén volt igazán indokolt. Egy ilyen 50 tonnás komposzt-halom (1. ábra) akár egy 100 m²-es alapterületű, öt szobás ház fűtésére és a lakók melegvíz-igényének kielégítésére is alkalmas volt legalább hat hónapon keresztül. Egy kisebb, 16,8 tonnás komposztkazán pedig egy 105 m²-es, 211 léghőméteres üvegház fűtéséhez is megfelelőnek bizonyult. (Jean & Ida, 1980)

Pain a komposztkazán általános felépítését is részletezte, amely zúzott gallyakból épített tornyot foglalt magában, ebben körbe tekert egy fekete polietilén csövet, amely 10 spirális réteget alkotott. A cső be- és kivezetése gondosan rögzítve volt, hogy ne csússzon el. Az újabb

gallykomposztrétegek egészen a szükséges magasságig kerültek hozzáadásra, attól függően, hogy mekkora üvegház vagy épület fűtésére volt szükség.

1. ábra
Pain féle komposztkazán (Jean Pain képe)



A Pain-féle komposztkazán módszertana „Compost Heating Recovery System” (CHRS) néven vált ismertté külföldön, amely magyarul „Komposzt Fűtés Támogató Rendszer” – vagy „Komposzt Hővisszanyerő Rendszer” - néven fordítható le (2. ábra). A rendszert kiegészítő fűtésekként tervezték meg, amely a hagyományos fűtési rendszerek szerepét csökkenti és fenntartható, zöld alternatívát kínál. A módszer iránti érdeklődés az olajválság idején, különösen Nyugat-Európában és az Egyesült Államokban növekedett. (Matthew , John , & Robert, 2016) (Kayode & Grant , 2015)

A módszer számos formában került kivitelezésre, de alapelve – a zöld hulladék és állati trágya keverékének bomlása révén történő hőtermelés – változatlan maradt. A hőkinyerési módszerek és a hőcserélők eltérő megoldásokban jelentek meg: például a felmelegedett komposztból történő hőkinyerés helyett egyes kutatások inkább a testből elpárolgó gőz révén nyerték ki a hőt. Habár ez működőképes rendszerként bizonyult, a módszer optimalizált, széles körben alkalmazható formáját nem dolgozták ki.

2. ábra
Kanadai kutatók CHRS tesztkazánjai ((Kayode & Grant , 2015)



Az ezredforduló óta már több, részletesen dokumentált kutatás is napvilágot látott, amelyek elsősorban a termelt energia mennyiségére és a komposzt energiasűrűségére koncentráltak, főleg ipari felhasználás céljából. Ezen kutatások azonban nem térnek ki a kisebb méretű, egyéni használatra tervezett, mobil komposztkazának lehetőségeire.

A komposztkazán gondolat magyar meghonosítója Tőgyi Balázs, aki próbálta újra alkotni Jean Pain módszerét és itthon számos fórumon elterjeszteni ezt az alternatív, zöld rendszert. Több saját kazánt is épített (3. ábra). (Tőgyi, 2013)

3. ábra
Tőgyi Balázs kazánja, (Tőgyi Balázs képe)



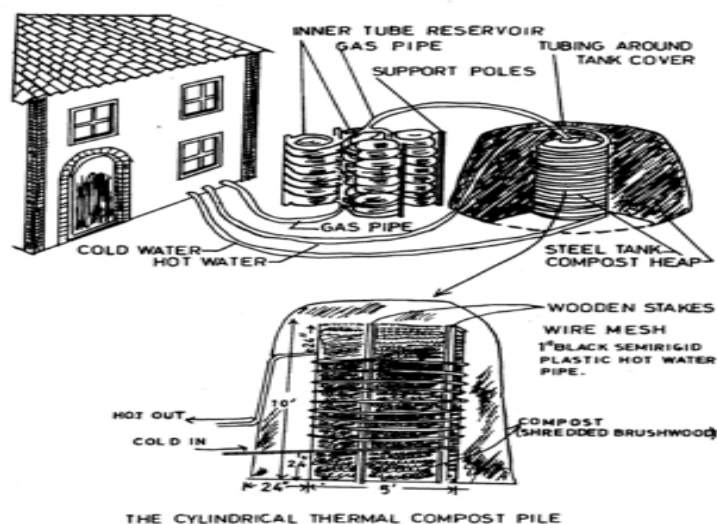
Összességében világszerte körülbelül 50-100 tanulmány foglalkozott ezzel a témával, azonban egyik sem érte el azt a fejlettségi szintet, hogy valóban önműködő, széles körben alkalmazható berendezés készüljön belőle, többnyire csak kísérleti célokat szolgáló prototípusok jöttek létre. (Matthew , John , & Robert, 2016)

4. BERENDEZÉS

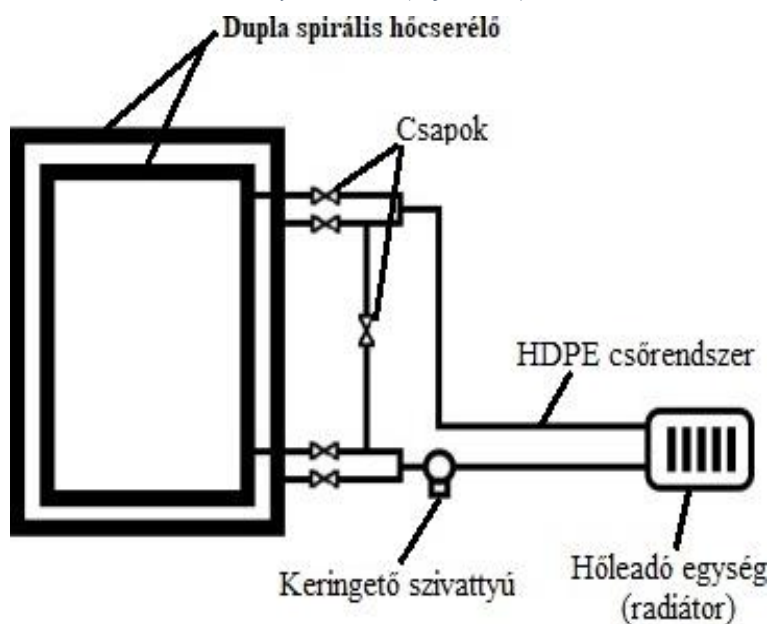
4.1 A metodika

A komposztálódás során szerves anyagot, esetünkben zöld hulladékot és állati trágyát bontanak le különböző makró- és mikroorganizmusok. A bomlási hőmérséklet kezdetben elérheti akár a 70 °C-ot is, ezért tudunk a rendszerből hőt kinyerni. A komposzt „töltet” magjában van a legmelegebb; ebből kifolyólag itt helyeztük el a hőcserélő egységet, amely nagy felületének és kiváló hőátadó tulajdonságának köszönhetően ideális hatásfokon tud üzemelni. A vízkörben, nevéhez híven, vizet áramoltatunk, hiszen ez a legalkalmasabb és legelterjedtebb fluidum a fűtési rendszerekhez. A folyadékot a kazánból egy keringtető szivattyú segítségével eljuttatjuk a hőleadó egységhez. A hőleadó egységben egy termoventilátor, vagy radiátor, esetleg padlófűtés segítségével átadjuk a környezetnek a meleget, majd a részben lehűtött vizet visszakeringtetjük a kazán hőcserélő berendezésébe. A hőkivétel történhet szakaszos vagy egyenletes, lassú, folyamatos áramoltatás mellett is. (Jean & Ida, 1980)

4. ábra
Jean Pain folyamat ábrája (Jean Pain ábrája)



5. ábra
Folyamatábra (saját ábra)



4.2 A komposzt

A komposzt alapanyaga, vagy ahogyan mi nevezzük, „töltet”, alapvetően nem tekinthető homogén rendszernek, mivel nem eléggé egységes. Alapanyagát tekintve a szakirodalom az aprított fahulladékot és állati eredetű trágya elegyét tartja a legjobb energiasűrűséggel és hőleadó teljesítménnyel rendelkezőnek. A komposztálás során a legfontosabb kritériumok egyike a szén-nitrogén arány, ami az életciklust és akár a teljesítményt is befolyásolja. A szakirodalom a 7:3 arányú komposzt C-N arányát tekinti a legoptimálisabbnak, erre még tervezünk a jövőben kutatást irányítani az optimalizálás érdekében.

Az aprított fahulladék (6. ábra) nem haladhatja meg a 4 cm átmérőt, mivel a lebontó mikroorganizmusok nem telepednek meg az annál nagyobb terjedelmű zöld hulladékon, és lebomlást tekintve sem indul el a folyamat; a lebomlási idő több mint 12 hónapos lenne, ami nem termelne effektív hőt. Az 1 cm-nél kisebb átmérőjű zöld hulladék pedig túl homogén lenne; struktúráját tekintve könnyen tömörödik, ami gátolja az oxigén bejutását, így anaerob bomlás következne be, ami nekünk nem megfelelő. A legfontosabb elem a beáztatási, vagy a nedvességtartalom növekedési szakasz, melynek során megnöveljük a töltet nedvességtartalmát minimum 50%-ra; (19. ábra) ez felgyorsítja a folyamatokat és a mikroorganizmusok elterjedését fogja katalizálni. A tapasztalataink is alátámasztják már az összekeverés fázisa előtt

is beindulnak ezen hőtermelő folyamatok (Lásd 7. ábra), ahol a bekevert komposztalapanyag már gőzölög. (Phu, Asari, Nguyen, & Dinh , 2023)

6. ábra
Komposztalapanyag, fadarálék (sajátkép)



7. ábra
Bekevert komposzt (saját kép)



4.3 Kialakításának alapelvei

A szakirodalom megállapítja, hogy a tényleges, eredményes hőtermelés 4 m³-es komposztálóknál indul el, innentől felfelé a hőtermelés már hatványozottan működik a bomlási idő és hőtermelés függvényében. A komposztáló test kialakítását, mivel még csak prototípusi fázisban van, nem a mérnöki szempontok alapján terveztük el. Feltétel volt, hogy több prototípust akartunk kialakítani az újrafelhasználhatóság, a könnyű beszerezhetőség és a strapabíróság érdekében, vagy a mechanikai behatások okán. Komposztálóink váza betonvashálók hengerré alakításával jöttek létre, ez az anyag és forma jelentősebb deformálódás nélkül tudta a nagy tömegű komposztot magába foglalni (8. ábra). A komposztáló köré, a telepíthetőség és a konténeres elrendezés látványvilágának megalkotása végett, illetve az eső elleni védelem céljából építettünk egy teherhordó vázat, amelyben elkülönítettük a komposztálót és az elektronikai, illetve gépészeti egységet is (9. ábra). A vázat még nem borítottuk be lemezekkel

a könnyebb hozzáférhetőség és az utólagos munkálatok miatt; ellenben építettünk már rá egy íves tetőt, amely a nagyobb esők általi hirtelen lehűléstől védi a „töltetet”, továbbá sajátos, párás mikroklimát tud árnyaltan biztosítani a komposztálónak (26. ábra). Tervünk, hogy a tetőfelületet, mint esővízgyűjtőt, az automata öntözőrendszerbe is beépítjük. (Jean & Ida, 1980) (Tőgyi, 2013)

8. ábra
Komposztáló keret (saját kép)



9. ábra
A váz és a tető (saját kép)



4.4 Gépészeti kialakítás:

4.4.1 Hőcserélő

A hőcserélő berendezésekre több alternatív módszer létezik, alapelvük a hőtermelő közegből valamilyen formában a hő kinyerése. Ez történhet egységesített (14. kép), vagy szintenkénti lebontásban (12. ábra). Az egységesített rendszert alkalmaztuk az első és második prototípusoknál, egy egységként kivehető, vashálóval felszerelt, egyben feltekert csőrendszer formájában, amelynek egy kimenő és bemenő ága van. Ebből korlátozott számban lehet beépíteni, és minél több ilyen alkalmazunk, annál bonyolultabb a szerkezet, és annál jobban megzavarjuk a komposzt mikroorganizmusainak életét. Továbbá nem a legoptimálisabb az

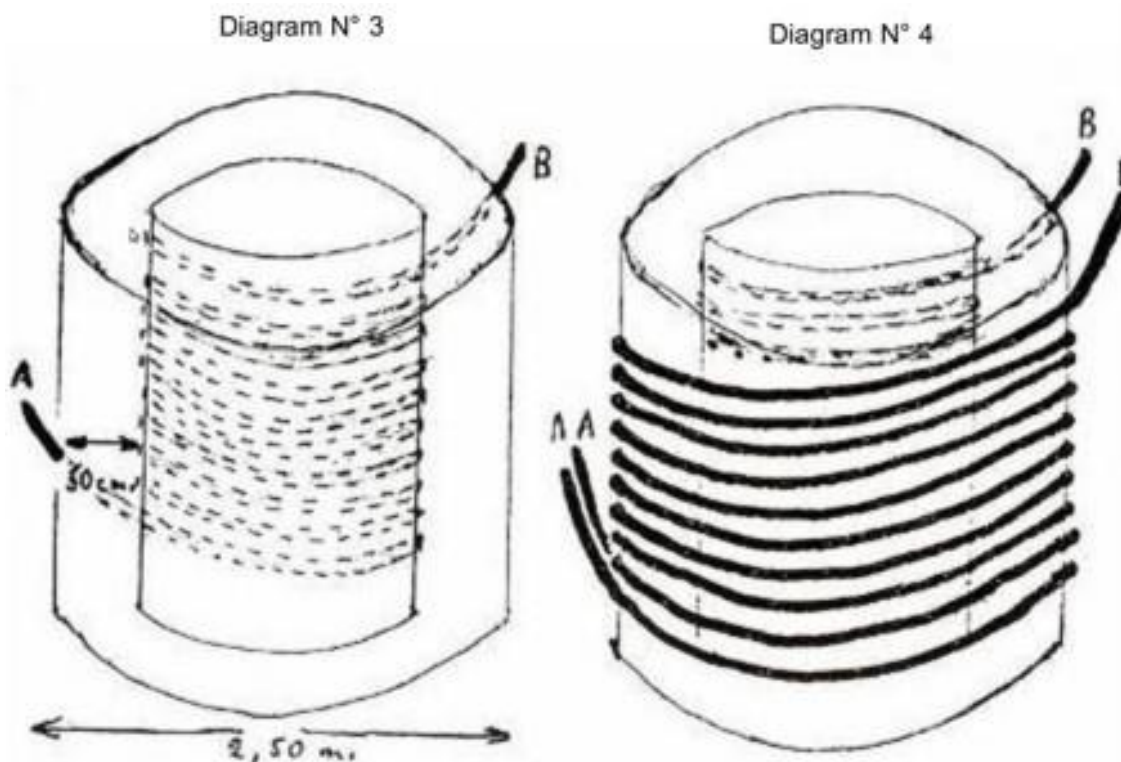
egységes levegőztető rendszer létrehozása szempontjából sem, mivel ezek a hőcserélő elemek akadályt jelentenek a komposzt testen belül. A behelyezésnél ez optimálisabb, mivel egyszerre kell ki- és betenni. Hátránya a relatíve nagy tömege is, továbbá, hogy a betöltésnél a töltelék nagy figyelemmel szükséges tömöríteni körülötte (14. ábra).

A másik megközelítés a szintenként lebontott hőcserélő rendszer, ami annyival alkalmasabb, mivel jobban átöleli a komposzt, ezért több hőt tud felvenni. Hátránya, hogy a betöltésnél egyesével lehet csak a szinteket elhelyezni, fontos a rögzítés és az egyengetés, és mivel minden csőnek külön-külön ki- és bevezetése van, egy külső fűtési elosztóban kell egyesíteni őket (lásd 11. ábra).

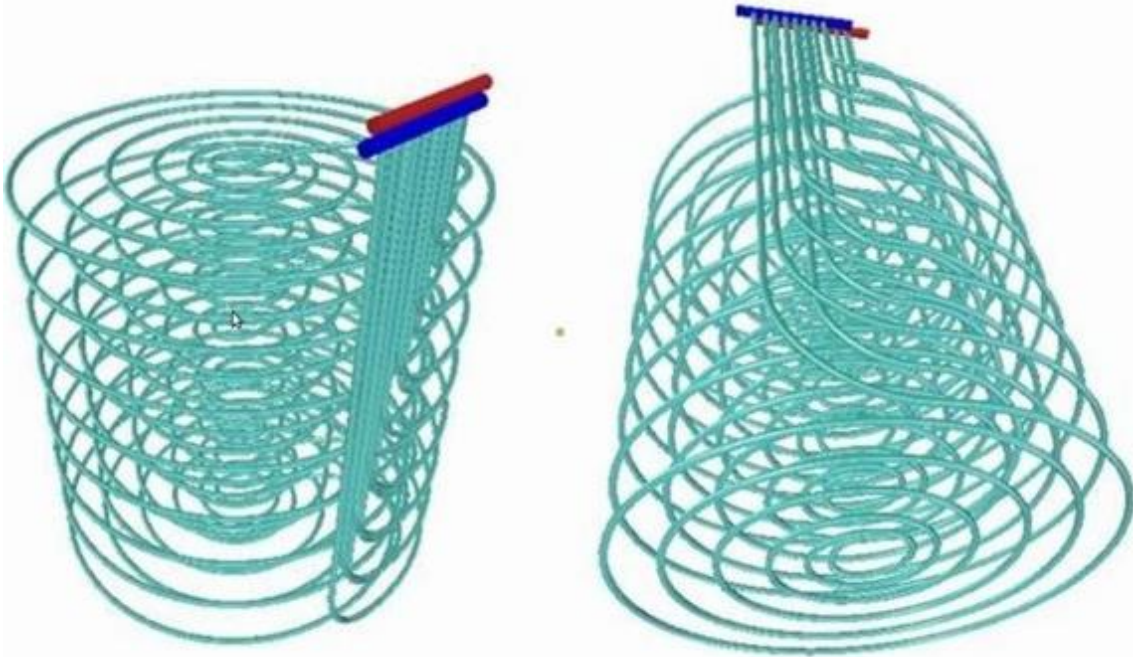
Az eddig alkalmazott hőcserélő alapját nagy sűrűségű polietilén (KPE vagy HDPE) csőrendszer képezi, amely spirálisan elrendezve egy kisebb és egy nagyobb gyűrűben nyeri ki a hőt a biomasszából (12. ábra). A dupla spirálra azért van szükség, hogy a hőkinyerés egyenletesebb legyen (28. ábra) a rendszerben, így nem tud a biomassza túlhűlni a spirál mentén, továbbá a különböző kapcsolásokkal tudjuk optimalizálni a rendszer hatékonyságát. Az eltérő átfolyásokat a kazánon kívül elhelyezett mechanikus, vagy automata csapokkal tudjuk állítani. (Jean & Ida, 1980) (Tőgyi, 2013)

10. ábra

Jean Pain rajza a spirális hőcserélőről (J.Pain ábrája)



11. ábra
Tőgyi Balázs hőcserélője Jean Pain nyomán (T.Balázs ábrája)



12. ábra
Spirálisan haladó KPE csövek (saját kép)



13. ábra
Spirális hőcserélő készítés alatt (saját kép)



14. ábra
Dupla spirális hőcserélő komposztálóban (saját kép)



4.4.2 Biológiai igények kielégítése:

Szellőztetés:

Nagyon fontos a mikroorganizmusok számára az oxigén. A kis házi komposztálók, vagy a telepi megoldások esetében a komposztot forgatják, így juttatják be a friss oxigént. A komposztkazánoknál a forgatás lehetősége nem áll rendelkezésre, ezért az oxigén bejuttatását más módszerekkel szokták megoldani, főleg csőrendszerek használatával. A csőrendszerek vagy kémények kialakítását általában kemény PVC vagy KG csövek alkalmazásával oldják meg, amelyeket perforálnak, és a perforációs lyukakon keresztül jut levegőhöz a töltet. Ezen segít a kéményhatás, ami persze a levegő mozgását segíti elő, de komoly hőveszteséggel is jár. Általában több kisebb átmérőjű csövet koncentrikus körben építenek bele a komposztba, ezek egy adott körben szolgálnak levegővel az anyag számára.

Kevésbé kutatott még az, hogy ezt a beépített levegőztető rendszert elektronikusan tudják irányítani annak érdekében, hogy a komposztban esetleg így is lehetőség legyen a teljesítmény változását befolyásolni. Egy ki-be kapcsolható ventilátorral, vagy visszacsapó szeleppel a levegő bejutását, így az oxigéncserét tudnánk kontrollálni a már ismert kémény effektus felhasználásával.

15. ábra

Szellőző kémény készítés közben (saját kép)



16. ábra

Szellőző kémény behelyezés közben (saját kép)



Öntözés:

Optimális esetben a beöntött töltőanyag nedvességtartalma 50 és 65% között van, ezen érték szinten tartása miatt kell öntözni a komposztot. Ezt a komposztba helyezett csepegtető rendszerrel kell elvégezni, amelyeket időközönként kell aktiválni. Az aktiválás folyamatára pedig egy nagyon egyszerű megoldás van, a levegőztető csövekbe páramérő szenzorokat kell elhelyezni. Amint a relatív páratartalom elér egy kritikus alsó értéket az automata öntözőrendszer bekapcsol és öntöz addig, amíg a páratartalom vissza nem áll a kívánt szintre. Az öntözővíz összetétele igen fontos tényező: nem szabad házi szennyvíznek lennie, mivel az aktív klórt tartalmaz, ami antibakteriális hatású, így a mikroorganizmusokat megöli. Ezért csak pihentetett csapvizet, vagy esetleg gyűjtött esővizet használhatunk, amiből távoztak a szabad klórgyökök, vagy eleve nem is tartalmaztak ilyen elemeket. (Jean & Ida, 1980)

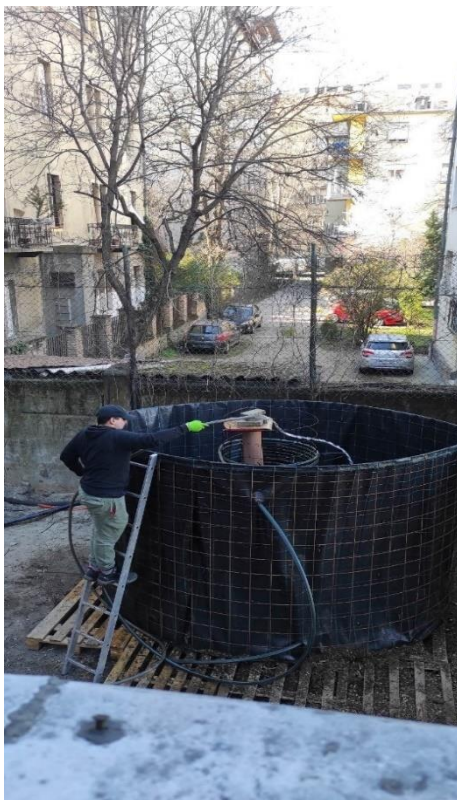
17. ábra
Öntözőrendszer, csepegtető csőve (saját kép)



18. ábra
Automataöntözőrendszer tartálya és szivattyúja (saját kép)



19. ábra
A komposztkazán épp nedvesítési fázisban (saját kép)



5. AUTOMATIZÁLÁS

5.1 Back end

A rendszer legfontosabb eleme egy központi szerver, amely kulcsszerepet játszik az ESP32 alaplappal való közvetlen kommunikációban. Ez a szerver a rendszer vezérlő központjaként működik, amely az adatok fogadásáért, feldolgozásáért és tárolásáért felel, miközben biztosítja a vezérlőparancsok továbbítását az ESP32 felé. Ezen felül a szerver feladata az adatok elérhetővé tétele a felhasználók számára, valamint a teljes rendszer működésének felügyelete. A szerver által végzett adatfeldolgozás és kommunikáció lehetővé teszi a rendszer összes elemének hatékony működését és összehangolását, biztosítva az automatizált folyamatos működést.

ESP32 Konfiguráció

Az ESP32 alaplap egy integrált mikrokontroller, amely többféle szenzorral és perifériával van összekapcsolva annak érdekében, hogy a rendszer funkcióit precízen és hatékonyan ellássa. Az ESP32 konfigurációja a következő elemeket tartalmazza:

- **18 hőmérséklet-szenzor:**
 - 15 szenzor a komposzt belsejében helyezkedik el, hogy pontos képet kapjunk a belső hőmérséklet-eloszlásról. Ezek a szenzorok különböző pontokon mérik a hőt, ami lehetővé teszi a folyamatok precíz monitorozását és szabályozását.
 - 2 szenzor a víz bemeneti és kimeneti pontjainál található, amelyek a vízhőmérséklet változásait figyelik. Ez különösen fontos a vízháztartás szabályozása és a rendszer hatékonyságának fenntartása érdekében.
 - 1 szenzor a külső környezeti hőmérséklet mérésére szolgál, amely lehetővé teszi a külső tényezők hatásainak figyelembevételét és a rendszer alkalmazkodóképességének növelését.
 - **5 mágnesvezérelt szelep**, amelyek működtetését relék biztosítják. Ezek a szelepek a víz és más folyadékok áramlásának szabályozására szolgálnak, és kulcsszerepet játszanak a komposztálási folyamat automatizálásában. A relék precíz vezérlése lehetővé teszi a folyamatok időzítését és az erőforrások hatékony kihasználását.
 - **1 LCD kijelző**, amely valós időben jeleníti meg a rendszer legfrissebb adatait. Az LCD kijelző felhasználóbarát módon biztosítja az információk gyors

elérését, így a felhasználók azonnal áttekinthetik a folyamatok állapotát és a mért adatokat.

Az ESP32 alaplap kulcsfontosságú szerepet játszik az adatok folyamatos gyűjtésében, feldolgozásában és továbbításában. Az adatok elemzésének eredményeképpen az ESP32 nemcsak az adatokat továbbítja a központi szerver felé, hanem a kapott parancsok alapján vezérli a mágnesszelepeket, valamint frissíti az LCD kijelzőt a legaktuálisabb információkkal.

Adatfeldolgozás és Vezérlés

Az ESP32 alaplap az alábbi kulcsfontosságú feladatokat látja el a rendszer működésében:

1. **Hőmérsékleti adatok begyűjtése:** Az ESP32 alaplap a hőmérséklet-szenzorok által szolgáltatott adatokat folyamatosan lekérdezi és továbbítja a központi szerver számára. Ez az adatforgalom képezi a rendszer alapját, amely biztosítja a folyamatos monitorozást.
2. **Szelepek vezérlése:** A központi szerver utasításai alapján az ESP32 pontosan vezérli a mágnesszelepek nyitását és zárását. Ez lehetővé teszi a folyamatok finomhangolását, valamint a rendszer optimális működését.
3. **Valós idejű adatmegjelenítés:** Az LCD kijelző frissítése valós időben történik, így a felhasználók mindig naprakész információkat láthatnak. Ez biztosítja a rendszer állapotának gyors és egyszerű ellenőrzését.
4. **Kommunikáció fenntartása:** Az ESP32 alaplap folyamatos kapcsolatot tart fenn a központi szerverrel Wi-Fi vagy LAN hálózaton keresztül. Ez a stabil adatforgalom elengedhetetlen a rendszer hatékony működéséhez.

5.2 Front end

A rendszer felhasználói felülete egy mobilalkalmazás (21.ábra) formájában érhető el, amely közvetlenül a központi szerverhez csatlakozik. Ez az alkalmazás egy modern, felhasználóbarát megoldás, amely lehetővé teszi a rendszer távoli elérését és vezérlését. A felület főbb funkciói a következők:

- **Valós idejű hőmérsékleti adatok megjelenítése:** Az alkalmazás interaktív grafikonok formájában jeleníti meg a hőmérsékleti adatokat, lehetővé téve a változások gyors áttekintését és elemzését.

- **Szelepek állapotának megjelenítése és vezérlése:** Az alkalmazás segítségével a felhasználók távolról ellenőrizhetik és szabályozhatják a mágnesszelepek állapotát, biztosítva a rendszer teljes kontrollját.
- **Historikus adatok elemzése:** Az alkalmazás lehetőséget nyújt a korábbi adatok részletes visszakeresésére és elemzésére, amely támogatja a hosszú távú optimalizációt és döntéshozatalt.

Monitorozó Rendszer

A rendszer monitorozása két fő funkció köré épül:

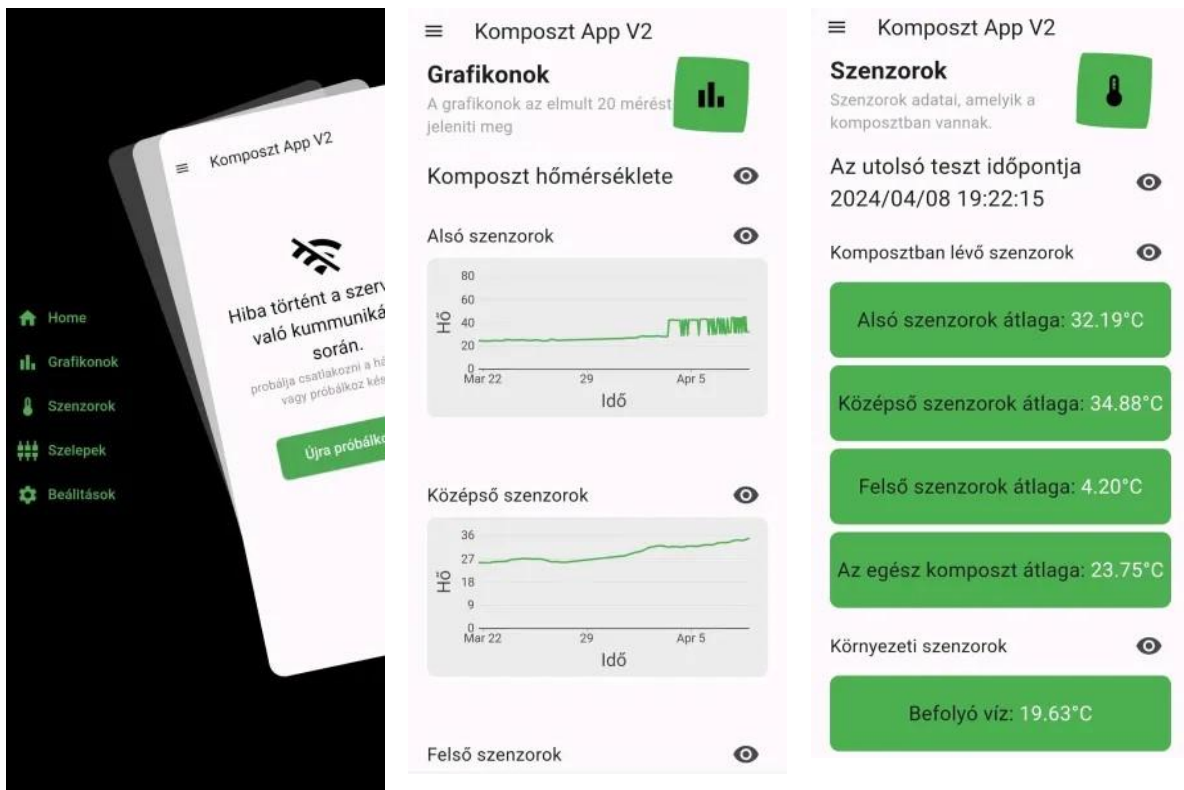
1. **LOG rendszer:** Az adatok rögzítése és tárolása központi szerepet játszik a rendszer működésében. Ez a funkció biztosítja a távoli hozzáférés lehetőségét, valamint az adatok visszakereshetőségét, amely támogatja az elemzéseket és a hosszú távú tervezést.
2. **Grafikus megjelenítés:** Az adatok vizualizációja grafikonos formában történik, amely átlátható és könnyen értelmezhető módon mutatja be a folyamatok alakulását. Ez elősegíti a trendek felismerését és a döntéshozatali folyamatok támogatását.

Ez az automatizált rendszer átfogó megoldást kínál a komposztálási folyamat precíz monitorozására és szabályozására. A központi szerver és az ESP32 alaplappal szoros együttműködése révén a rendszer optimalizálja a hőtermelést, figyelembe véve a legfontosabb környezeti és technikai paramétereket. A mobilalkalmazás pedig kényelmes és hatékony módot nyújt a rendszer állapotának nyomon követésére és a vezérlési feladatok ellátására.

20. ábra
Arduino ESP rendszer



21. ábra
Applikáció



☰

Komposzt App V2

Beállítások

Beállítások módosításához írd be az új értéket!



Mérsek közötti idő (percben):

Hány mérést adjon vissza a Grafikon:

☰

Komposzt App V2

Szelep

A szelep állapota



Szelep állapota



Szelep1 állapota: nyitva

Szelep2 állapota: nyitva

Szelep3 állapota: nyitva

Szelep4 állapota: nyitva

Szelep5 állapota: zárva

6. PROTOTÍPUSOK, JÖVŐBELI TERVEK:

6.1 Prototípus 1: A kezdeti tesztkazán

Az első prototípus létrehozásának elsődleges célja a komposztkazán működési metodikájának megismerése és a tézis alapelveinek bizonyítása volt, nem pedig a fűtési teljesítmény optimalizálása. A komposztáló térfogata 8 m^3 volt, a töltet 5 cm átmérőjű fadarálékot és szalma nélküli istállótrágyát tartalmazott 6:2 (V/V) arányban. A prototípus üzemidejét márciustól júliusig datáltuk, ami körülbelül 120 napot jelentett, majd további 20 napos érlelési fázissal zártuk a kísérletet.

A hőcsere folyamataért felelős berendezés egy 60 literes spirális hőcserélő volt, amelyet a komposzt tömegének közepén, a „maghő” térrészben helyeztünk el. A hőcserélőhöz egy keringtető szivattyút szereltünk, a rendszert légmentesen töltöttük fel, és a hőcserélő bemenő és kimenő ágainak hőmérsékletét egy erre átalakított KPE idom segítségével mértük. A komposztáló közepén egy perforált KG csövet, egy 160 mm átmérőjű kéményt építettünk be a megfelelő szellőzés biztosítására, amely emellett lehetőséget nyújtott a komposzt belső hőmérsékletének digitális hőmérővel történő mérésére is (22.ábra).

22. ábra
Első kazán (saját kép)



6.1.1 Előnyök

Az első prototípus megbízhatóan reprezentálta a komposztálási folyamat különböző szakaszait, így jól nyomon követhetővé vált a hőfejlődés is. A kezdeti időszakban jelentős hő keletkezett: a „kéményben” már az első hét végére elérte a 70 °C-os levegőhőmérsékletet. A keringtetett víz hőmérséklete csúcscéntként 65–67 °C-ot, míg az átlagos hőmérséklete 35–40 °C-ot mutatott, amelyet a kazán viszonylag kis mérete ellenére is képes volt fenntartani. A fő hőtermelő szakasz után, az áprilistól júniusig terjedő periódusban, a rendszer még mindig 40–50 °C-os levegő- és vízhőmérsékletet tudott produkálni (23. és 24. ábra).

23. ábra
Mérési adat (saját kép)



24. ábra
Levegő hőmérséklet mérés (saját kép)



6.1.2 Hátrányok

Az első prototípusnál számos probléma is felmerült, amelyekre a második prototípus tervezésekor kívántunk megoldást találni. A levegőellátás hatásfoka nem volt optimális: túlságosan nagy mennyiségű levegőt biztosított a komposztnak, amely felgyorsította a lebomlási folyamatokat, ezáltal egyenetlenné tette a hőleadást. Emellett a rendszer nedvességtartalmát kézi öntözéssel kellett fenntartani, amely során hálózati vizet használtunk. A klórtartalom valószínűsíthetően negatív hatással volt a komposztáló mikroorganizmusaira. A mérések pontosságát korlátozta, hogy a hőmérsékleteket kizárólag manuálisan, megadott pontokon tudtuk rögzíteni, így nem kaptunk átfogó képet a teljes komposztáló hőleadási képességéről és hőeloszlásáról sem.

6.1.3 Tanulságok és pozitív tapasztalatok

Az első prototípus jelentős mértékben hozzájárult a jövőbeli tervek megalapozásához. A prototípus működése során szerzett tapasztalatok alapján pontosabban meghatározhattuk a további fejlesztési irányokat. Ezen kívül a komposztáló mellékterméke, a keletkező humusz, hasznosítható volt: az iskola kertészetében felhasználták talajjavítóként, amely értéket adott a kísérlet ilyen típusú eredményéhez is.

6.2 Prototípus 2: Új megoldások és kísérleti fejlesztések

A második prototípust az első tesztkezés tapasztalatai alapján, valamint új koncepciók kipróbálása céljából hoztuk létre. Az első prototípus sikeres részeredményei inspirálták a fűtési kapacitás további tesztelését és fokozását, ezért növeltük a komposztáló térfogatát, amely így 13 m³ lett. A nagyobb térfogat elérése mellett célunk volt, hogy a hőkinyerést ezzel arányosan növeljük egy átdolgozott hőcserélő rendszer segítségével.

A hőcserélő kapacitását 100 literre növeltük, amelyet két különálló tartály – egy 70 literes és egy 30 literes hőcserélő – alkotott. A két spirális hőcserélőt a „maghő” tér központjában és körülötte helyeztük el, összekötve őket, így több kapcsolási lehetőséget biztosítva (25. ábra). A tartályok külön-külön, vagy soros kapcsolásban is működtethetők, ezzel rugalmas fűtési megoldásokat kínálva.

25. ábra
Új modell tervrajz (saját ábra)



26. ábra
Megvalósított modell (saját kép)



6.2.1 Levegőztetési fejlesztések

Az egyenletes komposztálási folyamat biztosítása és a peremterületek bomlási hatékonyságának növelése érdekében módosítottuk a levegőztetési rendszert. Egy több szinten

elhelyezkedő, különböző irányokban álló csőrendszert alakítottunk ki, amely több ponton, kis mértékben biztosítja az oxigénellátást, így elkerülve a bomlási folyamat túlságosan gyors reakcióit. A csőrendszer 60 cm hosszú, perforált Drain csövekből állt (27. ábra) amelyeket 50 és 150 cm magasságban, 4-4 db csillag alakzatban helyeztünk el (Lásd, 29. ábra sárga téglalapok).

27. ábra
Levegőztető, perforált Drain cső (saját kép)



6.2.2 Automatizálás és Monitorozás

A második prototípus jelentős újítása az integrált informatikai és elektronikai rendszer kialakítása volt. A komposzthalom három szintjén 5-5 szenzort építettünk be, amelyeket 45°-os eltolással helyeztünk el a lehető legjobb lefedettség érdekében (lásd 29. ábra X-jelek). Ezen kívül termoszenzorokat helyeztünk el a kazán kimeneti és visszafolyó ágán, hogy a hőkinyerés mértékét pontosan monitorozni tudjuk. A szellőzőrendszerben további érzékelőkkel figyeltük a relatív páratartalmat, amely az automata öntözőrendszer működését szabályozta; ha a páratartalom meghatározott szint alá esett, az öntözés automatikusan elindult. A megfigyelések lehetőségét egy a vázra elhelyezett külső léghőmérő is bővítette.

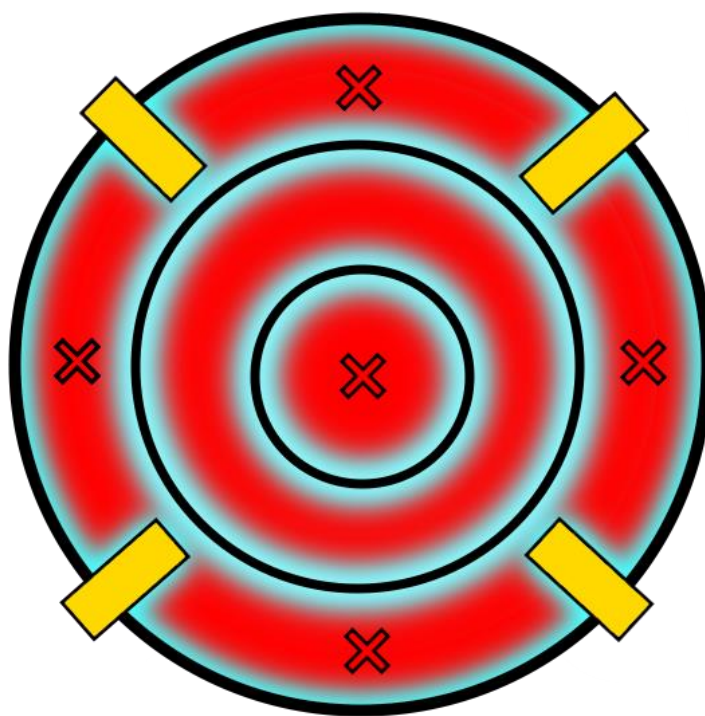
Az automatizált rendszer központját egy Arduino Pro Mini alkotta, amelyet ESP32 modullal egészítettünk ki a távoli elérés érdekében. Az Arduino mellett relét is beépítettünk, amelyek a szivattyúk és szelepek vezérlését biztosították. A monitorozó rendszer (28. ábra) két részből

állt: a LOG rendszer az adatokat rögzítette és továbbította, lehetővé téve a távoli hozzáférést és vezérlést. Az adatok grafikon formájában is megjeleníthetők, amely támogatja a folyamatos kiértékelést.

28. ábra
Elektronika és vezérlőegység (saját kép)



29. ábra
Felülkeresztmetszeti rajz és hőábra
Kéken a hűlő és vörösen a melegedő területek (saját ábra)



6.2.3 Működési tapasztalatok és kihívások

A második prototípus élettartamát 120 napban határoztuk meg, amely a decembertől márciusig tartó időszakra esett. Az újítások ellenére a rendszer több kihívással is szembesült. A levegőztető rendszer nem váltotta be teljes mértékben a hozzá fűzött reményeket: a perforációk mérete nem volt elegendő, továbbá a komposzt a tömörödése közben deformálta a csöveket, így azok nem tudták ellátni funkciójukat. Mindezek mellett az alapanyag sem bizonyult teljesen megfelelőnek, könnyen lehet, hogy azért, mert a „tisztá” lótrágya helyett csak szalmával kevert lótrágyát tudtunk bekeverni.

Ugyanakkor a többi fejlesztés sikeresnek bizonyult: az automatizált monitorozási és vezérlési rendszer hatékonyan támogatta az adatgyűjtést és az irányítást, lehetővé téve a folyamatos távoli hozzáférést. A mért adatok alapján a prototípus hőtermelési és hőkinyerési kapacitása összességében javult, és az automatizációs megoldások hozzájárultak a folyamatok stabilabb és hatékonyabb működéséhez.

6.3 Jövőbeli modellek és koncepciók

A jelenlegi tudásunk és tapasztalataink alapján a következő lépés a fejlesztési irányvonalaink mérnöki szintű egységesítése és optimalizálása. Célunk egy olyan integrált mechanikai, gépészeti és elektronikai rendszer kialakítása, amely megkönnyíti a komposztálótöltet adagolását és kinyerését, valamint biztosítja az alkalmazhatóságot is. A fejlesztési fókusz az egyes elemek – hőkinyerés, levegőztető és nedvesítő rendszer, valamint szenzorok – egyetlen kompakt egységbe történő integrálása, ami egyszerre növeli a rendszer hatékonyságát és csökkenti az installációhoz szükséges időt és munkaigényt.

Az új rendszer egyik fő előnye az, hogy a komposzt térfogatcsökkenése során képes lesz ellenállni a vertikális mozgásnak, így a csőrendszerek és kábelek jelentős mechanikai terhelés nélkül maradnak. A komposzt térfogata az eredeti méretének akár felére is csökkenhet, ezért a következő prototípusaink esetében olyan megoldásokat alkalmazunk, amelyek lehetővé teszik a rendszer együttes mozgását ezzel a zsugorodással. Emellett tervezés alatt áll egy elektromosan szabályozható levegőztető rendszer, amely lehetővé teszi a komposztálási folyamat automatikus irányítását és optimalizálását.

A következő fűtési szezon során három, egyenként 13 m³-es komposztálót helyezünk üzembe, különböző technológiai megoldásokkal. A szezon végén ezeket az eszközöket összehasonlítjuk, így értékes adatokat gyűjtünk a különböző fűtési rendszerek teljesítményéről. A három

prototípus különböző fűtési módszereket alkalmaz majd: egyikük radiátorokon, másik padlófűtésen, míg a harmadik termoventilátoron keresztül adja le a hőt, amely egy fóliasátor fűtésére szolgál majd, így lehetőségünk nyílik az agrárszektorban való alkalmazás értékelésére is.

Mindezek mellett elkezdjük az alapanyag-kutatást is, amely során különböző, egyenként 1 m³-es komposztálókban vizsgáljuk különböző alapanyagok komposztálási minőségét. Célunk olyan adalékanyagok és folyamatgyorsítók meghatározása, amelyek javítják a komposztálási folyamat hatékonyságát. Vizsgáljuk továbbá baktérium- és gombafajok, valamint a lignin lebontásában fontos szerepet játszó lignáz enzim hatását, hogy az optimális arányokat és összetevőket azonosíthassuk.

7. KIÉRTÉKELÉS

7.1 Teljesítmény számolás:

A második prototípus üzemideje alatt teljesítményszámítást végeztünk annak érdekében, hogy értékeljük a komposzt hőtermelési képességét és a fűtővíz hőátadó hatékonyságát. A kísérlet elején feljegyeztük mind a komposzt, mind a fűtővíz kiinduló hőmérsékletét, amelyeket a további elemzésekhez referenciaértékként használtunk. A mérés kezdetét a rendszerben lévő víz cirkulációjának elindításával datáltuk. A víz keringése következtében hőátadás történt, amely fokozatosan hűtötte mind a komposztot, mind a fűtővizet.

A mérés végét akkor határoztuk meg, amikor a rendszer bemeneti és kimeneti ágai közötti hőmérsékletkülönbség elérte a 10 °C-ot. Ezt követően a mért adatokat felhasználva teljesítményszámítást végeztünk. A számításhoz figyelembe vettük a mért értékeket, valamint a szakirodalomban elérhető, az egyes anyagokra vonatkozó fizikai tulajdonságokat, mint például a sűrűséget, fajhőt és hővezetési tényezőt (Dr. Csőke, 2011), (Faitli, 2015). A kapott eredmények révén részletesebb képet kaptunk a prototípus teljesítményéről és hőátadási jellemzőiről, amely alapját képezi a további elemzéseknek és fejlesztéseknek.

7.1.1 Számolási adatok:

A KPE / HDPE cső adatai:

$$l_{cső} = 160m$$

$$A_{cső} = 16,08m^2$$

$$\rho_{csőanyag} = 930 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{csőanyag} = 40,65kg$$

$$c = \sum_{1800}^{2700} 2250 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$\lambda_{20^{\circ}C} = 0,48 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\lambda_{0^{\circ}C} = 0,2 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\lambda_{\text{átlag}} = \sum_{0,2}^{0,48} 0,33 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

A komposztanyag adatai:

$$V = 13 \text{ m}^3 \text{ (Tavaly } V = 8 \text{ m}^3, 62\% \text{-os növekedés)}$$

$$\rho_{25^\circ\text{C}} = 600 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 7800 \text{ kg}$$

$$c_{50\% \text{ víztartalom}} = 2350 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\lambda_{50\% \text{ víztartalom}} = 0,44 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

A víz adatai:

$$V = 84,9 \text{ dm}^3$$

$$\rho_{35^\circ\text{C}} = 994 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 84,4 \text{ kg}$$

$$c_{35^\circ\text{C}} = 4178 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\lambda_{0^\circ\text{C}} = 0,5984 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$A_{\text{víztest}} = 13,06 \text{ m}^2$$

7.1.2 Számítások:

A kazán elvi teljesítménye az első vízkivételkor megfigyelt görbe emlékei alapján (a komposzt hőmérséklete 1,5-2 C°-ot emelkedett vissza 1,5-2óra alatt)

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$Q = 2350 \cdot 7800 \cdot 2 = 36660 \text{ kJ}$$

$$P_{1,5h} = \frac{36660}{5400s} = 6,79 \text{ kW}$$

$$P_{2h} = \frac{36660}{7200s} = 5,1 \text{ kW}$$

Minden eshetőséget figyelembe véve: $P_{\text{átlag}} = 5,3 \text{ kW}$

A KPE cső felmelegedési hőmennyiségének számítása, ha a kimenő-visszatérő víz hőmérséklet különbsége 10 C° (ennek megfelelően a műanyag hőmérséklete is ennyit esik és emelkedik vissza)

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$Q = 2250 \cdot 40,65 \cdot 10 = 914625J$$

$$\text{Hőátadás} = \frac{0,45 \cdot 16,08 \cdot 10}{0,003} = 24120 J/s$$

$$\text{Hőátadási idő} = \frac{914625}{24120} = 37,9s$$

A teljes hőcserélőt felépítő csővezeték 10 C°-kal való hőmérséklet emeléséhez 37,9 s szükséges.

A hőcserélőben lévő vízmennyiség 10 C°-kal való visszafűtéséhez felhasználandó hőmennyiség (a kimenő-visszatérő víz hőmérsékletében 10 C° különbséggel számolunk)

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$Q = 4178 \cdot 84,4 \cdot 10 = 3526232J$$

$$\text{Hőátadás} = \frac{0,5984 \cdot 13,06 \cdot 10}{0,013} = 6011 J/s$$

$$\text{Hőátadási idő} = \frac{3526232}{6011,6} = 586,6s$$

A hőcserélőben lévő teljes vízmennyiség 10 C°-kal való hőmérséklet emeléséhez 586,6 s szükséges.

Összes idő, amely a teljes hőcserélő 10C°-kal való felfűtéséhez szükséges: 624,5s ~ 10 és fél perc.

Ez utóbbi adat a szabályozáshoz is fontos adalék lehet.

A szakirodalmi források által megadott teljesítményértékek eltérést mutatnak, ami elsősorban a rendszerek különböző méretezéséből és a hőkinyerés eltérő módszereiből adódik. Az ilyen típusú kísérleti rendszerek esetében az átlagos teljesítmény általában 5,6 kW körüli. Ezzel szemben a mi rendszerünk teljesítménye a mérések és számítások alapján 5,3 kW volt. Ez a deficit valószínűsíthetően részben mérési hibákból, részben pedig a rendszert befolyásoló hideg időjárási körülményekből származik. Mindazonáltal, a kapott értékek a célértékhez közelítenek, ami megerősíti, hogy a fejlesztési irány helyes, és jó alapot nyújt a további optimalizáláshoz. (Matthew , John , & Robert, 2016)

7.2 Kvantitatív analitikai meghatározások:

7.2.1 Eddig elvégzett mérések:

Az első prototípus teljes komposztálási ciklusának lezárása után a komposzthalom keresztmetszetéből kilenc egyenlő mintát vettünk laboratóriumi vizsgálatra (30.ábra). A mintavételt kvalitatív elemzés követte, mivel a vizsgálatok során csupán a fő trágyakomponensek meghatározására alkalmas gyors tesztek álltak rendelkezésre. Legelőször a minta előkészítése történt meg a komponensek kioldása (31.ábra), és leszűrése által (32.ábra). Ezeknek vizsgálata történt meg a tesztek segítségével. A gyári színskálák alapján leolvasható értékek csak hozzávetőleges eredményeket szolgáltatottak, amelyek a komposztálási fázis azonosítására voltak elegendőek (33.ábra). A mérések igazolták, hogy a komposzt jelentős szervesanyag-tartalommal rendelkezik, így a ciklust lezártuk tekintettük. Az elemzés kimutatta, hogy a keresztmetszet egyes területein a lebomlási folyamatok egyenletesen és teljes mértékben lezajlottak, míg máshol részlegesen vagy elakadva maradtak. A lebomlási eltérések okát a szellőző- és hőcserélő rendszer méretezési hiányosságaiban azonosítottuk, amelyek nem feleltek meg a komposzt térfogatának.

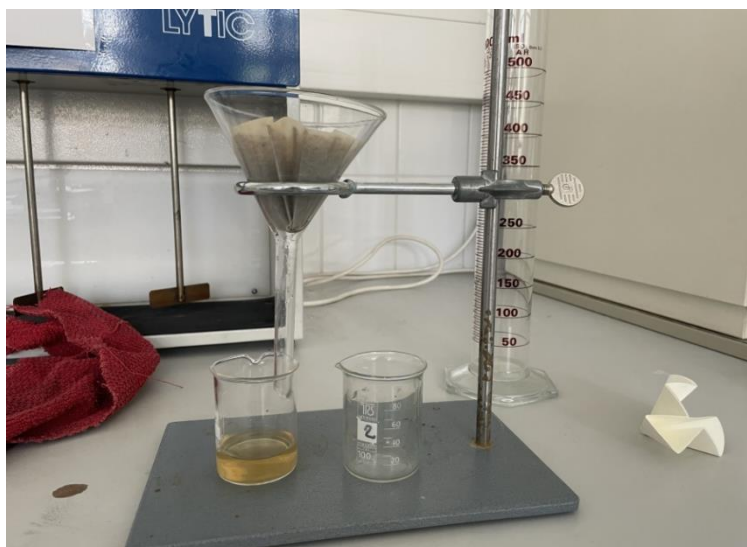
30. ábra
Komposztkazán szétbontást követően (saját kép)



31. ábra
Talajkivonat készítés (saját kép)



32. ábra
Oldat szűrése (saját kép)



33. ábra
Gyorstesztok elvégzése (saját kép)



7.2.2 Jövőbeli műszeres analitikai meghatározás

A 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet „Az engedély iránti kérelemmel együtt benyújtandó vizsgálati eredmények és adatok” nevű 2. melléklete alapján Komposztokra kiterő 4. pontjában összefoglalja mindazon vizsgálat alá vevő fizikai és kémiai tulajdonságokat, amiket a piacra hozható komposztoknak meg kell felelnie. A 3. melléklet 4. pontjában pedig meghatározzák a határértékek mennyiségét is (34. ábra). (36/2006. (V. 18.) FVM rendelet a terménynövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról, Letöltés dátuma: 2025.01.12, 2006)

34. ábra
Rendelet Határértékei (36/2006. (V. 18.) FVM rendeletről kivágva)

4. KOMPOSZTOK

4.1. * Hatóanyagokra vonatkozó előírások

4.1.1. pH (10%-os vizes szuszpenzióban)		6,5–9,5
4.1.2. térfogattömeg (kg/dm ³)	legfeljebb	0,9
4.1.3. szárazanyag-tartalom (m/m%)	legalább	50,0
4.1.4. szervesanyag-tartalom (m/m%) sz.a.	legalább	25,0*
4.1.5. vízben oldható összes só-tartalom (m/m%) sz.a.	legfeljebb	4,0
4.1.6. szalma eredetű struktúra anyag szemcseméret eloszlás 25,0 mm alatt	legalább	80,0%
4.1.7. szalma eredetű struktúra anyag szemcseméret eloszlás 25,0 mm – 50,0 mm között	legfeljebb	20%
4.1.8. N-tartalom (m/m%) sz.a.	legalább	1,0
4.1.9. gombakomposztok esetében	legalább	20 m/m%
4.1.10. P ₂ O ₅ -tartalom (m/m%) sz.a.	legalább	0,5
4.1.11. K ₂ O-tartalom (m/m%) sz.a.	legalább	0,5
4.1.12. Ca-tartalom (m/m%) sz.a.	legalább	1,2
4.1.13. Mg-tartalom (m/m%) sz.a.	legalább	0,5
4.1.14. kizárólag zöldhulladékból készült komposztok N-tartalma (m/m%) sz.a.	legalább	0,5

A vonatkozó jogszabályi előírásoknak megfelelően a kész komposztrágyánk teljes körű analitikai vizsgálatát tervezzük elvégezni műszeres analitikai módszerekkel. Ennek célja a legfontosabb paraméterek pontos mérése, amelyek alapján megállapítható, hogy a termék megfelel-e a piacra hozatali követelményeknek. Ezek a vizsgálatok a közeljövőben zajlanak le, és az eredmények alapos kiértékelése képezi majd a termék minősítésének alapját.

A vizsgálatok során elsősorban azokra a komponensekre összpontosítunk, amelyek a növények fejlődéséhez nélkülözhetetlenek, és amelyeket a piacon kapható ipari komposztok összetevőiként is gyakran feltüntetnek. Ezek közé tartozik az összes nitrogénszármazék, a foszfor-pentoxid (P₂O₅) és a kálium-oxid (K₂O). A nitrogénszármazékok mérését spektrofotometriás eljárással, míg a káliumtartalom meghatározását lángfotometriás vagy atomabszorpciós spektrofotometriás módszerrel fogjuk elvégezni, amelyek biztosítják a pontos és megbízható eredményeket.

Emellett tervezzük a komposzt egyéb jellemzőinek vizsgálatát is, így például a humusztartalom meghatározását, amely kulcsszerepet játszik a talaj termékenységének javításában. További elemzéseink során figyelembe vesszük a komposzt fizikai tulajdonságait is, úgy mint a szemcseméret-eloszlást és a nedvességtartalmat, amelyek szintén alapvetően befolyásolják a termék felhasználhatóságát.

Ezen elemzések nemcsak a jogszabályi megfelelést szolgálják, hanem garanciát is nyújtanak a termék minőségére és alkalmasságára a piacon. Az eljárás eredményei értékes információt biztosítanak a termék további fejlesztéséhez és piaci sikerességének növeléséhez. (Dr. Bidló , és mtsai., 2011) (Vámos, 2018)

8. TELEPÍTHETŐSÉG

Egyik innovatív ötletünk az lenne, hogy rendszerünket konténeres kivitelezésben valósítsuk meg. A könnyen szállítható és bárhol elhelyezhető egység különböző épületegyüttesek, vagy létesítmények fűtési rendszerét tudná biztosítani.

A konténeres megoldás rugalmasságot biztosít, lehetővé téve a rendszer egyszerű áthelyezését, vagy új helyszínen történő üzembe helyezését. Ez különösen hasznos olyan területeken, ahol a helyi fűtési infrastruktúra kiépítése nehézkes, vagy költséges. A konténerek könnyedén bővíthetők, vagy átkonfigurálhatók az aktuális igényeknek megfelelően.

Tervünk egyik alappillére a „plug and play” dizájn. Ennek révén a rendszer telepítése rendkívül gyors és egyszerű, ez sürgős fűtési megoldások esetén különösen előnyös. A konténeres rendszerrel a fűtési igények gyorsan kielégíthetők anélkül, hogy hosszabb várakozási időre lenne szükség a hagyományos rendszerek kiépítéséhez hasonlóan.

A konténeres rendszer kiépítése és fenntartása várhatóan olcsóbb lehetne, mint a hagyományos fűtési rendszerek telepítése. A konténerek újrahasznosítása nemcsak pénzügyi megtakarítást jelent, hanem környezetbarát megoldás is, mivel csökkenti az új anyagok iránti keresletet, így hozzájárul a fenntarthatósághoz.

Fontos kritérium lehet még az önellátás is. A vízgyűjtő eresszel és napelemekkel felszerelt konténer például csökkentheti az üzemeltetési költségeket és növelheti a fenntarthatóságot. A napelemek lehetővé teszik, hogy a rendszer fenntartsa az elektronikai berendezések működését anélkül, hogy a helyi energiahálózatra támaszkodna. Ez különösen vonzó lehet távoli területeken, ahol az energiaellátás problémás lehet.

A konténeren belül természetesen elkülönülnének az elektronikai és komposztálási területek, továbbá az esetleges karbantartás miatt biztosítani kell az egyes szerkezeti elemekhez való hozzáférhetőséget is.

Ezt a kivitelezési ötletet a szakirodalom átvizsgálása során egyszer sem láttuk, ezért is indultunk a kutatásukban ezen irány felé.

9. GAZDASÁGI IRÁNYVONAL

Kutatásunk egyik célkitűzése annak feltérképezése, hogy egy kész, működőképes berendezés piaci szempontból életképes lehet-e, akár termékként, akár szolgáltatásként. Sikeres megvalósítás esetén a termék, és/vagy a hozzá kapcsolódó szolgáltatás piacra vitelét egy startup vállalkozás, vagy kisvállalkozás formájában képzeljük el.

Az első koncepció szerint az eszközt önálló termékként értékesítenénk, elsősorban alapos piackutatás után. Kezdeti elképzeléseink alapján a potenciális vevőkör a mezőgazdasági szektorban keresendő, különösen üvegházak, fóliasátrak, illetve állattartó telepek üzemeltetői körében, ahol a komposztálásra alkalmas alapanyag – a gazdálkodási tevékenységből adódóan helyben rendelkezésre áll. Ezáltal a terméket a vásárló, töltőanyag homogenizálása és betöltése után közvetlenül üzembe helyezheti.

A második koncepció egy központosított szolgáltatási rendszeren alapulna, amely során egy központi telephelyről irányítanánk az eszközök használatát, töltését, kiszállítását és karbantartását. Ebben a modellben az eszközöket szezonális bérleti formátumban biztosítanánk a megrendelők számára, például a téli fűtési szezonra. A szezon végén visszaszállított berendezéseket újratöltjük és ismételten hasznosítjuk, így egy fenntartható, ciklikusan működő rendszert alakíthatunk ki. Ezen kívül a keletkező komposzttrágyát értékesítenénk, amely további bevételi forrást biztosítana.

A harmadik elképzelés hosszabb távú és állami részvételre épülő megoldást jelentene, ahol az állami szektor infrastrukturális hátterére támaszkodva egy hasonló szolgáltatási rendszert valósítanánk meg. Az állam ebben az esetben a zöld hulladék begyűjtésére, feldolgozására és a komposzttrágya hasznosítására alkalmas háttérrel rendelkezne, a keletkező trágyát pedig a hazai mezőgazdaság, vagy az állami zöldterületek fenntartása során alkalmazhatná.

Jelenlegi gazdasági terveink hosszú távú megvalósíthatósága további kidolgozásra szorul. Azon dolgozunk, hogy vállalkozási és szabadalmi képzéseken való részvétellel a hiányzó ismereteket megszerezzük, így alátámasztva terveink stabil és átgondolt kivitelezését.

10. EDDIGI EREDMÉNYEK ÉS EGYÜTTMŰKÖDÉSEK

Kutatási projektünket az évek folyamán több középiskolások számára kiírt tudományos versenyre is neveztuk, ezeken számos eredményt is elértünk.

- Az Országos Tudományos és Innovációs Olimpia (OTIO) 32. és 33. versenyén pályamunkánk dicséretben részesült (2023, 2024)
- A Tudományos Diákkörök (TUDOK) XXIV. Kárpát-medencei Konferenciáján a MOL Műszaki- és környezettudomány, környezetvédelem szekciójának Első díját nyertük el, továbbá a XXIII. Kárpát-medencei döntőben különdíjban részesültünk (2024, 2023)
- A XVI. Országos Középiskolai Földtudományi Diákkonferencián a Földtan és Környezettan szekcióban I. helyezést értünk el, továbbá Előadói díjban részesültünk (2024).
- A Szegedi Innovatív Informatika Versenyen, a Műszaki informatika szekcióban pályamunkánk I. helyezést ért el (2024).

A kutatásunk során felvettük a kapcsolatot és együttműködést tudunk létrehozni a Főkert Zrt. komposztáló telephelyével, valamint a Kincsem Park üzemeltető részlegével, akik az alapanyag biztosításban tudtak nekünk segédkezni. Egy Pécelen élő magánszeméllyel kiépített kapcsolatunk alapján építhetjük meg a fejlesztés szempontjából elengedhetetlenül fontos újabb kazán prototípusainkat.

2024. decemberében pályázatunkat befogadták a Nemzeti Innovációs Ügynökség (NIÜ) IMPULSE programjába. A KKV-k számára kiírt fejlesztési programban a projektünkkel kapcsolatosan immáron számos szakértő bevonásával konkrét műszaki-, szabadalmi-, üzleti- és marketing fejlesztés és képzés folyik, amely segítségével kutatásunk jelentős előrelépésére számítunk.

11. ÖSSZEFOGALÁS

Immár három éve tartó innovatív kutatásunk és fejlesztésünk egy biokémiai folyamatot próbál műszaki szempontok alapján átlátni azért, hogy a komposztálás során keletkező hulladék hő hatékony és optimális felhasználása valósuljon meg. Ezen soktényezős folyamat teljes egészében kizárólag valóságosan létrehozott komposztkazán prototípusok megépítésével ismerhető meg.

A projekt eddig elért eredményeit az alábbiakban soroljuk fel:

- Mindeddig két prototípust építettünk meg és már szervezési fázisban van a következő berendezésünk létrehozása is. Az egyes modellek szerves kapcsolatban állnak egymással, a következő megépítését az előzőben tapasztalt megfigyeléseink és mérési eredményeink alapján terveztük és tervezzük meg.
- Második kazánmodellünk elérte a közepes, 13 m³-es méretet, amely méréseink alapján már egy 200-250 m³-es belső légtér temperált hőmérsékletének biztosítására is elegendő lehet a téli időszakban.
- Vizsgálódásaink alapján a 7:3 arányú fadarálék, illetve tiszta ló istállótrágya keverékét ajánlhatjuk optimális, kiinduló komposzt keveréknek.
- A beépített termo-, és páramérő szenzorok alkalmazásával, egy Arduino Pro Mini vezérlő segítségével kialakítottuk a vízkivétel és az öntözőrendszer szabályozási lehetőségét, emellett a mechanikus csapok mellett már egy távolról irányítható, automata szelepet is sikerült beépítenünk.
- Az adatkezelést és a folyamatok nyomon követését, továbbá a távoli, részbeni manuális irányítást egy általunk létrehozott applikációval valósítottuk meg.
- A második prototípus esetében, a mérési adatok ismeretében teljesítményt számoltunk, amelynek értékei időszaktól függően 5,1 és 6,8 kW között, átlagosan 5,3 kW körül mozogtak. Mindez nagyon jó, 95%-os egyezést mutat más, szakirodalmi adatokkal összevetve.
- Egy vázszerkezet és egy többfunkciós tető létrehozásával elkezdtük a konténeres, kompakt kialakítású végtermék fejlesztését is.

A létrehozandó következő prototípusok megépítése során fejlesztendő terület maradt még a levegőztetés jelenleginél megfelelőbb, esetleg szabályozható kialakítása, a szivárogtató öntözés további optimalizálása, illetve a fennmaradt rendszerelemek további automatizálása. A töltőanyag keverék és a komposzt végtermék minőségével való további vizsgálódás is a feladatunk maradt.

Az üzleti és marketing területen való elképzeléseink is immár előtérbe kerültek. A NIÜ IMPULSE programjához való csatlakozásunkkal remélhetőleg a megvalósulás irányába mutatnak majd.

12. JEGYZÉKEK

12.1 Ábra jegyzék

1. ábra Pain féle komposztkazán (Jean Pain képe).....	9
2. ábra Kanadai kutatók CHRS tesztkazánjai (Kayode & Grant , 2015)	10
3. ábra Tőgyi Balázs kazánja, (Tőgyi Balázs képe)	10
4. ábra Jean Pain folyamat ábrája (Jean Pain ábrája).....	11
5. ábra Folyamatábra (saját ábra)	12
6. ábra Komposztalapanyag, fadarálék (sajátkép)	13
7. ábra Bekevert komposzt (saját kép).....	13
8. ábra Komposztáló keret (saját kép).....	14
9. ábra A váz és a tető (saját kép).....	14
10. ábra Jean Pain rajza a spirális hőcserélőről (J.Pain ábrája)	15
11. ábra Tőgyi Balázs hőcserélője Jean Pain nyomán (T.Balázs ábrája)	16
12. ábra Spirálisan haladó KPE csövek (saját kép).....	16
13. ábra Spirális hőcserélő készítés alatt (saját kép).....	16
14. ábra Dupla spirális hőcserélő komposztálóban (saját kép)	17
15. ábra Szellőző kémény készítés közben (saját kép)	18
16. ábra Szellőző kémény behelyezés közben (saját kép).....	18
17. ábra Öntözőrendszer, csepegtető csőve (saját kép)	19
18. ábra Automataöntözőrendszer tartálya és szivattyúja (saját kép)	19
19. ábra A komposztkazán épp nedvesítési fázisban (saját kép)	19
20. ábra Arduino ESP rendszer	23
21. ábra Applikáció	23
22. ábra Első kazán (saját kép)	25
23. ábra Mérési adat (saját kép).....	26
24. ábra Levegő hőmérséklet mérés (saját kép)	26
25. ábra Új modell tervrajz (saját ábra).....	28
26. ábra Megvalósított modell (saját kép)	28
27. ábra Levegőztető, perforált Drain cső (saját kép)	29
28. ábra Elektronika és vezérlőegység (saját kép).....	30
29. ábra Felülkeresztmetszeti rajz és hőábra Kéken a hűlő és vörösen a melegedő területek (saját ábra)	30
30. ábra Komposztkazán szétbontást követően (saját kép).....	37
31. ábra Talajkivonat készítés (saját kép).....	37
32. ábra Oldat szűrése (saját kép)	38
33. ábra Gyorsteszt elvégzése (saját kép)	38
34. ábra Rendelet Határértékei (36/2006. (V. 18.) FVM rendeletből kivágva)	39

13. FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet a termésnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról, Letöltés dátuma: 2025.01.12. (2006). Budapest.
- Blanca , A. L., G. , I., & E., R. L. (2010). Energy from waste: reuse of compost heat as a source of renewable energy. *International Journal of Chemical Engineering*, Article 627930.
- Dr. Bidló , A., Dr. Bíró , B., Csákiné Dr. Tombácz, E., Dr. Fülek, G., Kristófné Dr. Horváth, E., Dr. Michéli, E., . . . Tóthné Dr. Farsang , A. (2011). *Környezetmérnöki Tudástár*, 3. kötet, 2. bővített kiadás – 2011. Veszprém: Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet.
- Dr. Csőke, B. (2011). Hulladékgazdálkodás, 12. kötet 5.3.1. (fejezet) A szennyezőanyagok biológiai konverziójának alapfogalmai. *Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet*.
- Faitli, J. e. (2015). Characterization of thermal properties of municipal solid waste landfills. *Waste Management*, Volume 36, pp.213-221.
- Jean , P., & Ida, P. (1980). *The methods of Jean Pain (Another kind of garden)*. Villecroze, Franciaország: Ancienne Imprimerie NEGRO.
- Kayode , N., & Grant , C. (2015). Optimizing Heat Extraction from Compost. *The Canadian society for engineering in agricultural, food*, Paper No. CSBE15-137.
- Matthew , M. S., John , D. A., & Robert, R. (2016). Heat Recovery from Composting: A Comprehensive Review of System Design, Recovery Rate, and Utilization. *Compost Science & Utilization*, 25(sup1), S11–S22.
- Phu, S., Asari, M., Nguyen, D., & Dinh , C. (2023). Developing A Thermal-Composting System for Recycling Household Biodegradable Solid Waste,. *Chemical Engineering Transactions*, 106, 607-612.
- Tőgyi, B. (2013). *A KOMPOSZTKAZÁN, Avagy hogyan lehet növényi hulladékokkal és szennyvízzel, égetés nélkül fűteni?* Budapest.
- Vámos, I. (2018). *Műszeres kémiai analízis, Gyakorlati feladatok gyűjteménye*. Budapest: BMSZC Petrik Lajos Két Tanítási Nyelvű Technikum .