

SAPIENTIA ERDÉLYI MAGYAR TUDOMÁNYEGYETEM
XXVII. AGRÁRTUDOMÁNYI ERDÉLYI TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA
MAROSVÁSÁRHELYI KAR

Megújuló energia alapú energiaközösség fejlesztése, 21. századi lehetőségek
Székelyföld fenntartható fejlesztésére

Babos Ede, agrármérnöki szak, III. évfolyam

Dr. Sebestyén Tihamér-Tibor, Sepsiszentgyörgyi Kar, Élettudományi Tanszék

Marosvásárhely

2024

Tartalomjegyzék

Kivonat	3
Bevezető	4
A vizsgált cégcsoport bemutatása	6
Kutatás módszertana	10
Eredmények.....	15
Biogáz üzem működési és műszaki elemzésének eredményei.....	15
Hígtrágya előállítás	15
Biogáz termelés	16
Sertéstelep biogáz termelése	17
Szarvasmarha állomány biogáz termelése.....	18
Szennyvízből biogáz	18
Biogáz üzem biogáz éves termelési dinamikája.....	18
Energia fogyasztási magatartás elemzés eredményei.....	19
Biogáz alapú energia ellátás.....	21
Környezeti hatásvizsgálat eredményei	23
Biogáz üzem gazdasági elmezés	23
Beruházási költségek – Capex.....	24
Működési költségek - Opex.....	24
A beruházás megtérülési ideje.....	24
Biogáz üzem hatásvizsgálata.....	25
Következtetések, javaslatok	25
Köszönetnyilvánítás	28
Bibliográfia.....	29

Kivonat

Napjainkban az energia piac és a tapasztalható volatilitása megnehezíti a gazdasági kiszámíthatóságot. Az energiaárak növekedése sok társadalmi és gazdasági velejárót okoz. A mezőgazdaság és az erre épülő élelmiszeripar igen energia intenzív ágazat.

Kutatási tervemet egy székelyföldi vállalatról, a Toro Impex Kft.-ről, - ami a Felső-háromszéki medencében helyezkedik el, Kovászna megyében - és az ehhez kapcsolódó vállalat családról készítem. A gazdasági tevékenységek közül kiemelném a sertéstartást, azon belül annak melléktermékét az itt képződő hígtrágyát. A sertés hizlalda működése által termelt hígtrágya hatalmas mennyiségű üvegház hatású gázt szabadít fel, ráadásul a telephely közelében a szag szennyezési probléma is jelentős.

A problémák megoldására egy biogáz üzem létesítése nyújtana megoldást. A kutatásomban a hipotézisem az, hogy a sertéstrágya mint bemenő alapanyag, elég villamos- és hőenergiát termelne ahhoz, hogy a vállalat sokoldalú tevékenységét energetikai önellátáshoz jutassa. Emellett radikálisan enyhülne az üzem általi légszennyezési probléma is. Továbbá feltételezésem szerint a saját fogyasztáson felüli termelt villamos energia hálózati betermelésen keresztül eladásra kerülne, míg a hőenergia a szomszédos ipari tevékenységeket is ki tudná szolgálni, ugyanis további nagy hőenergia igényű gazdasági szereplők vannak jelen a szomszédos helyszíneken.

A kutatás célkitűzései a megtervezett biogáz üzemben rejlő gazdasági, társadalmi és környezeti potenciálok felderítése, számszerűsítése és bemutatása. A cél egy olyan élettartam elemzést végezni és bemutatni, amely mintaszerű más, Székelyföldön található üzemek létrehozásánál is hasznosítható információval szolgálhatna. Ezekkel az eredményekkel is népszerűsíthetni lehet a zöldenergiára alapuló gazdasági tevékenységeket, a gazdasági szereplők alternatív üzleti modellek fele orientációját.

Bevezető

A hosszú távú energiabiztonság tekintetében egy ország de akár egy vállalkozás szintjén is sarkalatos mérőszám az úgynevezett **energiafüggőség** (Tálas és mtsai. 2021). Az energiaimportáló egységek nagy mértékű energiafüggőség esetén sebezhetőbbé válnak több szempontból is, mint például: geopolitikai változások, energiaárak ingadozása és energia ellátás zavarai. Az energiafüggőség **gazdasági hatásai** az ország vagy regionális szereplő stabilitása és a versenyképessége befolyásolásában mutatkozik meg. Ha egy entitás nagyban függ annak importőrértől, akkor az sérülékennyé válhat a gazdasági sokkokkal szemben, mint például egy járványhelyzet (pl. Covid-19). A **geopolitikai tényezők** tekintetében az energiaforráshoz való hozzáférés politikai kérdéssé is válhat, az importőr politikai döntések alapján befolyásolhatja az általa birtokolt energia útját. Meg kell említeni, hogy az energiafüggőség általában fosszilis tüzelőanyagokon alapul aminek fokozottak a negatív **környezeti hatásai**. A kizárólag fosszilis energiát importáló egységek az üvegház hatású gázok légterbe való kibocsátásához nagyban hozzájárulnak, ezzel globális környezeti terhelést okozva.

A mezőgazdaság környezetre gyakorolt hatásának kezdete a külső erőforrások (eszköz, tőke, energiahordozó) gyakori használatba vételére tehető. A talajok termőképességét műtrágyák használatával emelték, az állatállományt pedig vásárolt takarmánnyal kezdték ellátni, ezzel kialakítva egy iparszerű mezőgazdasági modellt. A környezetszennyező hatások a termelés növekedésével egyértelműen radikális növekedésnek indultak. A műtrágyázás káros hatásai már a hetvenes évek elejétől jelentkeztek. A talajok kémhatása általában a savas irányba tolódott el és a talajszerkezet leromlott. Továbbá a talajvizekben nitrit szennyezést mutattak ki. Emellett meg kell említeni, hogy a műtrágyák mérgező anyagokat is tartalmaznak, mint a klór, kadmium, arzén, higany, ólom, kén stb. A talaj korlátozottan képes megtartani a vizet és a tápanyagokat. Pufferhatása miatt csak egy bizonyos mennyiségű terhelést képes elviselni, ezen túlmenően pedig áteresztővé válik. Ez a talaj nitrát-, klór- és szulfátszintjének növekedéséhez vezethet. Az anyagveszteség mennyiségét befolyásolja a csapadék mennyisége, a talaj kötöttsége és a trágyázás mértéke. Homokos talajban a műtrágya akár 50%-a is hasznosítatlanul feloldódik és bemosódik. Az almozás nélküli állattartás jellemzően folyékony mellékterméket, úgynevezett hígtrágyát termel. Ez a hígtrágya állati ürületekből, vizeletből, ivóvízből, technológiai vízből és kis százalékban más hulladékanyagból áll. A hígtrágya értékes trágya, használata azonban nyers formában számos veszélyt rejt magában. Ezek a veszélyek lehetnek fizikai, kémiai vagy biológiai jellegűek. A nyers hígtrágya veszély jelent a levegőre, a talajra,

a növényekre és az emberi egészségre. A helytelen hígtrágyakezelés a talaj tömörödéséhez is vezet, ami kihívást jelent a talajművelésben. A túlzott mértékű kijuttatás olyan mérgező anyagok felhalmozódását eredményezheti, mint a réz és a cink, amelyek könnyen a növények, állatok és az ember szervezetébe juthatnak és fejthetik ki negatív hatásukat (Marselek 2006). A sertéshígtrágya mezőgazdasági területeken történő tárolása és elosztása hatással van a környezetre, mivel többek között különböző típusú gáznemű szennyezőanyagok, elsősorban CH_4 , CO_2 , N_2O , NH_3 , H_2S és egyéb szaganyagok kibocsátásával jár. A metán (CH_4), a széndioxid (CO_2) és a dinitrogén-oxid (N_2O) üvegházhatású gázok, amelyek az üvegházhatás fokozásával hozzájárulnak az éghajlatváltozáshoz. Az ammónia (NH_3) és a hidrogén-szulfid (H_2S) bűzös gázok, amelyek a szaghatásért felelősek, és amelyek toxicitásuk miatt veszélyeztethetik az emberek és az állatok egészségét és életét (Marszałek és mtsai.).

Ebben a dolgozatban az eddigiekben felvázolt problémák helyi szintű megoldására vagy enyhítésére (pl. energiafüggőség és környezetszennyezés) törekszem. A Toro Impex Kft székelyföldi vállalatnál és a hozzá tartozó vállalat családnál kitűnő lehetőségek vannak ilyen jellegű kutatást végezni, ahol párhuzamosan több gazdasági tevékenység is zajlik, kiindulva a szántóföldi növénytermesztés, sertéshízlalás, vágóhíd, húsfeldolgozás, fakitermelés és fafeldolgozás illetve kiskereskedelem. A cég székhelye Kovászna megyében, a Felsőháromszéken található Lemhény (Ro: Lemnia) községben található. A település Kovászna megye észak-keleti sarkában helyezkedik el, hegylábi térségben, Kézdivásárhely várostól 11 kilométerre (1. ábra). Lemhény 2011-es népszámlálása alkalmával 1924 lakost vettek nyilvántartásba.

1. ábra: Lemhény elhelyezkedése (forrás: Google maps)

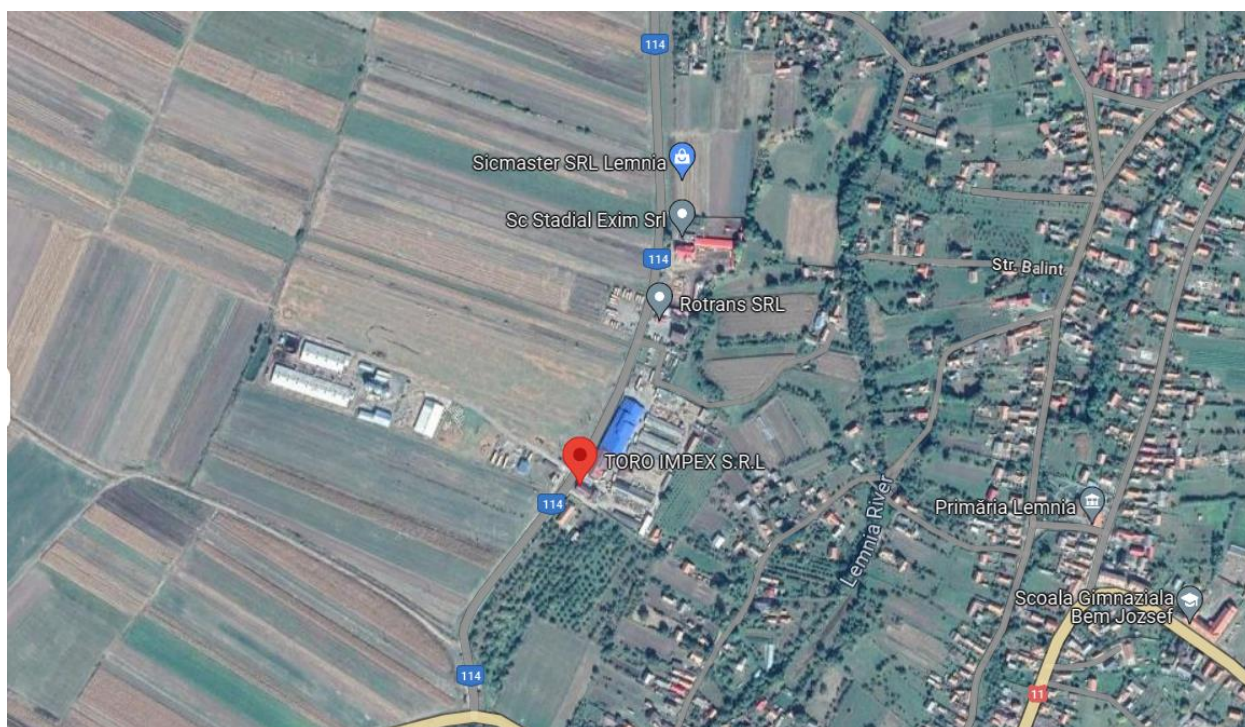


A község két részre oszlik, Alsó- és Felső-Lemhényre, a Velence-pataka völgyében 9 kilométer hosszan helyezkedik el. A dolgozat központi szerepét betöltő vállalkozás Lemhény község legnagyobbja, 2013-as évben 192 alkalmazottal rendelkezett (Sebestyén 2013), majd különböző cégek létrejöttével szerteágazottak ezen gazdasági tevékenységek.

A vizsgált cégcsoport bemutatása

A Toro Impex Kft. 1991-ben jött létre, a vállalkozás első tevékenysége egy kisüzemű vágóhíd és húsfeldolgozó működtetése volt Bereck községében, ahonnan 1997-ben költöztek át Alsó-Lemhénybe az egykori kollektív telephelyére, ahol éppen álló istállók és egy iroda épület állt rendelkezésre. Az új telephely könnyen megközelíthető helyre, a 11-es országúttól 200 méterre helyezkedik el. (2. ábra)

2. ábra: A Toro Impex KFT elhelyezkedése (forrás: Google maps)



Ennek egy minisztériumi határozat volt a főindítéka, ugyanis betiltották a lakott területen belüli vágóhidak működtetését. Még ugyanabban az évben az akkori tulajdonos, Páll Andor (aki azóta elhunyt; jelenleg a családtagjai vezetik a vállalkozást) megvásárolta a lemhenyi mezőgazdasági termelőszövetkezet (TSZ) telephelyét, ahol majd kiépítette az 700 m²-t meghaladó új vágóhíd épületét, ami már nagyobb kapacitással tudott működni, 2007-ben elérte az ott dolgozók száma a 60 főt. Ugyanez év végére sikerült kivitelezni a második legnagyobb beruházást, ami egy 50%-os vissza nem térítendő SAPARD EU-s előcsatlakozási folyamatok által biztosított támogatást jelentett. A beruházás meghaladta a 3 millió eurós összeget. A modern vállalkozás rohamos fejlődésnek indult, korszerű és az elvárásoknak megfelelő sertés, juh és szarvasmarha vágóhíd- és feldogozó üzemmé fejlődött (3. ábra).

3. ábra: a modern vágóhíd és húsfeldolgozó épülete



Időközben hetnetes üzletek is nyíltak a környező településeken illetve a megye városaiban. A 2006-2007-ben épülő vágóhíd idején létrejött egy építkezésicsoport is, ami azóta is aktívan működik, külön profilt alkotva, immáron három alcsoportra tagolódva. A munkakörükbe tartoznak például intézmények, lakóházak javítása, építése; kanalizálás, útépités, útjavítás; sportpályák, sportcsarnokok építése stb. Ez a tevékenység több, mint 30 embert foglalkoztat, ami nyári szezonban megemelkedik. Emellett Ojtozban Páll Andor árverés útján átvett egy fafeldolgozó üzemet annak minden velejárójával, beleértve a 60 fős személyzetet is, ahol napjainkban a foglalkoztatottak száma 70 fő körüli. A vágóhíd szomszédságában 2015 óta működik egy sertést befogadó hízlalda is (4. ábra), amit egy 2.5 millió eurós befektetésből építettek fel, teljesen automatizált ellátó rendszerrel, ahol öt gondozó és egy állatorvos végzi a teendőket. A befogadó képessége 3500 sertés, évente 11 ezer sertést hízlalnak ki a vágóhíd számára. Ez a mennyiség a vágóhíd 10%-át fedi le, a maradék szükséges mennyiséget hazai hízlaldákból vásárolja fel.

4. ábra: Sertés hízlalda (forrás: Google maps)



Hivatalosan nem tartoznak a cégek tevékenységi körébe a mezőgazdasági tevékenységek, ezért a cégtulajdonosok, mint magánszemélyek több, mint 100 hektáron folytatnak növénytermesztést a környező települések határában. Az állatállomány takarmányozása céljából folytatott tevékenység fő szántóföldi növénykultúrákat termel, mint például kukorica, búza és más gabonafélék, ezen kívül több tíz hektár kaszáló is az állatok szezonális legeltetését szolgálja. A géppark is jól felszerelt, viszont ennek fenntartása érdekében egy jól felszerelt szervíz-műhelyt is működtet szakképzett munkaerővel. Ugyanitt a környékbeli gazdák eszközeinek javítását is vállalják (Barabás 2016).

Ezek a tevékenységek közül kiemelném a sertéshízlalást, ugyanis a telephelyen nagy mennyiségű hígtrágya termelődik, (a jelenlegi kezeletlen formában a környezetre gyakorolt negatív hatással bír, amelyről korábban már volt szó) amelyben magas energetikai, környezetvédelmi, társadalmi potenciálok rejtőzhetnek. Szakmai tervemben mindezekre egy sertéshígtrágya bemenő alapanyagú, a helyi térségbe beilleszthető és arra teljesen rá szabott biogáz üzem létrehozását tervezem. A biogáz a CO_2 és a CH_4 gyúlékony gáz keveréke, amely szerves anyagok baktériumok által anaerob (oxigénmentes) körülmények között történő átalakításával keletkezik. A biogázüzem olyan műszaki létesítmény, amelyben a biogáz előállítási folyamata zajlik. A biogáz előállításának forrásai alapvetően a szerves anyagok

széles skálája, ilyen a sertés hígtrágya is (Raven és Gregersen 2007). A biogázgyártás tulajdonképpen egy olyan környezetvédő technológia, amellyel gyakorlatilag újra lehet hasznosítani a kommunális hulladékot, a szennyvizet és mezőgazdasági melléktermékeket (pl. szalma, zöldség, frissen kaszált fű, trágya stb.) A biogáz előállítása során a mikroszervezetek vagyis a savképző és metanogén baktériumok életfeltételeinek biztosítása az biogáz termelés sarokpontja. Amennyiben ezeknek a mikroszervezeteknek a megfelelő feltételek megvalósulnak robbanásszerűen szaporodnak, melynek gyorsaságát a szervesanyag összetétele és a az optimális hőmérséklet befolyásolja (Szabó 2015).

A kutatás hipotézisei:

1. A kutatásomban a fő hipotézisem az, hogy a sertéstrágya, szarvasmarhatrágya és vágóhídi szennyvíz, mint bemenő alapanyag, elég villamos- és hőenergiát termelne ahhoz, hogy a vállalat sokoldalú tevékenységét energetikai önellátáshoz juttassa.
2. A biogáz üzem szag szennyezést enyhítene és jelentős üvegházhatású gáz kibocsájtást előzne meg, lényeges környezeti megterhelést elkerülve.
3. A saját fogyasztáson felüli termelt villamos energia hálózati betermelésen keresztül eladásra kerülne, míg a hőenergia a szomszédos ipari telepeket is ki tudná szolgálni, ugyanis tovább nagy hőenergia igényű gazdasági szereplők vannak jelen a szomszédos helyszíneken.
4. A trágyából az üzemi fermentációs szakaszokat követően egy kiváló minőségű érlelt szerves anyag keletkezne, amelyet a szántóföldekre kijuttatva jó tápanyag forrást lehetne biztosítani a kultúrnövények számára, a talajminőségét is pozitívabban befolyásolná az éretlen trágyával szemben. A műtrágya felhasználás is radikálisan csökkenthető ezzel a biogázüzem fermentációs szakaszain átesett érlelt trágyával.
5. A biogázüzem által újabb munkahelyek jönnének létre, tovább növelve a lokális foglalkoztatást. Ezenfelül egy helyi energiaközösséget lehetne teremteni, hiszen az előállított zöld energia hozzájárulhat a helyi közösség önfenntartásához és csökkentheti az energiaimporttól való függést, egyfajta energia autonómiát teremtve, ami a helyi gazdaság számára stabilabb energiaellátást eredményezhet.

Kutatás módszertana

Kutatásomban a székelgyöldi Toro Impex Kft vállalat telephelyén egy biogáz üzem energetikai, környezeti, gazdasági és társadalmi hatástanulmányát mutatom be, ahol ezen hatások

kvantitatív elemzési módszerrel vannak számszerűsítve és bemutatva, a következő lépések során:

1. Primér adatgyűjtést követően a hígtrágya mennyisége (m^3) került meghatározásra az állatállomány száma alapján napi, havi és éves bontásban. A hígtrágya termelés két forrásból történik, a fő melléktermék termelés a sertéshízlalda működése által keletkezik, a másik hígtrágya forrás pedig a szarvasmarha tenyésztőtől származik.

2. Ahhoz, hogy a biogáz termelés mennyiségét fel tudjuk becsülni, szükségünk van kvantitatív elemzési módszert használva feltérképezni a farmon begyűjthető nyersanyagok mennyiségét. Három fő forrását azonosítottuk be a biogáz előállítására alkalmas nyersanyagoknak, azaz a.) sertéshízlaldából származó hígtrágya, b.) szarvasmarha tenyésztés után keletkező hígtrágya illetve a c.) vágóhíd tevékenységéből származó szennyvíz.

a.) A sertéstrágya a mennyiségi hozamát következő képlet (5) alapján számoltuk ki napi bontásban, majd ezt követően heti, havi vagy éves hozamot is tudunk megbecsülni:

$$HH_s = A * HT^n / 1000 \quad (5)$$

Ahol, HH_s jelenti a hígtrágya hozamot a sertések esetében, A jelenti az állatállományt (3500 db egy ciklusban) és a HT^n a napi hígtrágya termelést jelenti kilogrammban kifejezve. Fontos megjegyezni, hogy a sertések napi hígtrágya termelését a testtömegükkel súlyozva számoltuk ki, ennek eredményeként egy napi hígtrágya termelési dinamikát tudunk bemutatni. Továbbá a napi hígtrágya termelés mennyiségi adatait tonnában fejezzük ki, annak érdekében, hogy könnyebben olvasható és elképzelhető legyenek a mennyiségi adatok.

b.) szarvasmarha állománytól származó hígtrágya mennyiségi hozamának meghatározására a következő képletet (6) alkalmaztuk, napi bontásban, majd ezt követően heti, havi vagy éves hozamot is tudunk megbecsülni:

$$HH_{sz} = A * HT^n / 1000 \quad (6)$$

Ahol, a HH_{sz} jelenti hígtrágya hozamot a szarvasmarhák esetében, A jelenti az állatállományt (60 db) és a HT^n a napi hígtrágya termelést jelenti kilogrammban kifejezve. Fontos megjegyezni, hogy a szarvasmarhák napi hígtrágya termelését a testtömegükkel párhuzamba állítva számoltuk ki. Továbbá a napi hígtrágya termelés mennyiségi adatait tonnában fejezzük ki, annak érdekében, hogy könnyebben olvasható és elképzelhető legyenek a mennyiségi adatok.

c.) vágóhíd tevékenységéből származó szennyvíz mennyiségi meghatározásának (m^3 /nap) alapfeltétele az üzem feldolgozási kapacitásának ismerete a napi állat darabszámának és átlagos tömegének függvényében, ezeket az adatokat a vállalat biztosította. A sertések feldolgozásának mennyiségi meghatározására (t/nap) a következő képletet használjuk (7):

$$F_{sk} = S * \dot{a}.t. / 1000 \quad (7)$$

Ahol, F_{sk} jelenti a feldolgozott sertés kapacitást (t/nap), S jelenti a sertések darabszámát (200 db az év minden napján a hétvégék és hivatalos ünnepnapok kivételével) és az $\dot{a}.t.$ az állatok

átlagtömegét jelenti kilogrammban kifejezve (98 kg). Ugyanakkor a termelés mennyiségi adatait tonnában fejezzük ki, annak érdekében, hogy könnyebben olvasható és elképzelhető legyenek a mennyiségi adatok.

A szarvasmarhák feldolgozásának mennyiségi meghatározására (t/nap) a következő képletet használjuk (8):

$$F_{szk} = Sz * \dot{a}.t./1000 \quad (8)$$

Ahol, az F_{szk} jelenti a feldolgozott szarvasmarha kapacitást (t/nap), Sz jelenti a szarvasmarhák darabszámát (50 db az év minden napján a hétvégék és hivatalos ünnepnapok kivételével) és az $\dot{a}.t.$ az állatok átlagtömegét jelenti kilogrammban (300 kg) kifejezve. Ugyanakkor a termelés mennyiségi adatait tonnában fejezzük ki, annak érdekében, hogy könnyebben olvasható és elképzelhető legyenek a mennyiségi adatok.

A vágóhid napi szennyvíz termelésének meghatározására a következő képletet használjuk (9):

$$V_{sz} = (F_{sk} * 2) + (F_{szk} * 5) \quad (9)$$

Ahol, V_{sz} a vágóhid napi szennyvíz termelését jelenti, az F_{sk} a feldolgozott sertés kapacitást jelenti, az F_{szk} a feldolgozott szarvasmarha kapacitást jelenti. Az előbbi amit 2-es értékkel szorozzuk, míg az utóbbit 5-ös értékkel Ungureanu és mtsai. (2020) tanulmánya alapján. A két zárójel tartalmának összeadása adja a napi szennyvíz termelés mennyiségét.

A szennyvíz napi mennyiségéből potenciálisan termelhető biogáz mennyiségének (m^3) meghatározására a következő képletet használjuk (10):

$$SZb = V_{sz} * 0.2 \quad (10)$$

Ahol, SZb a szennyvízből előállítható biogáz mennyiségét jelenti, a V_{sz} értéket szorozva 0.2-es értékkel Ungureanu és mtsai. tanulmánya szerint (2020) megállapítható a biogáz mennyisége m^3 -ben kifejezve.

A biogáz üzem által termelt felbecsült napi biogáz mennyiségének (m^3) meghatározására a következő képletet használjuk (11):

$$BT_n = [(HH_s + HH_{sz}) * 400] + SZb \quad (11)$$

Ahol, BT_n a napi biogáz termelést jelenti köbméterben kifejezve. A HH_s és HH_{sz} összegét szorozzuk 400-as értékkel, Padua (2023) tanulmánya szerint 1 kg hígtrágyából megfelelő fermentációs körülmények között 0.4 m^3 biogáz állítható elő. Mivel a hígtrágya mennyisége tonnában van kifejezve ezért használjuk a 400-as értéket. Ezt követően a szennyvízből előállított biogáz mennyiségét összeadjuk a hígtrágyából előállított biogáz mennyiséggel.

3. A biogáz üzem a.) villamosenergia és b.) hőenergia termelésének meghatározása történt.

a.) A villamosenergia előállítás megállapításához Akbulut (2012) tanulmánya szolgál alapul, miszerint 1 m³ biogázból 2.14 kWh állítható elő. A következő képlet (12) által kiszámítható a villamosenergia előállítás mennyisége MWh-ban kifejezve napi bontásban, amelyet később heti, havi és éves bontásban is ki tudunk számolni:

$$VeMWh = Bg * 2.14/1000 \quad (12)$$

Ahol, V_{eMWh} a villamosenergia mennyiségét fejezi ki MWh-ban, a B_g a biogáz mennyiségét (m³) jelöli, a 2.14-es kWh érték MWh-ba való átalakítása miatt szükségeszerű az 1000-el való osztás.

Nemzetközileg elismert villamosenergiát kifejező mértékegység a MWh, viszont magyarországi viszonylatban a gyakorlat azt mutatja, hogy a MJ és a GJ mértékegységek használata is gyakori. Ezenáltal a villamosenergia hozam mennyiség ezekben a formákban is kiszámításra kerültek Frost és Gilkinson (2010) tanulmányára alapozva. A MJ-ba való konvertálás képlete a következő (13):

$$VeMJ = Bg * 22 \quad (13)$$

Ahol, V_{eMJ} a villamosenergia mennyiségét fejezi ki MJ-ban, B_g a biogáz mennyiségét (m³) jelöli, amit szorozni kell a 22-es értékkel, ahogyan az a Frost és Gilkinson (2010) tanulmányában le van írva. A GJ-ban való kifejezéshez a MJ értékét osztjuk 1000-el, a képletben a V_{eGJ} a villamosenergia mennyiségét fejezi ki GJ-ban (14):

$$VeGJ = Bg * 22/1000 \quad (14)$$

b.) A napi hőenergia előállítás meghatározására ugyancsak Akbulut (2012) tanulmánya szolgál alapul, miszerint 1 m³ biogáz 2.47 kWh hőenergia előállítását eredményezi. A termelt hőenergia kalkulációjának képlete (15) a következő, amelyet egyéb bontásokban is ki lehet fejezni, mint heti, havi vagy évi:

$$HeMWh = Bg * 2.47/1000 \quad (15)$$

Ahol, a H_{eMWh} a hőenergia előállítást jelöli, a korábban ismertetett 2.47-es referencia értéket és B_g szorzat eredményét osztjuk 1000-el, hogy a kWh-t MWh-ban legyen kifejezve. Viszont a valóságot megközelítő rendelkezésre álló hőenergia eredményének kalkulálásakor a H_{eMWh} értékből 10%-ot le kell vonni, mivel ezt az üzem saját működésére felhasználja.

4. A vizsgált cégcsalád hő-és villamosenergia használati elemzése alapján elemzésre került az energiaönellátás foka, a cégcsoport villamosenergia és fölgáz fogyasztására (MWh) vonatkozó adatokat a vállalat biztosította. A villamosenergiára tekintetében a húsfeldolgozó és vágóhíd energia felhasználásának adatai mellett egyéb fogyasztási pontokra vonatkozó adatokat is szolgáltatottak. A fogyasztási mutatók korábbi évekből származnak havi bontásban, a villamosenergia esetében napi bontásban is. Illetve felbecsülésre került, hogy mekkora arányban tudna biztosítani energiát a környező ipari park más gazdasági tevékenységei számára: deszkaárú és szárító üzem, tejgár, stb.

5. A sertéshízlalda állatállományának melléktermékéből származó üvegházhatású gázok légkörbe kerülésének mértékét, környezetre gyakorolt hatását tonna/évben kifejezve a széndioxidra (CO₂), kén-dioxidra (SO₂) vonatkoztatva Dourmad és mtsai. (2014) tanulmányának referencia értékeire támaszkodva lehet kiszámolni, az eutrofizálással (a vizek elalgásodása, mocsarasodása) együteműleg. A módszernek a következő a képlete (16):

$$Kh = S * \text{á.t.} * r.\text{é.} / 1000 \quad (16)$$

Ahol, K_h jelenti az éves környezetre gyakorolt terhelés féleséget (pl. CO₂), az S jelenti a sertések számát (11500 db), az á.t. jelöli az állatonkénti átlagtömeget (70 kg), r.é. jelöli a referencia értékeket, amelyeket a fent említett tanulmányban írtak le, 1 kg sertés élősúlyra vetítve. Az osztás azért szükséges, hogy az érték tonnában legyen kifejezve a könnyebb megértés céljából.

Továbbá fokozott figyelmet igényel egy másik üvegház hatású gáz is, a metán (CH₄). Légkörbe kerülésének mennyiségi meghatározása igen nehézkes, ezért abból az oldalból közelítjük meg, hogy a biogáz üzembe kerülő nyersanyag (pl. sertés hígtrágya) optimális intenzív fermentációs folyamatok során 60% körüli metánt képes felszabadítani (Jekayinfa és mtsai. 2020). Ez természetesen csak a fermentáló egységekben érhető el, a szabadban tárolt hígtrágya nem bocsájt a légkörbe ekkora mennyiséget.

6. A beruházás költségvetésének alapjául egy részletes tanulmány szolgált (Akbulut és mtsai. 2021).

A biogáz üzem megépítésének megvalósítása két féle befektetési formát követel, az egyik az úgynevezett tőkebefektetés (angolul Capital expenditure, rövidítve CAPEX), amit a vállalat a megvalósítási folyamat során egyszeri alkalommal fizet ki. A másik befektetés a működtetési költség (angolul: Operational expenditure, röviden: OPEX), amelyet az üzem megépítésén túl is folyamatosan finanszírozni kell.

7. A beruházás költsége és a megtermelt hő -és villamosenergia értéke alapján megtérülési és hozam adatok számítása. A beruházás kezdete előtt ki kell számolni a nettó jelenértéket (angolul net present value – NPV), amely által el lehet dönteni, hogy érdemes vagy sem a beruházást elvégezni. Ha NPV > 0 akkor megvalósíthatjuk a beruházást, ha < 0 akkor ne valósítsuk meg, mert veszteséges lesz. Kiszámításának a következő a képlete (17):

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (17)$$

Ahol, n a teljes időtáv hosszát jelöli, t az adott pénzmozgás időpontját, r a kamatlábat jelöli, C_t a nettó pénzmozgást a t időpontban, a C₀ pedig azt a pénzüsszeget, amelyet a nulladik időpontban került befektetésre (Marchioni és Magni 2018).

A megtérülési idő kiszámításában a Bioenergy for Business Software-t használtam (Austrian Energy Agency, 2020, Vienna) 25 éves távlatban vizsgálva.

8. A fenntartható biogáz üzemeltetésének gazdasági számításainak elvégzése és bemutatása.

9. A beruházás helyi és a kistérségre gyakorolt társadalmi, egészségügyi és fenntarthatósági hatásainak vizsgálata.

Eredmények

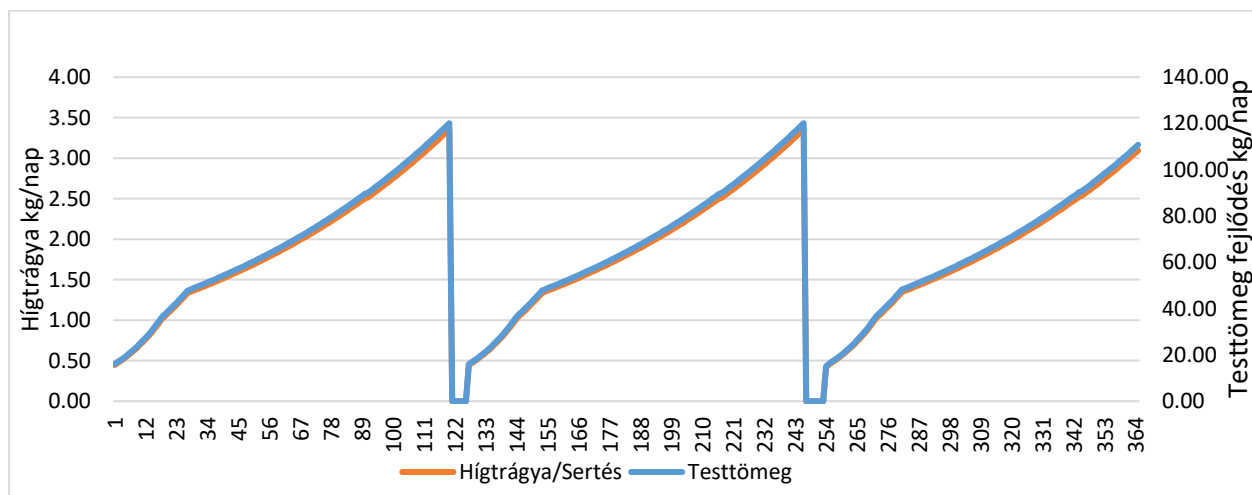
Biogáz üzem működési és műszaki elemzésének eredményei

A sertés hízlaldába egyszerre 3500 állatot nevel fel vágósúlyig, ami egy kezdeti 16-25 kilogrammos állapottól a 90-120 kg-os állapotig értendő. Az istálló évente háromszor ciklikusan hízlal malacokat vágósertésekkel, ami évi 11500 állatot jelent. Minden ciklus között van néhány nap (kb.7) amíg az istállóban nincsenek sertések, ilyenkor történik a hízlalda higiénizálása, a következő sertésállomány érkezésére való felkészülés. Az üres napok száma éves szinten 25 napra tehető.

Hígtrágya előállítás

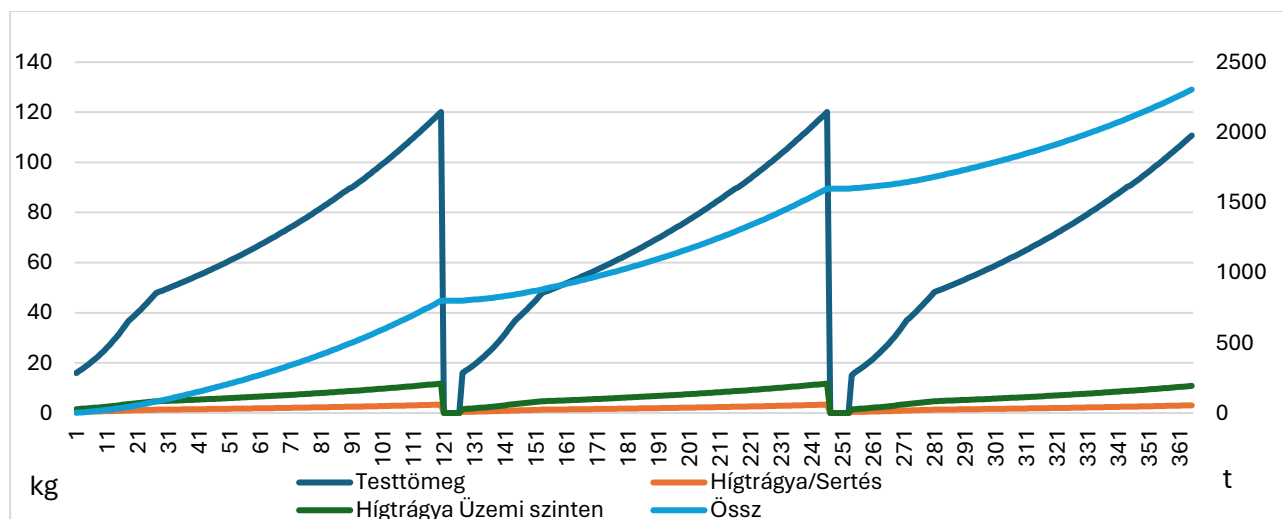
Ngwabie és mtsai. (2018) tanulmányára hivatkozva tudjuk, hogy egy átlagos 70 kg tömegű sertés naponta 2.09 kg hígtrágyát termel, hármasszabályt alkalmazva kiszámítható, hogy a telepre kerülő 16 kg-os kezdeti tömeggel rendelkező malac 0.447 kg hígtrágyát állít elő naponta. A sertésenkénti napi testtömeg gyarapodás párhuzamba állítva a napi hígtrágya előállítással az alábbi diagramon (18. ábra) ábrázolva van:

18. ábra: Sertések testtömeg fejlődése és hígtrágya képzés éves trendje



Üzemi szinten a sertések napi trágya termelése éves vetítésben a 19-es ábrán van szemléltetve. A sertések a hízlaldába kerülésének kezdetétől a 18. napig 1.05 kg tömeget, a 19.-től a 27.-ig 1.03 kg-ot, a 28. napotól a vágósúlyig (1.-2. ciklus 120 kg, 3. ciklus 110 kg) 1.01 kg-ot gyarapodnak átlagosan naponta. Tudva a napi átlag sertés tömeget és az ebből hármasszabállyal kiszámolt napi hígrágya termelés mennyiségét az üres napokkal együtt éves szinten hozzávetőlegesen 2304.52 tonna hígrágya termelődik a 11500 sertés melléktermékeként.

19. ábra: Sertés állomány testtömeg gyarapodás és hígrágya termelés éves dinamikája



Biogáz termelés

A tervezett biogáz üzem főként sertés hígrágyát használ, viszont kiegészül szarvasmarha hígrágyával, illetve a vágóhídi szennyvízzel, amelyekkel hatékony hőhasznosítást ér el a helyszínen. A tervezésnél az volt a cél, hogy a saját input kapacitását lehető legjobban használja fel és megfizethető berendezésekkel működjön a beruházási költségigény minimalizálása érdekében.

A hígrágyát az elsődleges emésztő közvetlenül a sertésistálló alatti csatornából táplálja. Egyszerű készülék, ami vízszintes csavarokkal és 3 m³-es garat kapacitással szilárd anyagok betáplálására használják a fermentor egységbe.

Az elsődleges és másodlagos fermentációs tároló munkatérfogata 400 m^3 és 40 °C -ra melegítjük (mezofil hőmérséklet szerint).

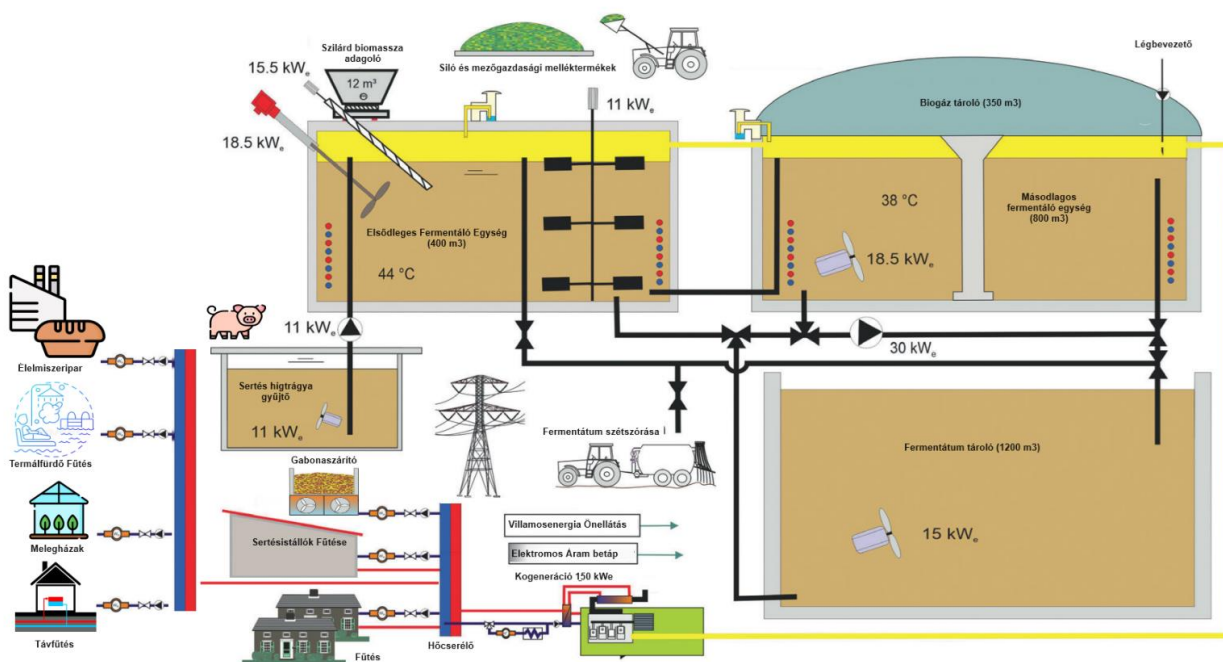
A hígtrágya szubsztrátok hozzávetőleges hidraulikus visszatartási ideje a rothasztókban 120 nap. Tekintettel a folyékony sertétrágya nagy részarányára nincs vele probléma, mint például az emésztési folyamat instabilitása, stb.

A biogáz fermentáló egységek fűtési igénye körülbelül 30%-át teszi ki a teljes hőenergia termelésnek, a többi hőt pedig saját belátás szerint lehet felhasználni, pl. istállók vagy egyéb épületek fűtésére, gabona szárítóknak, stb.

A biogáz fermentáló egységek fűtési igénye körülbelül 30%-át teszi ki a teljes hőenergia termelésnek, a többi hőt pedig saját belátás szerint lehet felhasználni, pl. istállók vagy egyéb épületek fűtésére, gabona szárítóknak, stb.

A biogáz üzem folyamatábráját a 20-ábra szemlélteti:

20. ábra: Biogáz üzem folyamatára



Sertéstelep biogáz termelése

Az egyidőben nevelkedő 3500 sertés naponkénti biogáz termelésének éves kiszámításának eredményei azt mutatják, hogy naponta átlagosan 2525.48 m^3 biogáz termelődik. A heti bontás átlaga 17678.36 m^3 , míg az éves bontás 921800.2 m^3 biogáz előállítást mutat.

Szarvasmarha állomány biogáz termelése

A sertésteleptől nem messze található egy 60 darabos szarvasmarha állomány, ahol nagyobb részt borjú nevelés zajlik, kisebb részben pedig tejelő szarvasmarhák tartása történik. Hossain és mtsai. (2023) szerint a szarvasmarhák egyedenként naponta 29.5 kg hígtrágyát állítanak elő, ami az össz szarvasmarhára vetítve napi 1.77 tonna hígtrágya mennyiséget jelent. Ez a mennyiségű bn ű4szarvasmarha hígtrágya napi bontásban 720 m³, hetente 5040 m³, havonta 21600 m³, évente pedig 262800 m³ biogázt eredményez.

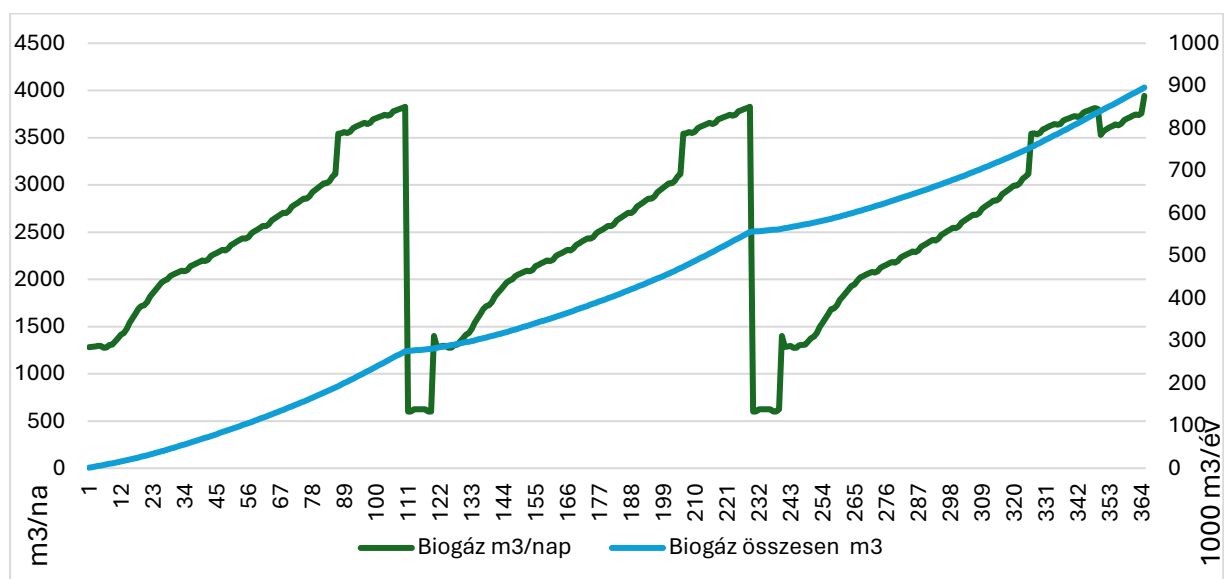
Szennyvízből biogáz

A vágóhíd és húsfeldolgozó üzem nagyon sok forróvizet használ a munkavégzés során, ebből adódóan a szennyvíz képződés kimagasló. A vállalat által biztosított reális adatok alapján naponta 200 db sertés és 50 db szarvasmarha kapacitású az üzem. A vágóhídra kerülő 200 db sertés átlagos tömege 98 kg, míg az 50 db szarvasmarháé 300 kg, ami 19.6 tonna napi feldolgozott sertést, illetve napi 15 tonna szarvasmarhát jelent. Ahhoz, hogy meghatározzuk az ebből keletkező napi szennyvíz mennyiséget a sertés tömeget 2-es értékkel, míg a szarvasmarha tömeget 5-ös értékkel kell megszorozni (Martí-Herrero és mtsai. 2018), ami alapján 114.2 m³ szennyvíz keletkezik, a vágóhíd hétfévente nem üzemel. Ungureanu és mtsai. (2020) szerint a vágóhíd szennyvizéből 0.2 m³ biogáz lehet előállítani megfelelő fermentáció mellett. Az üzemre vetítve naponta 22.84 m³, hetente 114.2 m³, havonta 525.32 m³, míg évente 5961.24 m³ biogáz előállítást jelent.

Biogáz üzem biogáz éves termelési dinamikája

A biogáz üzem folytonos működését biztosító alapanyagok a következők: a projekt alappilére a sertés hígtrágya és az ezt kiegészítő szarvasmarha hígtrágya illetve a vágóhídi szennyvíz. Mindezek összesen naponta átlagosan 2479.84 m³, havonta átlagosan 75428.37 m³ és éves nagyságrendben hozzávetőlegesen 905140.55 m³ biogáz termelését jelenti. A termelés dinamikájának ábrázolása az alábbi grafikonon (21-es ábra) látható napokra bontva éves viszonylatban:

21. ábra: Napi (m3/nap) és éves biogáz termelés (1000 m3/év)



Energia fogyasztási magatartás elemzés eredményei

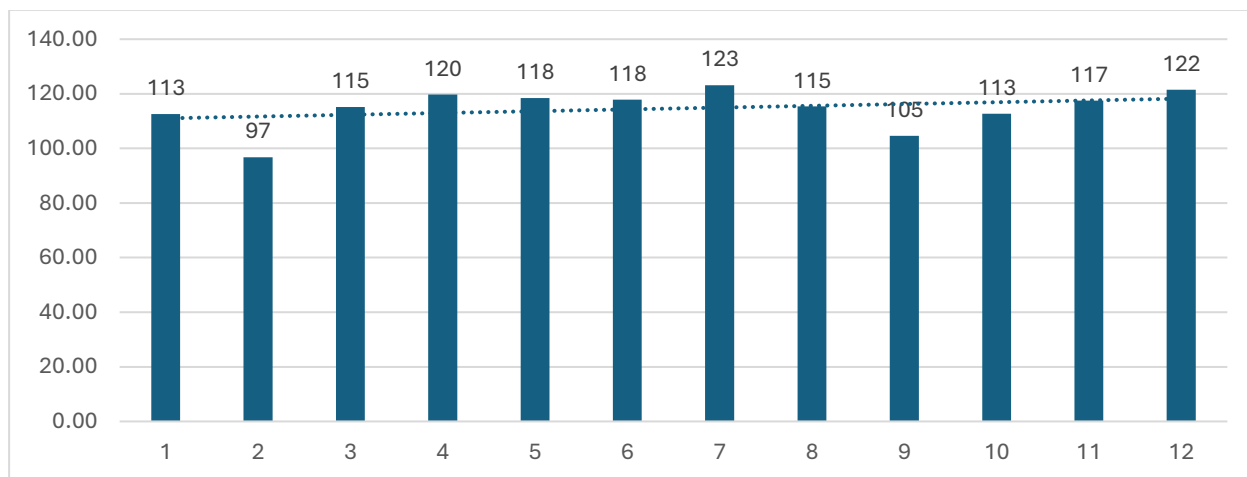
A vágóhíd és húsfeldolgozó üzem villamosenergia fogyasztására illetve gáz fogyasztására vonatkozó pontos adatokat szolgáltatott a vállalat. A villamosenergia fogyasztás tekintetében a további helyszínekről is van adat, Bereck (2 db), Ojtoz, Almás, Kézdivásárhely és további két lemhényi helyszínről (1. táblázat).

1. táblázat: Éves villamosenergia fogyasztás (MWh)

Helység	Jan	Feb	Már	Ápr	Máj	Jún	Júl	Aug	Szep	Okt	Nov	Dec	Össz.
Bereck	0.35	0.54	0.43	0.45	0.70	0.42	0.41	0.33	0.45	0.72	0.25	0.42	5.47
Ojtoz	6.46	7.79	7.80	7.98	6.20	7.07	6.25	8.20	6.30	7.70	6.88	7.42	86.05
Bereck	3.20	3.21	3.00	2.72	3.02	2.22	2.86	3.11	2.60	2.68	3.21	3.42	35.25
Kézdivásárhely	1.64	0.38	1.20	1.32	0.90	2.35	2.63	0.88	1.34	2.88	2.11	2.99	20.62
Lemhény	2.00	1.69	2.20	2.30	2.45	3.01	3.30	2.45	1.98	2.23	3.12	3.22	29.95
Lemhény	1.50	1.00	1.34	1.50	1.70	1.50	1.66	1.21	1.32	1.43	1.73	1.42	17.31
Almás	2.45	2.07	2.22	2.45	2.80	2.62	2.69	2.40	2.32	2.86	2.02	2.86	29.76
Lemhény	95.00	80.10	97.00	101.00	100.68	98.63	103.38	96.80	88.30	92.20	98.13	99.76	1,150.98
	112.60	96.78	115.19	119.72	118.45	117.82	123.18	115.38	104.61	112.70	117.45	121.51	1,375.39

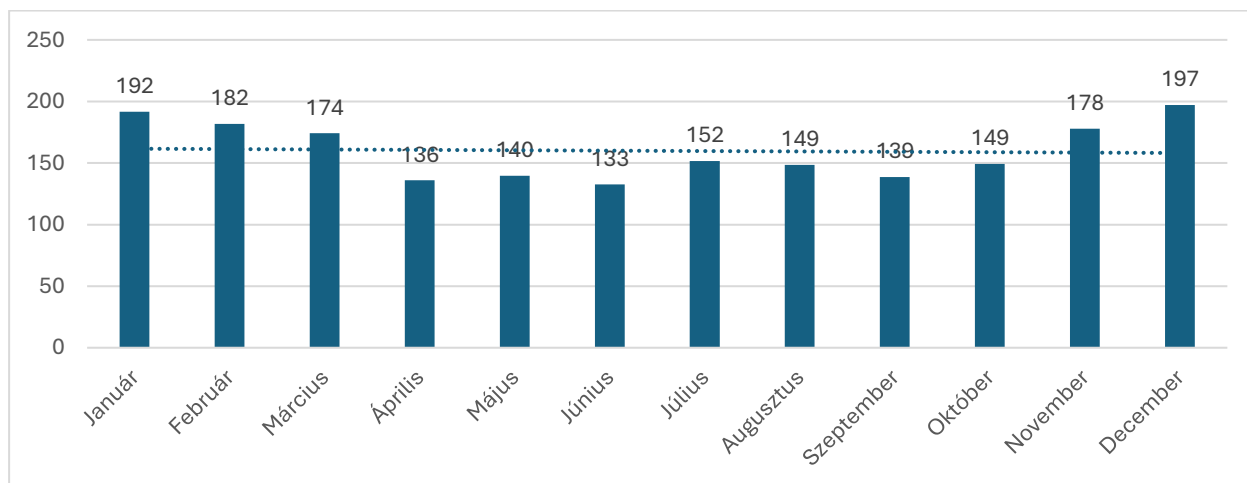
Az év 12 hónapjára lebontva a fentiekben említett helyszínek villamosenergia fogyasztása a 22-es ábrán látható. Havonta átlagosan 114.62 MWh a fogyasztás, éves szinten a hónapok villamosenergia fogyasztását összegezve az eredmény 1375.39 MWh. Ebből az energiahasználatból a vágóhíd és a húsfeldolgozó 1128 MWh órát használ el.

22. ábra: Éves villamosenergia fogyasztás, havi bontásban (MWh)



Fűtési célokra jelenleg a vágóhíd és húsfeldolgozó földgázot használ, amivel havonta átlagosan 159.88 MWh fogyasztást produkál, ahogyan ez a diagramon is látható (23. ábra). Éves összesítésben a 1918.56 MWh földgáz kerül felhasználásra.

23. ábra: Hőenergia igény (MWh)

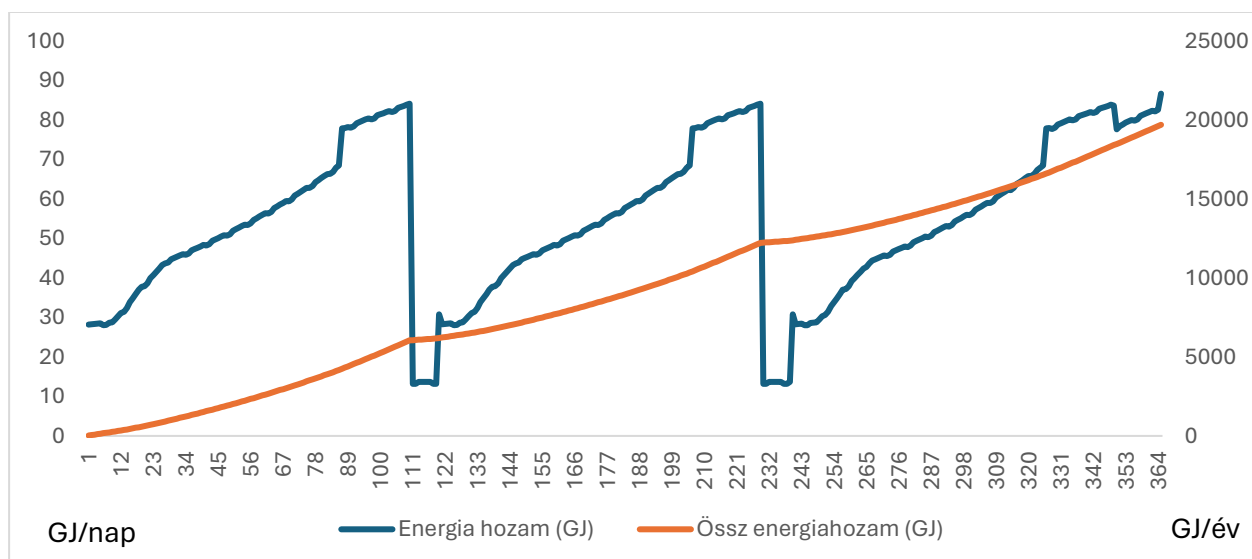


Biogáz alapú energia ellátás

A potenciálisan megtermelendő biogáz mennyiséget (m^3) villamos-, illetve hőenergia formájába alakítható át.

Napi bontásban ábrázolt (24. ábra) termelendő biogáz energiahozamát gigajouleban (GJ) kifejezve a napi biogáz mennyiséget 24-es értékkel szorozzuk, majd osztjuk 1000-el. Éves viszonylatban a napi átlagos GJ érték az 54.55, viszont a napokat összegezve 19711.57-es értéket lehet megállapítani.

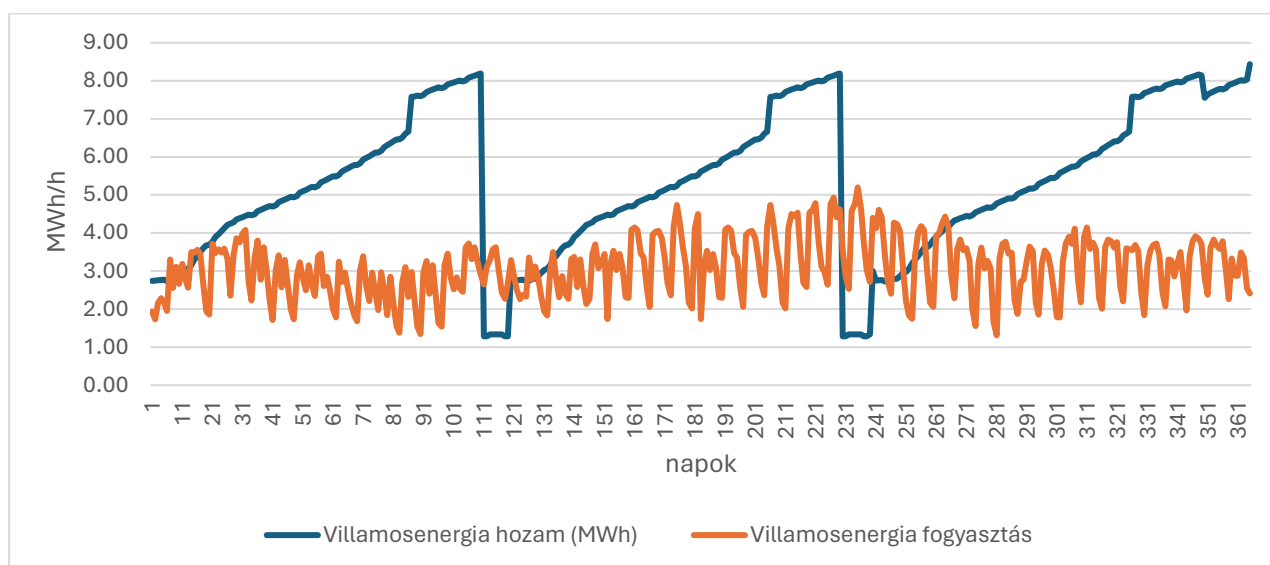
24. ábra: Napi és éves (GJ) energiahozam becslés



A biogázból előállított villamosenergia mennyisége éves viszonylatban hozzávetőlegesen 1917 MWh, napi átlagban pedig 4.04 MWh.

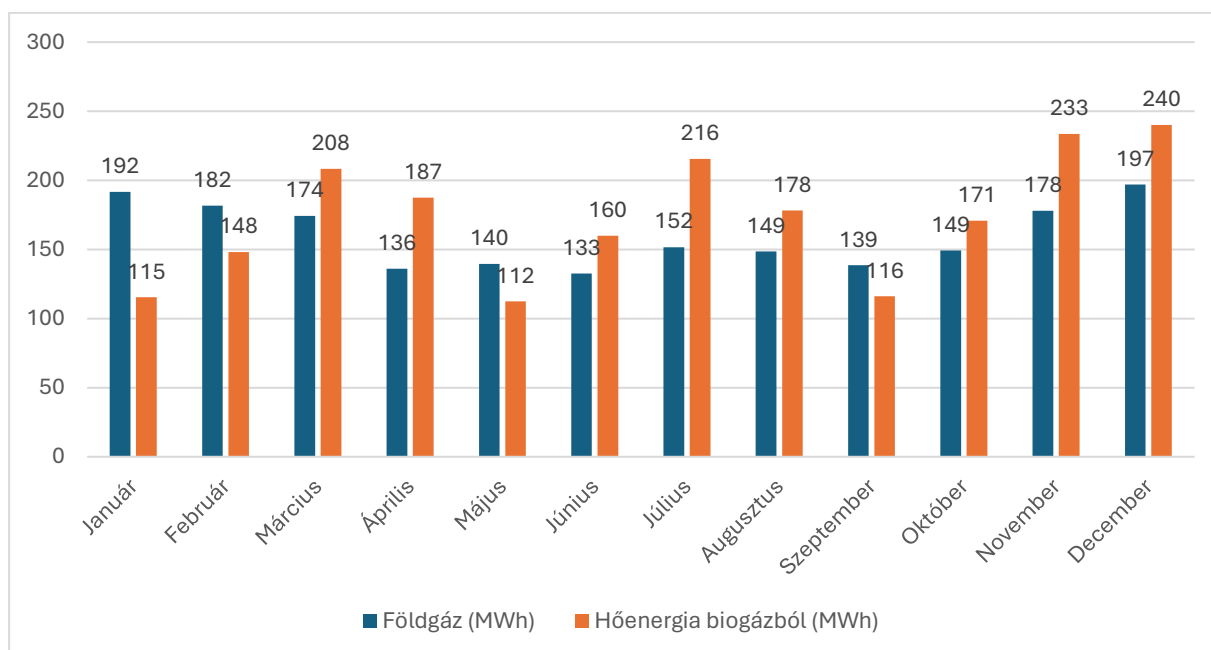
Párhuzamba állítva egymással a napi villamosenergia fogyasztási igényt a biogáz üzem termelésével (25. ábra), azt az eredményt kapjuk, hogy éves szinten a saját fogyasztáson felül 789 MWh villamos energia termelődik üzemi szinten.

25. ábra: Energia előállítás és fogyasztási magatartás (MWh/h)



A következő grafikonon (26. ábra) látható havi bontásban a biogázból termelt hőenergia és a földgáz igény összehasonlítása MWh-ban kifejezve:

26. ábra: Hőenergia igény és önellátás biogázból (MWh)



Éves szinten hozzávetőlegesen 2004.76 MWh hőenergia termelődik további más felhasználási célokra készen, míg az eddigi éves földgáz felhasználás 1918.56 MWh volt, tehát a földgáz felhasználás kiváltásán túl 86.2 MWh hőenergia állna rendelkezésre az öfenntartási igényeken túlmenően.

Környezeti hatásvizsgálat eredményei

Az alábbi táblázat (2. táblázat) mutatja a CO₂, SO₂ légkörbe való jutásának mennyiségét és az eutrofizálás mértékét a kezeletlen hígtrágya esetén tonnában kifejezve éves viszonylatban, másszóval a biogáz üzem létesítésével 1812 t/év CO₂, 35 t/év SO₂ üvegház hatású gáz nem kerül a légkörbe, illetve a vizek eutrofizálása csökkenne 15 t/évvel a biogáz üzem létesítésének előtti (mostani) állapothoz viszonyítva.

2. táblázat: Nyers hígtrágya környezetre gyakorolt hatása

t eq. Referencia értékek 1 kg élősúlyra

Szén-dioxid (CO₂)	1812.055	2.251
Kén-dioxid (SO₂)	35.42	0.044
Eutrofizálás	15.295	0.019

Éves szinten a biogáz üzem működése során naponta átlagosan 1487.63 m³, évente pedig hozzávetőlegesen 542988.33 m³ metán (CH₄) termelődik, a kezeletlen formában tárolt hígtrágya esetében nem lenne ekkora a metán kibocsájtás, viszont ennek a mennyiségnek nagyhányad része a légkörbe kerülne, tovább fokozva az üvegházhatást

Biogáz üzem gazdasági elmezés

A biogáz üzem alapterülete a sertéshízlalda közvetlen szomszédságában egy körülbelül 4 ha-os saját parcella területén van elképzelve. A területen országúttól néhány méterre található egy transzformátor állomás is, ami által a villamosenergiát be lehet táplálni a hálózatba.

Beruházási költségek – Capex

3. táblázat: A tőkebefektetés költségei euróban kifejezve

CAPEX	EUR
Eszközök	371,956.39
Földmunka/Tereprendezés	33,896.76
CHP Turbina	263,305.17
Fűtészálózat (fűtészálózat)	75,662.41
Villamosenergia Csatlakozás	15,132.48
Elsődleges Fermentáló	151,324.81
Másodlagos Fermentáló	211,854.74
Fermentátum Tároló	90,794.89
Pompaegységek	121,059.85
Össz	1,334,987.50

A 3. táblázatban a biogáz üzem létrehozásához szükséges elemek szerepelnek egy hozzávetőleges euróban kifejezett befektetési költséggel társítva.

Működési költségek - Opex

4. táblázat: A biogáz üzem működési költségei/év elemeinek euróban való kifejezése

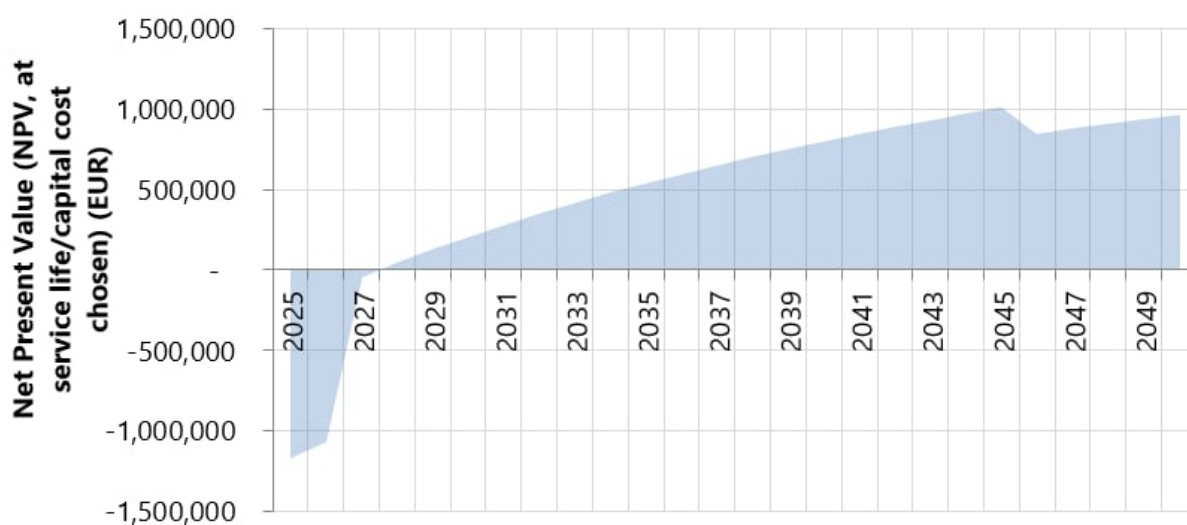
OPEX	EUR
Személyi költségek	4500
Biogáz CHP Karbantartás	1499.625
Fermentátor karbantartás	2999.25
Vezérlés és ellenőrzés	2250
Össz	11250

A 4. táblázatban az üzem megépítésén túli éves költségek szerepelnek euróban kifejezve.

A beruházás megtérülési ideje

A biogáz üzem megtérülési idejének kiszámítását a Bioenergy for Business Software használata tette lehetővé. Minden költséget beleszámítva (az éves fenntartási költségeket is) a megtérülési idő 3.2 évre tehető, ahogyan ezt a program által készített ábra is mutatja (27. ábra):

27. ábra: A biogáz üzem megtérülési ideje



Biogáz üzem hatásvizsgálata

A beruházás helyi és a kistérségre gyakorolt társadalmi hatása az új munkahelyek megteremtésében, egészségügyi hatása pedig a biogáz üzem létrehozása után a szagprobléma radikális enyhülése, hiszen a fermentációs folyamatokon áteső nyersanyagok, mint a hígtrágya és szennyvíz nem áraszt bűzt. Fenntarthatósági hatása jelentős, hiszen az önfenntartást fűtési és villamosenergia szempontjából képes biztosítani, sőt ezen túlmenően is termel, ami helyi közösség szempontjából is előnyös lehet.

Következtetések, javaslatok

Ahogy az a biogáz alapú energia ellátás fejezetből kiderült az üzem termelése az év java részén meghaladja a saját szükségleteket, viszont vannak olyan periódusok, amikor ez a helyzet nem áll fenn. Javasolnánk ennek a problémának a kiküszöbölésére egy biogáz tároló egység építését, amellyel a cégcsoport igényein felüli termelési periódusból biogázt lehetne elraktározni egy későbbi felhasználásra, mikor a termelés a fogyasztással szemben deficitet mutatna. Ezzel a biogáz tároló egységgel az energia importtól való függés teljesen megszűnne.

A saját fogyasztáson túlmenő villamos energiát lehetne értékesíteni, ezzel egy plusz jövedelemforrást generálva a vállalatnak.

A saját felhasználáson túli hőenergia mennyiséget távhő vezetékeken keresztül a közeli szomszédos ipari telephelyek szolgálatába lehetne állítani. Továbbá a település hőenergia

igénye kielégítésének céljából is felhasználhatóvá lehetne tenni, ezzel is hozzájárulva a körkörös gazdaság fejlesztéséhez.

Esetleg üvegházak építése lehetne egy későbbi projekt célkeresztjében, hiszen azoknak a fűtéséhez biogázból előállított távhőt lehetne használni, így kialakítva egy újabb tevékenységi ágazatot. Ezzel a településen további munkahelyek jöhetnének létre, növelve a foglalkoztatottak számát.

A jelenlegi szagprobléma radikális módon csökkenne, a káros üvegházhatásúgázok kibocsátásának mennyiségi mutatói meredek zuhanásnak indulnának a biogáz üzem létrehozásával.

A nyers trágya miután a fermentációs szakaszokon túlesik az eredeti állapotához viszonyítva jóval magasabb tápértékkel bír. Ezt az érlelt trágyát talajba keverésével elérhető lenne, hogy az eddigi műtrágya mennyiség szántóföldekre juttatása indokolatlanná válna, ezzel tovább csökkentve a vállalat kiadásait.

A beruházás finanszírozása történhetne teljesen önköltséggel, vagy amennyiben van lehetőség rá pályázati finanszírozással, mindegyik scenárió esetén jövedelmező lenne a beruházás.

A beruházás rövid megtérülési ideje után teljesen önfenntartóan működhetne a Toro Impex KFT cégcsalád.

A Cég szintjén megvalósítható hatások:

1. Társadalmi előnyök:

- Lokális foglalkoztatás
- Energiaelérhetőség
- Környezetvédelem

2. Gazdasági előnyök

- Energiaköltség csökkentése
- Bevételi forrás
- Helyi gazdaság élénkítése

3. Környezeti előnyök:

- Üvegházhatású gázok csökkentése

- Hulladékkezelés

4. Energia önellátás és biztonság

- Függetlenség az energiaimporttól
- Energia autonómia

Konklúzióként elmondható, hogy a cégcsaládot vertikálisan kell fejleszteni, egy közösségi szintű vállalkozássá kell emelni, ami a tulajdonosoknak fenntartható biztos profitot biztosít, ugyanakkor a település fenntartható zöld energia alapú fejlesztésének kulcsszereplőjévé válik. Ha a helyi lakosok magukénak érzik a cégcsoport tevékenységét, akkor mindig támogatni fognak bármiféle további fejlesztést.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom a vezetőtanáromnak, dr. Sebestyén Thamér-Tibornak, aki a kutatás során végig támogatott és hasznos tanácsokkal látott el. Továbbá köszönöm a Toro Impex KFT-nek, hogy támogatták a szakmai terv létrehozását a kulcsfontosságú adatok szolgáltatásával.

Bibliográfia

- Akbulut, A., Arslan, O., Arat, H., Erbaş, O. (2021). Important aspects for the planning of biogas energy plants: Malatya case study . *Case Studies in Thermal Engineering* , 2-19.
- Akbulut, A. (2012). Techno-economic analysis of electricity and heat generation from farm-scale biogas plant: Çiçekdağı case study. *Energy*, 385.
- Barabás, E. (2016). Modell értékű gazdasági együttműködés Felső-Háromszéken.
- Dourmad, J., Y., Ryschawy, J., Trousson, T., Bonneau, M., González, J., Houwers, H., W., J., Hviid, M., Zimmer, C., Nguyen, T., L., T., Morgensen, L. . (2014). Evaluating environmental impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment. *The Animal Consortium* .
- Frost, P., and Gilkinson, S. (2010). First 18 Month Performance Summary for Anaerobic Digestion of Dairy Cow Slurry at AFBI Hillsborough. *AgriFood and Biosciences Institute*.
- Hossain, M., S., Masuk, N., I., Das, B., D., Das, A., Kibra, M., G., Chowdhury, M., M., Shozib, I., A. . (2023). Theoretical estimation of energy potential and environmental emissions mitigation for major livestock manure in Bangladesh. *Renewable Energy*.
- Jekayinfa, S., O., Adebayo. A., O., Oniya, O., O., Olatunji, K., O. (2020). Comparative Analysis of Biogas and Methane Yields from Different Sizes of Groundnut Shell in a Batch Reactor at Mesophilic Temperature . *Journal of Energy Research and Reviews*, 35.
- Marchioni, A., Magni, C., A. (2018). Investment decisions and sensitivity analysis: NPV-consistency of rates of return. *European Journal of Operational Research*, 362-363.
- Marselek, S. (2006). KÖRNYEZETI ÁLLAPOT, MEZŐGAZDASÁG, FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS. *GAZDÁLKODÁS: Scientific Journal on Agricultural Economics*, 12 - 27.
- Marszałek, M., Kowalski, Z., Makara, A. . (2018). Emission of Greenhouse Gases and Odorants from Pig Slurry - Effect on the Environment and Methods of its Reduction. *Sciend*o, 383.
- Martí-Herrero, A., B., R. Alvarez C., T. Flores, D. (2018). Evaluation of the low technology tubular digesters in the production of biogas from slaughterhouse wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 633-642.

- Ngwabie, N., M., Chungong, B., N., Yengong, F., L. (2018). Characterisation of pig manure for methane emission modelling in Sub-Saharan Africa. *Biosystems Engineering*, 31-38.
- Padua, J. J. (2023). Technology University of München. *ResearchGate*.
- Raven, R., P., J., M., Gregersen, K., H. (2007). Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116-132.
- Sebestyén, T. T. (2013). Svájc és Románia területi fejlődése, Lemhény község kitörési lehetősége az együttműködések alapján. 54-58.
- Szabó, R. F. (2015). Biogáz üzem energetikai és gazdasági elemzése. 4-5.
- Tálas, P., Csiki-Varga, T., Etl, A., Berzsényi, D. (2021). *A globalizált világ kihívásai*. Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó.
- Ungureanu, N., Vladut, V., Popa M., I. (2020). Aspects regarding the treatment of slaughterhouse wastewater. *International Symposium ISB-INMATEH – Agricultural and Mechanical*.

-