SZAKDOLGOZAT

Szécsi Péter

2023

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Környezettudományi Intézet

Hulladékkezelési és -hasznosítási szakmérnök szakirányú továbbképzési szak

BIOCNG ÜZEMANYAG ELŐÁLLÍTÁSA TELEPÜLÉSI SZILÁRD HULLADÉKBÓL

Belső konzulens:	Dr. Aleksza László egyetemi docens
Belső konzulens intézete/tanszéke:	Környezettudományi intézet/ Kihelyezett Hulladékgazdálkodási Tanszék
Készítette:	**Szécsi Péter**

Gödöllő

2023

Tartalomjegyzék

1 Bevezetés ... 3
2 Biogáz ... 4
2.1 A biogáz keletkezése, tulajdonságai ... 4
2.2 A biogáz összetétele ... 4
3 Települési szilárd hulladék ... 5
3.1 Települési szilárd hulladék meghatározása, keletkező mennyiségek ... 5
3.2 Települési szilárd hulladék gyűjtése ... 6
4 Biogáz előállítás ... 8
4.1 Biogáz előállítás folyamata ... 8
4.2 Biogázképződést befolyásoló tényezők ... 9
4.3 Biogáz termelés technikai-technológiai eszközei ... 11
4.3.1 Alapanyag tárolás és előkészítés ... 12
4.3.2 Fermentorok ... 12
4.3.3 Gáztárolók ... 13
4.3.4 Gáztisztító berendezések ... 13
4.3.5 Anyagáramlás és –továbbítás ... 13
4.3.6 Mérő és szabályozó berendezések ... 14
4.3.7 Biztonsági berendezések ... 14
4.4 Biogáz hasznosítás ... 14
4.5 Biogáz előállítás, hasznosítás jogszabályi keretek ... 20
5 Biometán előállítás ... 21
5.1 Víztelenítés ... 22
5.2 Kéntelenítés ... 23
5.3 CO_2 eltávolítás ... 24
6 Biometán és bioCNG előállító üzem méretezése ... 27
6.1 A tervezett üzem technológiai lépései és berendezései ... 27
6.2 Anyagáramok, méretezési alapadatok ... 27
6.3 Hulladék átmeneti tárolótér, keverőtér ... 28
6.4 Fermentorok mérete ... 28
6.5 Biogázhozam ... 29
6.6 Fermentációs maradék utókezelése ... 30
6.7 Biogáz technológia berendezések méretezése ... 30

6.7.1 Gázfáklya 30
6.7.2 Biogáz hűtés, víztelenítés 31
6.7.3 Kéntelenítés 31
6.7.4 Biogáz átmeneti tároló 32
6.7.5 Biogáz sűrítés és CO_2 leválasztás 32
6.8 CNG töltő technológiai berendezések 33
6.9 Hulladékszállító tehergépkocsik számának meghatározása 34
7 BioCNG üzemanyag SWOT analízis 35
8 Összefoglalás 38
9 Ábrák, táblázatok jegyzéke 39
10 Irodalomjegyzék 40

1. Bevezetés

A hulladékgazdálkodás során kiemelten szempont, hogy a keletkező és begyűjtött hulladék minél nagyobb része valamilyen módon hasznosításra kerüljön és minimalizáljuk a lerakásra kerülő részt.
Magyarországon évente átlagosan 4Mt települési szilárd hulladék keletkezik. Ennek a hulladékmennyiségnek átlagosan mintegy 40%-a biológiailag lebomló, szerves összetevő. Ennek a teljes anyagáramnak jelenleg azonban csak a 8-9%-a kerül komposztálásra, vagy valamilyen más biológiai úton történő lebontás útján hasznosításra.
A település szilárd hulladékban található szerves anyagok hasznosításával értékes, a földgázhoz hasonló fűtőértékű energiahordozó, biogáz nyerhető. Napjainkban a biogáz előállítására kifejlesztett technológiák lehetővé teszik, hogy a szerves hulladékok biológiai lebomlása során keletkező biogázt megtisztítva, a vonatkozó szabványoknak és jogszabályi előírásoknak megfelelő, a földgázzal fizikai és kémiai tulajdonságait tekintve egyenértékű biometán fűtőanyagot állítsunk el. A földgázzal megegyező paramétereinek köszönhetően a biometán széleskörűen felhasználható. A biometán megfelelő nyomásfokozás és szagosítás után akár a földgázhálózatba is betáplálható, vagy bioCNG, gépjármű üzemanyag állítható elő belőle.

A hazai hulladékgazdálkodást érintő fontos változás, hogy 2024. január 1-től kötelezően meg kell valósítani a háztartásokban keletkező biohulladék kommunális hulladékoktól elkülönített gyűjtését. Egyes becslések szerint ez 1-1,2 Mt elkülönítetten gyűjtött biohulladékot jelent majd évente, amely kezelése a jelenlegiekhez képest több és másfajta feladatot fog jelenteni. Ahhoz, hogy ennek az új hulladékáramnak a kezelése eredményes legyen, a jelenlegi 8-9%-os biológiai úton történő hasznosítási arányt jelentősen növelni kell. Ez komoly kihívás a jelenlegi hulladékkezelési rendszer számára, de egyben új piaci lehetőséget is teremt az energetikai hasznosítás területén.

Szakdolgozatomban a települési szilárd hulladékból nyerhető bioCNG üzemanyag előállításának kérdését vizsgálom meg. Bemutatom a biogáz előállításának, tisztításának és CNG üzemanyaggá történő átalakításának folyamatát.
Elvégzem egy meglévő települési szilárd hulladékáramra tervezett bioCNG előállító üzem méretezését, továbbá piaci, stratégiai szempontból megvizsgálom a bioCNG üzemanyagot.

2. Biogáz

2.1 A biogáz keletkezése, tulajdonságai

A biogáz különböző szerves anyagok anaerob környezetben történő lebomlása során keletkező gázelegy. A biogáz 45-70% metánt, 30-35% CO_2-t, vízgőzt, kis mennyiségben kénhidrogént és egyéb, a szerves bomlás során keletkező gázokat tartalmaz. A biogáz képződés folyamata a levegőtől elzártan, nagy mennyiségben, nedves közegben lévő szerves anyagok esetén spontán beindul, azonban a természetes úton történő biogáz képződés lassan megy végbe. Biogáz képződik a szerves anyag bomlása során a hulladéklerakókban, vízzel elöntött, lápos területeken, a szennyvíztisztítás során visszamaradó szennyvíziszapban és a kérődző állatok emésztőrendszerében.

Shirley 1677-ben fedezte fel a mocsárgázt. 1776-ban Volta megállapította, hogy ez a gáz éghető anyag, Dalton pedig 1804-ben kimutatta belőle a metánt. A világ első biogáztelepét 1856-ban az Indiában, egy lepratelepen helyezték üzembe. 1896-ban az angliai Exeterben már közvilágításra használták a biogázt. Az 1920-30-as években a szennyvíziszapok anaerob erjesztését kezdték el végezni, amivel ugyancsak biogázt lehetett nyerni. 1937-ben pedig már 7 német nagyvárosban működtek biogázzal üzemelő szemétszállító járművek.
(Bai, 2013)

2.2 A biogáz összetétele

A biogáz összetevői közül a metán és a CO_2 az üvegházhatású gázok közé tartoznak. Az üvegházhatású gázok a légkör olyan természetes eredetű alkotóelemei, melyek részben elnyelik a Föld felszíne által kibocsájtott hosszú hullámú sugárzást, azonban mennyiségük a légkörben jelentősen befolyásolja az éghajlati rendszer egyensúlyát. A légkörbe kerülő biogáz a jelentős metán és CO_2 tartalma miatt így nagy hatással van erre a folyamatra. A metán az üvegházhatás szempontjából több mint 20-szor hatékonyabb, mint a szén-dioxid és jelenleg a becslések szerint körülbelül 20%-kal járul hozzá az üvegházhatás növekedéséhez. Napjainkra a légkör metánszennyezésének csökkentése az egyik legfontosabb klímavédelmi kérdéssé vált.

A biogázok fűtőértéke átlagosan 22 MJ/m^3, összehasonlítva a tiszta metán fűtőértéke 39 MJ/m^3, a Magyarországon felhasznált, nagyrészt orosz forrásból származó földgáz átlagos fűtőértéke pedig 35 MJ/m^3. A földgáz és a biogáz összetételét az alábbi táblázat mutatja:

1. táblázat: Földgáz és biogáz összetétele

(Forrás: Szunyog, 2009 nyomán)

	2H minőségű földgáz – import	**2S minőségű földgáz – hazai kitermelés**	**Biogáz – háztartási hulladékból**
Metán CH_4	97,913	77,011	43,000
Szén-dioxid CO_2	0,054	15,775	31,000
Nitrogén N_2	0,804	3,196	23,000
Fűtőérték	35 MJ/m^3	27 MJ/m^3	22 MJ/m^3
Robbanási határ	5-15%	5-15%	6-12%

3. Települési szilárd hulladék

3.1 Települési szilárd hulladék meghatározása, keletkező mennyiségek

A települési hulladék a lakossági fogyasztás, az intézményi, kereskedelmi tevékenységből, vendéglátó működéből és a közterületek tisztításából keletkező hulladék. Összetétele, mennyisége nagyban függ a lakosság fogyasztói szokásaitól, az életszínvonaltól, de függ a település nagyságától vagy településen belül a jellemző beépítéstől is (családi ház, társasház). A települési hulladéknak két fajtáját különböztetjük meg, a települési szilárd hulladékot és a települési folyékony hulladékot.

A hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény alapján a háztartási és háztartási hulladékhoz hasonló hulladék: a háztartásban, ideértve a lakó-, üdülő, vagy hétvégi házas ingatlanban, valamint a háztartásokhoz tartozó közös használatú helyiségekben képződő vegyes és elkülönítetten gyűjtött hulladék, amely magában foglalja a papír- és kartonpapír-, üveg-, fém- és műanyaghulladékot, biohulladékot, fa- és textilhulladékot, csomagolási hulladékot, elektromos és elektronikus berendezések hulladékait, elem- és akkumulátorhulladékot, továbbá a lomhulladékot, így különösen a matracokat és bútorokat.

Az alábbi táblázat a 2015. és 2021. között a Magyarországon évente keletkezett és begyűjtött települési szilárd hulladék mennyiségi adatokat mutatja a főbb kezelési és hasznosítási eljárások szerinti bontásban.

2. táblázat: Települési szilárd hulladék mennyisége Magyarországon

(Forrás: Saját szerkesztés, EUStat (2023) közölt adatok alapján)

Magyarország TSZH Mt/év	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Keletkező hulladék	3 712	3 721	3 768	3 729	3 780	3 931	4 042
Kezelt hulladék	3 710	3 734	3 752	3 746	3 791	3 931	4 042
Lerakás	1 991	1 888	1 825	1 851	1 918	2 124	2 061
Égetés (nem energiatermelési céllal)	0	0	0	0	0	4	3
Energetikai hasznosítás	525	554	608	501	515	466	500
Újrahasznosítás (anyagában)	963	998	1 010	1 085	1 005	873	1 029
Komposztálás	231	294	309	309	353	384	382

Az adatokból kitűnik, hogy a keletkező összes mennyiség az elmúlt 7 év során, évenként kis mértékben emelkedve, napjainkra elérte 4Mt/év értéket. A 2015. évhez képest 2021-re a hulladék mennyisége csak 8,8%-kal nőtt, úgy hogy ezen időszak alatt a lakosság összes fogyasztása több mint kétszer ekkora arányban, 20% feletti mértékkel emelkedett. A hasznosításra kerülő hulladékok közül az energetikailag hasznosított arány kis mértékben csökkent, az anyagában történő újrahasznosítás 6,8%-kal, a biológiai úton történő hasznosítás pedig több mint 65%-kal nőtt.

Az utóbbi évek során történt jelentős növekedés ellenére a biológiai hasznosítás aránya hazánkban még a 10%-ot sem éri el, szemben az EU 27 tagországának átlagos 19,2%-os értékével.

3.2 Települési szilárd hulladék gyűjtése

A települési szilárd hulladék gyűjtése hazánkban a legjellemzőbb módszer az elhordásos gyűjtés. Ennek három fajtáját különböztethetjük meg. Az ürítéses, cserekonténeres és zsákos rendszer. A hulladék begyűjtése és elszállítása valamilyen arra alkalmas gyűjtőjárművel történik. Ez a jármű a gyűjtési mód függvényében többféle felépítménnyel rendelkezhet. A hazánkban legelterjedtebb módszer az ürítéses rendszer. A gyűjtést végző jármű előre meghatározott útvonalon és ütemterv szerint keresi fel az egyes ingatlanokat, ahol a közterületre elhelyezett hulladékgyűjtő edényeket a gyűjtőjárműbe ürítik. A jármű telítődése után a hulladékot a hulladéklerakó telepre szállítja, és ott kiüríti azt. Az egy jármű által begyűjthető napi hulladékmennyiséget nagyban befolyásolja a településszerkezet, a település és a hulladéklerakó közötti távolság, valamint a forgalmi viszonyok.

A tárolóedények mérete az ürítések között eltelt időben keletkező hulladék mennyiségének függvényében választható meg.

Zsákos rendszerű gyűjtést általában időszakosan lakott területeken (üdülőterület) alkalmaznak, mivel itt csak az év egy meghatározott időszakában képződik nagyobb mennyiségben hulladék. Ennél a gyűjtési módnál nem kell speciális célgép a gyűjtéshez, illetve ehhez való gyűjtőedények sem, így kisebb költséggel, gazdaságosan megvalósítható a rendszer. A hulladékot lezárt zsákokban helyezik ki és az elszállítása ezekben a zsákokban történik meg. A megtelt és kihelyezett zsákok elszállítását rövid időn belül el kell végezni.

Cserekonténeres rendszer esetén, a közterületen elhelyezett, nagyobb méretű konténerbe történik a hulladék összegyűjtése. Ezt a megtelt gyűjtőkonténert szállítják el a későbbiekben, és ezzel egy időben egy üres konténer kerül kihelyezésre. Az ilyen módszerrel megszervezett gyűjtéshez szintén nem szükséges speciális célgép. Elegendő lehet egy platós, önrakodó daruval rendelkező tehergépkocsi is. A másik két rendszerhez hasonlóan ez is pormentes, higiénikus rendszer. Hátránya, hogy a hulladék eljuttatása a konténerig előmunkát és külön szervezést igényel.

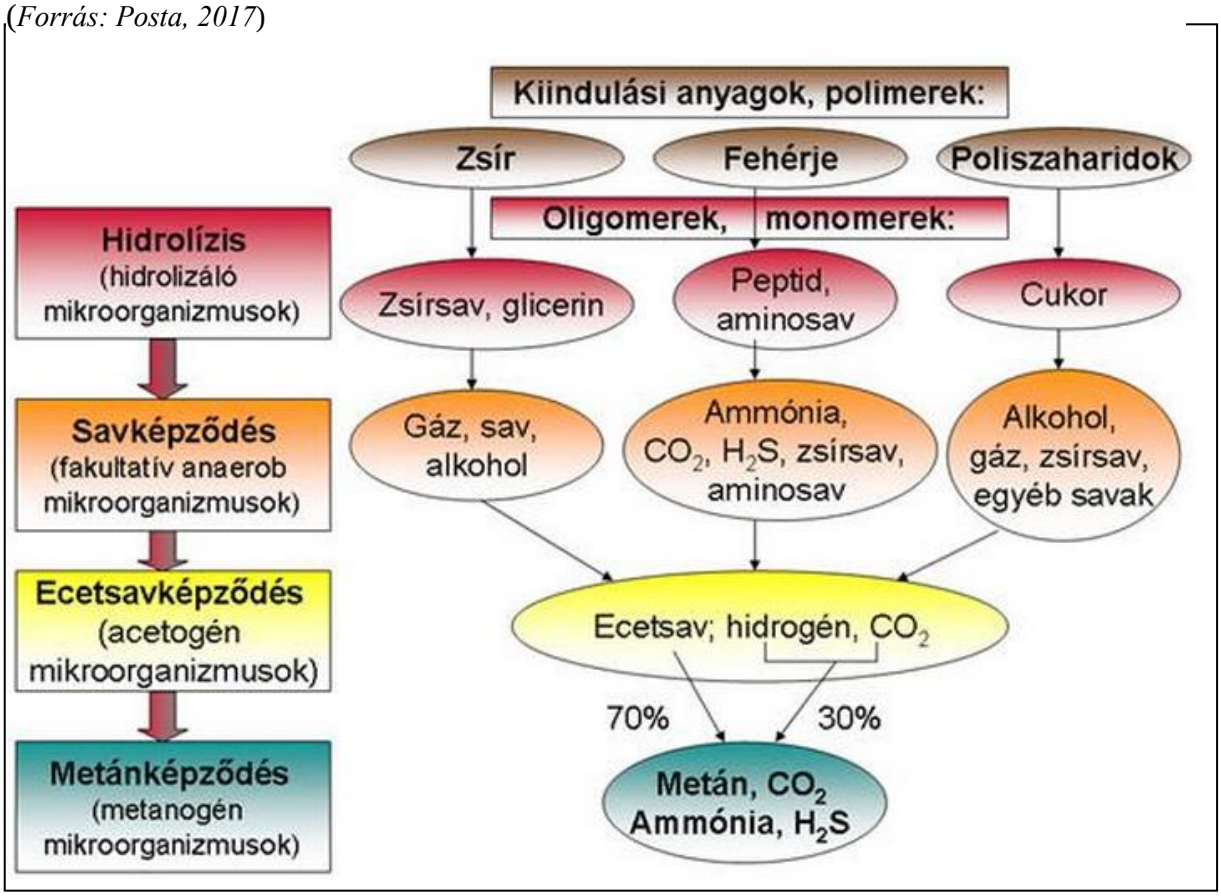
(Antal, 2017)

4. Biogáz előállítás

4.1 Biogáz előállítás folyamata

A szerves anyag lebomlása során a biogáz képződés folyamata négy, egymásra épülő szakaszra bontható, amelyet az alábbi ábra szemléltet:

1. ábra: Biogázképződés folyamata
(*Forrás: Posta, 2017*)



A szerves anyagok anaerob lebontásának első szakasza a hidrolízis, mely során a biohulladék nagy molekulájú szerves vegyületeit - szénhidrátokat, fehérjéket és zsírokat – baktériumok egyszerűbb vegyületekre (zsírsavakra, aminosavakra, cukrokra) bontják.

A második fázis egy savas-fermentációs folyamat, amelyben a hidrolízis során keletkezett anyagok tovább bomlanak szerves savakra (ecetsavra, propionsavra, vajsavra), valamint kis molekula tömegű alkoholokra, aldehidekre illetve hidrogénre, szén-dioxidra és egyéb gázokra (például ammóniára, kénhidrogénre).

A folyamat harmadik szakasza az acetogenezis. Ebben a szakaszban az acetogén baktériumok anyagcseréjével ecetsav, hidrogén és szén-dioxid keletkezik. A folyamat negyedik fázisa a metán-képződés, a metanogenezis. Ennek során a metántermelő mikroorganizmusok egy része a szerves savakat metánná, szén-dioxiddá és vízzé bontja le, míg egy másik csoportjuk a lebontás során keletkező szén-dioxid egy részét az acetogének által termelt hidrogén felhasználásával alakítja át metánná.
(Posta, 2017, Galyas – Szunyog, 2018)

4.2 Biogázképződést befolyásoló tényezők

A termelődő biogáz metántartalma több tényezőtől függ. Legfontosabb ilyen környezeti tényező a hőmérséklet, de a folyamat szempontjából kritikus környezeti tényező még a tápanyag-ellátottság, a nedvességtartalom, a kémhatás és a toxikus anyagok esetleges jelenléte. A fermentálandó anyag szemcsemérete, alakja, szemcseösszetétele, eloszlása és a szemcsék egyéb fizikai jellemzői szintén hatással vannak a folyamatra.

Hőmérséklet

A folyamat hőmérséklete alapján megkülönböztetünk pszikrofil, mezofil és termofil erjesztést. A pszikrofil erjesztés során a hőmérséklet 5-15 °C közötti, a mezofil eljárás során az optimális hőmérséklet 30-35°C között, termofil eljárásnál pedig 50-65°C között van. Az egyes eljárások során más-más baktériumcsoportok végzik a lebontást. Az egyes eljárásokhoz tartozó ideális hőmérséklethez képest túl alacsony, vagy túl magas hőmérséklet hatására, vagy nagyobb hőingadozás esetén a lebontás időtartama erősen megnő, és nagymértékben lecsökkenti a biogázhozamot. A termofil baktériumok érzékenyebbek a hőmérséklet változására, mint a mezofil fajok.

Tápanyag

A biogáztermelés egyik meghatározó tényezője a lebontásra kerülő szerves anyagok szén- és nitrogén-tartalma, illetve azok egymáshoz viszonyított aránya (C/N arány). Az anaerob baktériumok a szenet kb. 30-szor gyorsabban fogyasztják el, mint a nitrogént, így az optimális C/N arány 30:1. Az optimális C/N arány eltolódása esetén az alacsony nitrogéntartalom gátolja a szén feldolgozását, ha a nitrogén teljesen elfogy, a baktériumok elpusztulnak. A magas

nitrogéntartalom mellett pedig az ammónia-termelődés a fokozódik, ami akadályozza a metánképződést.

Nedvesség és szárazanyag tartalom

Az anaerob folyamat során lebontandó hulladék szárazanyag tartalma 0,1% - 35 % között mozoghat. A szárazanyag tartalom alapján különböző folyamat típusokat különböztetünk meg.

3. táblázat: Fermentációs eljárások típusai a szárazanyag tartalom alapján
(Forrás: Posta, 2017 nyomán)

Szárazanyag tartalom (%)	Eljárás típusa
0,1 – 5	nedves
5 – 15	szuszpenziós
15 – 20	félszáraz
20 – 35	száraz

Kémhatás

A lebontást végző mikroorganizmusok a semleges körüli kémhatás mellett szaporodnak optimális sebességgel és fejtik ki hatásukat a legkedvezőbben. Az anaerob lebontás közegének kémhatása enyhén lúgos, pH= 7-8 között optimális.
A közeg kémhatására az anaerob lebontásban résztvevő mikróba fajok közül a metanogén baktériumok a legérzékenyebbek. Ha a savképző szervezetek gyorsabban állítják elő a szerves savakat, mint ahogy azt a metanogének átalakítják metánná, a metántermelés lassulását, a kémhatás nagymértékű csökkenése, a közeg savasodása pedig akár a teljes folyamat leállását eredményezi. A túlzott savasodás megszüntetése bázikus anyagok hozzáadásával lehetséges.

Toxikus anyagok

A toxikus anyagok jelenléte bizonyos koncentráció felett gátolja a fermentációs folyamatot. A kénhidrogén, ammónia, klórozott szénhidrogének, aromás vegyületek, zsírsavak, az alkáli- és alkáli-földfémek, a nehézfémek és a cianidok koncentrációtól függően egyaránt gátló hatásúak vagy toxikusak az anaerob lebontási folyamatokra. A toxikus anyagok közül különösen veszélyesek az erős baktériumölő és gombaölő szerek. A fermentáció során keletkező salakanyagok felszaporodása is gátló hatást fejthet ki. A fermentorba esetlegesen bejutó fény szintén erősen gátló hatású.

Szemcseösszetétel

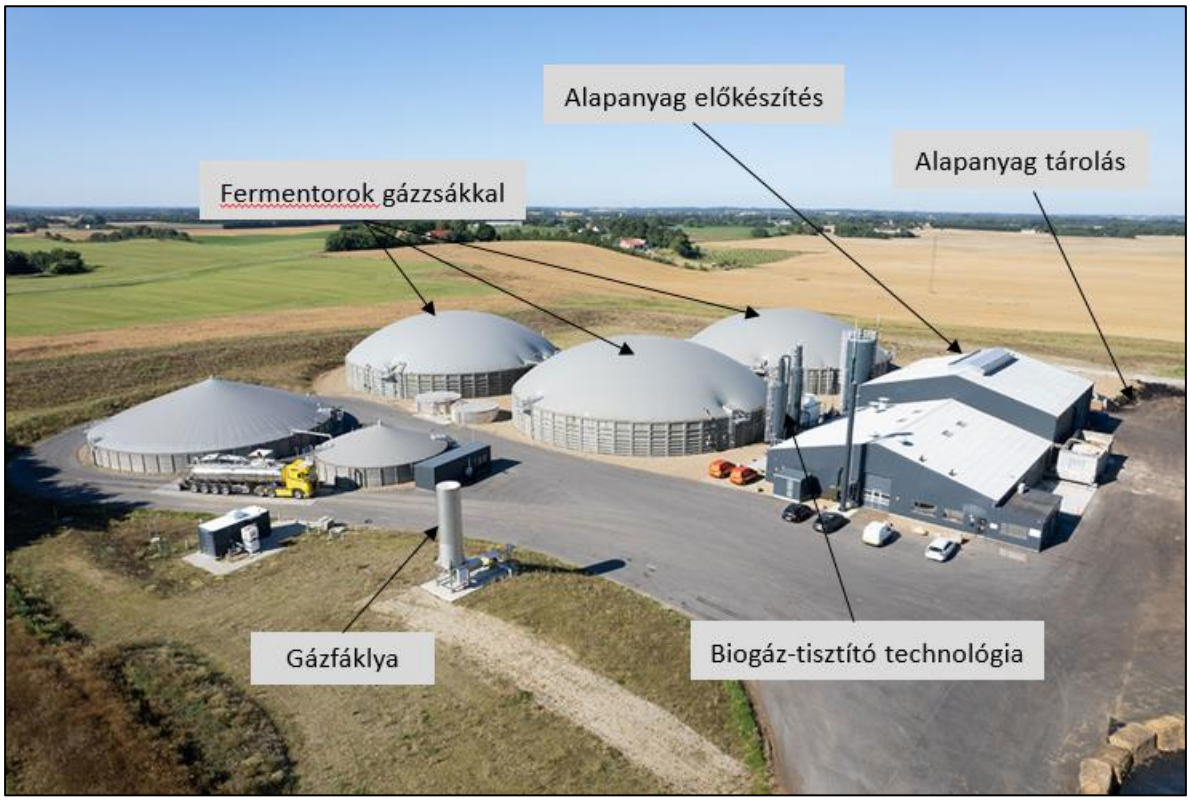
Az anyag szemcseméret, a szemcsék felületének roncsoltsága és a szemcseméret-eloszlása határozza meg a reakcióban résztvevő érintkezési felület nagyságát. A finom szemcseméret (< 50 mm) és az egyenletes eloszlás kedvező az anyagok kezelése és a fermentor üzemeltetése szempontjából. A szemcsék minél strukturáltabb felülete az ideális, ezért a fermentálandó anyag előkészítése során a tépett felület előállítása a cél. A szárazfertmentációs eljárás során az optimális szemcseméret 40-80 mm között van, mivel ezzel a szemcseméretel biztosítható leginkább a minél nagyobb fajlagos felület.
(Bai, 2011, Posta, 2017, MVM belső szakértői tanulmány, 2022)

4.3 Biogáz termelés technikai-technológiai eszközei

A biogáz előállítási technológiát az előállító létesítmény, a benne üzemelő technikai rendszerek és ezek elemei alkotják. A technológiai rendszer fő elemei:

- alapanyag tároló, előkészítő és homogenizáló berendezések
- anyagmozgató gépek és berendezések (alapanyag, fermentálási maradék)
- erjesztő berendezés, fermentor
- gáztisztító és kondicionáló berendezések
- komprimáló berendezés
- gáztároló
- folyamatszabályozó és felügyelő berendezések
- biztonsági berendezések

2. ábra: Biogázüzem technológiai elrendezése
(Forrás: Saját szerkesztés, http1 közölt kép alapján)



4.3.1 Alapanyag tárolás és előkészítés

A szilárd hulladékok előkészítési eljárási folyamata az aprítás, a mágnesezhető és nem mágnesezhető fémek, inert anyagok leválasztása és a hulladékanyag méret szerinti frakciókra bontása. A fermentálásra előkészített száraz hulladékanyag tárolása történhet nyitott, félig zárt, vagy zárt térben. Az így tárolt hulladékból keletkező csurgalékvíz gyűjtését meg kell oldani, hogy az ne kerülhessen a talajvízbe, vagy élővízbe.

4.3.2 Fermentorok

A fermentorokban megy végbe a biogáz képződés folyamata. Ezekben kell a biogázképződéshez optimális környezeti feltételeket biztosítani. A fermentortér kialakítása lehet vízszintes és függőleges, készülhetnek fémből, vagy vasbetonból. A folyamatos üzemű biogáz üzemek vasbeton falú, függőleges elrendezésű fermentorokat alkalmaznak.

A folyamatos üzemmódú fermentorokban az üzemelés során a nagy sűrűségű szilárd részek kiülepednek, amit időszakonként el kell távolítani. A folyamatos biogáztermeléshez több fermentort célszerű üzemeltetni.

A biogáz termelődés endoterm folyamat, ezért a fermentorok megfelelő fűtéséről gondoskodni kell. A fűtést a fermentortérbe épített fűtőcsövekkel lehet biztosítani. A fűtéshez szükséges hőt a helyben biogáz elégetéséből lehet kinyerni. Energiahatékonysági szempontok miatt a fermentorok külső falát hőszigetelő réteggel kell ellátni.

4.3.3 Gáztárolók

A keletkező biogáz gyűjtésére és átmeneti, felhasználást megelőző tárolására gáztorolók szükségesek. Kisebb biogáz mennyiségek esetén erre elegendő lehet a fermentortér szabad térfogata, illetve a fermentortér fölött elhelyezett gázzsákok. Nagyobb mennyiségek esetén külön gáztároló műtárgyak építése szükséges. Ezek általában kettős falú berendezések, ahol a külső fal a mechanikai igénybevételtől véd, a belő fal pedig gáztömör zárást biztosítja. Ezekben a biogáz tárolása a légköri nyomáshoz közeli nyomáson történik.

Lehetséges nagyobb nyomásra is komprimálni a biogázt és így megoldani az átmeneti tárolást, azonban ez az eljárás csak akkor alkalmazható gazdaságosan, amennyiben a biogáz további kezelési és felhasználási technológiája egyébként is szükségessé teszi a nagyobb nyomást.

4.3.4 Gáztisztító berendezések

A biogáz a metán mellett a felhasználhatóságát befolyásoló egyéb összetevőket is tartalmaz (vízgőz, széndioxid, kénhidrogén). Ezeket az összetevőket a felhasználás előtt el kell távolítani a biogázból. A vízgőz és a kénhidrogén eltávolítása korrozív hatásuk miatt szükséges. Az alkalmazott biogáz tisztítási eljárások függenek a biogáz összetételétől, a termelt biogáz mennyiségétől, illetve attól, hogy a biogázt milyen célra, milyen berendezésben kívánjuk hasznosítani. A legmagasabb fokú tisztítást a földgázhálózatba történő betáplálásra kerülő biogáz igényli és egyben itt a legszigorúbbak a gázminőségi paraméterek betartására vonatkozó előírások.

4.3.5 Anyagáramlás és –továbbítás

A biogázüzem technológiájától, illetve a fermentálandó anyag szárazanyag tartalmától függően, alacsonyabb szárazanyag tartalom mellett lehetséges az alapanyagok csővezetéken történő

továbbítása. Magasabb szárazanyag tartalom mellett az alapanyagok továbbítására, keverésére és fermentortérbe juttatására valamilyen kanállal rendelkező rakodógépre van szükség.

4.3.6 Mérő- és szabályozó berendezések

A biogáz üzemek működését számítógépes folyamatszabályozó rendszer felügyeli. A rendszer folyamatosan adatokat gyűjt, elemez és információt szolgáltat a keletkező biogáz mennyiségéről, összetételéről, a gáztárolók telítettségéről, a gáztisztító berendezések üzeméről. A folyamatszabályozó rendszer a fűtés szabályozásával felügyeli a fermentortér hőmérsékletét, vezéreli a technológia szerinti keverési, betáplálási és ürítési ciklust.

A szabályozó rendszer elemei az áramlás-, nyomás-, és hőmérsékletmérők, metánérzékelők, gázanalizátorok, mennyiségmérők, szabályozó szelepek és szerelvények.

4.3.7 Biztonsági berendezések

A biogáz a levegővel 6-12% térfogatkoncentrációs tartományban robbanóképes elegyet képez, amely akár egy elektromos szikra hatására is berobbanhat. A beépített eszközöknek, elektromos berendezéseknek ezért robbanásbiztos kivitelűeknek kell lenni. Az üzem területén elhelyezett metánérzékelő szenzorokat a szabályozó rendszer felügyeli és megnövekedett metán koncentráció esetén riasztást küld a kezelők részére.

Fontos biztonsági berendezés az automata üzemű gázfáklya, amely egy előforduló üzemzavar esetén biztosítja a termelődő biogáz biztonságos elégetését, hogy az ne kerülhessen a környezetbe és ne alakulhasson ki a levegővel keveredve robbanóképes gázelegy. A gázfáklyát a biogáztelep távolabbi részén, a fermentoroktól, az üzemi épületektől megfelelő védőtávolsággal kell elhelyezni.

(Kalmár, 2017)

4.4 Biogáz hasznosítás

Fáklyázás

A hulladéklerakó depóniákban keletkező biogáz légkörbe jutását, valamint a biogáz és a levegő keveredésével létrejövő robbanóképes gázelegy keletkezését előzzük meg a biogáz hulladékdepónián belüli összegyűjtésével és szabályozott körülmények között, gázfáklyán történő elégetésével. Ebben az esetben nem történik meg a biogáz energiatartalmának

hasznosítása. Az eljárás biztonsági és levegőminőség-védelmi célokat szolgál. A gázfáklya más biogáz előállítási hasznosítási technológiákhoz kapcsolódóan is alkalmazásra kerül, mint fontos biztonsági berendezés.

Biogáz tüzelésű hőtermelő berendezések

A biogázt a keletkezési helyén, vagy annak közelében, tisztítási eljárás nélkül, elégetéssel hőtermelésre hasznosítjuk. Az így nyert hőenergiát jellemzően a biogáz technológiai berendezések fűtésére, továbbá a telephelyen lévő épületek fűtésére, egyéb technológiai hőigények kielégítésére és használati melegvíz előállításra használjuk fel.

Gázmotor

A gázmotor egy belső égésű motor típus. Felépítése, működése elve megegyezik a hagyományos Otto-motorokéval. Az eltérés, hogy benzin helyett földgáz, vagy biogáz elégetésével termel energiát. A gázmotorok nagy sorozatban gyártott járműmotorokból kerültek kifejlesztésre. A gázmotorok széles teljesítménytartományban érhetőek el. Egészen kis mérettől és teljesítménytől, ami akár néhány 10kW lehet, egészen a több MW teljesítményű berendezésekig. Előbbiek egy háztartás teljes energiaellátását biztosíthatják, utóbbiak pedig akár nagyobb erőművek villamosenergia termelő berendezései is lehetnek. Az eltérő üzemanyag –más égési jellemzők, nagyobb egységnyi energiatartalom– miatt a hagyományos benzinmotorokhoz képest némi szerkezeti változtatás szükséges a gázmotoroknál.

1. fénykép: Gázmotoros kiserőmű
(Forrás: http2)

A gázmotor elsődlegesen a hozzá kapcsolt generátort meghajtva villamos energiát állít elő. Egy hulladéktelepen üzemelő gázmotor által termelt villamos energia elsősorban a telep villamosenergia igényét fedezheti, de megfelelő hálózati kapcsolat megléte mellett lehetséges a többlettermelés betáplálása a közcélú villamosenergia hálózatba. Az így előállított villamosenergiára, mint zöld energiára, kedvezőbb átvételi szabályozások vonatkoznak. A gázmotorok üzemük során jelentős mértékben termelnek hőt. Ez a hulladékhő szintén hasznosításra kerül. Hulladékhő keletkezik a motor hűtési és kenési rendszerében. A hűtővízből, illetve a kenőolajból a hőt hőcserélőkön keresztül kinyerve fűtésre, használati melegvíz előállításra lehet használni. További, jelentős mértékű hőenergiával rendelkezik a motor kipufogógáza is, amely szintén hőcserélőn keresztül hasznosítható, a motor hűtési rendszeréből nyert hővel azonos célra.

A villamos energiával ellentétben a hő felhasználása gazdaságossági szempontok alapján szinte kizárólag az adott telephelyen belül kerül sor.

A gázmotor folyamatos üzeme miatt a nyári időszakban gondot jelenthet a termelődő hő hasznosítása. Ilyen esetben, nyári időszakban a melegvíz előállítása mellett a termelt hő abszorpciós hűtőberendezés alkalmazásával a telephely épületeinek hűtésére használható.

Egy gázmotor villamos hatásfoka 20-25% között van, az összhatásfoka, hűtés-fűtéssel együttesen elérheti a 85-95%-ot.

Az autókat hajtó benzinmotorokhoz képest, ahol a motor változó fordulatszámon, változó teljesítménnyel és szakaszosan üzemel, a gázmotor közel állandó fordulatszámon, azonos terhelésen, folyamatosan működik. Élettartama ezért többszöröse egy gépjárműben használt motorhoz képest.

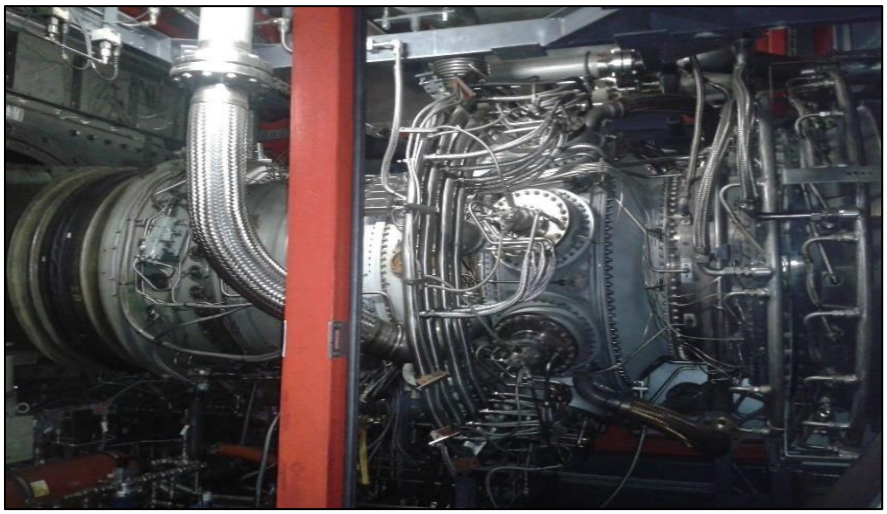
A gázmotorok leállítása csak karbantartás, javítás idejére szükséges, amely az egyéb technológiák karbantartásának időpontjához igazítható.

Gázturbina

A gázturbina működése során, a turbina égésterében nagy nyomású és nagy sebességgel áramló levegővel kevert üzemanyagot elégetve, a nagy nyomású égéstermék tengelyre szerelt turbinalapátok között halad keresztül, ezzel meghajtva azt. A turbina meghajtja a légsűrítő kompresszort, ami az égéshez szükséges levegőt juttatja be és sűríti az égéstérben. A gázturbina tüzelőanyaga lehet földgáz vagy biogáz is. A turbina tengelyén létrejövő forgási energia

egyrészt a beszívott levegő sűrítésére, a kompresszor hajtására fordítódik, másrészt meghajthatja a tengelyhez kapcsolt villamos generátort.

2. fénykép: Földgáz üzemű gázturbina
(Forrás: Szerző saját felvétele)



Hasonlóan a gázmotorokhoz a gázturbinák is széles méret és teljesítménytartományban érhetőek el. A gázturbinák esetében a megtermelt villamos áram mellett az égéstermékek hőenergiája is hasznosításra kerül, fűtés, melegvíz ellőállítás illetve hűtés céljaira. A gázturbina hatásfoka folyamatos üzem mellett a legmagasabb, így elsősorban olyan helyen célszerű üzembe állítani, ahol a tüzelőanyag ellátás (biogáz) folyamatosan rendelkezésre áll, illetve a hőhasznosítás is minél nagyobb arányban megtörténik.

A gázturbinák tüzelőanyagaként felhasznált biogáznak a gázmotorokban hasznosítotthoz megfelelő minőségi paraméterekkel kell rendelkezniük. A turbina szerkezeti kialakításától függően használható eltérő összetételű gázok esetén is.

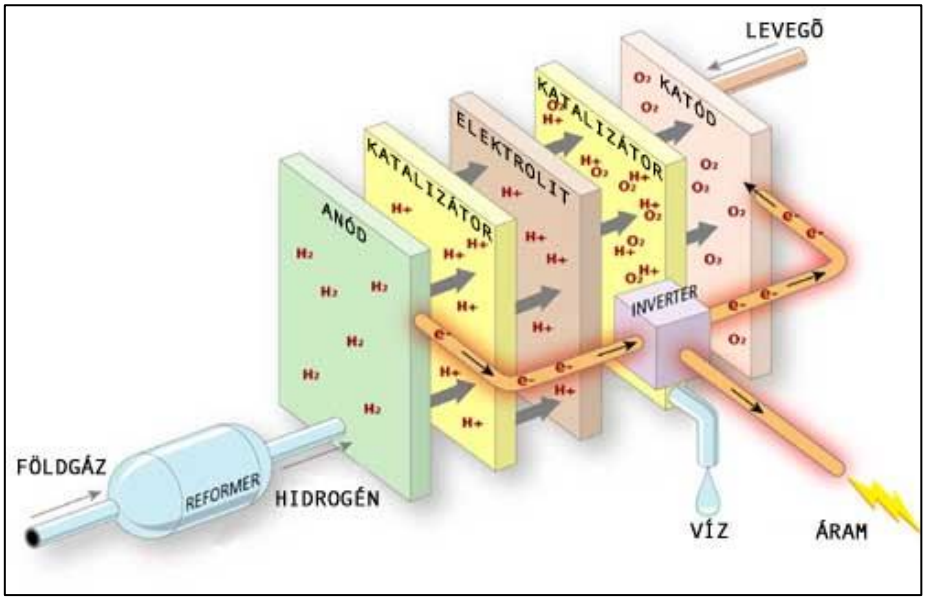
Üzemanyagcella

Az üzemanyagcellák vegyi reakciókkal közvetlenül elektromosságot állítanak elő. A szerkezet alapegysége két elektródából áll egy elektrolit köré szendvics szerűen préselve. Az anódon hidrogén, míg a katódon oxigén halad át. Katalizátor segítségével a hidrogénmolekulák protonokra és elektronokra bomlanak. Az elektronok áramlása – mielőtt elérné a katódot – felhasználható elektromos fogyasztók működtetésére. A katódra érkező elektronok a katalizátor

segítségével egyesülnek a protonokkal és az oxigénmolekulákkal vizet hozva létre. A folyamat során hő is termelődik.

Az üzemanyag-átalakítót tartalmazó rendszerek képesek felhasználni bármely szénhidrogén tüzelőanyagot, beleértve a földgázt, biometánt.

3. ábra: Üzemanyagcella működési elve
(Forrás: http3)



Földgázhálózati betáplálás

Megfelelő tisztítási eljárások után -CO_2 leválasztás, kéntelenítés, vízgőz eltávolítása– a biogázból biometán állítható elő. A biometán így már a földgázzal megegyező tulajdonsággokkal rendelkező energiahordozó, ezért a földgázhálózatba történő közvetlen betáplálása is lehetséges. A betáplálás feltétele még, hogy a biometán minősége mindig megfeleljen a földgázra vonatkozó szabványokban előírt értékeknek (fűtőérték, szennyezőanyag tartalom, stb.).

A földgáz minőségét az MSZ 1648:2000 szabvány határozza meg. A földgázhálózatba történő betápláláshoz biztosítani kell a szabványnak történő mindenkori megfelelését. A betáplálási pont előtt mérni kell a gáz minőségi paramétereit, a gázösszetételt, amelyből számítani kell a fűtőértéket, égéshőt, Wobbe-számot, relatív sűrűséget (az adott állapotú gáz és ugyanazon állapotú levegő sűrűségének hányadosát), víztartalmat (vízharmatpontot); kéntartalmat; szénhidrogén-harmatpontot.
A gázösszetétel meghatározását gáz kromatográffal történik. Ez a berendezés a gázáramból meghatározott időközönként vett mintát elemzi és elvégzi a gáz minőségének meghatározását.

Nem megfelelő összetétel esetén a gázhálózati betáplálást fel kell függeszteni, mindaddig, amíg a biogáz összetétele ismételten megfelelő lesz a földgázra vonatkozó szabványnak.
Az elosztó rendszerbe történő betáplálás esetén a biometán égéshője az aktuális gázévre a MER-ben („A földgázszállító rendszer átadás-átvételi pontjainak földgáz minőség elszámolási rendje", melyet az FGSZ Zrt. a honlapján publikál) meghatározott égéshőtől maximum 5%-kal térhet el. A biometán fűtőértékének szabályozása, javítása nagyobb fűtőértékű földgáz, vagy porpán bekeverésével történhet.

A földgázhálózatba csak szagosító anyaggal kevert biometán táplálható be, ezért betáplálás esetén a megfelelő összetétel és fűtőérték mellett gondoskodni kell a gáz szagosításáról is. A biometán szagosítására a földgáz szagosításánál használt tetrahidrotiofén és a terc-butil-merkaptán gázok fele-fele arányú keveréke alkalmazandó. A hálózatba kerülő biometán megfelelő szagosítóanyag tartalmának ellenőrzése történhet érzékszervi úton, vizsgálócsővel átkalibrált SULFIWARN műszerrel, vagy kénérzékeny kromatográffal. A biometánba adagolt szagosítóanyag mennyisége 13,3-16 ml/em^3.
Földgázhálózatba történő betáplálási gáznyomásról és hőmérsékletről, a betáplált biometán elszámolási feltételeiről, továbbá a földgázhálózatot üzemeltető társaság felé történő adatszolgáltatás rendjéről a biogáz termelővel kötött szerződés.

A földgázhálózati betáplálásra alkalmas biometán előállításának költségeit jelentősen megemeli a tisztítási technológia és az állandó, földgázminőséget elérő biogázminőség biztosítását szolgáló technológia létesítésének és üzemeltetésének költsége. Magyarországon ilyen, biometán gázhálózati betáplálás történik a Kaposvári Cukorgyár esetében.

(Szunyog, 2009, Horánszky, 2010, Köteles, 2018, http4)

CNG üzemanyag

A földgáz minőségre tisztított biometán további felhasználási lehetősége a nagy nyomáson sűrített CNG (Compressed Natural Gas) üzemanyag. A CNG 220-250 bar nyomásra sűrített üzemanyag. Használható személygépkocsik, autóbuszok és teherautók üzemanyagaként. A CNG üzemre alkalmas járművek mellett elérhetőek a kettős üzemű, CNG mellett benzinnel is üzemelő járművek. A CNG üzemanyag előnye, hogy sokkal tisztább üzemű működés érhető el, mint a benzin, vagy dízel üzemű járművekkel. A gázüzemű járművek CO_2 kibocsátási értéke 80-100 g/km, de a kipufogógázban lévő CO_2 NO_x, és PM koncentrációja is jelentősen alacsonyabb a benzin vagy dízel üzemnél.

4.5 Biogáz előállítás, hasznosítás jogszabályi keretek

A földgáznak megfelelő minőségű biogáz értékesítésére, rendszerbe történő betáplálására vonatkozó szabályozásokat a földgázellátásról szóló 2008. évi XL. Törvény (GET) tartalmazza.

A GET. 3.§ 26. szerint a biogáz földgáz minőségű, biomasszából és egyéb nem bányászati forrásból származó gázok: olyan mesterségesen előállított gázkeverékek, amelyek a földgázellátásról szóló törvény rendelkezéseinek végrehajtásáról szóló jogszabályban meghatározott feltételek mellett, környezetvédelmi és műszaki-biztonsági szempontból megfelelő módon az együttműködő földgázrendszerbe juttathatók (szállíthatók, eloszthatók és tárolhatók), a földgázzal keverhetők, és ez a keverék a földgázrendszerbe juttatáskor megfelel a földgáz minőségére vonatkozó a földgázellátásról szóló törvény rendelkezéseinek végrehajtásáról szóló kormányrendeletben meghatározott minőségi követelményeknek.

„Amennyiben a biogázt termelő gazdálkodó szervezet üzletszerűen tevékenykedik, akkor a földgázbányászati tevékenységet végző vállalkozással azonos jogok illetik meg. A földgáztermelőkön belül a biogáz termelők csatlakozási kérelmét kiemelten kell kezelni (GET 70. §)

A földgázellátásról szóló 2008. évi XL. Tv. egyes rendelkezéseinek végrehajtására kiadott 19/2009. (I. 30.) Kormányrendelet (Vhr.) alapján a biogáz termelőre is a földgáztermelőkre vonatkozó szabályokat kell megfelelően alkalmazni (Vhr. 72. §)

Szintén ezen rendelet alapján a biogáz kereskedelmi célú előkészítése során –melyhez a szükséges technikai feltételeket a Vhr. 68. § (3) bek. alapján a biogáz-termelő biztosítja– legalább az alábbi főbb paramétereket kell szabályozni. A földgáztermelő a szállító- vagy az elosztóvezeték átadás-átvételi pontján a földgáz tisztításának, szagosításának, mennyiségének, nyomásának, hőmérsékletének, összetételének és fűtőértékének mérésére alkalmas mennyiségmérő és minőségellenőrző eszközöket köteles üzemeltetni. A mennyiségmérő és minőségellenőrző berendezések mindenkor meg kell, hogy feleljenek a mérésekre vonatkozó előírásoknak.

A legfontosabb a biogáz földgázhálózatba történő betáplálása esetén, hogy a gáznak meg kell felelnie a földgáz minőségi követelményeinek, az MSZ 1648:2016 szabvány, illetve a Vhr. előírásainak is (Vhr. 11. számú melléklete).

A villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény (VET) nevesíti és a következőképpen definiálja a megújuló energiaforrásokat: „Megújuló energiaforrás: nem fosszilis és nem nukleáris energiaforrás, amelyből nap-, szél-, légtermikus, geotermikus, hidrotermikus energia, vízenergia, biomasszából nyert energia - beleértve a biogázból (hulladéklerakóból, illetve szennyvízkezelő létesítményből származó, valamint az egyéb szerves anyagokból előállított éghető gázból) nyert energiát - állítható elő”

A VET 11. § szerinti meghatározott kötelező átvétel a megújuló energiaforrásból termelt villamos energia kötelező átvételi és prémium típusú támogatásáról szóló kormányrendelet szerinti kötelező átvételi áron történik. Szintén ezen Tv. alapján a megújuló energiaforrások felhasználásával történő villamosenergia-termelést lehetővé tevő új beruházások ösztönzésére, vagy biomassza vagy biogáz felhasználásával történő villamosenergia-termelés fenntartásának ösztönzésére prémium típusú támogatás nyújtható

Külön rendelet szabályozza a megújuló energiaforrásból vagy hulladékból nyert energiával termelt villamos energia, valamint a kapcsoltan termelt villamos energia kötelező átvételi rendszerét és átvételi árait (389/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet.

(Filyó – Olajos, 2013)

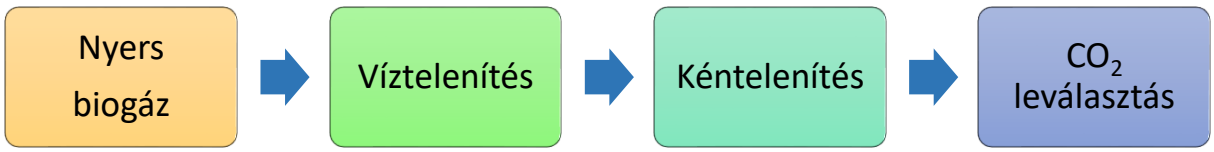
5. Biometán előállítás

Az előállított biogázból több fázisban, különböző tisztítási eljárásokkal le lehet választani az egyéb gázokat, ezzel a biogáz metántartalma dúsul és elérhető, hogy a biogáz metántartalma a földgáz metántartalmával megegyező legyen. A biogázból így előállított gázt biometánnak nevezzük. A biometán már alkalmas földgáztüzelésre kialakított berendezésekben történő felhasználásra, gázhálózati betáplálásra –szagosítást követően–, vagy komprimálással CNG gépjármű üzemanyagnak.

A biogáz tisztítási eljárás három fázisból áll:

- víztelenítés
- kéntelenítés
- CO_2 leválasztás

4. ábra: Biogáz tisztítási folyamat lépései
(Forrás: Szerző saját szerkesztés)



5.1 Víztelenítés

A fermentorban előállított biogáz magas víztartalommal rendelkezik, gyakorlatilag 100%-ban telített vízpárával. Az első tisztítási lépés a víz eltávolítása a biogázból. Ez azért szükséges, mert a víz a biogázban lévő kénhidrogénnel reakcióba lépve kénsavat alkot, ami korrozív hatású és technológia fém berendezéseit károsíthatja.

$$\mathbf{H_2S + 4H_2O = H_2SO_4 + 4H_2}$$

Másrészről pedig a víztelenített gázzal kisebb tömegáramokat kell mozgatni.
Legegyszerűbb víztelenítési eljárás, hogy a biogáz csővezetéken történő továbbítása közben lehül és a benne lévő vízgőz a vezeték falán kicsapódik. A vezetékben kicsapódó vizet ezután gravitációs úton összegyűjtik. Ez a legolcsóbb víztelenítési eljárás, de a hatásfoka nem a legjobb. Az eljárás hatásfoka nagyban függ a biogáz és a mindenkori környezeti hőmérséklet különbségétől, illetve az ilyen technológia tervezésénél figyelembe kell venni a fagyveszélyt és a megfelelő lejtési viszonyok kialakítását a vezetékekben.
Ugyanezen elven, a vízgőz kondenzációján alapul az az eljárás, ahol a biogázt valamilyen módszerrel közvetlenül hűtik, a kicsapódott vízgőzt pedig gravitációs úton gyűjtik és elvezetik. Ez jobb szárítási hatásfokú eljárás, de külső energiabevitelt igényel és a kialakításánál szintén tekintettel kell lenni a fagyveszélyre és a vezetékekben a megfelelő lejtési viszonyok kialakítására.
A vízgőz eltávolítására alkalmazhatnak cseppleválasztó berendezéseket. Ezeknél a berendezéseknél a biogázt valamilyen felületre vezetik rá nagy áramlási sebességgel, ahol a vízgőz kicsapódik. A kicsapódott vízgőzt a berendezés alján összegyűlik, ahonnan az elvezethető.
Lehetséges a víztelenítés valamilyen higroszkópos anyaggal is. Ebben az esetben a biogázt olyan anyagon áramoltatják át, ami a benne lévő vizet megköti. A legjobb hatásfok ezzel a módszerrel érhető el, de egyben ez a legköltségesebb eljárás is.

A szárítás hatásfokának növeléséhez az egyes víztelenítési eljárásokat egymással kombinálva is lehet alkalmazni.

5.2 Kéntelenítés

A biogáz kéntelenítése két okból kiemelten fontos. Egyrészt a kénvegyületek korrozív hatása, másrészt a biogázban lévő hidrogén szulfid mérgező hatása miatt.

Biológiai kéntelenítés

A legegyszerűbb kéntelenítési módszer a biológiai kéntelenítés. Ennek során levegőt, vagy jobb hatásfok elérésére tiszta oxigént vezetnek a fermentor tartályokba. A levegőben lévő oxigén segítségével kénbaktériumok a kénhidrogént elemi kénre bontják, ami kicsapódik a tartály felületén. Az eljárás hatásfoka elérheti a 95%-ot is. A H_2S tartalom csökkentése mikroorganizmusok oxidációjával valósul meg. Amennyiben a földgázhálózati betáplálás a cél, akkor a kéntelenítésre egy külső berendezés alkalmazása ajánlott, amelyen a fermentorból kilépve áthalad a biogáz. A biogáz összekeveredve az oxidálószerrel, áthalad a mikroorganizmusokat tartalmazó szűrőágyon. Az eljárás beruházási és üzemeltetési költsége viszonylag alacsony, ezért ez az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer. Az eljárás hatásfokának növeléséhez a fermentorba beadagolt levegőáram folyamatos legyen és a bevezetését olyan helyen megtenni, hogy a biogázzal történő minél jobban keveredhessen. A lejátszódó kémiai folyamat a következő:

$$\mathbf{2H_2S + O_2 = 2S + 2H_2O}$$

Adszorpciós kéntelenítés

Elterjedt eljárás a vas pellettel, vasreszelékkel töltött tornyon való adszorpciós eljárás. A módszer egyszerű és kis költséggel megvalósítható. A hátránya, hogy a hatásfoka az adszorbens telítődésével csökken, ami csak korlátozott számban regenerálható. Problémát jelenthet a telítődött, nem regenerálható, kénnel erősen szennyezett pellet eltávolítása és elhelyezése.
Az eljárás alapelve, hogy a fémsók a kénhidrogénnel reakcióba lépve oldhatatlan vas-szulfid sókat hoznak létre:

$$\mathbf{Fe_2O_3 + 3H_2S = Fe_2S_3 + 3H_2O}$$

Abszorpciós kéntelenítés

Ebben az eljárásban membránszűrőkön áramoltatják át a biogázt. A szűrők működhetnek fizikai elven, ekkor a biogázt átáramoltatják a membránon, amin a kén-hidrogén átmegy, de a szén-dioxid és a metán visszamarad. Az eljárás működhet biológiai elven is, ahol a membránt speciális kénbaktériumokkal vonják be és az ezen átáramló gázból a mikroorganizmusok kivonják a szennyező anyagot.
(Varga, 2017, Galyas – Szunyog, 2018)

5.3 CO_2 eltávolítás

A gáztisztítás harmadik lépcsője és egyben a legmagasabb foka a szén-dioxid eltávolítás. Az így kezelt gáz már alkalmas a gázminőségre érzékenyebb technológiákban történő alkalmazásra vagy a gázhálózatba történő betáplálásra.

Membránszűrés

Az eljárás során a víztelenített, majd kéntelenített gázt bevezetik a membrán szeparátorokba. Ezek a membránok szelektív áteresztő hártyák, melyek a nagy nyomáson és hőmérsékleten bevezetett biogázt szétválasztják szén-dioxidra és metánra. A kénhidrogén, az oxigén és a nitrogén csak meghatározott mennyiségben, míg a metán kis mennyiségben képes áthatolni a membránon. A hatásfoka 73-83%-os és a nagy, körülbelül 20-35 bar nyomás miatt viszonylag költséges eljárás.
(Galyas – Szunyog, 2018)

Nagynyomású vizes mosás

A technológia a metán és szén-dioxid vízben való oldhatóságának jelentős eltérésén alapszik. A víz fizikai tulajdonságainak következtében kénhidrogén és a szén-dioxid jobban oldódik benne, mint a szénhidrogének.
A nyers biogáz nyomását először 150 mbar-ra, majd egy vagy több lépcsőben először 3-5 bar nyomásra majd 5-10 bar nyomásra növelik. A két nyomásfokozási lépés között a felmelegedő gázt hűtik és a hűtés során kondenzvíz leválasztás is történik. A nagynyomású biogázt a mosótorony alján vezetik be és vele szemben 5-25 °C hőmérsékletű víz halad a torony tetején belépve. A víz kioldja a gázból a port és a mikroorganizmusokat is. Az eljárás hatásfokát

nagymértékben befolyásolja az alkalmazott nyomás és hőmérséklet. A minél magasabb nyomás és minél alacsonyabb vízhőmérséklet esetén érhető el a legjobb tisztítási hatásfok.
Az eljárás során nyert gáz legalább 99 % CH_4 tartalmú. A gázt az eljárás végén szárítani szükséges, mivel a technológiából adódóan vízgőzzel telített.

Szerves fizikai abszorpció

Az eljárás hasonló a vizes mosás technológiához, azzal a különbséggel, hogy víz helyett szerves oldószert alkalmaznak, amelyben a CO_2 és a H_2S egyaránt jobban oldódnak, mint a vízben.

Kémiai abszorpció

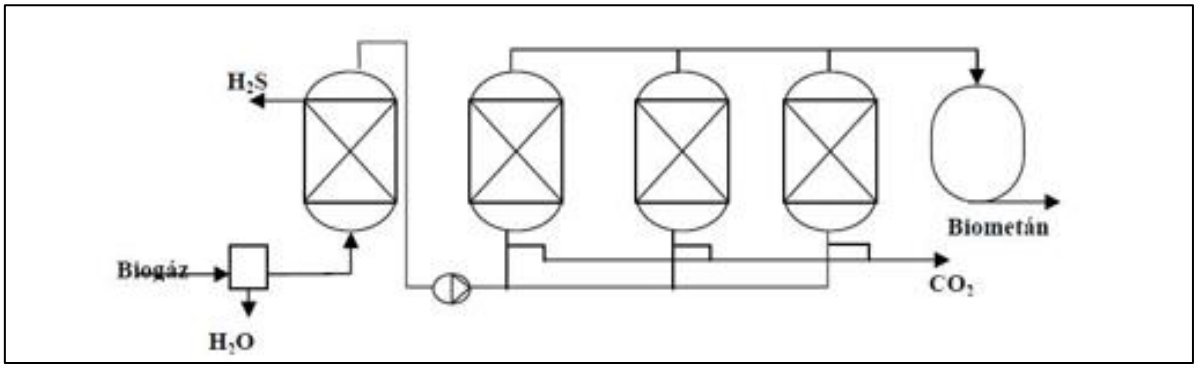
A tisztítatlan biogázt a torony fenekén vezetik be, ahol ellenáramban találkozik a torony tetején bevezetett lúgos vízzel, amelyben jól oldódik a szén-dioxid. A visszamaradó oldatot több lépcsőben zajló melegítéssel regenerálják. A regenerálás során egy H_2S tartalmú hulladékgáz keletkezik, amelyet vagy szabályozott módon elégetnek, vagy vegyi úton ártalmatlanítják.
Ezek a gázmosó berendezések alacsonyabb nyomáson üzemelnek, mint a nagynyomású vizes mosók. A mosófolyadék regenerációja nagymennyiségű energiát igényel, amit a folyamat során keletkezett hőmennyiségből fedeznek. A felhasznált mosóoldatot 160 ^{o}C-ra melegítik, ahol az oldatban megkötött szén-dioxid nagy része eltávozik.
Az kémiai abszorpciós eljárások előnye, hogy a folyamatban a szén-dioxid, a kénhidrogén és a vízgőz leválasztása üzem közben, egyidejűleg valósítható meg. Az eljárás nagy hátránya a fajlagosan magas üzemeltetési költség.

Nyomás-váltásos adszorpció

Ez az egyik legújabb tisztítási technológia, hatásfoka (~98%). Hátránya a magas üzemeltetési költség, így csak nagyobb mennyiségű biogázt előállító üzemeknél jöhet szóba az alkalmazása. A víztelenített és kéntelenített gázt aktív szénnel töltött tartályokba vezetik olyan nyomáson, hogy a szén-dioxid adszorbeálódjon a felületen, de a metán ne, ami így az átáramlik a szűrő felületén. A kinyert gáz metánban feldúsul. A második lépcsőben a szén-dioxiddal adszorbeált aktív szénnel teli tartályban a nyomást csökkentik egészen addig, amíg a szén-dioxid a vákuum hatására le nem válik a szűrőanyag felületéről. Így a szűrő regenerálódott, majd átöblítik nyers biogázon vagy biometánon, ezt követően a nyomás ismét növelhető nyers gázzal vagy biometánnal. Ezután az adszorber képes újabb mennyiségű biogáz fogadására és abból a CO_2-tartalom leválasztására. A regeneráció során felszabadult szén-dioxidot elvezetik a rendszerből.

Az eljárás nagy előnye, hogy a regenerációs folyamat elvileg korlátlanul ismételhető, továbbá a folyamat egyszerűsége, alacsony karbantartási- és energiaigénye.
(Kalmár, 2017, Varga, 2017, Galyas – Szunyog, 2018),

5. ábra: Nyomás-váltásos adszorpció folyamatábrája
(Forrás: MVM belső tanulmány, 2022)



6. Biometán és bioCNG előállító üzem méretezése

Szakdolgozatomban egy települési szilárd hulladékból (TSZH) szárazfermentációs eljárással biogázt, majd biometánt és bioCNG üzemanyagot előállító üzem méretezését végeztem el. A biogázüzemben a lakosságtól begyűjtött TSZH aprítás és szeparálás után kerül feldolgozásra. A hulladékot a feldolgozás során két frakcióra bontjuk, >80-100 mm, nagy szemcseméretű frakció és <80 mm, kis szemcseméretű frakció, amely nagyrészt biológiailag bontható összetevőket tartalmaz. Ezen utóbbi frakció hasznosítása történik meg a tervezett biogázüzemben.

6.1 A tervezett üzem technológiai lépései és berendezései

- Hulladék előkészítés, szeparálás, aprítás
- Hulladék átmeneti tárolás
- Fermentálás
- Biogáz átmeneti tárolás
- Biogáz tisztítás, biometán előállítás
- Biometán elősűrítés, sűrítés, bioCNG előállítás
- Vezérlő, ellenőrző berendezések
- Utókezelés

6.2 Anyagáramok, méretezési alapadatok

Input TSZH anyagáram: 50 000 m^3/év, 137 m^3/nap

TSZH minőségi adatai:

- térfogattömeg 0,2 t/m^3
- szervesanyag tartalom 50%
- száraz szervesanyag tartalom 40t%
- szemcse összetétel: >80-100 mm 30%
  <80 mm 70%
- térfogattömeg (<80mm frakció) 0,7 t/m^3
- fermentációs folyamat időigény 4 hét

- TSZH becsült biogáz kihozatal 300-320 l/kg / szerves szárazanyag
- Biogáz metántartalom 55-60%

(Bai, 2013, MVM belső tanulmány, 2022)

6.3 Hulladék átmeneti tárolótér, keverőtér

A TSZH átmeneti tárolásához és a keveréshez szükséges terület nagyságát 10 napos átmeneti tárolási időt feltételezve számítottam ki. A 10 napos átmeneti tárolási idő három fermentor üzemeltetése esetén, az egyes fermentorok működési ciklusai alapján adódik.

Hulladékok átmeneti tárolási ideje 10 nap

Átlagos napi hulladékmennyiség 137 m^3/nap, amelynek 70%-a >80 mm frakció

10 napi hulladékmennyiség térfogata: 137 m^3/nap x 0,7 x 0,2t/m^3 / 0,7 t/m^3 *x10 nap

= 274 m^3

A telepen az anyagmozgatást egy Liebherr 526 típusú homlokrakodó gép végzi. A gép maximális kanálürítési magassága 3,1m (3,5m^3 térfogatú, kis térfogattömegű, (t<1,05 t/m^3) laza anyagok mozgatására alkalmas kanállal (Forrás: http5)).

Hulladékdepónia magassága	3,0 m
Hulladékdepónia területigénye	274 m^3 / 3 m =91,3 m^2 → 100 m^2
Keverőtér becsült területigénye	100 m^2
Átmeneti tároló és keverőtér területe:	100 m^2 + 100 m^2 = 200 m^2

6.4 Fermentorok mérete

A megfelelő fermentációs folyamat kialakulása érdekében a fermentorba bekerülő THSZ mellé ¼ rész fermentációs maradék kerül bekeverésre.

Egy fermentorba betárolandó input anyag mennyisége (10 napos időközökkel):

274 m^3 friss hulladék + 48 m^3 fermentációs maradék 322 m^3

Hulladék magassága a fermentorban 3,0 m

Fermentortér belső magassága (homlokrakodó gép munkamagassága alapján)

6,0 m

Fermentor szükséges alapterülete: 322m^3 / 3m = 107 m^2

Fermentor alaprajzi méretei sz:5m, h: 21 m

Fermentor teljes térfogata 6m x 5m x 21m = 630 m^3

3 db fermentor együttes helyigénye

3 x 110 m^2 = 330 m^2 + közlekedő, összekötő utak 150 m^2

összesen: 480 m^2

6.5 Biogázhozam

Fermentálható hulladék tömege 50000m^3/év x 0,2t/m^3 x 0,7 = 8750 t/év

Biogázhozam 8750t/év x 0,6 x 0,4 *300Nm^3/t = 630 000 Nm^3/év

Biogáz metántartalma 55t%

bioCNG térfogattömege 0,71 kg/Nm^3

Előállítható biometán mennyisége 630 000 Nm^3/év x 55% = 364 500 Nm^3/év

998,6 Nm/nap

Előállítható BioCNG mennyisége 364500Nm^3 x 0,71kg/Nm^3 =258 795 kg/év

783 kg/nap

Egy fermentor által egy feltöltési ciklus alatt termelt biogáz mennyisége:

959 m^3 x 0,25 t/m^3 x 0,6 x 0,4 x 300Nm^3/t = 17 262 Nm^3/28 nap

Aktív biogáz termelési szakasz 22-23 nap

Órai maximum (egy fermentor): 17 262Nm^3 / 22 nap / 24 h = 33 m^3/h

Maximális biogázhozam 3 x 33 m^3 = 99 Nm^3/h

6.6 Fermentációs maradék utókezelése

Területigény számítása kb. 3-4 hónap tartózkodási időt feltételezve

Fermentációs folyamat során a keverék térfogata 30%-kal csökken.

Fermentációs maradék mennyisége egy fermentor esetében 274 m^3 x 0,7 = 192 m^3

A fermentációs maradék kitárolása után annak 3/4 része az utókezelő térre kerül. A további 1/4 résznyi fermentációs maradék a friss hulladékkal összekeverésre és ismételten betárolásra kerül a fermentorba.

Fermentációs maradék	193 m^3 x 3/4 = 145 m^3
	813 m^3 x 1/4 = 48 m^3
Utókezelésre kerülő anyag térfogata	145 m^3 x 3db x 4 hó = 1740 m^3
Utókezelő szükséges területének nagysága	1740 m^3 / 3m = <u>580 m^2</u>

6.7 Biogáz technológia berendezések méretezése

6.7.1 Gázfáklya

A rendszerbe épített automatikus gázfáklya a biometán előállító technológia meghibásodása esetén biztonsági eszközként szolgál. A keletkező biogázt a fáklyán keresztül lehet elégetni.

Tervezett gázfáklya típusa: Zorg Biogas Gmbh. FAI 50-450

Gázteljesítmény: 4,6 - 121 Nm^3/h

Nyomás: 4-20 mbar

3. fénykép: Automata működésű gázfákly
(Forrás: http6)

6.7.2 Biogáz hűtés, víztelenítés

Tervezett víztelenítő, hűtő típusa: Zorg Biogas Gmbh. gázhűtő (35-10)

Gázteljesítmény:	100 Nm^3/h
Gázhőmérséklet:	35-10 C°
Nyomás:	-100 - 500 mbar

6.7.3 Kéntelenítés

A hűtés után a hidrogén -szulfidot (H_2S) eltávolítása történik. A H_2S eltávolítására aktívszén szűrők kerülnek beépítésre a rendszerbe.

Tervezett kéntelenítő típusa: Zorg Biogas Gmbh. (35-10)

Méretek:	0,6 x 1,8 m
Aktív szén töltet	0,2 m^3
Gázteljesítmény:	120 Nm^3/h

4. fénykép: Aktívszenes kéntelenítő berendezés
(Forrás: http6)

6.7.4 Biogáz átmeneti tároló

Maximális biogázhozam	99 Nm^3/h
	2376 Nm^3/nap
Biogáz tisztító kapacitása	192 – 480 Nm^3/h
	4608 – 11520 Nm^3/nap
Tervezett üzemidő kapacitás alapján	5 h/nap
Szükséges tárolókapacitás	5 h x 480 Nm^3/h = 2400 m^3

6.7.5 Biogáz sűrítés és CO_2 leválasztás

A biogáz kezelése után a biogáz sűrítik a CO_2 leválasztáshoz alkalmazott technológia által megkívánt nyomásra, ami 12 - 16 bar között van.

Tervezett berendezés gyártója:	Zorg Biogas Gmbh
Minimális biogáz kapacitás	192 Nm^3/h
Maximális biogáz kapacitás	480 Nm^3/h
Biometán kapacitás:	234,1 Nm^3/h

Metán koncentrációja az előállított biometánban:	99 %
CO_2-kibocsátás:	202,3 Nm^3/h
Telepítési helyigény	1 db 40’ konténer (12,2m x 2,5m)
Tisztítási eljárás	nyomásváltásos adszorpció

5. fénykép: Gázsűrítő és membránokat tartalmazó egység
(Forrás: http6)

6.8 CNG töltő technológiai berendezések

A gáztisztítóból kilépő biometán gázszárító berendezésen keresztül egy kompresszor segítségével az ideiglenes tárolóba kerül (10-15 m^3), amiben a maximális nyomás 15-16 bar.

A sűrítő kompresszor (50-60 m^3/h kapacitás) az ideiglenes tárolóból sűríti a biometánt a nagynyomú tárolóba, amely 3000-5000 Nm^3 biometán befogadására alkalmas maximálisan 250 bar nyomáson.

A gépkocsik töltése ebből a tárolóból történik CNG tankolóautomata segítségével.

A teljes töltőállomás becsült helyigénye 100 m^2 + közlekedő út 150 m^2 + kompresszor (védőtávolságokkal) 90 m^3 = <u>340 m^2</u>

6.9 Hulladékszállító tehergépkocsik számának meghatározása

Átlagos napi futásteljesítmény	160-180 km
Átlagos CNG fogyasztás	50-60 kg/100km
Gépkocsik munkaideje	5 nap/ hét
CNG fogyasztás (1 gépkocsi)	110 kg/nap
	550 kg/hét
CNG termelés	783 kg/nap
	5481 kg/hét
Gépkocsik száma	5481 kg/hét / 550 kg/hét
	9 db gépkocsi

Az üzem által előállított CNG 9 db gépkocsi számára elegendő.

7. BioCNG üzemanyag SWOT analízis

A települési szilárd hulladékból előállított bioCNG piaci helyzetét SWOT analízis elkészítésével vizsgáltam meg. A SWOT eljárás lényege, hogy a jövőbeni várható környezeti változásokból következtet az adott termék piaci helyzetére négy szempont alapján (erősségek, gyengeségek, lehetőségek, fenyegetettségek). A környezeti változásokat egyrészt a saját üzletágban, másrészt a versenyző, helyettesítő üzletágak szempontjából, a közvetlen helyettesítő termékek viszonylatában értékeltem. Az elemzés során arra a kérdésre kerestem választ, hogy a jövőbeni változások hogyan befolyásolják, illetve befolyásolhatják a termékünk piacképességét, piaci helyzetét.

A lehetőségek és fenyegetettségek a környezet változásából adódnak, az erősségek és a gyengeségek pedig az előállított termék tulajdonságaiból fakadnak. A vizsgálat végső célja, hogy a stratégiai szintjén akciókat fogalmazzon meg a fenyegetettségek lehetséges elkerülésére és lehetőségek minél jobb kihasználására.

6. ábra: SWOT analízis legfontosabb megállapítások
(Forrás: Szerző saját szerkesztés)

Erősségek:

- Megújuló, zöld energia, környezetvédelmi szempontból előnyös és támogatandó.
- Az előállításához szükséges hulladékáram előreláthatóan hosszú távon rendelkezésre fog állni.
- Az előállításához szükséges technológia üzemeltetési és fenntartási költségei alacsonyak.
- Egyszerűen üzemeltethető az előállításához használt technológia.
- A bioCNG ára csak kis mértékben függ a világpiaci energia áraktól, a nyomásfokozáshoz szükséges villamosenergia áron keresztül.
- A technológia avulása alacsony szinten van, várható élettartama legalább 25 év.

Gyengeségek:

- Nagy egyszeri beruházási költséggel építhető meg.
- Magyarországon egyelőre nem elterjedt technológia, kevés a valós üzemi tapasztalat van.
- A biogázból földgáz tisztaságú biometán előállítása az eljárás egyik legköltségesebb eleme.
- Az üzembiztos működéshez tartalék tüzelőanyag, üzemanyag (földgáz/CNG) biztosítása szükséges.
- A CNG üzemű gépjármű, munkagép tisztítatlan biogázzal nem üzemeltethető.
- Az előállított CNG csak az előállítás helyén használható fel gazdaságosan, elszállítása, a gázhálózati betáplálást kivéve nem gazdaságos.
- Változó igényekhez nem igazítható, rugalmatlan termelés a folyamatos üzem miatt.
- Kereslet és felhasználás változására, időbeni ingadozásának kiegyenlítésére költséges beruházással tároló létesítése szükséges.
- A meglévő hulladékáram nagysága meghatározza a maximális kapacitást.

Lehetőségek:

- A meglévő nagyfokú földgáz függőség csökkentésének egyik eszköze lehet.
- Biohulladék elkülönített gyűjtésének beindulása után az inert anyag mennyisége csökken és a biogáz kihozatal fajlagosan nő.

- Lakosság környezettudatossága növekszik, szemléletformálás egyik eszköze lehet egy ilyen üzem.
- A termelt CNG gépjármű üzemanyag helyett fűtőanyagként is felhasználható.
- A CNG gépjárművek helyett, vagy azok mellett munkagépekben is felhasználható.

Fenyegetettségek:

- A bio üzemanyagokra vonatkozó szabályozások esetleges kedvezőtlen irányba történő megváltozása.
- Gépjármű károsanyag emissziós szabályok szigorítása.
- Belső égésű motorral hajtott tehergépjárművek értékesítésének korlátozása, vagy teljes tiltása.
- TSZH hulladékáram mennyiségének, összetételének változása, szerves anyag tartamának jelentős csökkenése.

8. Összefoglalás

A lakosság fogyasztása során egyre nagyobb mennyiségű háztartási hulladék keletkezik, továbbá az ehhez a fogyasztáshoz kapcsolódó gyártási, termék előállítási folyamatok során is jelentős a keletkező hulladékok mennyisége. A települési szilárd hulladékok biológiailag bontható szervesanyag tartalma eléri a 40-50 %-ot, így ez a hulladékanyag már önmagában is alkalmas biogáz előállítására.
Dolgozatomban ennek a hulladékáramnak a jelenlegi kezelési módszerekhez (lerakás és energetikai hasznosítás) képest magasabb szintű hasznosítására mutattam be megoldást, amely során a hulladékból első lépésként biogáz, majd további eljárásokkal biometán és bioCNG kerül előállításra.

A dolgozat első részében ismertettem a biogáz kémiai, fizikai tulajdonságait, előállításának technológiáját és berendezéseit, valamint felhasználásának lehetőségeit. Bemutattam a biometán előállításának, a biogáz tisztításának technológiai lépéseit továbbá a bioCNG üzemanyag előállításának folyamatát.
A dolgozat második részében egy meghatározott települési szilárd hulladékáramra tervezett biometán üzem méretezését végeztem el.

Dolgozatomban részeként készítettem egy SWOT elemzést, amely a biometán jelenlegi és jövőbeni piaci helyzetét mutatja be.

Megállapítottam, hogy a települési szilárd hulladékból előállított biometán egyszerre felel meg több, a környezetünk megóvása szempontjából kiemelt jelentőségű feltételnek. Megújuló energiaforrás, fosszilis tüzelőanyagot vált ki és általa a lerakott hulladékmennyiség csökken.
A kézzelfogható gazdasági és környezeti haszna mellett egy ilyen biometán üzem nagyon fontos szemléletformáló eszköz is lehet. Rajta keresztül széles kör számára bemutatható, hogy az otthonainkban keletkező szerves hulladék értékes nyersanyag, amelyből környezetbarát módon állítható elő egy sokrétűen felhasználható energiahordozó.

9. Ábrák, táblázatok jegyzéke

1. táblázat: Földgáz és biogáz összetétele 5
2. táblázat: Települési szilárd hulladék mennyisége Magyarországon 6

1. ábra: Biogázképződés folyamata 8
2. ábra: Biogázüzem technológiai elrendezése 12
3. ábra: Üzemanyagcella működési elve 18
4. ábra: Biogáz tisztítási folyamat lépései 22
5. ábra: Nyomás-váltásos adszorpció folyamatábrája 26
6. ábra: SWOT analízis legfontosabb megállapítások 35

1. fénykép: Gázmotoros kiserőmű 15
2. fénykép: Földgáz üzemű gázturbina 17
3. fénykép: Automata működésű gázfákly 31
4. fénykép: Aktívszenes kéntelenítő berendezés 32
5. fénykép: Gázsűrítő és membránokat tartalmazó egység 33

10. Irodalomjegyzék

Antal T. (2017): Hulladékgazdálkodási tevékenységek; hulladékok gyűjtése, szállítása. In: Aleksza L. (szerk.): *Hulladékgazdálkodás kézikönyv*. Gödöllő: Szent István Egyetem, pp. 48–62.

Bai A. (2011): *Biogáz előállításának technológiája* Debrecen: Debreceni Egyetem, Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, 79 p. Letöltés dátuma: 2022. 04.10. forrás: https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/12161/20110085_biogaz_eloallitasanak_technologiaja.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Galyas A. – Szunyog I. (2018): *Biogáz-előkészítés I*. Miskolc: Miskolci Egyetem Gázmérnöki Intézeti Tanszék Oktatási segédlet, 20 p. Letöltés dátuma: 2022. 05. 11. forrás: https://bei.uni-miskolc.hu/files/7832/Biogaz%20oktatasi%20segedlet%20I%20Publ%2020180903.pdf

Filyó D. – Olajos I. (2013): *A Biogáz és az arra vonatkozó speciális szabályozások.* Miskolc: Anyagmérnöki Tudományok, A Miskolci Egyetem közleményei, 38/1. pp. 67–76.

Horánszky B. (2000): *Gázjellemzők.* Miskolc: Miskolci Egyetem Gázmérnöki Tanszék, Oktatási segédanyag, 27 p.

Kalmár I. (2017): Biogáz előállítása szerves hulladékokból. In: Aleksza L. (szerk.): *Hulladékgazdálkodás kézikönyv*. Gödöllő: Szent István Egyetem, pp.309–319

Köteles T. (2018): *Biogáz-előkészítés II.* Miskolc: Miskolci Egyetem Gázmérnöki Intézeti Tanszék Oktatási segédlet, 21 p. Letöltés dátuma: 2022. 04. 10. forrás: *https://bei.uni-miskolc.hu/files/7833/Biogaz%20oktatasi%20segedlet%20II%20Publ%2020180903.pdf*

MVM Zrt. (2022): *Biogáz előállítása mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékokból.* Szakértői tanulmány 70 p.

Posta K. (2017): A biológiai hulladékkezelés kémiai és biológiai folyamatai (aerob, anaerob rendszerek). In: Aleksza L. (szerk.): *Hulladékgazdálkodás kézikönyv*. Gödöllő: Szent István Egyetem, pp. 274–295

Szunyog I. (2009): A biogázok földgáz közszolgáltatásban történő alkalmazásának minőségi feltételrendszere Magyarországon; Doktori (PhD) értekezés, Miskolci Egyetem, Miskolc 103 p. Letöltés dátuma: 2022. 05. 09. forrás: http://midra.uni-miskolc.hu/document/5692/1503.pdf

Varga T. (2017): Hulladékok komplex kezelése, *A biogáz előállítás alapjai*. Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar Mikovinyi Sámuel Földtudományi doktori iskola, Kutató szeminárium 44 p. Letöltés dátuma 2023. április 5. forrás: https://hulladekonline.hu/files/36

http1 Lundsby Renewable Solutions A/S honlapja. Letöltés dátuma: 2023. szeptember 12. forrás: https://lundsby.dk/grauballegaard-biogas-2/

http2 VGF Szaklap honlapja. Letöltés dátuma: 2023. május 8. forrás: https://www.vgfszaklap.hu/lapszamok/2009/november/1597-nagyito-alatt-a-gazmotor

http3 ELTE Alternatív energia portál. Letöltés dátuma: 2023. május 8. https://people.inf.elte.hu/raprabi/uzemanyagcella.html)

http4 FGSZ Zrt honlapja. Letöltés dátuma: 2023. május 10. forrás: https://fgsz.hu/partnereink/rendszeruzemeltetok/szabalyozasi-kornyezet-rendszeruzemeltok/foldgazminoseg-elszamolasi-rendje

http5 Liebherr honlapja. Letöltés dátuma: 2023. szeptember 10. forrás:https://www.liebherr.com/external/products/products-assets/efdbfc38-1731-4004-ad5e-c0fa3da508d1-4/Product%20Brochure%20L%20526%20-%20L%20546.pdf

http6 Zorg Biogas AG honlapja. Letöltés dátuma: 2023. szeptember 15. forrás: https://zorg-biogas.com/equipment/biogas-upgrade

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Szécsi Péter
A Hallgató Neptun kódja:	EJ5CHH
A dolgozat címe:	BioCNG üzemanyag előállítása települési szilárd hulladékból
A megjelenés éve:	2023
A konzulens intézetének neve:	Környezettudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Környezettechnológiai és Hulladékgazdálkodási Tanszék

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

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

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

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

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

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvári repozitori rendszerében.

Kelt: Gödöllő, 2023. október 30.

Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Szécsi Péter (hallgató Neptun azonosítója: EJ5CHH) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védésre **javaslom / nem javaslom**.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő 2023 év 11 hó 02 nap

belső konzulens
Dr. Aleksza László