

**TAL
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

**MAAILMA BIOGAASIPOTENTSIAAL
WORLD BIOGAS POTENTIAL
BAKALAUREUSETÖÖ**

Üliõpilane: Pavel Strutskin

Üliõpilaskood 185725EAAB

Juhendaja: vanemlektor Jelena Šuvalova

Tallinn 2022

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 202.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ Pavel Strutskin _____ (autori nimi)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose,
_____ Maailma biogaasipotentsiaal _____

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on vanemlektor Jelena Šuvalova,

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

18.05.2022 _____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Pavel Strutskin

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Maailma biogaasipotentsiaal

Kuupäev:
18.05.2022

48 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): vanemlektor Jelena Šuvalova

Töö konsultant (konsultandid): -

Sisu kirjeldus:

Bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida biogaasi kasutust maailmas, tootmisvõimalusi, mahtusid, toodet ning eeliseid. Kaaluda kogutud andmete põhjal biogaasi potentsiaali tulevikus ning tema potentsiaali elektritootmisel. Selle eesmärgi saavutamiseks on analüüsitud informatsiooni biogaasi tootmisel ja kasutamisel.

Töö alguses antakse ülevaade biogaasist endast, tema peamistest parameetritest ja toorainest, samuti selle tootmise võimalustest. Teine peatükk keskendub biogaasi tulevikupotentsiaali uurimisele, kirjeldades biogaasi kasutamise eeliseid nii praegu kui ka tulevikus ning selle tööstuse arengut takistavaid tegureid. Arvesse võetakse ka kliimapoliitikat. Kolmandas peatükis vaadeldakse biogaasi kasutamist ajaloos ja tänapäeval ning selle tulevikuväljavaateid nii kogu maailmas kui ka konkreetselt Eestis. Lisaks analüüsiti biogaasist elektri tootmist nii Eestis kui ka üldiselt maailmas, uuriti selle tootmiseks vajalikke seadmeid ning nende seadmete omadusi ja puudusi.

Biogaasi potentsiaali analüüs näitas, et tema kasutamine võib aidata vähendada kahjulikke heitkoguseid atmosfääri, vähendada sõltuvust taastumatutest energiaallikatest ja laiendada biometaan kasutamist puhta kütusena.

Märksõnad: biogaas, biometaan, biogaasi kasutamine, biogaasi potentsiaal, biogaasi tootmine, biogaasi kasutamise eelised.

ABSTRACT

<i>Author:</i> Pavel Strutskin <i>Title:</i> World biogas potential	<i>Type of the work:</i> Bachelor
<i>Date:</i> 18.05.2022	48 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology <i>School:</i> School of Engineering <i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Jelena Šuvalova <i>Consultant(s):</i> -	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>The aim of the Bachelor's thesis is to study the use of biogas in the world, production possibilities, volumes, product and advantages. On the basis of the data collected, consider the future potential of biogas and its potential for electricity generation. To achieve this goal, information on the production and use of biogas has been analyzed.</p> <p>At the beginning of the work, an overview of biogas itself, its main parameters and raw materials, as well as its production possibilities is given. The second chapter focuses on exploring the future potential of biogas, describing the benefits of using biogas now and in the future, and the factors hindering the development of this industry. Climate policy is also taken into account. The third chapter examines the use of biogas in history and today, and its future prospects both worldwide and in Estonia in particular. In addition, the production of electricity from biogas was analyzed both in Estonia and in the world in general, the equipment necessary for its production and the characteristics and shortcomings of this equipment were studied.</p> <p>An analysis of the potential of biogas has shown that its use can help reduce harmful emissions into the atmosphere, reduce dependence on non-renewable energy sources and expand the use of biomethane as a clean fuel.</p>	
<i>Keywords:</i> biogas, biomethane, biogas use, biogas potential, biogas production, benefits of biogas use.	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: **Maailma biogaasipotentsiaal**
Lõputöö teema inglise keeles: **World biogas potential**
Üliõpilane: **Pavel Strutskin 185725EAAB**
Eriala: **Elektroenergeetika**
Lõputöö liik: **bakalaureusetöö**
Lõputöö juhendaja: **vanemlektor Jelena Šuvalova**
Lõputöö kaasjuhendaja:
(ettevõtte, amet ja kontakt)

Lõputöö ülesande kehtivusaeg: **30.06.2022**
Lõputöö esitamise tähtaeg: **18.05.22 kell 15:00**

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Tänapäevases maailmas gaasi probleemid on väga aktuaalsed ja tähtsad. Gaas on üks peamisest küteressursist, aga tema ressursid vähenevad iga päev. Kuna gaasikogumid vähenevad, inimkond otsib uusi gaasi tüüpi, mida saab kasutada tööstuses. Üks sellist tüüpi gaasidest on biogaas. See on üks keskkonnasõbralikumaid gaase, sellepärast on vaja uurida seda teemat, et mõista, kui tõhus on selle kasutamine. Samuti teada, missugused eelised ja puudused biogaasil on, tema potentsiaal ning selle kasutamise väljavaated praeguses ja tulevikus.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on uurida biogaasi kasutust maailmas: mahud, standardid, tooted ja nende parameetrid.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Kavatsen vastata järgmistele küsimustele:

1. Mis on biogaas ja tema saamise võimalused ning üleandmise võimalused?
2. Milliseid biogaasi uuringuid maailmas tehakse ja millised organisatsioonid sellega tegelevad?
3. Millised organisatsioonid on seotud biogaasi tootmise ja jaotamisega?
4. Milline on biogaasi potentsiaal tulevikus ja millised on tema elektri tootmise koguse prognoosid?

4. Lähteandmed

Püstitatud eesmärkide lahendamiseks plaanin kasutama andmeid raamatutest ja internetallikatest

5. Uurimismeetodid

Plaanin töö tulemusteni jõuda kirjanduse analüüsi. Võrdlev analüüs. Töö kirjutamisel planeerin kasutada erinevaid allikaid ning nende abil analüüsida, milline on biogaasi kasutamise potentsiaal tänapäeval.

6. Graafiline osa

Peamiselt graafiline osa on töö põhiosas. Töö graafilises osas on gaasivõrgu skeemid, lähteandmete tabelid ning võrdlus tabelid.

7. Töö struktuur

Eessõna

Sissejuhatus

1. Biogaas energiaallikana
 - 1.1. Mis on biogaas?
 - 1.2. Biogaasi omadused ja karakteristikud
 - 1.3. Biogaasi tootmise võimalused
2. Maailma biogaasiuuringud
3. Biogaasi kasutamine
 - 3.1. Varem
 - 3.2. Praegune kasutamine
 - 3.3. Väljavaated edaspidiseks kasutamiseks

- 4. Elektri tootmine biogaasist
 - 4.1. Praegune tootmine
 - 4.2. Väljavaated edaspidiseks tootmiseks
- 5. Kokkuvõtte
 - Kasutatud kirjandus
 - Lisad

8. Kasutatud kirjanduse allikad

- [1] „Tootmine ja kasutamine“ [Online]. Available: <http://eestibiogaas.ee/tootmine-ja-kasutamine/> (28.10.2020)
- [2] „What is Biogas? A Beginners Guide“ [Online]. Available: https://www.homebiogas.com/Blog/142/What_is_Biogas%7Cfq%7C_A_Beginners_Guide (28.10.2020)
- [3] „Биогаз: основные характеристики и технология получения“ [Online]. Available: http://www.cleandex.ru/articles/2015/07/22/biogas_article1 (28.10.2020)
- [4] „Производство биогаза“ [Online]. Available: <https://ecodevelop.ua/ru/technologie/proizvodstvo-biogaza/> (28.10.2020)

9. Lõputöö konsultandid

Puuduvad.

10. Töö etapid ja ajakava

- 01.02-28.02 Lähteandmete kogunemine
- 01.03-01.04 Esimese ja teise peatükki kirjutamine
- 02.04-16.04 Kolmanda ja neljanda peatükki kirjutamine
- 17.04 Järelduse kirjutamine, kokkuvõtte koostamine
- 18.04 Töö esimene versioon valmis
- 19.04 Juhendajale läbilugemiseks saatmine
- 20.04-27.04 Paranduste sisseviimine
- 27.04 Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine
- 27.04-04.05 Paranduste sisseviimine
- 10.05 Töö lõplik versioon valmis

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	10
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	11
SISSEJUHATUS	12
1 BIOGAAS ENERGIAALLIKANA	13
1.1 Mis on biogaas?	13
1.2 Biogaasi parameetrid	14
1.2.1 Ruumiline koormus.....	14
1.2.2 Fermentatsiooniperiood.....	14
1.2.3 Temperatuuri tingimused	14
1.3 Peamised toorainetüübid.....	15
1.4 Biogaasi tootmise võimalused.....	16
2 MAAILMA BIOGAASIUURINGUD	18
2.1 Biogaas Euroopas: Tulevikuväljavaated	18
2.2 Biogaas: teed 2030. aastani.....	20
2.2.1 Soovitatavad eelised.....	22
2.2.2 Praegune biogaasitööstus.....	25
2.2.3 Kasvutõkked.....	27
2.2.4 Rahvusvaheline ja riiklik kliimapoliitika	29
2.2.5 Järeldused.....	31
3 BIOGAASI KASUTAMINE	32
3.1 Varem	32
3.2 Praegune kasutamine	33
3.3 Biogaasi kasutusväljavaated.....	37
4 ELEKTRI TOOTMINE BIOGAASIST	39
KOKKUVÕTE	43
SUMMARY	45
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	47

EESSÕNA

Lõputöö teema „Maailma biogaasipotentsiaal “ oli pakutatud juhendaja poolt Jelena Šuvalova. Bakalaureusetöö uurimismeetod paiknes kirjanduse ning allikate analüüsil. Oli kasutatud nii trükitud kui ka internet allikaid. Lõputöö annab lihi ülevaate erinevate biogaasidest, tema tootmisest ja kasutamisest maailmas ning tema tuleviku potentsiaalid. Autor tänab oma juhataja Jelena Šuvalova.

Pavel Strutskin

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

EL – Euroopa Liit

ASEAN - Kagu-Aasia Maade Assotsiatsioon (Association of Southeast Asian Nations)

AL – Aafrika Liit

EU ETS - Euroopa Liidu heitkogustega kauplemise süsteem (European Union Emissions Trading System)

Mtoe – Miljoni tonni naftaekvivalent

WBA – Maailma Biogaasi Assotsiatsioon (World Biogas Association)

Bio-CO₂, roheline CO₂ – Anaeroobse kääritamise käigus tekkiv süsinikdioksiid mis on osa biogaasist (25-50%) ja seda saab eraldada biogaasis uuendusprotsess tööstuslikes protsessides kasutamiseks.

UNFCCC – Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni kliimamuutuste raamkonventsioon (United Nations Framework Convention on Climate Change)

COP – Osapoolte konverents (Conference of the parties)

CAP – Ühine põllumajanduspoliitika (Common Agricultural Policy)

DREA – Maamajanduse ja põllumajanduse osakond (Department of Rural Economy and Agriculture)

IFPEN - Prantsuse naftainstituut Energies nouvelles (French Institute of Petroleum Energies nouvelles)

SISSEJUHATUS

Praegu on paljud energiaallikad ammendunud ja üks peamisi probleeme on see, et enamik neist allikatest on taastumatud. Väljapääs selle olukorra lahendamiseks on alternatiivsete taastuvate energiaallikate leidmine, uurimine ja kasutamine. Selliseid allikaid kasutab inimene juba täielikult, näiteks tuulikud, päikesepaneelid jne. Need on aga ebastabiilsed energia allikad, sest nende kasutamine sõltub ilmastikutingimustest, näiteks, kui väljas on vaikne ja pilvine, väheneb selliste energiaallikate energia tootmine miinimumini, sõltub ka piirkonna territoriaalsetest iseärasustest, teisisõnu energiast nende abiga saab ainult teatud kohtades.

Biogaas, nagu ka selle tootmine, on keskkonnasõbralik toode. Selle saamiseks kasutatakse toorainet, mida leidub igas põllumajanduspiirkonnas, see on odav ja on põllumajandusjätmed - loomasõnnik, kodulindude väljaheited, põhk, puidujätmed, umbrohud, olmejätmed ja orgaanilised jätmed, inimjätmed jne.

Antud töös uuritakse biogaasi potentsiaali ülemaailmses energiasektoris ning selle kasutamist alternatiivse energiaallikana. Töö eesmärk on uurida biogaasi kasutamist maailmas, analüüsida biogaasiga seotud maailma teadusuuringuid ja analüüsi põhjal määrata selle potentsiaal ja võimalikud tootmismahud tulevikus. Selle eesmärgi saavutamiseks kasutatakse võrdlevat analüüsi, kuna töö peamine ülesanne on analüüsida kõikvõimalikke biogaasiga seotud teabeallikaid, mille põhjal tehakse järeldus selle globaalse potentsiaali kohta. Teabeallikatena kasutatakse raamatuid, artikleid ja Interneti-allikaid.

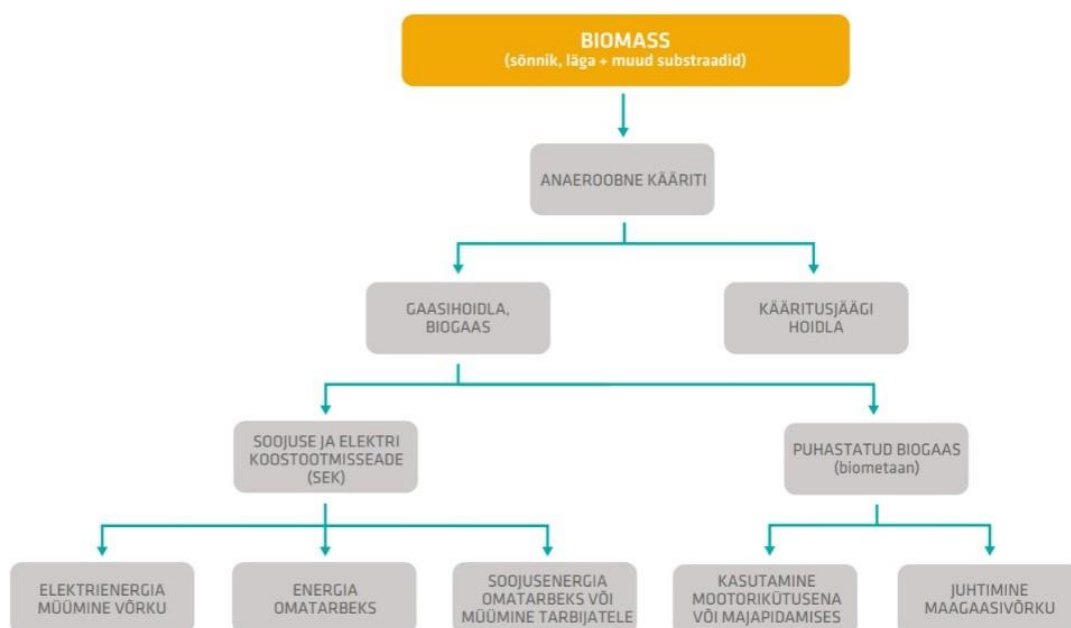
1 BIOGAAS ENERGIAALLIKANA

Praegu on nafta- ja gaasivarud aeglaselt, kuid kindlalt lõppemas, mistõttu alternatiivsed energiaallikad muutuvad üha sagedasemaks. Elektrienergia nõudluse pideva kasvu tõttu on inimesed sunnitud otsima uusi energiaallikaid. Biogaas on üks selline energiaallikas.

1.1 Mis on biogaas?

Biogaas on gaasisegu, mis koosneb peamiselt metaanist (50–75%), süsinikdioksiidist (25–45%) ja vesiniksulfiidi, ammoniaagi, lämmastikoksiidide lisanditest, jne (vähem kui 1%). Biogaas tekib biomassi anaeroobsel - hapnikuvabal - metaankääritamisel. [1]

Biomassi lagunemine toimub keemiliste-füüsikaliste protsesside ja 3 peamise bakterirühma aktiivsuse tagajärjel, samas kui mõnede bakterite saadused teatud järjekorras on teiste toidutooted. Esimesed kaks bakterirühma saab ühendada üheks, kuna need on omavahel tihedalt seotud, need on hüdrofüüsilised bakterid ja hapet moodustavad bakterid, tänu millele jagunevad keerulised orgaanilised ühendid lihtsamateks, samal ajal kui keskkonnas esinevad primaarsed fermentatsiooniproduktid - lenduvad rasvhapped, vesinik, süsinikoksiid, äädik- ja sipelghapped jne. Need vähem keerukad orgaanilised ained on kolmanda bakterirühma toitaineteks - metaani moodustavad bakterid, mis muudavad orgaanilised happed vajalikuks metaaniks, samuti süsinikdioksiidiks jne. [2]



Joonis 1.1 Biogaasi tootmisprotsess [3]

1.2 Biogaasi parameetrid

Biogaasi peamisteks tehnoloogilisteks parameetriteks on ruumiline koormus, fermentatsiooniperiood ja temperatuuri tingimused. [1]

1.2.1 Ruumiline koormus

Ruumiline koormus on üks peamisi parameetreid, millel on märkimisväärne mõju bakterite tootlikkusele ja seega kogu biogaasijaama efektiivsusele. Ruumiline koormus näitab, kui palju orgaanilisi aineid laaditakse ühe päeva jooksul aluseliste ensüümide kasuliku mahu kuupmeetri kohta.

Erinevad tehnilised süsteemid ja tehnoloogilised lahendused on võimelised tagama biogaasijaama stabiilse töö ruumilise koormuse erinevate väärtuste korral. [1]

1.2.2 Fermentatsiooniperiood

Fermentatsiooniperiood on veel üks oluline parameeter, mida tuleb iga biogaasijaama kavandamisel arvesse võtta ja mis mõjutab otseselt selle suurust. Fermentatsiooniperiood on laaditud töömaterjali (substraatide) biogaasijaamas veedetud aeg, mille jooksul erinevad bakterirühmad töötlevad selle biogaasiks. See arvutatakse kõigi süsteemis kasutatavate mahutite (kääritid, samuti suletud digestaadihoidlad) kasuliku mahu ja laetud substraatide päevase kogumahu suhtena.

Fermentatsiooniperiood sõltub otseselt biogaasijaamas kasutatavatest substraatidest, nende kvaliteedinäitajatest ja struktuurist. Kuna igal kääritamisprotsessis osaleval bakterirühmal kulub oma töömaterjali osa omastamiseks erinev aeg, maksimaalse tootlikkuse saavutamiseks on tingimata vaja säilitada vajalik aeg. [1]

1.2.3 Temperatuuri tingimused

Temperatuurirežiim viitab ka mis tahes biogaasijaama töö peamistele tehnoloogilistele parameetritele. Käärimisel on kolm peamist temperatuurirežiimi, mis on seotud kolme peamise bakterirühmaga:

- Psühhoofiilne - läbib temperatuuril alla 25 °C - kuigi see ei nõua kääritite täiendavat kuumutamist, pole see psühhoofiilsete bakterite madala tootlikkuse tõttu praktikas nõudlik.
- Mesofiilne - töötab temperatuuril 37 kuni 42 °C - on kõige tavalisem töörežiim tänu suurele arvule erinevat tüüpi mesofiilsetele bakteritele, mida iseloomustab nende vähenõudlikkus töödeldud materjali suhtes, kohanemisvõime

töötemperatuuri kõikumistega ja nende kõrge tootlikkus. See omakorda tagab stabiilse ja heade tulemustega töövoo.

- Termofiilne - toimub temperatuuril 50–60 °C - kõrge käärimistemperatuuri tõttu saavutatakse materjali kõrge lagunemiskiirus. Selle režiimi puuduseks on piiratud tüüpi termofiilsed bakterid, samuti nende kõrge tundlikkus temperatuuri ja toitumisstruktuuri muutuste suhtes. Selle temperatuuri režiimi teine puudus on suur energiatarve vajaliku töötemperatuuri säilitamiseks. [1]

1.3 Peamised toorainetüübid

Biogaasi tootmise toorainena võib kasutada nii orgaanilisi agrotööstus- kui ka olmeprügi, samuti taimseid tooraineid - maisisilo, rohusilo ja teraviljasilo. Biogaasi tootmiseks on kõige sobivamad jäätmeliigid:

- põllumajandusloomade sõnnik: sead, veised, hobused, lambad, kodulinnud jne.
- köögiviljade pealsed
- õlle terad, linnase idud, valgumuda
- teravilja jäätmed
- puu- ja köögiviljajäägid
- piima töötlemise jäätmed
- tapamaja jäätmed
- aegunud toit
- kasutatud rasv: taimerasv sügavast rasvast, rasvapüüduritest pärit rasv

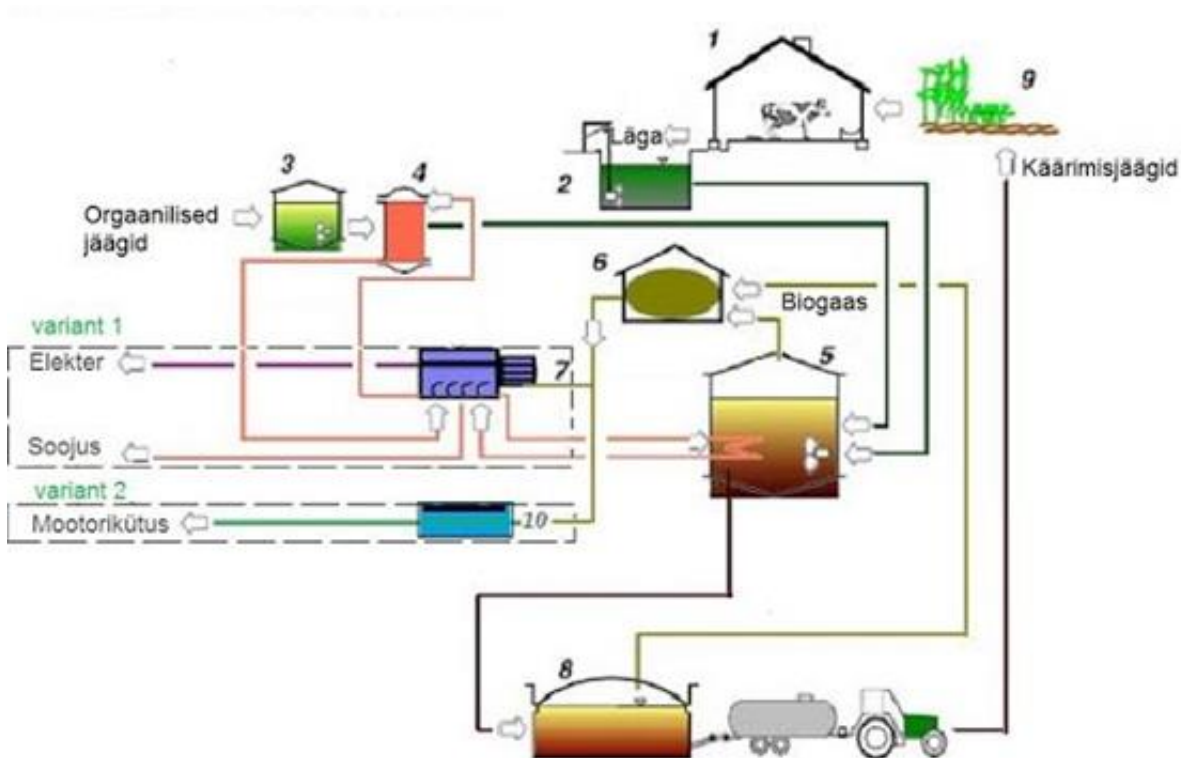
Biogaasi tootmiseks kasutatavate jäätmeliikide arv ühes biogaasijaamas võib varieeruda ühest kümneni või rohkem. [4]

1.4 Biogaasi tootmise võimalused

Biogaasi tootmist saab korraldada järgmiselt:

- biogaasi tootmine, mis põhineb eraldi ettevõtte jäätmetel (näiteks loomakasvatusefarmi sõnnik, suhkrubabriku bagasse, piiritusetehase jääk), kus domineerivad on ühte tüüpi jäätmed.
- biogaasi tootmine erinevate ettevõtete jäätmetest, mis toimub ühes biogaasijaamas

Joonisel 1.2 on kujutatud biogaasi tootmise põhimõtteline skeem.



Joonis 1.2 Biogaasijaama tootmise ja kasutamise skeem [5]

kus 1 – Laut; 2 – Lägahoidla; 3 – Kogumismahuti; 4 – Hügieniseerimise seade (pastörisaator); 5 – Kääriti; 6 – Gaasihoidla; 7 – Soojuse ja elektri koostootmine; 8 – Kääritusjäägi hoidla; 9 – Põld; 10 – Biogaasi puhastusseade.

Variant 1 tähendab, et biogaasist toodetakse soojus- ja elektrienergiat ning variant 2, et biogaasist toodetakse biometaani ehk motoorkütust. [5]

Erinevat liiki jäätmed, olgu selleks sõnnik, niidetud muru ja muud orgaanilised jäätmed, purustatakse, segatakse veega ja pumbatakse kääritisse. Tekkivat ainet lagundavatele mikroorganismidele kõige mugavamate tingimuste loomiseks on kääritis küte ning

tekkiva aine kihistumise vältimiseks ja töötlemise efektiivsuse tõstmiseks on kääritis segamiseseadmed. Kääriti ülemisse ossa koguneb bakterite tekitatud gaas, mis seejärel teatud rõhu saavutades pumbatakse gaasihoidlasse. Jäätmekambrisse pumbatakse täielikult lagunenu materjal, samuti käärimise tulemusena tekkiv vedelik. Mõlemad jäätmeliigid on tugevad looduslikud väetised – vedelik kiirendab taimede arengut ja muda parandab mulla struktuuri/kvaliteeti. Ülejäänud gaas pumbatakse gaasihoidlasse. Edasiseks kasutamiseks vajab biogaas puhastamist. Peamised eemaldatavad ained on vesi, vesiniksulfiid ja süsinikdioksiid. Vesi eemaldatakse kondensatsiooni teel, mille jaoks toode esmalt kuumutatakse, seejärel juhitakse läbi külma toru, mille seintele settivad veepiisad. Vesiniksulfiid ja süsinikdioksiid eemaldatakse kõrge rõhu all olevate sorbentide abil. Õigesti ehitatud puhastusliiniga tõuseb metaani sisaldus biogaasis 93-98%-ni, mis muudab selle väga tõhusaks kütuseks. Puhastatud biogaas sobib oma kõrge kütteväärtuse tõttu hästi elektrigeneraatorite ja erinevate kütteseadmete toiteks.

[6]

2 MAAILMA BIOGAASIUURINGUD

Biogas Research Center, ehk biogaasi uurimiskeskus uurib biogaasi tootmise tehnoloogiat ja protsesse ning otsib erinevaid lahendusi nende kiirendamiseks ja mahtude suurendamiseks. [7]

Samuti on olemas Euroopa Biogaasi Assotsiatsioon, ehk European Biogas Association, mis tegeleb Euroopas biogaasiga seotud küsimustega, nimelt selle kasutamisega Euroopas ja biogaasist elektri tootmise edasise suurendamisega. [8] Eestis tegeleb selliste küsimustega Eesti Biogaasi Assotsiatsioon. [9]

2.1 Biogaas Euroopas: Tulevikuväljavaated

Prantsuse teaduskeskus IFP Energies nouvelles (IFPEN), mis on energia-, transpordi- ja keskkonnavaldkonna teadusuuringute, hariduse ja koolituse suur tegija, on läbi viinud uuringu, mis tutvustab biogaasi majanduslikku perspektiivi Euroopas ja eelkõige Prantsusmaal.

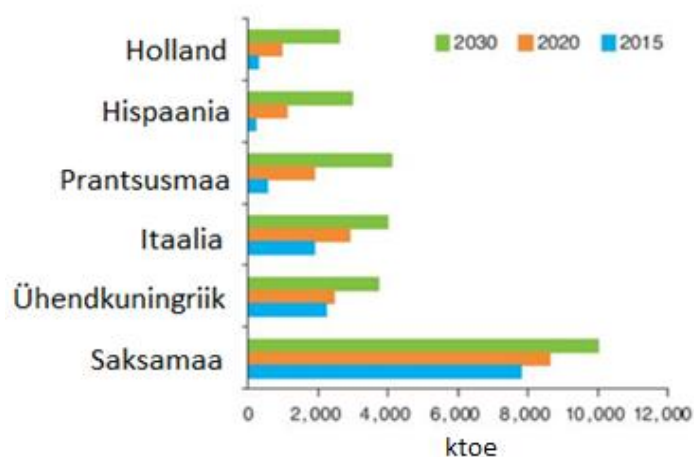
Saksamaa on Euroopa juhtiv biogaasitootja 2015. aasta kogutoodanguga 7,8 Mtoe, mis moodustab poole Euroopa toodangust. Ühendkuningriik ja Itaalia toodavad mõlemad ligikaudu 2 Mtoe. Need kolm riiki kokku moodustavad 80% Euroopa koguarvust. Prantsusmaa on Euroopa riikide seas 0,5 Mtoe-ga 5. kohal. Seda biogaasi kasutatakse peamiselt elektri tootmiseks (62%) ja kütteks (27%). Ülejäänud osa (11%) muundatakse biometaaniks, mis suunatakse traditsioonilistesse gaasivõrkudesse või kasutatakse transpordisektoris.

Siiski, 2010. aasta keskmiselt 13%-lt aastast langes aga keskmine aastane kasvumäär 2014. aastal 7%-le, seejärel 2015. aastal 4%-le. Täpsemalt selgitavad seda pööret muutused Saksamaa ja Itaalia poliitikas. Mõlemal juhul eelistatakse energiakultuuride asemel kõrvalsaaduste ja põllumajandusjätmete kasutamist. Näiteks, Prantsusmaal on metaniseerimine arenenud viimasel ajal ja see on tahtlikult soodustanud biojätmete, eriti sõnniku kasutamist. Et ühitada biogaasijaamade arengut maakasutuse küsimustega, kehtestatakse 2016. aasta määrusega energiakultuuride kasutamise ülempiir biogaasijaamades 15%.

Need sätted kuuluvad mittesiduvate Euroopa Liidu soovitude reguleerimisalasse biomassi jätkusuutlikkuse kriteeriumide kohta (vähemalt 1 MW energiarajatiste puhul). Nende eesmärk on keelata biomassi kasutamine muudetud maast, metsadest ja kõrge bioloogilise mitmekesisusega aladelt.

Euroopa Komisjoni tellimusel läbiviidud uuring hindas potentsiaalseks biogaasi tootmiseks jäätmetest 2030. aastaks 30–40 Mtoe, mis moodustab selle aja jooksul ligikaudu 3% Euroopa energiatarbimisest ja ligikaudu 10% gaasitarbimisest.

Prantsusmaa puhul hinnatakse potentsiaali 2030. aastal 4 Mtoe, mis on võrdne Ühendkuningriigi ja Itaalia toodanguga (vt Joonis 2.1). ADEME 2013. aasta uuringus hinnati metaniseerimisel kasutatavat potentsiaali 4,3 Mtoe (56 TWh) 2030. aastal, st mahus, mis on sarnane Euroopa uuringus tuvastatuga. Mõned analüüsid ennustavad 2040. aastaks potentsiaali üle 8 Mtoe (100 TWh).



Joonis 2.1 Potentsiaalne biogaasi areng Euroopas 2030. aastaks [10]

Siiski on metaniseerimise teel toodetud taastuvenergia tootmiskulud turuhindadega võrreldes endiselt kõrged. Irena uuring mainib biogaasi tootmise ja töötlemise kulusid 30–150 €/MWh, mis sõltuvad suuresti sisenditest (energiakultuurid, sõnnik või jäätmed) ja paigaldatud võimsustest. Võrdluseks, Euroopa gaasihinnad on alates 2014. aastast kõikunud vahemikus 15–30 €/MWh.

Seetõttu on abi tööstuse toetamiseks hädavajalik. Euroopa raport rõhutab tõhusa ja stabiilse poliitika tähtsust biogaasisektori kasutuselevõtuks ja investeeringuteks. Seetõttu on Euroopa määrused 2020. aastale järgneva perioodiks kindlaksmääratud mahtude saavutamiseks kriitilise tähtsusega.

Biogaas pakub palju eeliseid, mis sobivad ideaalselt energia ülemineku ja ringmajandusega. See võimaldab toota salvestatavat taastuvenergiat, mida saab asendada fossiilkütustega. Lisaks pakub metaniseerimine lahendust päikese- ja tuuleenergia katkendlikule iseloomule ning annab võimaluse jäätmekäitluseks. Lõpuks saab kääritusjäägi, metaniseerimise jääke, kasutada väetisena, mis võib asendada mineraal- ja keemilisi väetisi.

Biogaas kujutab endast mitmeid väljakutseid, eelkõige nõudest kõrgemaid kulusid. Lisaks mastaabiefektide mõjule tehakse Euroopas uuringuid, et püüda neid vähendada, optimeerides eelkõige käärititest ja puhastustehnoloogiatest saadavat tulu. [10]

2.2 Biogaas: teed 2030. aastani

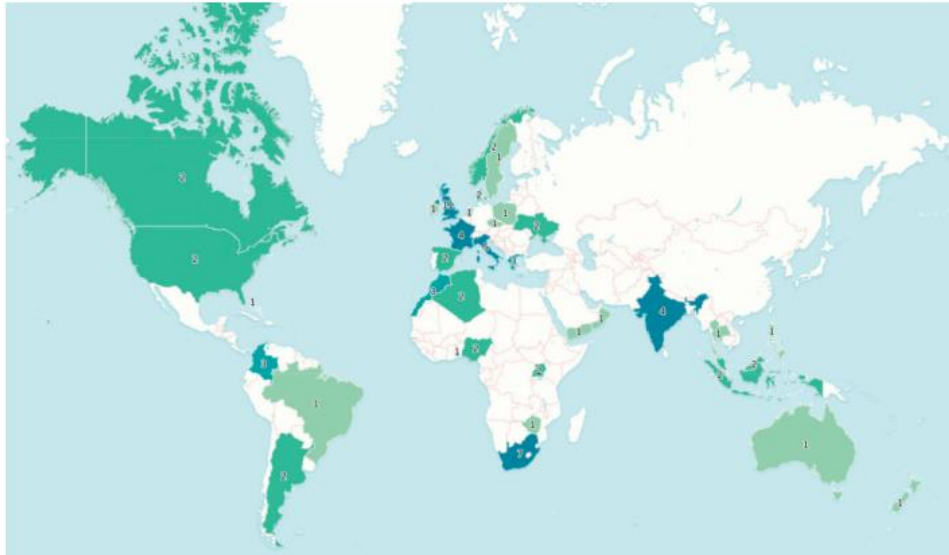
Uuringu viis läbi Maailma Biogaasi Assotsiatsioon ja selle eesmärk on välja selgitada biogaasi kasutamise väljavaated aastaks 2030, samuti selle tootmise kaudu, vähendades kasvuhoonegaaside ja süsinikdioksiidi heitkoguseid.

Tänapäeval töödeldakse ja taaskasutatakse vaid 2%. Nende orgaaniliste jäätmete hulka kuuluvad toidujäätmed, reovee- ja aiapäätmed, toidu- ja joogitootmisjäätmed ning põllumajandusjäätmed. See uuring näitab, kuidas ülemaailmne biogaasitööstus saab aidata riikidel vähendada ülemaailmseid heitkoguseid 10%.

Nüüd, 21. sajandil, näeme piiramatu kasutamise hukatuslikke tagajärgi fossiilsed ressursid – tõsised põuad, üleujutused ja orgaanid sagenevad, elupaigad kõikjal on plastikuga saastatud kõrgeimatest mäetippudest ookeanipõhjana ja bioloogiline mitmekesisus kaob kogu maailmas murettekitava kiirusega. Praegune keskkonnamuutuste kiirus on provotseerida enneolematu ulatuses massilist väljasuremist. Ellujäämiseks on inimesed pöördunud fossiilsete ressursside kaevandamise ja kasutamise vähendamise kontseptsiooni poole. Laiaulatuslik defossiliseerimine võib aidata leevendada kliimamuutuste halvimaid mõjusid, näiteks saab energiat saada mitmest fossiilidest sõltumatust tehnoloogiast, aineid ja kemikaale saab toota orgaanilistest allikatest ja bioringlussevõtu kaudu.

Defossiliseerimine läheb hästi kokku dekarboniseerimisega, viimane viitab täpsemalt süsiniku hulgale atmosfääris ja selle suhtelisele mõjule kliimamuutustele. Mädanevad jäätmed eraldavad metaani, võimsat kasvuhoonegaasi, millega kaasneb globaalne soojenemine potentsiaal on 28-36 korda suurem kui süsinikdioksiidil (CO₂) 100 aastaks. Väljapuhumise ennetamine metaan ja/või selle muundamine vähem kahjulikeks gaasideks nagu CO₂, tähendaks dekarboniseerimist.

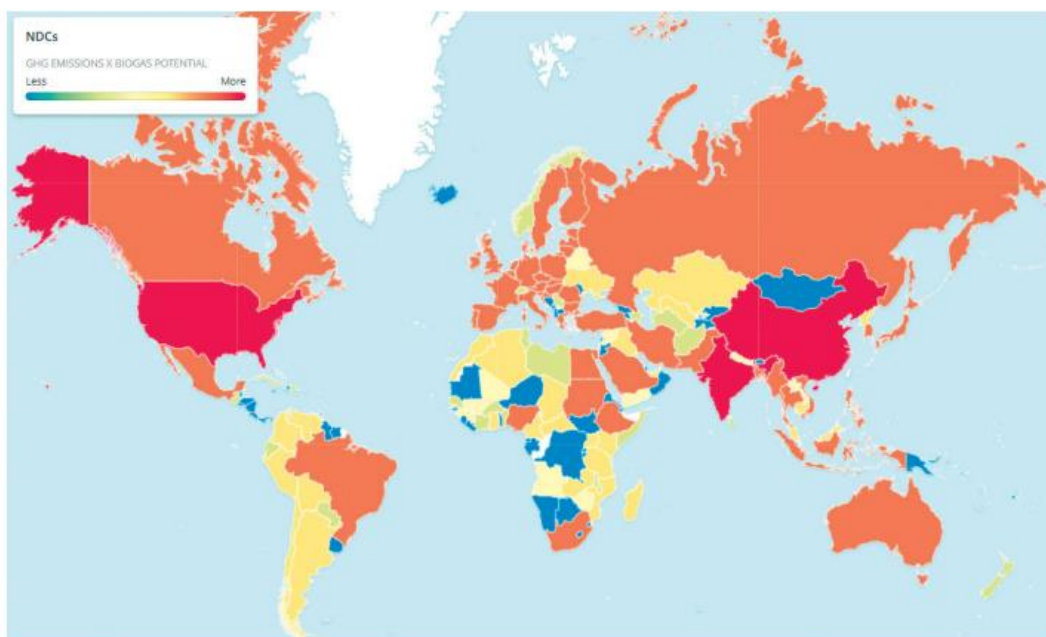
Maailma Biogaasi Assotsiatsioon viis läbi veebiküsitluse, mille eesmärk oli paremini mõista biometaaniseerimiste väärtust ja peamisi tõkkeid, mis pidurdavad tööstuse kasvu igas riigis. Küsitlus lõpetati 83 vastajaid 37 erinevast riigist kuuel kontinendil. Väärrib märkimist, et need riigid annavad kokku 45% ülemaailmsetest heitkogustest. Kui neis piirkondades areneks integreeritud biogaasitööstus, mis töötleks kõiki kergesti kättesaadavaid jäätmeid, väheneks aastased heitkogused oluliselt.



Joonis 2.2 Täidetud uuringute arv igas riigis [11]

Uuringu järgi on biogaasijaamade rajamata jätmise kaks peamist põhjust: esimene on finantskulud ja teine on ebasoodne poliitika. Viimane on teisel kohal koos paigaldatud biogaasijaamade enneaegse rikke põhjusega. Biogaasi turu eksperdid üle maailma nimetavad poliitikat kõige olulisemaks teguriks, mis peab olema parandada, et biogaasitööstus õitseks.

Joonisel 2.3 on näidatud riigid, kuhu biogaas saab kõige rohkem panustada süsiniku vähendamise. Iga riigi ligikaudne biogaasi potentsiaal (elaniku kohta) korrutatakse riigi panus ülemaailmsetesse heitkogustesse – luues seega mõjuindeksi.



Joonis 2.3 Biogaasi prioriteetsed riigid [11]

Punasega esile tõstetud riikidel on kõrge kasvuhoonegaaside heitkogus ja suur biogaasi potentsiaal ning sinistel riikidel on madal kasvuhoonegaaside heitkogus ja madal biogaasi potentsiaal.

Tabel 2.1 Biogaasi 10 prioriteetset riiki [11]

Hinnang	Riik	Globaalsete kasvuhoonegaaside heitkoguste osakaal	ligikaudne biogaasi potentsiaal (TWh)	Mõjuindeks**
1	Hiina	24%	1,156	274
2	India	6%	1,108	63
3	Ameerika Ühendriigid	12%	266	32
4	Euroopa Liit*	9%	358	32
5	Brasiilia	6%	171	10
6	Venemaa	5%	117	6
7	Indoneesia	1%	220	3
8	Jaapan	3%	102	3
9	Mehhiko	1%	104	1
10	Pakistan	1%	177	1

* Euroopa Liit hõlmab 28 riiki (sh Ühendkuningriik)

** Mõjuindeks = globaalsete kasvuhoonegaaside heitkoguste osakaal x ligikaudne biogaasi potentsiaal [arvud ei pruugi ümardamise tõttu summeerida] [11]

2.2.1 Soovitavad eelised

Iga päev toodab iga inimene maailmas orgaanilisi jäätmeid. See võib olla otseselt kanalisatsioon või toidujäätmed, kus viimane on välditav (hea toit ei lähe minema visata) või vältimatu (nt banaanikoored, juurviljakoored, teekotid). Teise võimalusena võivad jäätmed tekkida kaudselt - sõnnikut ja põllumajandusloomade läga, põllumajanduse taimejäägid ja orgaanilised jäägid, mis on tekkinud toiduainete ja jookide tootmine.

Igal aastal tekib tohutul hulgal jäätmeid. Kuigi inimesed püüavad orgaaniliste jäätmete hulka vähendada, on paljud neist vältimatud. Biometaaniseerimine on tänapäeval kõige tõhusam muundamise tehnoloogia see materjal jäätmetest väärtuslikuks ressursiks, mis

pakub laia valikut sotsiaal-majanduslikke ja keskkonnakasu – lihtsalt ringlussevõtuga orgaanilised jäätmed, mida inimesed paratamatult iga päev tekitavad.

Biometaaniseerimise kaudu on võimalik luua piiratud jäätmete jaoks ringmajandust. Üldiselt kuuluvad maailmas orgaanilised jäätmed lineaarse majanduse alla, kus tooted täidavad oma otstarbe enne nende matmist või põletamist. See majandus, mis põhimõtteliselt ei saa nii kaua töötada, kuna ressursse ammendub. Omakorda saab tänu ringmajandusele taaskasutada juba korra kasutatud materjali nii toitainete ja süsiniku tagasi viimiseks maasse, kui ka energia ja muude väärtuslike biotoodete tootmiseks.

2019. aastal avaldas WBA murrangulise aruande, mis arvutas esimest korda globaalse potentsiaali biogaasitööstus energia ja toitainete osas, mida see potentsiaalselt toota suudab, ning sellest tuleneva kasvuhoonegaaside vähendamise osas. Modelleerimisel eeldati orgaaniliste jäätmete kogumise saavutatavat taset ja realistlikkust jäätmetekke hindamised, sealhulgas toidujäätmete tekke oluline vähendamine. Selle simulatsiooni tulemusena leiti, et biometaan suudab tagada 33% maailma gaasivajadusest ning biometaaniseerimine võib vähendada globaalseid heitkoguseid umbes 10% aastas.

Kasutusvalmis tehnoloogiana võib biometaaniseerimine pakkuda laia valikut eeliseid:

- **Toodab rohelist energiat, biogaasi**

Kõiki kergesti kättesaadavaid orgaanilisi jäätmeid seedides on globaalsel biometaanitööstusel potentsiaali toota igal aastal ligikaudu 12 000 TWh energiat. See moodustab 33% kogu maailmas kasutatavast gaasist. Kõige tähtsam on see, et biometaaniseerimine toodab seda energiat taastuva gaasi kujul. Biogaas (metaani ja bio-CO₂ segu) saab "uuendada" biometaaniks bio-CO₂ eemaldamine. See biometaan on keemiliselt identne fossiilse maagaasiga, seega võib see fossiilgaasi vahetult asendada kõiges alates koduküttest kuni gaasikatel ja tankimissõidukid, enne nende töötlemist muudeks toodeteks (plastid, määrdeained jne). Kuigi on palju tehnoloogiaid, mis võivad taastuvat energiat toota elekter, biometaaniseerimine on kasutusvalmis tehnoloogia, mis on võimeline tootma taastuvgaasi.

- **Toodab orgaanilisi väetisi**

Pärast energia taastamist biometaniseerimisprotsessi käigus säilitab allesjäänud tahke/vedel jääk kõik algselt kääritisse söödetud orgaanilisest materjalist pärit toitained ja orgaaniline aine. Toitained ja järelejäänud orgaanilise aine saab seejärel maapinnale tagasi lasta põllukultuuride väetamiseks ja taastada mulla

tervis. Oluline on see, et kääritusjääk aitab asendada ka vajadust kunstliku järele väetised, mille tootmine on väga energiamahukas ja mida tavaliselt on vaja piiratud mineraalide kaevandamine.

- **Tagab sügava dekarboniseerimise**

Biometaaniseerimine takistab kasvuhoonegaaside heitkoguseid peamiselt kolmel viisil: (1) fossiilkütuste väljatõrjumine biogaasi tootmise kaudu; (2) kunstväetiste väljatõrjumine kääritusjäägi tootmise tõttu; ja (3) lagunevate jäätmete heite vältimine. Ühendkuningriigi valitsuse hinnangul välditakse iga seeditud toidujäätmete tonni kohta 616 kg CO₂-ekvivalendi heitkoguseid võrreldes prügilasse ladestamisega. 2020. aastal toodeti maailmas umbes 1,3 miljardit tonni farmijäätmeid. Kui kõik need toidujäätmed seeditaks, saaks vältida umbes 801 miljonit tonni CO₂-ekvivalenti heitkoguseid, mis on võrdne 2%-ga kõigist ülemaailmsetest heitkogustest.

- **Loob rohelisi töökohti**

MWe kohta (megavati elektriekvivalent) biometaaniseerimise sektoris kasutusele võetud võimsusega luuakse hinnanguliselt 14 ajutist töökohta otseselt tehase projekteerimiseks, arendamiseks ja ehitamiseks ning 3 alalist töökohta nende käitamiseks ja hooldamiseks. Kui see on lubatud, saab neid arve kahekordistada biomajanduses laiemalt loodud kaudsed töökohad, näiteks vastutustundlikud töökohad tooraine hankimine ja haldamine. Näiteks on vaja töökohti ulatusliku jäätmekogumisvõrgu projekteerimiseks, ehitamiseks ja käitamiseks.

- **Põllumajanduse mitmekesistamine**

Põllumehed on suure surve all kui kunagi varem, püüdes oma maad rohkem teenida ja hoolitseda kasvava elanikkonna eest. Mitmekatkestamine võib viia maa degradeerumiseni, kuid kliendid üha enam ootavad odavat toitu. Biometaaniseerimine võib aidata lahendada mõlemat probleemi. Läbi selle biogaasi ja kääritusjäägi tootmisel, võib see oluliselt vähendada kulusid võrgust energia importimisel ja kunstväetiste ostmisel, isegi müües ülejääki lisakasumi eesmärgil.

- **Puhas õhk ja puhas vesi**

Kui orgaanilised jäätmed lagunevad vabas õhus töötlemata, ei tekita need mitte ainult kahjulikke kasvuhoonegaase, vaid ka NO gaase ja toksiline filtraat. Need kemikaalid kujutavad endast olulist ohtu kõigile elusorganismidele, kui vastavalt

sissehingamisel või saastunud vee kaudu allaneelamisel. Orgaaniliste jäätmete töötlemine säästab tõhusalt elusid ja kaitseb bioloogilist mitmekesisust.

- **Energiavõrgu bilanss**

Biometaaniseerimine loob energiasüsteemis paindlikkuse – seda on lihtne säilitada ja transportida läbi olemasoleva energiataristu, pakkudes vähese süsinikdioksiidiheitega energiat siis ja seal, kus seda vajatakse. Peaasi, et saab kasutada ka baaskoormusega elektritootmiseks ning üleliigse taastuvelektri salvestamiseks elektrolüüsi ja biometaani abil. Kuna tuule- ja päikeseenergia on viimase kümnendi jooksul suurenenud, kogevad paljud riigid üha sagedamini vahelduvaid negatiivseid energiahindu, mille tõttu elektri tootmine ületab nõudlust, mis läheb võrguoperaatoritele maksma märkimisväärsed rahasummasid. Kasutades üleliigset elektritootmist roheline vesiniku loomiseks, saab vee elektrolüüsi kaudu madala süsinikusaldusega energiat salvestada gaasina. Seejärel saab vesiniku suunata otse biogaasi jaama, sidudes selle CO₂-ga, moodustades biometaani, suurendades selle saagist umbes 40% ja kasutades biometaaniseerimisprotsessis püütud CO₂.

- **Ekspordisektor kui maailma liider**

Biometaaniseerimist tunnustatakse üha enam selle võime eest tagada sügav dekarboniseerimine, toetades samal ajal kohalikku energiat ja toiduga kindlustatus, jäätmekäitlus ja põllumajanduse tootlikkus. Seetõttu investeerivad paljud riigid praegu suuri investeeringuid selle tehnoloogia õppimisse ja oskuste arendamisse, et tulevikus oma kogemusi teistesse riikidesse eksportida. Ainuüksi Ühendkuningriigis ekspordivad ettevõtted juba üle 100 miljoni naela aastas biogaasiga seotud teadmisi ja seadmeid. [11]

2.2.2 Praegune biogaasitööstus

Igal aastal toodetud 105 miljardist tonnist orgaanilistest jäätmetest jääb peaaegu kõik töötlemata, jäetakse mädanema, paiskades atmosfääri metaani ja saastades keskkonda. Toidujäätmed lähevad prügilasse ei eraldata anorgaanilistest jäätmetest, reovesi voolab veekogudesse ja põllumajandusjäätmed on lihtsalt levis maapinnale.

WBA raporti "Global Biogas Potential" kohaselt realiseerib maailm vaid 2% oma täispotentsiaalset. See tähendab, et peaaegu kõik need keskkonna- ja sotsiaalmajanduslikud eelised, mida orgaanilised jäätmed pakuvad, või "bioressursse" raisatakse. Sama kehtib ka biogaasi tootmise kohta. 2018. aastal toodeti maailmas

ligikaudu 407 TWh biogaasi. See moodustab väikese osa biometaani energiapotentsiaal 8490 TWh, mis suudab anda 20% maailma nõudlus gaasi järele.

Järgnevalt on toodud peamised energiatootmise biogaasi tootmiskeskused:

- **Euroopa - 209 TWh**

Euroopa juhib ülemaailmset tööstust, mida juhivad peamiselt suured turud Saksamaal, Itaalias ja Ühendkuningriigis (biogaasijaamade arvu järjekorras; kõrgeimast madalaimani). Põllumajanduslik tooraine toidab tööstust. Saksa toetused stimuleerisid arengut taimed, mida toidavad bioenergia põllud. Samuti on kaasamisele kaasa aidanud energiatootmisele suunatud toetuskeemid bioenergia põllukultuurid Ühendkuningriigi lähteainena; kuigi hilisemad määrused seavad piirangud põllukultuuridest toodetava gaasi osakaalule. Selle asemel on Prantsusmaa ja Taani peamised biogaasitööstused keskendunud sõnniku ja läga kääritamisele, tunnistades nende potentsiaali põllumajandustavade dekarboniseerimisele.

- **Hiina – 84 TWh**

Hiina toodab vähem kui poole Euroopa biogaasitoodangust vaatamata sellele, et seal on kaks korda suurem rahvaarv, kuid see on siiski maailma suuruselt teine üksikurg. Paljud neist bioreaktoritest on mikro- või väikesemahulised ning teenindavad väikeseid kogukondi, taaskasutades kohalikke põllumajandus- ja toidujäätmeid. Kuid, Hiina on lisanud biogaasi oma tööstusstrateegiasse ja loodab kiiresti arendada suutlikkust biometaani kaudu transpordi süsinikdioksiidiheite vähendamiseks.

- **Ameerika Ühendriigid – 42 TWh**

Kui suurem osa tänasest biogaasist toodetakse prügilatesse sattunud toidujäätmetest, siis mõnes piirkonnas on biogaasitööstus tänu poliitilisele toetusele kiiresti kasvanud. Eelkõige Californias on transpordikütuste dekarboniseerimise poliitika aidanud kaasa biometaani tootmisele sõnnikust. Selles raamistikus peetakse biometaani ainsaks säästvaks kütuseks, mis suudab oma elutsükli jooksul tekitada negatiivseid süsinikdioksiidi heitkoguseid.

- **Ülejäänud maailm – 47 TWh**

Ülejäänud maailma biogaasitööstuses domineerivad väiksemad detsentraliseeritud kääritused. India ja Tai on praegu suurima võimsusega, kusjuures suurem osa toorainest koosneb toidu- ja põllumajandusjäätmetest.

Brasiilia biogaasitööstus areneb suhteliselt kiiresti ning poliitika toetab suurest veise- ja sojaubade sektorist pärit jäätmete töötlemist. [11]

2.2.3 Kasvutõkked

Biogaas pakub ilmselgelt laia valikut eeliseid igal skaalal, kuid see tööstus töötab vaid murdosa kogu potentsiaalset - ainult 2%. Peamised takistused biometaniseerimise ülemaailmsel rakendamisel on kaks barjääri: kulu ja kompetents. [11]

Peamine barjäär: kulud

Biometaniseerimisjaam nõuab olulisi kapitalikulusid ja jooksvaid tegevuskulusid. Suhteliselt väikese 1,0 MW elektriijaama arendamine võib maksta 8 600 000 dollarit ja käitamine 500 000 dollarit aastas. Liiga sageli võrreldakse aga biometaniseerimist üksikute teenuste põhjal otse teiste tehnoloogiatega, mille tulemuseks on kasutuspiit ähmane ning biometaniseerimise kasutamine ei tundu nii võidukas variant.

Näiteks kui ainsaks tegevuseks on jäätmete kõrvaldamine, on prügilasse ladestamine odavam. Siis, kui 1,8 miljonit tonni segajäätmeid võiks olla ladestati 8,5 miljoni dollari eest prügilasse, sama koguse ringlussevõtuks orgaaniliste jäätmete jaoks biometaniseerimise teel oleks tõenäoliselt vaja umbes 20 suurt kääritit, millest igaüks maksab rohkem kui 30 miljonit dollarit. Kui fookus on energial, siis 40–50 dollari/MWh juures võivad tuul ja päike pakkuda soodsamat vahendit taastuvenergia tootmiseks võrreldes 60–120 dollariga/MWh biometaniseerimisega. Kui väetiste tootmine on ainus tegevusala, saab kunstväetisi toota massiliselt, kasutades fossiilgaasi ja odavat tööjõudu. Kuigi need ei pruugi olla odavamad kui kääritusjääk, toitainete levitamisele ranged piirangud määravad määrused ja olemasolev põllumajandustehnika tähendab, et põllumehed eelistavad sageli tööstuslikke väetisi mitmekesisematele orgaanilistele väetistele. Biometaniseerimine ei kuulu nende tehnoloogiate hulka, see on kõik see ja palju muud.

Kuna ülemaailmne biogaasitööstus areneb, vähenevad tõenäoliselt kapitali- ja tegevuskulud, mille tulemuseks on madalamad dekarboniseerimiskulud ja biometaniseerimise majanduslik elujõulisus kõigis sektorites. Kulude vähendamise võimalused on järgmised:

- **Riski vähendamine.** Tajutud risk suurendab negatiivselt kindlustuskulusid ja laenuintresse mõju biometaniseerimisjaamade rahalisele teostatavusele. Selge valitsuse toetuse ja pikaajalise strateegia abil saavad investorid end

biometaaniseerimisse investeerides kindlalt tunda. Parimaid tavasid rakendavate poliitikate ja määruste abil saab kindlustuskulusid vähendada.

- **Jagatud infrastruktuur.** Koostöö kogukondade ja talude vahel võib arenguvajaduse olematuks muuta mitu biometaniseerimisjaama või võrguühendus – üks suur tehas on tavaliselt odavam kui kaks (või enam) väiksemat. Ühine infrastruktuur võib säästa biometaaniseerimisega tegelevatele ettevõtetele märkimisväärselt raha.
- **Viibimisaja vähendamine.** Teadusuuringud ja innovatsioon pikendavad pidevalt seedimiseks kuluvat aega tooraine, uutest eeltötlusmeetoditest bioloogiliste koosluste parandamiseks. Kääritis veedetud aega nimetatakse viibimisajaks ja mida lühem on viibimisaeg, seda väiksem on vaja kääriti suurus. See võib oluliselt vähendada ehitus- ja maakulusid.
- **Detailide standardimine.** Seadmeid saab toota tehastes suures mahus, mis vähendab oluliselt üksikute jooniste ja detailide maksumus. Eriosad ja komponendid võivad muutuda odavamaks igas suuruses farmides. Veelgi enam, mikrofarmid võivad muutuda odavamaks ja kodudele ja kogukondadele üle maailma kättesaadavamaks. [11]

Peamine barjäär: pädevus

Igas suuruses biometaniseerimistehase edukaks arendamiseks ja käitamiseks on vaja professionaale, kellel on mitmesuguseid oskuste ja võimete kogum. Kõik tarneahela etapid saavad kasu suurenenud pädevusest biometaaniseerimise alal, keerukuse ja nende pikaajalise toimimise hindamine (>20 aastat).

Tööstus peab tagama, et kõik biometaniseerimistehased töötaksid riigis kooskõlas parima tavaga. Selle probleemi lahendamiseks aitavad sellised algatused nagu anaeroobse seedimise sertifitseerimisskeem (ADCS) näidata rajatise pühendumust optimaalsele toimimisele – parandada tervist ja ohutust, tõsta tootlikkust ja parandada keskkonnateenuseid. Alates Ühendkuningriigist suurendab ADCS usaldust biometaaniseerimise vastu. Ettevõtte, järgides parimaid valdkonna tavasid, vähendab igat liiki riske, seega intressimäärade ja kindlustusmaksete vähendamine, samuti usalduse äratamine valdkonna vastu tervikuna.

Teadmiste jagamine on võtmetähtsusega. Biogaasitööstus areneb pidevalt ja lisaks sellele, et see suudab luua uusi töökohti nagu insenerid, ettevõtjad, põllumehed,

uuendajad, ehitajad jne, saab teadmisi ja kogemusi jagada üle maailma. Lisaks on teadmistel kaubanduslik väärtus; valitsused saavad teha rahvusvahelisi algatusi, et ekspordida ekspertteadmisi ja seadmeid kasvavatele turgudele. [11]

2.2.4 Rahvusvaheline ja riiklik kliimapoliitika

Kuna kliimakriisi kiireloomulisus on rahvusvahelise üldsuse päevakorras kõrgel kohal, on poliitiline tahe teha koostööd ja tegutseda koos selle globaalse probleemi lahendamisel on võimaldanud välja töötada suure kaaluga rahvusvahelise poliitika. Põhjalikud kliimakokkulepped ja toetavate poliitikate kogum raamistik, mille raames tuleks võtta meetmeid süsinikdioksiidi heitkoguste vähendamiseks, sealhulgas biogaasitööstuse arendamine ja seda toetavad riigisisised poliitikad. Kehtib terviklik kliimapoliitika globaalsel, piirkondlikul ja riiklikul tasandil. [11]

Globaalne tase

Kliimapoliitika globaalsel tasandil on riikide koostöö kliimakriisi probleemi lahendamisel. Kuna tegemist on ülemaailmse probleemiga, millega ükski riik üksi hakkama ei saa, on koostöö selle eesmärgi saavutamiseks ülioluline. Koordineeritumaks tööks ja ka selle kontrollimiseks töötati välja Pariisi kokkulepe ja riiklikult määratud panused.

2015. aasta Pariisi kliimakokkulepe kohustas 196 allakirjutanut rakendama riiklikul tasandil poliitikat kooskõlas piirata globaalset soojenemist tunduvalt alla 2°C, eelistatavalt 1,5°C aastaks 2100. aastaks võrreldes industriaalajastu eelse tasemega.

Pariisi kokkulepet haldab ÜRO kliimamuutuste raamkonventsioon (UNFCCC) ja korraldab iga-aastast osapoolte konverentsi (COP). Pariisi kokkulepe rõhutab, et arenenud riigid peaksid mängima juhtivat rolli rahaliste ressursside mobiliseerimisel haavatavamate riikide toetamiseks. Samal ajal julgustatakse ka teisi riike pakkuma asjakohast rahalist abi. Kliimarahastamine on kliimamuutuste leevendamiseks hädavajalik, sest heitkoguste oluliseks vähendamiseks on vaja suuremahulisi investeeringuid. Kliimarahastamine on oluline ka kohanemise kontekstis, kuna muutuva kliimaga kohanemine nõuab märkimisväärseid rahalisi ressursse. Kõigil arengumaadel ei ole kliimamuutustest tulenevate väljakutsetega toimetulemiseks vajalikku suutlikkust. Seega annab Pariisi lepe olulise rolli kliimamuutustega seotud suutlikkuse suurendamisele arengumaades ja kutsub arenenud riike üles suurendama oma toetust sellega seotud meetmetele. [11]

Piirkondlik tase

Piirkondlikud üksused nagu Euroopa Liit (EL), Aafrika Liit (AL) ja Kagu-Assotsiatsioon Aasia riigid (ASEAN) mängivad samuti olulist rolli kliimastrateegiatega ja biogaasitööstuse tegevusraamistiku väljatöötamisel. See võib erineda missiooni avaldustest ja kliimast regionaalpoliitika strateegiad, eesmärgid ja mehhanismid, nagu ELi heitkogustega kauplemise süsteem (EU ETS), mis arendas välja esimese rahvusvahelise süsinikuturu. Seda tüüpi koostöö piirkondlikul tasandil võib võimaldama suuremaid ambitsioone seal, kus on probleeme ülemaailmse konsensusega. Samuti näeb see poliitikate ja raamistike väljatöötamist, mida saab enne laiemalt kasutuselevõttu proovida ja katsetada.

- **Euroopa Liit**

EL kasutab liikmesriikide vahel koordineeritud kliimamuutuste meetmete võtmiseks lähenemisviiside kombinatsiooni. Nende hulka kuuluvad piirkonna eesmärgid ja nendega seotud eesmärgid liikmesriikidele; strateegilised dokumendid mis määratlevad konkreetsete teemade puhul võetavad toimingud; ja poliitilised mehhanismid, mis stimuleerivad piirkonnas muutusi. Hiljuti on biometaaniseerimise tehnoloogia muutunud üha ilmsemaks ELi tegevuses kliimamuutustega võitlemisel. 2020. aasta oktoobris avaldas EL oma metaanistrateegia, milles visandati nende kahjulike heitkogustega tegelemise kiireloomulisus ning biometaaniseerimise võtmeroll põllumajandus- ja jäätmesektoris. Keskendutakse sellele põllumajandus, mis on ülekaalukalt suurim inimestega seotud metaaniheite põhjustaja.

Strateegia ütleb: „Ühekordseks kasutamiseks mõeldud inim- ja põllumajandusjäätmed (nt sõnnik) ja jääkide vood võivad kasutada anaeroobsetes reaktorites biogaasi tootmiseks või biorafineerimistehastes biomaterjalide tootmiseks ja vahepealne biokeemia. Sellisest lähteainest toodetud biogaas on väga säästva ja kasuliku taastuvenergia allikas, millel on palju rakendusi, samas kui materjal, mis jääb alles pärast anaeroobset kääritamist (kaaritusjääk) võib pärast edasist töötlemist kasutada mullaparandusainena.

Lisaks leppisid EL-27 põllumajandusministrid 20. oktoobril kokku läbivaadatud ühises põllumajanduspoliitikas (CAP), milles tõsteti esile mulla orgaanilise süsiniku täiendamise ja säilitamise roll mulla pikaajalise kvaliteedi tagamise prioriteedina. See poliitika stimuleerib orgaaniliste mullaparandusainete, sealhulgas biogaasijaamades toodetud komposti ja kääritusjäägi kasutamise turgu.

- **Aafrika Liit**

Aafrika Liidu maamajanduse ja põllumajanduse osakond (DREA) on jätkusuutlikkuse edendamisel teejuhiks keskkonna ja loodusvarade ratsionaalne kasutamine. See töö keskendus Aafrika edendamisele kliimamuutuste vallas, Aafrika positsiooni tugevdamisele ülemaailmsetel kliimaläbirääkimistel ja Aafrika kliimamuutusi käsitleva

ühise seisukohaga seotud koordineerimise edendamisele, samuti Aafrika kliimamuutuste strateegia väljatöötamisele.

DREA töötab ka selle nimel, et parandada liikmesriikide suutlikkust pääseda juurde kvaliteetsele keskkonna- ja kliimateabele, et anda teavet poliitiliste otsuste tegemisel, ning kasutada parimal viisil ära mitmepoolsetest keskkonnalepingutest saadavat rahastamist. Ta toetas ka Sahara ja Saheli Suure roheline müüri elluviimist, et võidelda maa degradeerumise ja kõrbestumise vastu. DREA ka keskendub veevarustuse ja tervishoiu edendamisele Aafrikas, mis on tihedalt seotud biometaaniseerimise rolliga säästvas reoveepuhastuses.

- **Kagu-Assotsiatsioon Aasia riigid**

ASEANi riigid on ühiselt pikka aega ja aktiivselt propageerinud ülemaailmseid meetmeid kliima muutumine. Organisatsioon teeb koostööd ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooniga, et töötada välja seire- ja aruandlussüsteem, mis võimaldab piirkonnal süsinikuturget ära kasutada. ASEANi kliimamuutuste töörühm (AWWGCC) loodi piirkondlike algatuste koordineerimiseks ASEANi liikmesriikide toetamiseks leevendus- ja kohanemismeetmete rakendamine. [11]

Riikliku tase

Kuigi globaalsetel ja piirkondlikel algatustel on eesmärkide seadmisel oluline roll, siis poliitikasoovitused ning tagama usaldusväärset teadusuuringut, mida peaksid reeglina rakendama üksikud riigid ja nende valitsused muutuste juhtimiseks vajalikud seadused. [11]

2.2.5 Järeldused

Valitsused ja ühiskond peaksid püüdma orgaaniliste jäätmete voogusid ringlusse võtta optimaalne biometaaniseerimistehnoloogia, mis muudab need väärtuslikeks ressurrsideks.

Täieliku potentsiaaliga, kui biometaaniseerimine võtab ringlusse kõik kergesti kättesaadavad ja vältimatud orgaanilised jäätmed, on iga-aastane ülemaailmne heitkoguseid saab vähendada vähemalt 10%.

Biometaaniseerimine paljastab orgaaniliste jäätmete suurima väärtuse. Kui need orgaanilised jäätmed kogutakse biometaaniseerimise teel, muutuvad need taastuvenergia, roheline CO₂ allikaks, looduslikud väetised ja muud väärtuslikud biotooted, mängides mitmetahuline roll ringmajanduse keskmes. See eraldab orgaanilistest jäätmetest kõige rohkem väärtust ja muudab need kõige väärtuslikumaks taastuvateks ressurrsideks, mis kajastub tehnoloogia mitmekülsuses. [11]

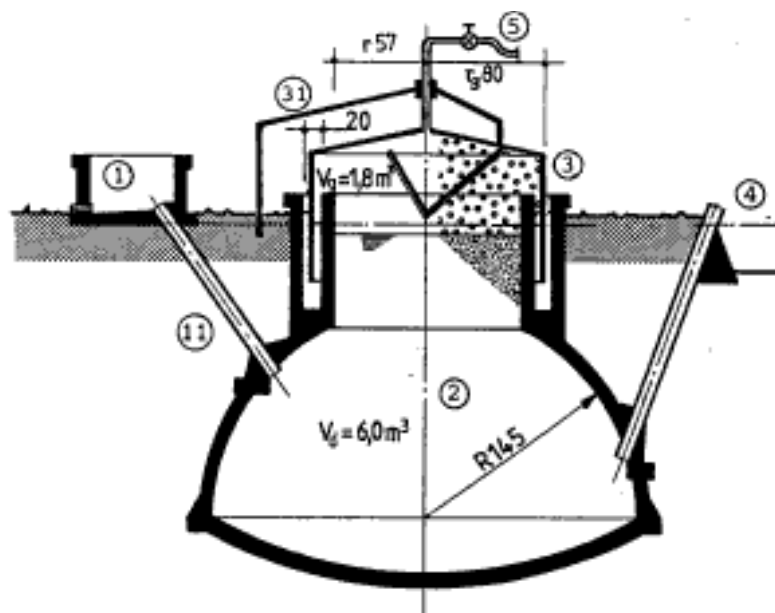
3 BIOGAASI KASUTAMINE

3.1 Varem

Biogaasi kasutamist alustati mitte väga ammu. Esimene suurem anaeroobne kääritusjaam ehitati Bombaysse 1859. aastal ja varsti pärast seda, 1898. aastal, hakkas Suurbritannia kasutama anaeroobset kääritamist reovee muundamiseks biogaasiks, kasutades energiat tänavavalgustite toiteks. Järgmisel sajandil kasutati anaeroobset kääritamist peamiselt asulareovee puhastamise vahendina. Kui fossiilkütuste hinnad 1970. aastatel tõusid, kasvas tööstuslike anaeroobsete kääritusseadmete populaarsus ja efektiivsus.

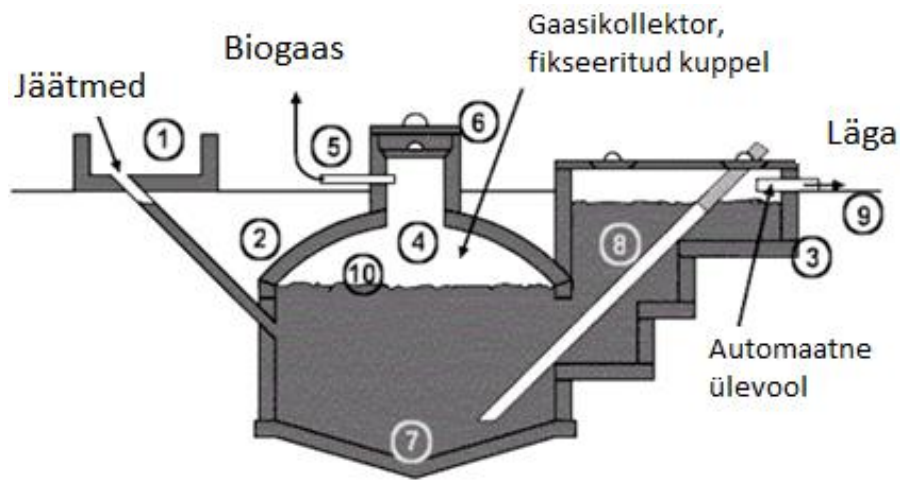
1960. aastate paiku hakkasid India ja Hiina arendama põllumeestele väikesi biogaasireaktoreid, et vähendada maapiirkondade energiavaesust ning muuta puhtamad toiduvalmistus kütused kauges piirkondades taskukohasemaks.

Indias tuntakse populaarset mudelit ujuva trummeldajaga (vt. Joonis 3.1) ja Hiinas on eelistatud biogaasimudel fikseeritava kuppeliga (vt. Joonis 3.2). [2]



Joonis 3.1 Biogaasijaam ujuva trummeldajaga [12]

kus 1 – segamispak; 2 – katel; 3 – gaasihoidja; 4 – lägakumulaator; 5 – gaasitoru; 11 – täitetoru; 31 – juhtraam



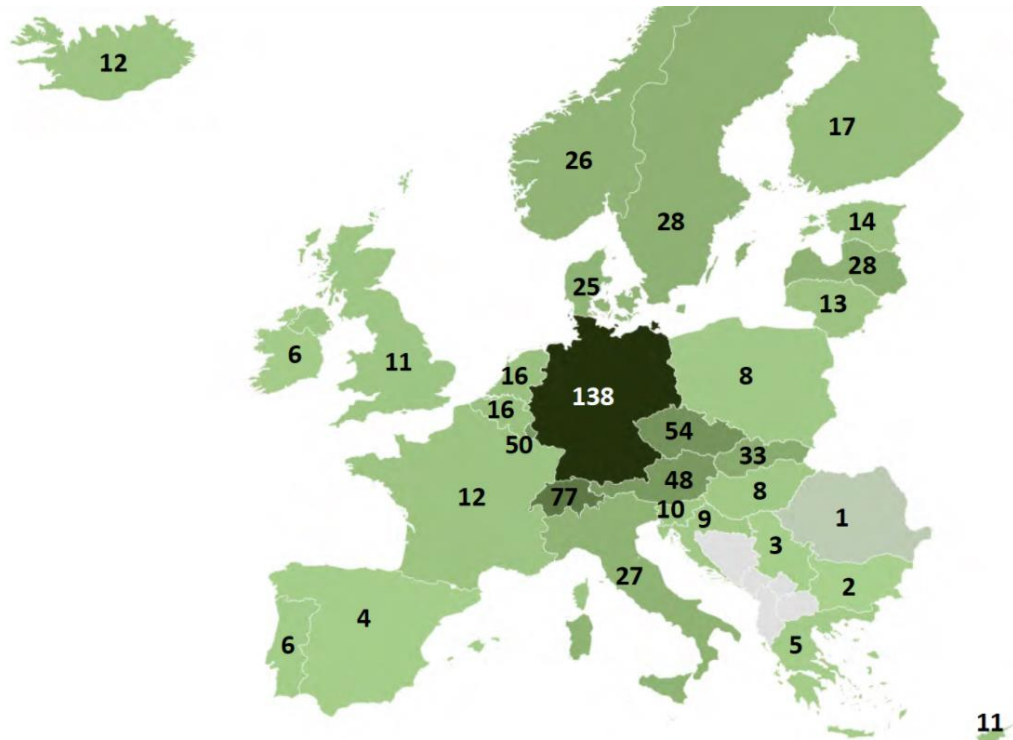
Joonis 3.2 Biogaasijaam fikseeritava kuppeliga [13]

kus 1 - segamispak sisselaske- ja liivapüüduriga; 2 - katel; 3 - kompensatsiooni- ja dreneažipaak; 4 - gaasihoidja; 5 - gaasitoru; 6 - gaasikindel tihendiluuk; 7 - paksu sette kogunemine; 8 - väljalasketoru; 9 - võrdlustase; 10 - supernatantne saast, jaotatud erineva tasemega

3.2 Praegune kasutamine

Praegu on huvi biogaasi vastu kasvamas. Peamine põhjus, miks biogaasi tootmise ja kasutamise vastu kasvab huvi, on inimkonna hirm energiakriisi ees. Süsi, nafta, fossiilne maagaas ja muud traditsioonilised kütused, ehkki neil on biogaasile sarnane orgaaniline olemus, tekkisid täiesti erinevates tingimustes. Isegi kui nende kogunemine maapõue jätkub tänapäevani, on see protsess liiga aeglane, et taastada kaduvaid ressursse. Lähitulevikus muutub maakera sisemuse rikkus paratamatult napiks ja need asenduvad kergesti taastuva orgaanilise lagunemisproduktiga.

Kuna detailidesse laskumata on biogaasi tootmine üsna lihtne, vaja on vaid orgaanilisi materjale ja sooja veega segatud bakterikeskkonda, samuti teatud temperatuuri hoidmist, on biogaasi tootmine leidnud laialdast rakendust arenenud Euroopa riikides, kus on saada alternatiivkütuste kasutamise liidriks. Suurte ja keskmise suurusega biogaasijaamade arvu poolest hoiab Saksamaa kindlalt esikohta maailmas. Täiesti erinev olukord on kujunemas Hiinas, kus kasutatakse miljoneid lihtsaid ja väikese võimsusega bioreaktoreid, mis suudavad rahuldada eranditult põllumajanduse ja talupoegade asunduste vajadusi. [14]



Joonis 3.3 Biogaasijaamade arv miljoni elaniku kohta 2018. aastal [15]

Kõige suurem biogaasi tootja Euroopas on Saksamaa, tema toodang moodustab 62% kogu Euroopa biogaasitoodangust. Saksamaal 2018. aasta seisuga oli 9706 biogaasifarmi, millest 9494-l on elektri- ja soojuse koostootmisjaamad koguvõimsusega 4,8 GW. 2017. aastal tootsid nad 32 500 GWh elektrit ja 17 184 GWh soojust. [16]

Biogaasi tootmise peamised tooted on:

- Elekter
- Soojus
- Biometaan
- Kääritatud mass

Biogaasi energeetiliseks kasutamiseks on kõige tavalisemad viisid:

- biogaasi põletamine mini-koostootmisjaamas elektri ja soojuse tootmiseks või ainult elektrienergia tootmiseks (soojuselektrijaam) ;
- otsene põletamine kateldes, ahjudes ja muudes tehnoloogilistes seadmetes soojusenergia saamiseks (kasutatakse munitsipaal- / tööstuslikuks soojusvarustuseks, toiduvalmistamiseks, söötmiseks jne);

- maagaasi sisestamine võrku pärast ballastgaasidest puhastamist - puhastamise tulemusena saadakse 96–98% metaanisisaldusega maagaasi analoog (biometaan);
- kasutada pärast sügavat puhastamist ja kokkusurumist mootorsõiduki kütusena.

Kõiki ülaltoodud meetodeid kasutatakse ühel või teisel määral maailmapraktikas, kuid kõige tavalisem meetod on elektri ja soojuse tootmine koostootmisjaamades. Viimasel ajal on maailmapraktikas eriti kiiresti kasvanud biogaasi projektide arv, mis on suunatud biometaani tootmisele ja tarnimisele gaasi ülekandevõrku. [1]

Biogaasi kasutamine Eestis

Vastavalt Euroopa Liidu taastuvenergia direktiivile 2009/28/EL, Eesti peab tagama, et taastuvate energiaallikate osakaal peab olema 25% kogu energia lõpptarbimisest ning taastuvad energiaallikad peavad moodustama 10% transpordikütusest. Biogaasil on nende eesmärkide saavutamisel oluline roll. [17]

Peamiseks biogaasi allikaks Eestis on põllumajanduslik biomass ja põllumajandusjäätmed, samuti tööstusjäätmed ning vähesel määral prügilajäätmed ja reovesi. [18]

Praegu Eestis on kokku 17 biogaasijaama, neist

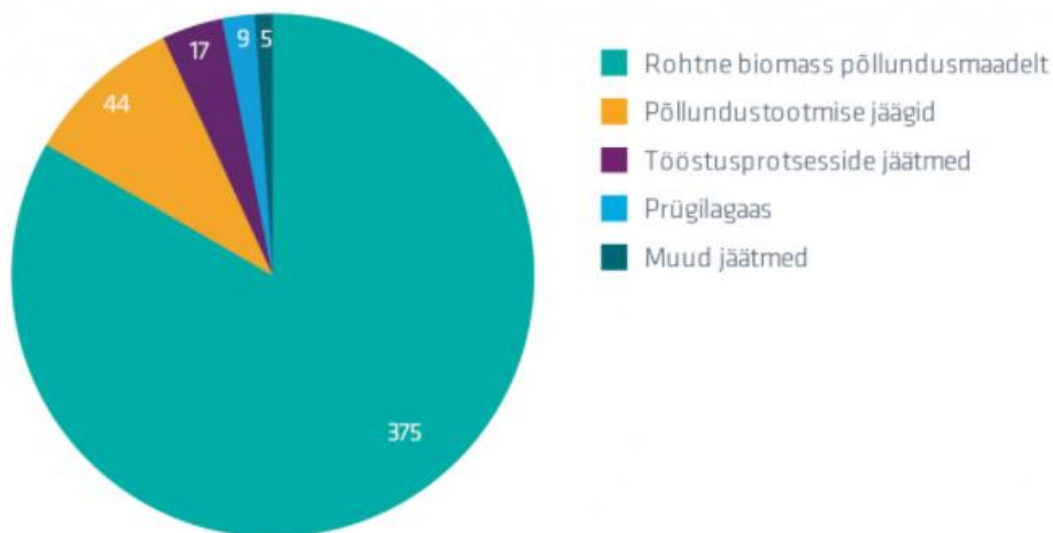
- 7 reoveepuhastusjaamades – Tallinna Vesi AS, Kuressaare Veevärk AS, Narva Vesi AS, Tartu Vesi AS, Eastman Specialties OÜ, Salutaguse Pärmitehas, Estonian Cell AS
- 5 prügilates – Jõhvi Uikala prügila (0,4 MW), Pärnu Paikre prügila (0,4 MW), Tallinna prügila (1,9 MW), Tartu Aardlapalu prügila (0,4 MW), Väätša prügila (0,1 MW)
- 5 põllumajanduslikku biogaasijaama Aravete Biogaas OÜ, Koksvere Biometaan OÜ, Tartu Biometaan OÜ, Oisu Biogaas OÜ (1,2 MW), Vinni Biogaas OÜ (1,4 MW)

Eesti biogaasijaamade peamine tootmistoode on soojus ja energia. Mitmed neist, nimelt Koksvere Biometaan OÜ, Tartu Biometaan OÜ, Oisu Biogaas OÜ, Vinni Biogaas OÜ ning Estonian Cell AS tegelevad biometaani tootmisega. [9]

Biometaani tootmine Eestis algas 2018. aasta aprillis. Rohegaas OU oli esimene ettevõtte, mis alustas biometaani tootmist, mille põhitooraineks oli reovesi. Hiljem liitus

sellega Biometaan OU, mis tootis sõnnikust ja biomassist biometaani. Alles 2018. aasta teises kvartalis suudeti toota 8082 MWh biometaani, mis läks hiljem transpordisektorisse. Eesti Arengufond hindas biometaani potentsiaalseks aastaseks toodanguks Eestis 450 miljonit Nm³. Biometaani potentsiaal lähteaine tüübi järgi on näidatud joonisel 3.4. [18]

Eesti biometaani potentsiaal (mln Nm³/a)



Joonis 3.4 Biometaani potentsiaal lähteaine tüübi järgi [18]

Eesti on võtnud eesmärgiks vähendada juba olemasolevate kütuste tarbimist, mis moodustavad kokku 8,5 TWh ehk 67% diislikütusest ja 33% bensiinist. Lisaks sellele, et biometaani kasutamine mootorikütusena vähendab mitmekordselt keskkonnasaastet, aitab biometaani kasutamine vähendada ka riigi sõltuvust imporditavast kütusest. [18]

Juba praegu täidetakse Pärnus, Tartus ja Tallinnas paljud bussid biometaaniga, mida toodetakse Eestis. Tallinna Linnatranspordi Seltsi osakonnajuhataja Andres Koldre sõnul asendavad biometaanibussid saastavamaid diiselbusse. Üheks aktsiisivaba biogaasi plussiks on hind, ta märkis ka, et isegi kui biogaasi aktsiis oleks sama, mis praegu vedelkütusel, oleks selle eksploateerimine ikkagi odavam. Tänapäeval moodustavad TLT bussipargist viiendiku sadakond biogaasil töötavat bussi. Aastaks 2025 on plaanis kõik bussid asendada roheliste bussidega. [19]

Tänu biometaani headele tulemustele on Eesti võtnud eesmärgiks tõsta 10 aastaga taastuvkütuse kogust transpordis kuni 14%. [19]

3.3 Biogaasi kasutusväljavaated

Valitsused ja tööstus saavad hinnata oma biogaasi potentsiaali. Kõigepealt tuleks arvestada orgaaniliste jäätmete olemasolu ja kogust. Näiteks selleks, et hinnata biometaaniseerimise potentsiaali teatud piirkonnas, tasub arvestada teatud teguritega:

- **Konkreetses piirkonnas elavate inimeste arv.** Kõik inimesed toodavad igapäevaselt orgaanilisi jäätmeid. Rohkem inimesi, rohkem reovee ja toidujäätmeid. Sotsiaalsed ja kultuurilised tegurid võivad arvu mõjutada toidujäätmed inimese kohta aga võivad toidujäätmed ühiskonnas pärineda mitmetest erinevatest allikatest, nt kodud, poed, restoranid, koolid, haiglad jne. Jäätmevoogusid tuvastades saab välja arvutada biogaasijaama otstarbekuse ja suuruse.
- **Peamised tootmistooted konkreetsel territooriumil.** Toidu ja jookide tootmist seostatakse orgaaniliste jäätmete tekkega. Toiduainetehase asukohas või selle läheduses biometaaniseerimistehase arendamine loob sageli väga tõhusa süsteemi, mis töötleb jäätmeid, mille tulemuseks on see, et süsteem tagastab tehasele energiat, aga ka bioväetisi, mis saadetakse tagasi põldudele toidu kasvatamiseks.
Lisaks saab biogaasist saadavat bio-CO₂ kasutada ka selliste toodete valmistamisel nagu gaseeritud joogid. Suurem osa tänapäeva tööstuslikust CO₂-st tuleb kunstväetiste või biodiisli tootjatelt. Kui aga sellist tehast läheduses ei asu, võib CO₂ maksumus olla kõrge. Biometaaniseerimistehase ja toidu-/joogitehase ühispaiknemine võib anda märkimisväärset kulude kokkuhoidu, parandades samal ajal ettevõtte keskkonnaalast mainet ja säilitades juurdepääsu rohelistele investeeringutele.
- **Konkreetses piirkonnas talude tootmine.** Kariloomade jäätmeid, samuti taime- ja katekultuuride jääke saab seedida energia saamiseks. Neid orgaanilisi jäätmeid saab koos seedida ja kääritusjääki kasutada põllumajandusmaa väetamiseks. Põllumajandusstruktuur võib samuti mõjutada biometaaniseerimise arengut. Suurem tsentraliseeritud tehas võiks olla mõeldud mitme kohaliku talu jäätmete käitlemiseks, kuid kaugemad kogukonnad võivad eelistada väiksemaid sõltumatuid seedijad

Kõiki neid punkte arvestades on võimalik välja selgitada biogaasi potentsiaal ning määrata, milline biogaasijaam oleks rajatiseks kõige sobivam. Väikesele kogukonnale sobib näiteks 1 MW võimsusega biogaasijaam. Aastas hakkab see töötleva 10 000 tonni segatoidujäätmeid, põllumajandusjäätmeid ja reovett. Samuti annab see ühiskonnale energiat, säilitades samal ajal puhta õhu ja tervishoiu. Suurte linnade jaoks sobib võimsam paigaldus. Selle võimsus on 14 MW, see suudab töödelda kuni 100 000 tuhat tonni toidujäätmeid, millel on ka võime töödelda koos põllumajandusjäätmete või reoveega.

Farmidele on ka erinevaid võimalusi biogaasijaamade jaoks. Nii et väiketaludele oma jäätmete töötlemiseks on 2 MW võimsusega tehased, kus on võimalik töödelda kuni 20 000 tonni jäätmeid aastas. Põllumajandussõidukite tankimiseks vajalike kulude hüvitamisel hoonete kütmine ja põllukultuuride väetamine. Toitained kääritusjaest võivad veelgi parandada mulla tervist ja struktuuri. Samuti on võimalus paigaldada üks suur jäätmetööstustehas võimsusega 22 MW, mille võimsus on töödelda kuni 350 000 tonni aastas. See valik sobib talukogukonnale, on väga tõhus ja vähendab vajadust ehitada mitu tehast, kõik tehasega töötavad põllumehed saavad osa energiast, bioväetis ja isegi kasum. [11]

4 ELEKTRI TOOTMINE BIOGAASIST

Üks biogaasi kasutusala on energia tootmine. Biogaas sisaldab keemilist energiat metaani (CH_4) kujul. See gaas on põhiosa biogaasist ja on põlev. Selle põletamisel saadakse soe õhk, millest omakorda saab toota elektrit, näiteks aurumasin, või toota vee soojendamisel veeauru, edaspidiseks kasutamiseks turbiinis. [20]

Samuti on olemas kombineeritud soojus- ja elektrimootorid. Kombineeritud soojuse ja elektri mootorid suruvad kokku ja põletavad põlevaid gaase, et generaatoril elektrit toota. Koostootmismootor suudab aga elektriks muuta vaid 37-42% biogaasi energiast, ülejäänud tekitab jääsoojust. Seda soojust saab kohaliku soojusvõrgu kaudu tagasi võtta ja soojustarbijale üle anda. Sellised mootorid töötavad tavaliselt biogaasil, mis on 55-65% biometaani ja 35-45% bio- CO_2 , ehk puhtal biometaanil, mis omakorda on puhastatud biogaas, mille biometaani sisaldus on üle 90%.

Sellistes mootorites saab vastuvõetud elektri ja soojuse suhet esitada kui 40/60. Saadud elektrienergiat saab varustada madala või kõrge pingega. Kui madalpinge on minimaalsete süsteemikadude tõttu tõhusam, siis ekspordiks elektrienergia riigivõrku, kasutatakse trafot kõrgepingeks muundamiseks. Saadud taaskasutatud soojus tarnitakse tavaliselt kuumade vee kujul, mille temperatuur on umbes 90-100 °C. Kuid erirakendustes saab seda tarnida surveauruna tööstuslikuks kasutamiseks, kuigi koostootmisjaama soojustõhusus väheneb tavaliselt auru tootmisega.

Biogaasi põletamine koostootmismootorites on viimase 20-30 aasta jooksul olnud valdav lõppkasutus. Nende mootorite kasutamise peamised eelised on järgmised:

- **Riigi toetused.** Toetused taastuvatest allikatest elektri tootmiseks on ajalooliselt olnud väga kõrge – näiteks Ühendkuningriigi sisendtariifi abil saab 20-aastase perioodi jooksul skeemi alguses kindlustada tariifid > 150 naela elektri MWh kohta. Sellised stiimulid soodustavad söekütel tootvate varade väljatõrjumist.
- **Konkurentsivõime.** Biogaasist toodetud elekter oli algselt konkurentsivõimeline võrreldes teiste roheliste tehnoloogiatega, päikese-, tuule- jne. Viimastel aastatel on vahelduva taastuvenergia hinnad aga järsult langenud ja langevad ka praegu oluliselt odavam kui mis tahes muu elektritootmise vorm.

- **Kättesaadavus.** Biogaasimootorid on kergesti kättesaadavad, gaasitööstusest saadud end tõestanud tehnoloogia.
- **Infrastruktuur.** Vaja on minimaalset infrastruktuuri, kuna koostootmisjaam võib olla võrguga ühendatud või töötada saarerežiimis, mis vähendab nii kommunaalkulusid kui ka liitumiskulud. Kaugkohad, kus on vähe või üldse mitte juurdepääsu elektri- või gaasivõrkudele, võivad paigaldada koostootmisjaamu kohaliku soojuse ja elektri tootmiseks.
- **Ärakasutamine.** Toimimise lihtsus: mitmed koostootmisjaamade tootjad pakuvad täielikke kasutus- ja hoolduspakette.

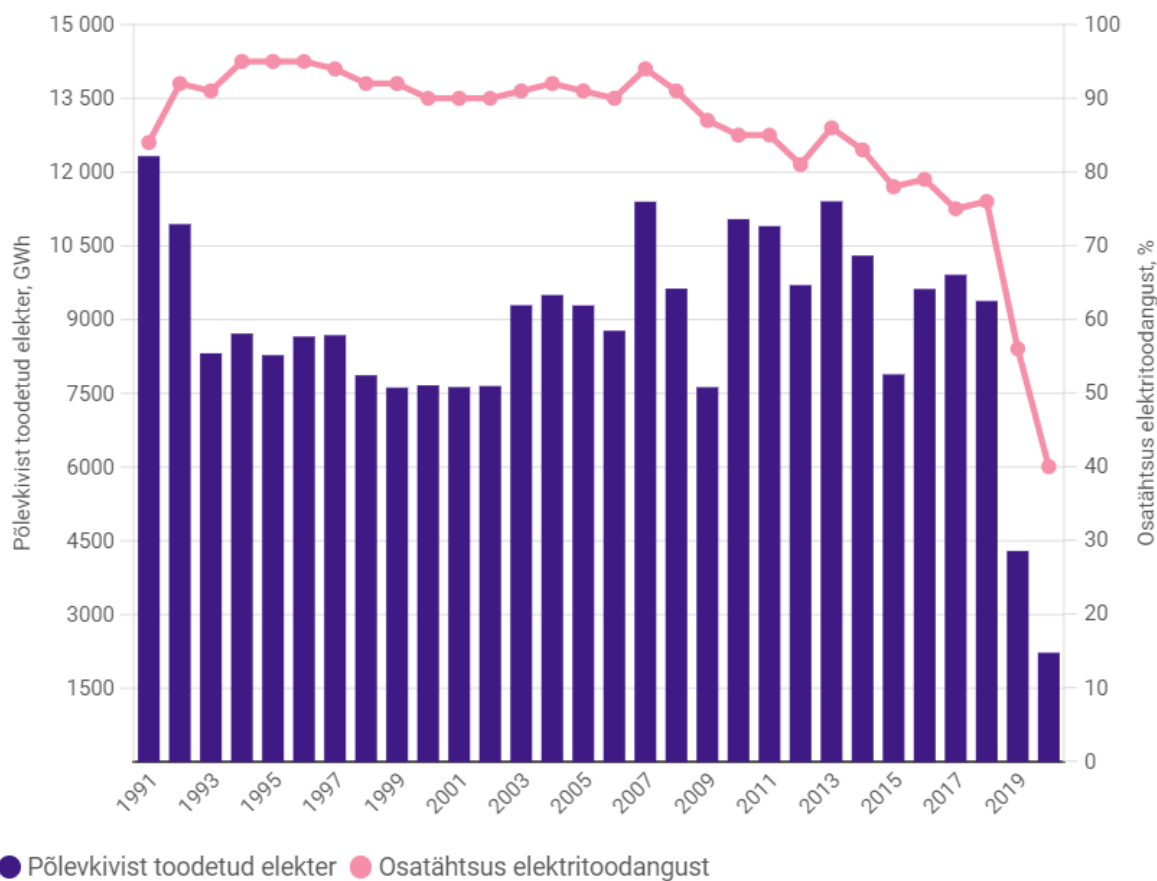
Selliste koostootmisjaamade kasutamine sõltub aga otseselt tarbija sobivusest. Näiteks piisavalt suure soojuse ja elektri kommertstarbija läheduses asuv koostootmisjaam suudab seda väga tõhusalt pakkuda. Üldine efektiivsus võib olla vahemikus 80% kuni 90%. Kui aga jääksoojusenergiat ei kasutata, süsteemi kasutegur saab olema võrdne elektrienergia kasuteguriga - s.t. enne 42% oma klassi parimast mootorist. Sellest järeldub, et koostootmismootori piiratud elektrilise kasuteguri tõttu ei ole soovitatav neid kasutada ilma soojusenergia lõpptarbijata. Kui soojust ei kasutata, läheb suurem osa biogaasi energiast raisku.

Juhtudel, kui biogaasi tootmine ei toimu koos tööstustarbijatega, saab biogaasi muuta biometaaniks ja transportida seejärel sobiva gaasivõrgu või maantee kaudu (virtuaalne torustik) tööstustarbijateni. Pärast transportimist võib biometaan kasutada koostootmisjaamades strateegiliselt olulistest tööstussektorites.

Biogaasi kasutamine elektri tootmiseks on väga oluline võimalus asendada praegune elektrienergia "baaskoormus", mis saadakse valdavalt fossiilkütustest nagu kivisüsi või maagaas. Enamik arenenud riike kasutab maagaasil ja kivisöel töötavaid elektri jaamu, et pehendada elektrienergia tipnõudlust; tavaliselt hommikul ja varaõhtul, kui tarbijate nõudlus järsult tõuseb. Kuna võrku ühendatakse üha enam katkendlikku päikese- ja tuuleenergiast taastuvat tootmist, on elektrivõrgu tasakaalustamiseks vaja täiendavat paindlikku tootmisvõimsust. Biogaasi tellitava olemuse tõttu on generaatoritel võimalus vastavalt vajadusele suurendada või vähendada elektrivõimsust, võimaldades samas üleliigset biogaasi täiendada ja kasutada transpordiks, kütteks või gaasivõrgus ladustamiseks.

Eestis omakorda on olukord biogaasist elektri saamisega järgmine.

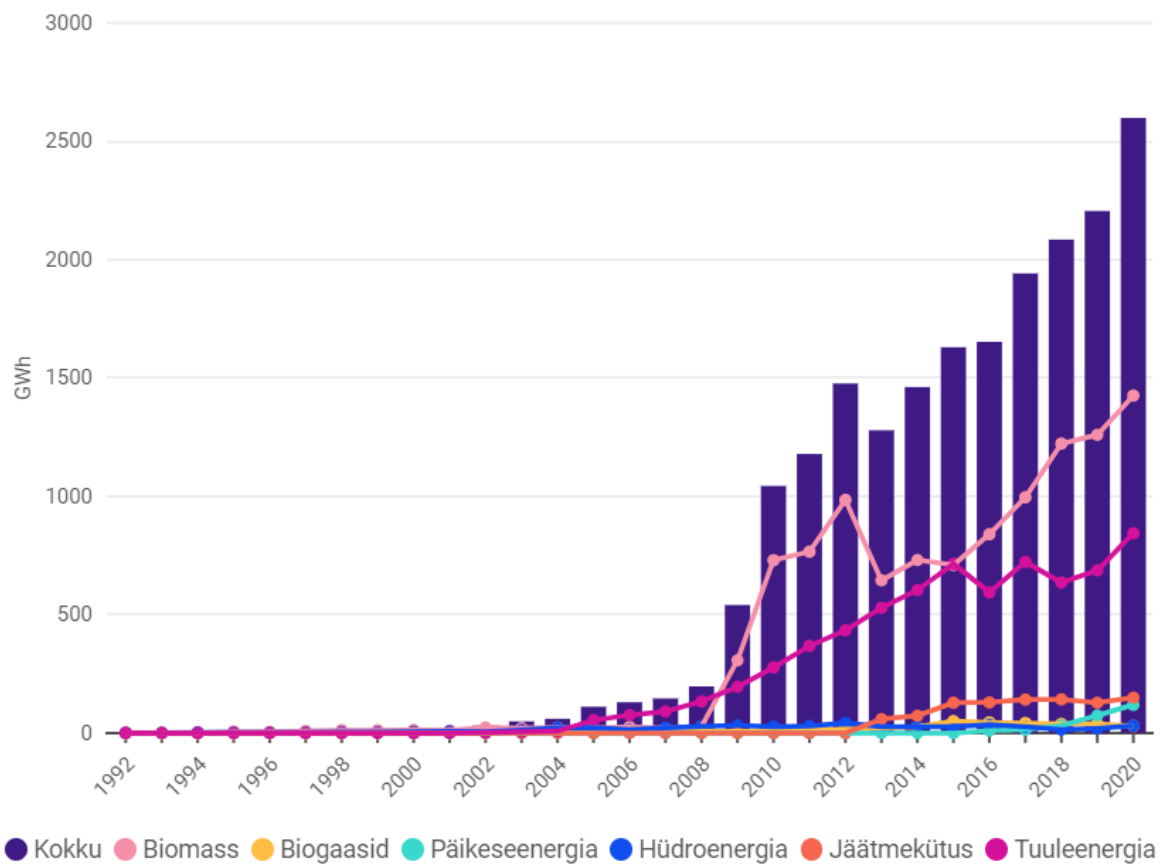
Eestis on viimase 30 aasta jooksul tarbitud energiat aastas umbes 8000-10 000 GWh, vahel rohkem, kord vähem. Põlevkivi on olnud peamine elektrienergia allikas aastast 1990, jooniselt 4.1 on näha, et mõnel aastal moodustas see kuni 95% kogu riigis toodetud energiast. Alates 2009. aastast on aga märgatavalt vähenenud elektri tootmiseks kasutatava põlevkivi osakaal, mis on tingitud asjaolust, et energia tootmiseks kasutatakse järjest rohkem muid kütuseliike, peamiselt taastuvaid energiaallikaid.



Joonis 4.1 Põlevkivist toodetud elekter, 1991–2020 [21]

Taastuvatest allikatest toodetud energia hakkas kasvama 2009. aastal ning 2012. aastaks võib see ulatuda 12%-ni kogu Eesti energiatoodangust. Peamiseks kütuseks oli biomass. Pärast 2012. aastat toimus mõningane langus, mille tulemusena biomassist elektri tootmine vähenes, kuid püsis siiski kõigi taastuvate energiaallikate seas esikohal ning 4 aasta pärast hakkas biomassist toodetud elektri hulk kasvama. veelgi enam jõudis eelmisel aastal 1426 GWh, mis moodustab 54% kogu taastuvenergiast. Eelmisel aastal toodeti 25% kogu elektrienergiast biomassist, 15% tuuleenergiast, ligi 3% kütusejätmetest ja 2% päikeseenergiast. Väikese panuse andsid ka biogaas ja hüdroenergia. [21]

Joonisel 4.2 on näha, kuidas taastuvatest allikatest toodetud elektri tootmine on viimastel aastatel, nimelt alates 2009. aastast kasvanud, on tingitud Euroopa Parlamendi taastuvatest allikatest toodetud energia kasutamise edendamise direktiivi avaldamisest. [22]



Joonis 4.2 Elektrienergia tootmine taastuvatest allikatest, 1992–2020 [21]

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida biogaasi kasutust maailmas, nimelt selle peamised parameetrid ja standardid, toodangu maht maailmas, tootmise käigus saadavad tooted, aga ka nende kasutamine. Lisaks kaaluda ja analüüsida saadud andmete põhjal selle potentsiaali edaspidiseks kasutamiseks, samuti selle abil elektritootmise potentsiaali.

Töö käigus mina analüüsisin erinevaid biogaasi tootmisega seotud allikaid, selle praegust kasutust, aga ka võimalikke tulevikuväljavaateid. Tänu sellele mina jõudisin järeldusele, et hetkel on biogaasi tootmise struktuur üldiselt praktiliselt standardiseeritud. Selle valmistamise tehnoloogia on igal tootjal sama. Erinevused võivad olla ainult selle tootmismahus, selle saamiseks kasutatavas tooraines, aga ka kasutatavates seadmetes.

Mis puutub biogaasi tootmismahutusse, siis hetkel on biogaasi potentsiaal realiseerunud vaid väikeses osas. Analüüsi kohaselt suudab biogaas täna täies mahus kasutuselevõtul asendada kuni 33% maagaasi kasutamisest, samuti vähendada kasvuhoonegaaside ja süsinikdioksiidi heitkoguseid atmosfääri 10% võrra, mis omakorda aitab aeglustada globaalset kasvu. kliima soojenemine. Tootmismahude põhjalik uurimine näitas, et Euroopa on hetkel peamine biogaasi tootja, kes toodab 209 TWh energiat. Peamised tootjad on Saksamaa, Itaalia ja Ühendkuningriik, kus põllumajandusest üle jääv tooraine toidab tööstust ning biogaasi kasutamise ja tootmise kasv on oluliselt suurenenud tänu jäätmetest energia tootmise toetuskeemidele, samuti dekarboniseerimise toetamine. Alles teisel kohal on Hiina, kes toodab Euroopaga võrreldes biogaasist alla poole energiat, 84 TWh, mis on rahvaarvu arvestades veidi segane. See maht on aga tingitud asjaolust, et enamik tema biogaasijaamu on väikesed ja neid kasutatakse väikeste koosluste jäätmete töötlemiseks. Hiina valitsus on aga juba võtnud biogaasi oma tööstusstrateegiasse ja loodab kiiresti arendada transpordi üleminekut biometaani kasutamisele, mis vähendab oluliselt süsihappegaasi heitkogusi. Sellele järgneb 42 TWh energia tootmisega Ameerika Ühendriigid, kus biogaasi tootmise peamiseks tooraineks on prügilatest tekkivad toidujäätmed. Seal on tänu poliitilisele toetusele kasvanud ka biogaasitööstuse kasv.

Eestis on biogaasiga olukord järgmine. Euroopa Parlamendi taastuvatest allikatest toodetud energia kasutamise direktiivi avaldamisega 2009. aastal hakkas biogaasi kasutamine ja tootmine igal aastal kasvama. Peamise toorainena kasutatakse biomassi. Näiteks 2020. aastal toodeti Eestis 1426 GWh biogaasi, mis moodustab 54% kogu

taastuvatest allikatest toodetud energiast. Ka alates 2018. aastast on Eestis toodetud biometaani, Eesti Arengufondi hinnangul on biometaani potentsiaal Eestis 450 miljonit Nm³ aastas. Biometaan on omakorda leidnud laialdast rakendust transpordisektoris. Juba praegu asendatakse tema abiga diiselbussid biometaaniga, vähendades samas kahjulikke heitmeid ja säästes raha, kuna biometaan on aktsiisivaba kütus.

Mis puudutab biogaasi potentsiaali tulevikus, siis on biogaasi kasutamise võimalused järgmised: asendada energia ja soojuse tootmiseks juba kasutatud taastumatutest allikatest pärit ressursid biogaasiga, lähitulevikus vähendada bensiini ja diislikütuse kasutamise osakaalu ning tulevikus see täielikult välja vahetada, samuti vähendada sõltuvust taastumatutest energiaallikatest. Näiteks biogaasist toodetakse juba praegu biometaani, mida omakorda kasutatakse kütusena transpordis, nii avalikus kui ka põllumajanduses. Kui rääkida konkreetse biogaasijaama potentsiaalidest, siis kõik sõltub selle võimsusest, inimeste arvust ehk lõpptarbijast ja ka sellest, milliseid tooteid konkreetses piirkonnas toodetakse.

Kui rääkida puudusest, mis takistavad biogaasitööstuse kiiret ja laiaulatuslikku arengut, siis peamisteks seda takistavateks teguriteks on kõrge hind ja pädevus. Vaadates olukorda rahaliste investeeringute seisukohalt, siis, näiteks, kui jäätmete töötlemine on põhitegevus, jäätmete kõrvaldamine on palju odavam kui nende kasutamine biogaasifarmide lahtainena. Sama kehtib ka elektri, tuule- ja päikeseenergia kohta, mis pakuvad energiat umbes 2 korda odavamalt (40-50 dollarit MWh kohta), kui biometaniseerimisfarmide energia (60-120 dollarit MWh kohta). Mis puutub pädevusi, siis nagu igas tööstusharus, on biogaasijaama tootmisel, ehitamisel ja käitamisel vajalikud teadmised, siis praegu omavad selliseid teadmisi vaid need ettevõtted, kes on biogaasiga juba üsna kaua aega tagasi (>20 aastat) tegelema hakanud.

Töö tulemusena mina jõudsin järeldusele, et antud teema on aktuaalne kõikidele riikidele ja inimestele, kes soovivad aeglustada globaalse soojenemise protsessi, samuti vähendada sõltuvust taastumatutest energiaallikatest. Biogaas ei ole lahendus kõikidele kliima- ja energiatootmisprobleemidele, kuid see on selle oluline osa. Usun, et riigid peavad koordineerima oma tööd biogaasi tootmistehnoloogia täiustamiseks ja valitsused peavad pakkuma otsetoetusi toetustega, tänu sellele ei saa biogaas mitte ainult oma täit potentsiaali realiseerida, vaid ka tõrjuda välja mõned taastumatud energiaallikad.

SUMMARY

The aim of this Bachelor's thesis was to study the use of biogas in the world, namely its main parameters and standards, the volume of world production, the products obtained during production, as well as their use. In addition, consider and analyze the potential for future use as well as the potential for electricity generation based on the data obtained.

In the course of my work, I analyzed various sources related to biogas production, its current use, as well as possible future prospects. As a result, I have come to the conclusion that, at present, the structure of biogas production is generally practically standardized. The technology of its production is the same for every manufacturer. There may be differences not only in its production volume, in the raw materials used to obtain it, but also in the equipment used.

As far as biogas production volumes are concerned, the potential of biogas is currently only partially realized. According to the analysis, biogas, when fully deployed today, will be able to replace up to 33% of its natural gas use, as well as reduce its greenhouse gas and CO₂ emissions by 10%, which in turn will help slow global climate change. An in-depth study of production volumes showed that Europe is currently the main producer of biogas, producing 209 TWh of energy. The main producers are Germany, Italy and the United Kingdom, where raw materials left over from agriculture feed industry, and growth in the use and production of biogas has increased significantly thanks to support schemes for energy production from waste, as well as support for decarbonisation. Only in second place is China, which produces less than half of its energy from biogas compared to Europe, 84 TWh, which is a bit confusing in terms of population. However, this volume is due to the fact that most of its biogas plants are small and used to treat waste from small communities. However, the Chinese government has already included biogas in its industrial strategy and hopes to rapidly develop a shift in transport to biomethane, which will significantly reduce carbon emissions. This is followed by the United States with 42 TWh of energy production, where food waste from landfills is the main raw material for biogas production. There, thanks to political support, the growth of the biogas industry has also increased.

The situation with biogas in Estonia is as follows. With the publication of the European Parliament's Renewable Energy Directive in 2009, the use and production of biogas began to grow every year. Biomass is used as the main raw material. For example, in 2020, 1426 GWh of biogas was produced in Estonia, which makes up 54% of all energy produced from renewable sources. Biomethane has also been produced in Estonia since

2018; according to the Estonian Development Fund, the potential of biomethane in Estonia is 450 million Nm³ per year. Biomethane, in turn, has found widespread use in the transport sector. With its help, diesel buses are already being replaced by biomethane, while reducing harmful emissions and saving money, as biomethane is an excise-free fuel.

Regarding the future potential of biogas, the possibilities for using biogas are: to replace the resources from non-renewable sources already used for energy and heat production with biogas, to reduce and completely replace petrol and diesel in the near future, and to reduce dependence on renewable energy sources. For example, biogas already produces biomethane, which in turn is used as a fuel in transport, both in public and in agriculture. When it comes to the potential of a particular biogas plant, it all depends on its capacity, the number of people or end users, and also what products are produced in a particular area.

When it comes to the shortcomings that hinder the rapid and widespread development of the biogas industry, the main obstacles are high prices and competence. Looking at the situation in terms of financial investment, for example, if waste treatment is the main activity, waste disposal is much cheaper than using it as a feedstock for biogas farms. The same is true for electricity, wind and solar energy, which provide energy at about 2 times cheaper (\$ 40-50 per MWh) than biomethanization farm energy (\$ 60-120 per MWh). In terms of competencies, as in any industry, the knowledge required to produce, build and operate a biogas plant is currently available only to companies that have been involved in biogas for quite some time (> 20 years).

As a result of my work, I have come to the conclusion that this issue is relevant to all countries and people who want to slow down the process of global warming, as well as to reduce their dependence on non-renewable energy sources. Biogas is not the answer to all the problems of climate and energy production, but it is an important part of it. I believe that countries must coordinate their efforts to improve biogas production technology and that governments must provide direct subsidies, which will enable biogas not only to reach its full potential, but also to displace some non-renewable energy sources.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „Biogaas: üldteave (БИОГАЗ: ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ),“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://skbvatra.com.ua/informatsiya/biogaz-obshhaya-informatsiya/>. [Kasutatud 15 03 2021].
- [2] „What is Biogas? A Beginners Guide,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.homebiogas.com/Blog/142/What_is_Biogas%7Cfq%7C_A_Beginners_Guide. [Kasutatud 15 03 2021].
- [3] „7.1. Biogaas ja biometaan,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/gaasituru-kasiraamat/7-biometaan/71-biogaas-ja-biometaan>. [Kasutatud 15 03 2021].
- [4] „Biogaasi lähteaine (Сырье для биогаза),“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://biogaz-russia.ru/syrje-dlya-biogaza/>. [Kasutatud 15 03 2021].
- [5] „Tootmine ja kasutamine,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://eestibiogaas.ee/tootmine-ja-kasutamine/>. [Kasutatud 15 03 2021].
- [6] „Biogaasi saamine sõnnikust: tehnoloogia, vajalikud seadmed, sellise kütuse kasutamise plussid ja miinused (Получение биогаза из навоза: технология, необходимое оборудование, плюсы и минусы применения такого топлива),“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://rcycle.net/navoz/otoplenie/tehnologiya-pererabotki-v-biogaz>. [Kasutatud 29 03 2022].
- [7] „Research at BRC,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://biogasresearchcenter.se/research/?lang=en>. [Kasutatud 15 03 2021].
- [8] „Mission and vision,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.europeanbiogas.eu/about-us/vision-mission/>. [Kasutatud 15 03 2021].
- [9] „Eesti Biogaasi Assotsiatsioon,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://eestibiogaas.ee>. [Kasutatud 15 03 2021].
- [10] „BIOGAS IN EUROPE: FUTURE PROSPECTS?,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/biogaz-europe-future-prospects>. [Kasutatud 04 04 22].
- [11] „Biogas: Pathways to 2030 – Report,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.worldbiogasassociation.org/biogaz-pathways-to-2030-report/>. [Kasutatud 23 04 2022].
- [12] „Floating Drum Biogas Plants,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://energypedia.info/wiki/Floating_Drum_Biogas_Plants. [Kasutatud 15 03 2021].
- [13] „Fixed-dome Biogas Plants,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://energypedia.info/wiki/Fixed-dome_Biogas_Plants. [Kasutatud 15 03 2021].
- [14] „Biogaas (Биогаз),“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://biogaz-russia.ru/biogaz/>. [Kasutatud 30 03 2022].
- [15] „European Biogas Association Statistical Report 2020,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://uabio.org/en/materials/7524/>. [Kasutatud 18 04 2022].
- [16] „Germany Market Report,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.worldbiogasassociation.org/wp-content/uploads/2019/09/WBA-Germany-4ppa4_.pdf#:~:text=Germany%20has%20an%20estimated%209%2C706,China%20and%20South%20East%20Asia.. [Kasutatud 15 05 2022].
- [17] „Biogaas,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energiatalgud.ee/Biogaas>. [Kasutatud 12 05 2022].

- [18] „Biometaani tootmine ja potentsiaal Eestis,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://elering.ee/gaasituru-kasiraamat/7-biometaan/73-biometaani-tootmine-ja-potentsiaal-eestis>. [Kasutatud 12 05 2022].
- [19] „Rohegaasi kasutamine transpordis kogub Eestis populaarsust,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.err.ee/1608100444/rohegaasi-kasutamine-transpordis-kogub-eestis-populaarsust>. [Kasutatud 12 05 2022].
- [20] „Electricity from Biogas,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rumahenergi.org/en/2019/11/27/electricity-from-biogas.html>. [Kasutatud 11 05 2022].
- [21] „Elektri tootmine taasiseseisvunud Eestis – põlevkivist taastuenergiaksi,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.stat.ee/et/uudised/elektri-tootmine-taasiseseisvunud-eestis-polevkivist-taastuenergiaksi>. [Kasutatud 11 05 2022].
- [22] „EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV 2009/28/EÜ,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:et:PDF>. [Kasutatud 12 05 2022].