

TARTU ÜLIKOOL

Lõputöö

**Biogaasi tootmise ja kasutamise võimalused Järvamaa
Kutsehariduskeskusesse rajatava õppekompleksi näitel**
Egon Oraste

Juhendaja: Erik Mölder
Kaasjuhendaja: Milvi Aun

Tartu 2013

Sisukord

| | |
|---|----|
| Sisukord | 2 |
| Tähised ja lühendid | 4 |
| Sissejuhatus..... | 5 |
| 1. Biogaasi tootmine | 7 |
| 1.1. Biogaas..... | 7 |
| 1.1.1. Anaeroobne lagundamine | 8 |
| 1.2. Biogaasi potentsiaal Eestis..... | 9 |
| 2. Võimalike substraatide biogaasi tootlikkus | 13 |
| 2.1. Sõnnikud | 13 |
| 2.2. Rohtne lisastraat | 14 |
| 3. Öppekompleksi tööpõhimõtted..... | 16 |
| 3.1. I etapp – Substraadi käitlemine..... | 16 |
| 3.1.1. Substraatide edastamine..... | 17 |
| 3.2. II Etapp – Biogaasi eraldumine..... | 17 |
| 3.2.1. Käärituskambri ehituslik lahendus..... | 18 |
| 3.2.2. Käärituskambri soojendamine | 19 |
| 3.2.3. Segamisagregaat | 19 |
| 3.2.4. Viibeaeg | 19 |
| 3.3. III Etapp – Kääritusjäagi ladustamine ja selle kasutamine | 20 |
| 3.3.1. Kääritusjäak väetisena | 21 |
| 3.4. IV Etapp – Biogaasi ladustamine, puhastamine ja kasutamine..... | 21 |
| 3.4.1. Protsessi jälgimine ja juhtimine..... | 22 |
| 3.4.2. Biogaasi kogus..... | 22 |
| 3.4.3. Biogaasi ettevalmistamine | 23 |
| 3.4.4. Biogaasi kasutamine | 24 |
| 4. JKHK Biogaasijaam..... | 25 |
| 4.1. Sõnniku ja lisa-substraadi kääritisse lisamise tehnika ja eeltöötlemine..... | 25 |
| 4.1.2. Kääriti | 26 |
| 4.1.3. Kääritusjäagi hoolda | 27 |
| 4.1.4. Gaasitorustik | 27 |

| | |
|--|----|
| 4.1.5. Soojuse ja elektri koostootmisjaam | 28 |
| 4.1.6. K uunalp leti..... | 28 |
| Arutelu | 29 |
| Kokkuvõte..... | 30 |
| Summary | 32 |
| Kasutatud kirjandus: | 34 |
| Lisa 1.  ppekompleksi tehnoloogiline skeem | 37 |

Tähised ja lühendid

| | |
|------------------|--|
| CO ₂ | – süsihappegaas ehk süsinikdioksiid |
| H | – vesinik |
| H ₂ S | – väävelvesinik |
| JKHK | – Järvamaa Kutsehariduskeskus |
| K | – kaalium |
| KA | – kuivaine, % |
| KIK | – Sihtasutus Keskkonnainvesteeringute Keskus |
| kW·h | – kilovatt tund (10 ³ vatti) |
| MW·h | – megavatt tund (10 ⁶ vatti) |
| N | – lämmastik |
| NH ₃ | – ammoniaak |
| Nm ³ | – normaalkuupmeeter, gaasi mahu mõõtühik normaal- ja standardtingimuste juures (0°C ja 1 atmosfäär). |
| O | – hapnik |
| oKA | – orgaaniline kuivaine, see on kuivaines leiduv orgaaniline aine, % (ing. k. VSd) |
| P | – fosfor |
| PRIA | – Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Amet |
| SEK | – soojuse ja elektri koostootmise |

Sissejuhatus

Taastuvate energiaallikate kasutamine muutub maailmas ja ka Eestis üha populaarsemaks ja vajalikumaks, sest Euroopa Liidu kliima- ja energiapaketi tulemusena peavad Euroopa Liidu riigid suutma saavutada oma kliima eesmärgid aastaks 2020. Selle tulemusena peavad liikmesriigid aastaks 2020 vähendama energiatarbimist 20%; vähendama kasvuhoonegaaside emissiooni võrreldes 1990. aasta näitajatega 20%; suurendama taastuvenergia osakaalu energiatarbimises 20% ja suurendama Euroopa Liidus transpordis kasutatavates kütustes biokütuste osakaalu kuni 10%-ni. Samuti on oluliseks mõjutajaks põlevkivienergia tootmisega kaasnev keskkonnasaaste ja sellest tingitud üha kallinev energia hind. Praegu on Eestis põhilisteks taastuvenergia allikateks bioenergiad baseeruvad elektri ja soojuse koostootmine, tuuleenergia ja vähesel määral ka hüdroenergia.

Biogaasi tootmine toob kasu energeetikas, põllumajanduses ja on kasulik ka keskkonnale ning kohalike inimeste tööhõive suurenemisele. Eesti tingimustes oleks võimalik rajada arvukalt biogaasijaamu. Biogaasi on võimalik toota prügilates – prügilagaasi kogudes, reoveemudast ja samuti ka sõnnikust. Kuna siloladustamiskohad ja sõnnikuhoidlad on potentsiaalselt ohtlikud reostusallikad veekogudele, oleks biogaasi tootmine lahenduseks ka põllumajanduses. Pärast sõnniku ja silo kääritamist on võimalik talunikel enda töödeldud kääritusjääk paremate väetamisomadustega põldudele laotada minimaalse lõhnaga.

Arvestades suurt biogaasi tootmise potentsiaali Eestis, tekib vajadus ka selles vallas koolitatud inimeste järele. Eestis puudub täna võimalus biogaasijaamade projekteerijate, seadistajate ja operaatorite väljaõppeks ning täiend- ja ümberõppeks. Järvamaa Kutsehariduskeskus (JKHK) hakkab koolitama biogaasijaamade rajajaid ja operaatoreid. Selleks plaanitakse rajada kooli õppelauda juurde anaeroobne kääriti ja biogaasijaama õppeseadmed, et oleks tagatud infrastruktuur praktikumide tegemiseks.

Lõputöö eesmärgiks on kaardistada JKHK biogaasi tootmise algmaterjalid ja välja töötada õppekompleksi töö põhimõtte.

Püstitatud eesmärkidest tulenevalt on töö uurimisülesanneteks:

1. Ülevaate andmine JKHK biogaasi õppekompleksis kasutatavatest substraatidest.
2. Andmete analüüsi põhjal määrata sõnniku ja biomassi aastased kogused, keemilised parameetrid ja biogaasi tootlikkus.
3. Koostada õppekompleksi tööpõhimõtete lühikirjeldus.

Käesolev lõputöö on jagatud neljaks osaks. Esimeses osas on esitatud anaeroobsel kääritamisel põhineva biogaasi tootmise teoreetiline teemakäsitus. Teises osas antakse ülevaade olemasolevast olukorrast. Kolmandas osas on välja toodud biogaasi õppekompleksi tööpõhimõtted. Lõputöö viimases ehk neljandas osas antakse ülevaade JKHK õppekompleksis vaja minevatest seadmete valikust.

1. Biogaasi tootmine

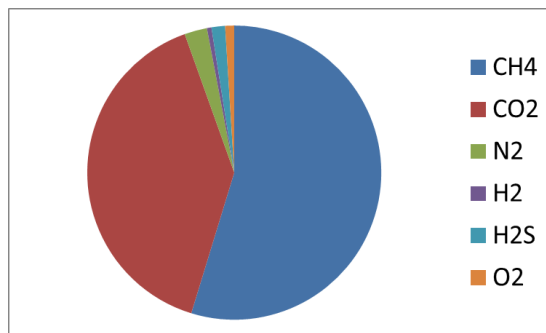
Biogaasi tootmine ja tarbimine on tihedalt seotud energeetika ja energiapoliitika, keskkonnakaitse, jäätmekäitluse, põllumajanduse, regionaalse arengu ning teadus- ja arendustegevusega. Energiapoliitiliseks seoseks on kohalike taastuvenergiaallikate kasutamine, tänu millele väheneb sõltuvus importkütustest. Nii suureneks Eesti energiasõltumatus, mis tähendab ka suurenenud riiklikku energiajulgeolekut. Samuti edendab see hajutatud energiatootmist, mis tagaks ka väiksemad ülekandekaod. Tekiksid mikrogaasivõrgustikud, millede arenedes oleks võimalik maapiirkondades pakkuda soojusenergiat madalama hinnaga ja suureneks ka tööhõive maal [1].

Keskkonnakaitseline tähtsus peitub fossiilsete kütuste kasutamise vähenemises, millega omakorda väheneb õhku paisatava CO₂ kogus. Oluline on ka kasvuhoonegaaside emissiooni vähenemine põllumajanduses ja kääritamisjäägi sotsiaalse mulje paranemine, kuna sellel puudub pärast töötlemist ebameeldiv lõhn. [1] Põllumajanduslikust aspektist tuleks hinnata substraadi omaduste muutusi peale kääritamist. Kääritusjäagist on lämmastik taimede paremini omastatav, samuti on taimede eluks vajalike fosfori ja kaaliumi vahekord sobilikum. Kääritusjääk on ka homogeensem ja seda on lihtsam viia otse mullale. Kõrgel temperatuuril kääritamise tagajärjel on kääritusjäagist kadunud umbrohuseemned ja hävinud ka haigustekitajad. Seega pole karta umbrohu puhanguid ega geneetilisi viirushaigusi taimedel [2].

1.1. Biogaas

Biogaas ehk käärimisgaas on suure metaanisisaldusega gaas, mis tekib taimsete ja loomsete heitmete anaeroobsel lagunemisel biogaasi kääritites, prügilates ja veepuhastusjaamades reovee settest. Biogaasi põhiline energiakandja on metaan (CH₄) [3]. Keemiliselt kuulub metaan nn alkaanide hulka, milliseid iseloomustab ühekordne side gaasimolekuli süsinikuaatomite vahel [4]. Biogaasi mahuline koostis on esitatud tabelis 1.1.

Tabel 1.1. Biogaasi mahuline koostis (%) [5].



| Koostisosa | Mahuprotsent |
|---------------------------------|--------------|
| metaan, CH ₄ | 40-70 |
| süsihappegaas, CO ₂ | 25-55 |
| lämmastik, N ₂ | 0-5 |
| vesinik, H ₂ | 0-1 |
| väävelvesinik, H ₂ S | 0-3 |
| hapnik, O ₂ | 0-2 |

Sobiva biogaasi tootmistehnoloogia valikul peab arvestama kasutatava substraadi omadusi, keskkonningimusi ja Eesti kliimatingimusi.

1.1.1. Anaeroobne lagundamine

Biogaasijaama kääritis toimub substraadi anaeroobne lagunemine, mis on bioloogiline protsess, milles orgaaniline materjal muudetakse metaaniks anaeroobsetes tingimustes. Tegemist on märgkäärimisega, mis tähendab, et substraat kääritis on lihtsamini lagundatav mikro-organismide poolt, sest seda on lihtsam segada ja ühtlustada. Lagundamine hõlmab erinevaid reaktsioone ja koostoimeid, mis toimuvad metogeneesi, mitte-metogeneesi ja substraatide lisamise ajal. See on keeruline füüsikaline, keemiline ja bioloogiline protsess, milles osalevad erinevate faktorite ja muutuste etapid [6].

JKHK biogaasijaamas hakatakse kasutama üheetapilist protsessi. Selles õppekompleksi kääritis ei ole erinevad anaeroobse lagundamise astmed ruumiliselt eraldatud. Nendeks astmeteks on hüdroolüüs, atsidogenees ja metanogenees.

1. Etapp: Hüdroolüüs.

Taimsed ja loomsed jäätmed koosnevad põhiliselt süsivesikutest, lipiididest, proteiinist ja anorgaanilisest materjalist. Suur keeruline molekulaarne aine on lahustatud lihtsamaks, kasutades bakterite poolt toodetud ekstratsellulaarsete ensüümide abi. Kõige

sagedamini kasutatakse fakultatiivseid ja obligatoorseid baktereid – *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Propioni-bacterium*, *Sphingomonas*, *Sporobacterium*, *Megasphaera* ja *Bifidobacterium*. Samuti lagundatakse siin etapis tselluloos ehk polümeriseeritud glükoos tsellulolüütiliste bakterite poolt dimeersetekts ja siis monomeersetekts suhkruteks (glükoosiks) [7].

2. Etapp: Atsidogenees

Atsidogeneesiprotsessi käigus lagundatakse tekkinud vaheproduktid happeid tootvate bakterite abil lenduvateks orgaanilisteks hapeteks (äädik-, propioon- ja võihappeks) ja süsihappegaasiks ning vesinikuks. Samal ajal tekib ka vähesel määral alkohole ja piimhapet [8].

3. Etapp: Metaani teke ehk metanogenees

Teises etapis toodetud happed töödeldakse metanogeenide abil tootmaks biogaasi anaeroobsetes tingimustes. Metanogeneesi tagajärjel tekib metaani ja süsihappegaasi segu [9].

1. 2. Biogaasi potentsiaal Eestis

Peamised Eestis leiduvad ressursid biogaasi tootmiseks on veiste, sigade ja muude farmides kasvatatavate kariloomade vedelsõnnik ning tahesõnnik; energiakultuurid kasutamata põllumaade pindadelt; poollooduslikel rohumaadel kasvav biomass; reoveemuda ning biolagunevad jäätmed ja prügilagaas.

2010. aasta Eesti statistika andmetest lähtuvalt on Eestis ligikaudu 236 400 veist ja 371 700 siga [10]. Arvestades, et ühe veise sõnniku kogus ööpäevas on 37,5 kg ja nuumseal on see 5,35 kg [11], saab arvutada teoreetilised aastased biogaasikogused. Sellistest suurustest lähtuvalt toodab üks veis aastas 13,687 t ja üks siga 1,953 t sõnnikut. Korrutades need suurused veiste ja sigade hulgaga 2010. aasta seisuga Eestis (236 400 veist ja 371 700 siga), saab tulemuseks, et veised ja sead toodavad aastas

ligikaudu 3 961 537 t sõnnikut, millest on teoreetiliselt võimalik toota 80 230 000 m³ biogaasi [8].

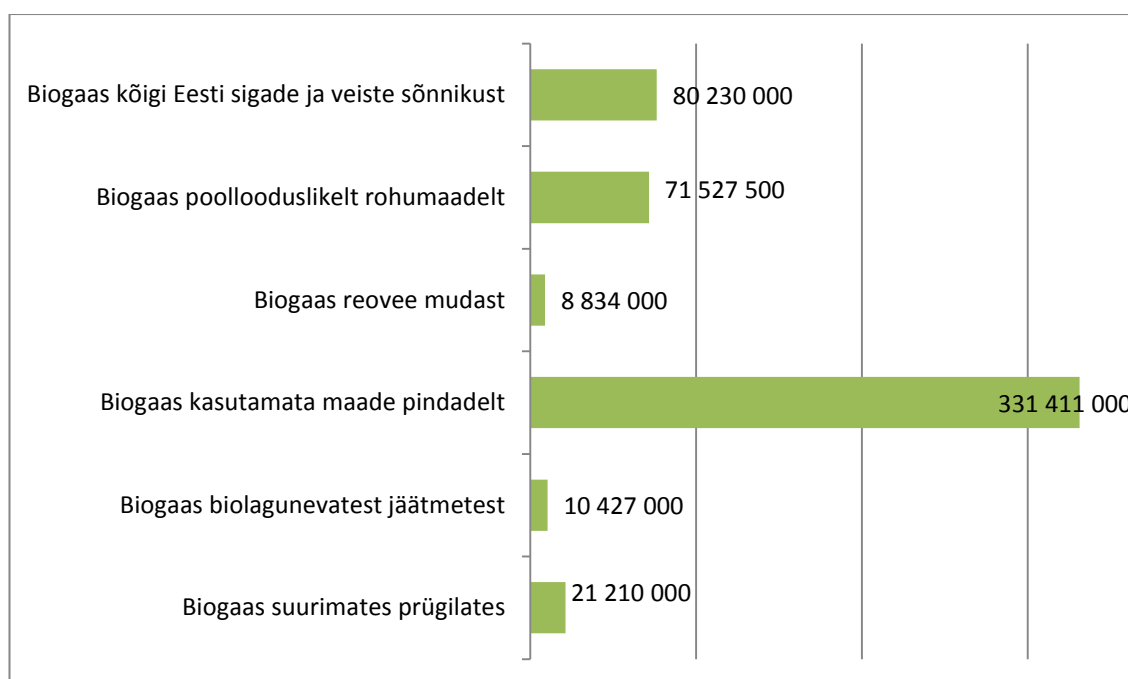
PRIA põllumassiivide registris oli aprilli 2013 seisuga 1 231 696,2 ha põllumaad ning ühtse pindalatoetuse taotlusi oli tehtud 896 649,8 ha-le. Nende andmete põhjal võib eeldada, et Eestis on hetkel 335 046,4 ha kasutamata põllumaad [12]. Suhtudes kasutamata põllumaasse kui looduslikku rohumaasse, võime biogaasi potentsiaali arvutamiseks kasutada looduslike rohumaade produktsioonitaset, mis on 7,3 t/ha biomassi (märgkaalus) [13]. Seega on Eesti aastane biomassi kogus 2 445 839 t, millest on võimalik toota umbes 331 411 000 m³ biogaasi, kui arvestada, et keskmine biogaasi toodang biomassist on 135 m³/t [13].

Eestis on ligikaudu 130 000 ha poollooduslike rohumaade niite [14], mis on looduskaitseväärsega. Nende niitmise tagajärjel tekib aastas tuhandeid tonne biomassi. Poollooduslike rohumaade majandamine ei nõua väetamist, külvamist ega mullaharimist, seega on nende energeetiline efektiivsus üldiselt positiivne. Poollooduslike rohumaade on raske hallata ja rohumassi kättesaadavus on raskendatud, samuti on suur osa neist kaetud puudega. Eesti Maaülikool Heinsoo, Melts jt. 2009 artiklis „*The potential of Estonian semi-natural grasslands for bioenergy production*“ esitatud andmete põhjal jaotuvad sobivad poollooduslikud rohumaad: lamminiidud 20 000 ha, puisniidud 8 000 ha ja pärisaruniidud 21 000 ha, millede biomassi potentsiaal on vastavalt 369 216; 60 025; 171 831 tonni märgkaalus [14]. Niiduheina rohtse biomassi tootlikkus on 119 m³/t [13]. Arvestades seda, on poollooduslikelt rohumaadelt võimalik toota umbes 71 527 500 m³ biogaasi.

Eestis suuresti kasutamata biogaasi potentsiaal on veel reoveemudal, biolagunevatel jäätmetel ja prügilagaasil. Tallinna Tehnikaülikoolis Villu Varese poolt teostatud uuring „Biomassi tehnoloogiauuritud ja tehnoloogiate rakendamine Eestis. Lõpparuanne“ (2008) väljendab, et Eesti suuremate reoveepuhastusjaamade jääkmudast anaeroobse kääritamise teel on võimalik aastane biogaasi kogus 8 834 000 m³. Biolagunevate jäätmete biogaasi potentsiaal oleks 10 427 000 m³, lisaks saab biogaasi koguda prügilagaasist. Eesti suurimatest prügilatest, kuhu prügilagaasi kogumise mehhanismi

paigaldada oleks majandulikust tasuv, oleks aastane toodang kokku ligikaudu 21 210 000 m³ [15].

Kõigist nendest sisenditest on teoreetiliselt võimalik toota aastas ligikaudu 523 639 500 m³ biogaasi. Nende ressursside jagunemine vastavalt võimalikule toodetavale biogaasikogusele on esitatud joonisel 2.1. Arvestades, et 1 m³ biogaasi sisaldab keskmiselt 6 kW·h koguenergiat (u. 2 kW·h elektrienergiat, 3 kW·h soojusenergiat, 1 kW·h läheb kadudeks) [16], oleks teoreetiliselt võimalik toota sellisest kogusest biogaasist 1 047 279 MW·h elektrienergiat ja 1 570 919 MW·h soojusenergiat.



Joonis 2.1. Biogaasi teoreetiline potentsiaal sisendite lõikes, m³/aastas

Olulisemad biogaasivaldkonna arendajad ja institutsioonid Eestis on: AS Eesti Energia, Baltic Biogas OÜ (osalusega OÜ-s Tartu Biogaas ja OÜ-s Aravete Biogaas) ja 4Energia OÜ (arendustöö OÜ-s Vinni Biogaas ja OÜ-s Oisu Biogaas), väiksemateks institutsioonideks on OÜ Mõnus Minek, Doranova Baltic OÜ ning POÜ Torma Biogaas. Kõik euronõuete järgi ehitatud prügilad on varustatud tehnoloogilise lahendusega kogumaks prügilagaasi, mida saaks kasutada elektri ja sooja

koostootmiseks. Biogaasi kogutakse praegu Tallinna ja Narva reoveepuhastusjaamades ning seda plaanitakse hakata koguma ka Tartus ja Kuressaares [17].

2. Võimalike substraatide biogaasi tootlikkus

Biogaasi tootlikkuse määramiseks tuleb kõigepealt iseloomustada kohalikku või sellele võimalikult sarnastes tingimustes tekkinud substraati ja teha keemiline analüüs. Substraatide keemilise analüüsi jaoks proovide kogumine on JKHK poolt teostatud 28. novembril 2011. Analüüsi tarbeks koguti enda territooriumilt heina, põhu ja silo proovid ning olemasolevate kariloomade väljaheidete proovid: hobuste tahesõnnik, veiste vedelsõnnik ja vasikate tahesõnnik [29].

2.1. Sõnnikud

Sõnniku koostis sõltub looma tõust, pidamis- ja söötmistehnoloogiast ning see mõjutab omakorda biogaasi tootlikkust. Kuivaine osatähtsust sõnnikus saab muuta olenevalt vee kasutusest farmis ja biogaasi tootlikkust on võimalik mõjutada loomasöödaga [18].

Näiteks lemmasõnniku orgaanilisest kuivainest on võimalik toota palju enam biogaasi kui seasõnnikust. Seda põhjustavad vatsas elutsevad mikroobid, kes stimuleerivad sõnniku käärimist juba enne väljutamist, kuid selle kompenseerib sõnniku suhteliselt kõrge kuivainesisaldus [18].

Substraate saab iseloomustada nii nende päritolu kui ka nende omaduste järgi, näiteks: kuivaine (KA), orgaaniline kuivaine (oKA), toitained (N, P, K) ja ka orgaanilised kahjulikud ained [8]. Tabelis 2.1. on esitatud kohalike loomade ja kohalike tingimustega võimalikult sarnastes tingimustes kasvatatud loomade sõnniku keemilised omadused.

Tabel 2.1. Sõnnik substraadina kokkuvõtvalt [29].

| Substraat | KA % | oKA % KA | N % KA | P % KA | K% KA |
|-------------------------|-------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|
| veise vedelsõnnik | 10,50 | 73,33 | 2,171 | 0,675 | 5,214 |
| veise tahesõnnik | 23,78 | 47,71 | 1,791 | 0,818 | 1,888 |
| vasikate tahesõnnik | 22,21 | 50,16 | 2,116 | 0,807 | 1,112 |
| kanasõnnik | 51,03 | 51,12 | 2,347 | 0,538 | 1,977 |
| sea tahesõnnik | 37,72 | 67,23 | 2,643 | 0,714 | 1,428 |
| lamba tahesõnnik | 36,31 | 76,09 | 2,357 | 0,536 | 4,141 |
| hobusesõnnik | 27,96 | 87,46 | 1,955 | 0,818 | 1,309 |
| Kalakasvatuse jääkained | 4,92 | 65,73 | 0,216 | 0,125 | 0,002 |

2.2. Rohtne lisasubstraat

Lisasubstraati lisatakse sõnnikule, sest nii on võimalik suurendada biogaasi potentsiaali. Lisasubstraadi lisamisel peab arvestama selle keemilisi omadusi, et oleks võimalik prognoosida nende efektiivsust (Tabel 2.2.). Lisasubstraadil on tavaliselt suurem biogaasi tootlikkus tonni kohta kui sõnnikul ja neid saab koguda erinevatest kohtadest. Enamikes farmides on mõningaid ülejääke rohusilos või teisi põllumajanduslikke jääke. Keskkonnakaitsest aspektist võiks looduskaitsealadelt kogutud heina kasutada lisasubstraadina, kuna looduskaitsealade niitude hooldamise toetamine käib riigieelarvest ning niidetud heinale rakendust leida on üks suuremaid probleeme. Lisaks on võimalik kasvatada põllukultuure spetsiaalselt biogaasi tootmiseks, kuid nende kasvatamine on sagedasti ebatasuv ja seda tuleks teha ainult põllumajanduseks sobimatutel aladel [18].

Substraadi lisamisel sõnnikule peab arvestama, et kuivaine sisaldus ei tohi tõusta üle 15%. Lisaks sellele peab arvestama veel mõningate faktoritega [18]:

- Keemilised aspektid

Lisasubstraadid võivad sisaldada raskemetalle või teisi anorgaanilisi saasteaineid ja püsivaid orgaanilisi saasteaineid. Kui kääritusjääki kasutatakse põllumajanduslikul maal, tuleb kontrollida, kas nende saasteainete osakaal

kääritusjägis vastab regionaalsetele standarditele. Lisasubstraadid sisaldavad toiteelemente nagu N, P, K ja nende osakaal suureneb pärast käärimisprotsessi. Seda peab arvestama kui kasutada kääritusjääki orgaanilise väetisena [18].

- Esemelised lisandid

Lisasubstraadis võib leida selliseid lisandeid nagu kumm, metall, klaas, keraamika, liiv ja kivid, tselluloossed materjalid (nagu puit, paber) ja teised lisandid. Sellised lisandid võivad mõjutada protsessi tasakaalu või isegi kahjustada jaama osasid ning need mõjuvad halvasti ka kääritusjäägi omadustele väetisena [18].

- Haigustekitajad ja seemned

Lisasubstraat võib sisaldada haigustekitajaid ja seemneid olenevalt sellest, kust need pärinevad. Enamik haigustekitajaid ja seemneid hävib substraadi kuumutamisel ja kääritamisel. Seega sisaldab kääritusjääk neid vähem, kui töötlemata sõnnik [18].

Tabel 2.2. Lisasubstraatidest kokkuvõtvalt [29].

| Substraat | KA % | oKA % KA | N % KA | P % KA | K % KA |
|-----------|---------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| rohusilo | 24,70 | 95,68 | 12,91 | 0,300 | 1,840 |
| hein | 78,12 | 96,31 | 8,65 | 0,227 | 1,860 |
| põhk | 87,09 | 96,19 | 3,18 | 0,054 | 0,918 |

3. Õppekompleksi tööpõhimõtted

Planeerides õppekompleksi, tuleb valida sobivaim biogaasi tootmistehnoloogia. Kasutatava substraadi põhjal valitakse biogaasijaamale sobivad tehnilised lahendused. Koguse põhjal arvutatakse seadmete mõõdud ja käärituskambri mahulised dimensioonid. Kasutatav tehnoloogia valitakse vastavalt substraadi kvaliteedile [8].

Põllumajanduslikust substraadist biogaasi tootmine biogaasijaamas jaguneb neljaks üksteisest sõltuvaks etapiks:

1. Substraadi transport, hoiustamine, eeltöötlemine ja sisestamine
2. Biogaasi eraldumine
3. Kääritusjäägi ladustamine ja selle kasutamine
4. Biogaasi ladustamine, puhastamine ja kasutamine [8]

3.1. I etapp – Substraadi käitlemine

Vedelsõnnik juhitakse laudast maa-alusesse pumpla mahutisse, kuhu mahub kolme päeva sõnnik. Tuleb jälgida, et vedelsõnnik ei külmu seal madalate välistemperatuuride juures. Tahesõnnik kogutakse laudast labidaga ja transporditakse lauda kõrval asuvasse tahesõnniku kogumisplatsile kopp-kalluriga. Hobusesõnnik tuuakse tallist, mis asub rajatavast biogaasijaamast kilomeetri kaugusel. Hobusesõnnik tuuakse sealt igapäevaselt tahesõnniku kogumisplatsile tavalises autokärus.

Sõnnik sisaldab anaeroobseid baktereid, mis hakkavad tootma metaani kohe kui see on looma kehast väljunud, seega substraadi eelhoiustamisel väheneb biogaasi saagis kääritis. Sellepärast on kõige parem transportida sõnnik kääritisse nii kiiresti kui võimalik [18].

Tahesubstraat tuleb ette valmistada enne kääritusse suunamist. Silojäägid ja põhuga segunenud sõnnik on liiga ebaühtlase koostisega ja vajavad tükeldamist, et ei tekiks ummistus pumpades või mikserites. Tükeldatud ja segatud substraat on ühtlasem ja seda on bakteritel lihtsam töödelda. Tänu väikestele osakestele suureneb bakteritele toitainete kättesaadavus, mis tähendab ka suuremat biogaasi tootlikkust [18].

3.1.1. Substraatide edastamine

Märgkäirimisel kasutatakse substraadi edastamiseks vedelsõnniku eelmahutisse ja sealt kääritusse elektrimootoriga pumpasid. Maa alusele vedelsõnniku torustikule lisatakse siibrid, milledega on võimalik sulgeda toru sõnnikuhoidlasse ja juhtida see hoopis eelmahutisse või vastupidi. Pumbad ja siibrid on automatiseeritud ja nende tegevust juhitakse arvutiga. Vajaliku torustiku ehitamisel peab arvestama ummistustega, täieliku tühjendamise ja võimalike avariidega. Selleks on torustikud ja siibrid avatavad ning pumbad asuvad nii, et nende juures on piisavalt ruumi hoolduseks ja remondiks [8].

Tahesõnnik transporditakse tahesõnnikuhoidlast kopp-kalluriga tahesubstraadi etteandemehhanismi. Tahesubstraadi etteandemehhanismist transporditakse tahesõnnik kruvikonveieri abil kääritusse. Seal seguneb tahesubstraat juba kääriva substraadiga. Sama moodi transporditakse ka rohtne lisasubstraat kääritusse, kui see ei ole juba segunenud tahesõnnikuga.

3.2. II Etapp – Biogaasi eraldumine

Käärituskambris substraadi käärimise tagajärjel saadakse biogaas. Välimuselt sarnaneb kääriti põllumajanduslikele betoonelementidest ringja põhjaplaaniga vedelsõnniku hoidlatele, aga see on varustatud spetsiifilise biogaasi tootmistehnikaga. Vastavalt substraadi kogusele tuleb määrata käärituskambri ruumala ja käärimisaeg [8].

3.2.1. Käärituskambri ehituslik lahendus

Kääriti on gaasitihe vertikaalne ühemahuline silindrias raudbetoonist ehitus. See on soojustatud ja varustatud segamis- ning kääritusjäägi väljutusseadmetega. Kääriti valatakse kohapeal betoonist või pannakse kokku valmisdetailidest. Kääriti kaas on samuti valmistatud raudbetoonist, et see oleks sobilik meie külma talvedes. See on aga raske ja selle toetuseks peab kaane keskosas olema toetav sammak [8].

Leidmaks JKHK jaoks sobilik kääriti suurus, peab arvutuseks kasutama valemit, milles on kasutatud sõnnikuhooldla mahutavuse määramise suurus. Selleks leitakse JKHK aastas tekkiva sõnniku ja lisa-substraadi summaarne kogus (tabel 3.1.).

$$\begin{aligned} &\text{Kääriti suurus (m}^3\text{)} = \\ &= [\text{vedelsõnnikuhooldla ja tahesõnnikuhooldla vajalikud mahtuvused (m}^3\text{/a)} \\ &+ \text{lisa-substraat(t/a)}] \times \frac{\text{viieaeg (päevades)}}{365} \end{aligned}$$

Tabel 3.1. Summaarne sõnniku kogus aastas [19,20,21].

| Karja liik | Sõnnik | KV% | Loomade arv | Sõnniku vajalikud mahtuvused looma kohta, m ³ | Kokku |
|--------------------------|--------|-------|-----------------|--|-------|
| veis | vedel | 10,5 | 80 | 18 | 1440 |
| veis | tahe | 23,78 | 70 | 12 | 840 |
| noorloomad 0-6 kuud | tahe | 22,21 | 40 | 2 | 80 |
| noorloomad 6-poegimiseni | tahe | 22,21 | 60 | 5 | 300 |
| kanad | tahe | 51,03 | 500 | 0,04 | 20 |
| sead | tahe | 37,72 | 10 | 1,6 | 16 |
| lambad | tahe | 36,31 | 10 | 8 | 280 |
| hobused | tahe | 27,96 | 35 | 1,3 | 13 |
| kalakasvatuse jääkained | vedel | 4,92 | 15 tonni/aastas | 3 (kõigi 15 tonni kohta) | 3 |
| rohusilo | | 24,70 | | | 400 |

$$(2992 + 400) \times \frac{40}{365} = 371,7 \text{ m}^3$$

Kääriti vajalik suurus on 371,7 m³, see on aga selgelt alahinnatud, sest vajalikud suurused tabelis on esitatud looma tasemel. Vedelsõnniku puhul lisandub sellele vesi ja tahesõnniku puhul allapanu, samuti peab arvestama võimaliku substraadi hulga suurenemisega. Lisaks sellele tuleb kääriti täidetud osa kohale planeerida 1/6 biogaasihoidlaks. JKHK biogaasijaama kääriti suurus võiks olla seega 500 m³.

3.2.2. Käärituskambri soojendamine

Saavutamaks võimalikult suur biogaasi kogus, tuleb tagada püsiv temperatuur kääritis. Temperatuuri kõikumist võivad põhjustada näiteks värske substraadi lisamine, ekstreemtemperatuurid suvel ja talvel ning seadmete rikked. Sellistest tingimustest tekkinud temperatuurikõikumiste vältimiseks tuleb kääritisse paigutada integreeritud küttekehad. Kääriti soojendamine põhineb kuuma vee ringlusel, mida saadakse kasutades biogaasi põletamisel tekkinud soojust [22].

3.2.3. Segamisagregaat

Käärituskambri ehitamisel peab arvestama ka segamisagregaaadi (segisti) lisamisega. Biogaasijaamas on segistid vajalikud mitte ainult ujuvate ja settivate kihtide vältimiseks või nende laiali ajamiseks, vaid ka selleks, et segada värsket substraati kääritatud substraadiga. Segistite abil hoitakse kääritis ka ühtlast temperatuuri. Samuti on biogaasi eraldumine käärituskambris suurem peale segamist [23].

3.2.4. Viibeag

Viibeag on aeg, mille jooksul substraat on kääritis ehk siis aeg, mille jooksul käärititais substraati ära käärib. Saamaks optimaalset kogust biogaasi, peame viibeaja

määramisel arvestama käärimistemperatuuriga. Mesofiilse protsessi korral saabub maksimaalne biogaasi tootlikkus 40. päeval [8].

3.3. III Etapp – Kääritusjäägi ladustamine ja selle kasutamine

Pärast kääritist lahkumist juhitakse kääritusjääk membraaniga kaetud kääritusjäägi hoidlatesse. See on kääritusjäägi esimeseks mahutiks ja seal toimub selle jahtumine ja biogaasi eraldumine. Ülevoolu meetodil kandub kääritusjääk olemasolevasse sõnnikumahutisse, kus toimub selle vaheladustamine enne, kui kääritusjääk põllule laotatakse [8].

Sobiva kääritusjäägi hoidla suurus leitakse valemiga [18]:

$$\text{Mahuti suurus (m}^3\text{)} = \text{Substraat (m}^3\text{/a)} \times \frac{\text{soovituslik digestaadi} \\ \text{kääritusjäägi hoidlas} \\ \text{hoidmise aeg}}{12}$$
$$3392 \times \frac{8}{12} = 2261,33 \text{ m}^3$$

Praegu on õppelauda juures vedelsõnniku hoidla suurusega 2000 m³. Juurde tuleb ehitada üks 500 m³ kaetud kääritusjäägi hoidla. Veeseadusega on sätestatud nõue, et põllumajandusloomade pidamisel peab sõnnikuroidla või sõnniku- ja virtsahoidla mahutama vähemalt nende kaheksa kuu sõnniku ja virtsa [24]. Planeerides kaetud kääritusjäägi hoidlat peab arvestama, et terve kääriti ei ole substraati täis, vaid seal on ka biogaasihoidla. Samuti peab arvestama, et kääritatava substraadi hulk võib suurenedada loomakarja suurendamise tagajärjel.

3.3.1. Kääritusjääk väetisena

Kääritusjääki kasutatakse väetisena, kuna selle kuivainesisaldus on vähenenud ja struktuur on ühtlasem. Parema voolavuse tõttu jõuab ta lihtsamini taimikuni ja põhjustab vähem sööda saastumist. Samuti väheneb lämmastiku sidumisvõime mullaga, seega paraneb lämmastiku kättesaadavus taimedele [8].

Kaitsmaks valgalasid põllumajandustootmisest pärineva reostuse eest, ei tohi orgaanilist väetist laotada 1. detsembrist kuni 31. märtsini ja muul ajal, kui maapind on kaetud lumega rohkem kui 10 cm kauem kui 24 tundi, külmunud rohkem kui 5 cm kauem kui 24 tundi, perioodiliselt üleujutatud või veega küllastunud maapinnale. Sõnnikuga on lubatud anda haritava maa ühe hektari kohta keskmisena kuni 170 kg lämmastikku aastas. Lisaks peab üle 300 loomühiku loomi pidav isik, kes kasutab loomapidamishoones vedelsõnnikutehnoloogiat, või isik, kes lepingu alusel laotab 300-le loomühikule vastava koguse loomade vedelsõnnikut, koostama enne vedelsõnniku laotamist vedelsõnniku laotamisplaani, milles näidatakse laotatav vedelsõnniku kogus, laotusala pindala, laotamisviisid, laotusala põhjavee kaitstus, laotusalal asuvad pinnaveekogud ja veehaarded. Vedelsõnniku laotamisplaani kinnitab enne vedelsõnniku laotamist Keskkonnaamet. Vastavalt nendele nõudmistele ja viljeldavale kultuurile tuleb määrata sobiv väetise kogus ja väetamise aeg [24].

3.4. IV Etapp – Biogaasi ladustamine, puhastamine ja kasutamine

Biogaasi tekkimine on ajas muutuv, kuid sellest soojuse ja elektri koostootmine nõuab pidevat ühtlast biogaasi kogust. JKHK kogutakse biogaasi kääritis vedeliku nivoost kõrgemal asuvasse biogaasiruumi, mis on suletud raudbetoonist kaanega. Biogaasist eraldatakse väävelvesinik bioloogiliselt, selleks pumbatakse pidevalt biogaasiruumi väike kogus õhku. Biogaasiruum on varustatud üle- ja alarõhu ventiiliga [8].

3.4.1. Protsessi jälgimine ja juhtimine

Biogaasi tootmisprotsessi juhtimiseks, reguleerimiseks ja kontrollimiseks jälgitakse käärimisprotsessi parameetreid nagu substraadi kogus ja nimetus; protsessi temperatuur käärituskambri; pH väärtus; biogaasi kogus ja koostis; lühikeseahelalised rasvhapped; mahuti täituvus. Igapäevaselt neid parameetreid jälgides on võimalik õigeaegselt märgata kõikumisi ja häireid protsessis. Parameetreid jälgitakse arvutipõhise juhtimise abil, mida saab vaadelda igalt poolt läbi Interneti. Samuti töötavad automaatjuhtimisel substraadi lisamine, käärituskambri soojendamine, segistid, setete kõrvaldamine, substraadi transportimine kogu protsessi käigus, väävli eraldamine ja biogaasi põletamine [8].

3.4.2. Biogaasi kogus

Vastavalt kasutatavatele substraatidele leitakse biogaasi tootlikkus, arvestades kuivainet, orgaanilist kuivainet ja biogaasi tootlikkust kilogrammi kohta orgaanilisest kuivainest (tabel 3.2.).

Biogaasi toodangu arvutamiseks kasutatakse valemit [18]:

Biogaasi toodang = substraadi kogus (t) × KV% × oKA% × Biogaasi potentsiaal m³/t
oKA kohta

Tabel 3.2. Biogaasi toodangu arvutamine

| Liik | Sõnnik | Kogus t/a | KV% | Orgaanilise aine sisaldus kuivaines, % | oKA t/a | Biogaasi potents. m ³ /t oKA kohta | Biogaasi teor. toodang m ³ /a |
|-----------------------------|--------|-----------|-----|--|---------|---|--|
| veis | vedel | 1680 | 11% | 73,30% | 129 | 171 | 22111 |
| veis | tahe | 840 | 12% | 10,20% | 11 | 242,7 | 2579 |
| noorloomad 0-6 kuud | tahe | 96 | 22% | 50,00% | 11 | 92 | 980 |
| noorloomad 6-poegimiseni | tahe | 480 | 22% | 50,00% | 53 | 92 | 4902 |
| kanad | tahe | 23 | 51% | 51,00% | 6 | 199 | 1165 |
| sead | tahe | 4 | 38% | 67,20% | 1 | 268 | 272 |
| lambad | tahe | 13 | 36% | 76,10% | 4 | 149 | 538 |
| hobused | tahe | 250 | 28% | 87,40% | 61 | 224 | 13655 |
| kalakasvatuse jääkained | vedel | 3 | 0% | 65,70% | 0,009 | 1009 | 10 |
| kokku | | | | | | | 46210 |
| rohusilo | | 400 | 25% | 95,6% | 94 | 312 | 29469,27 |
| kogu biogaasi tootlikkus | | | | | | | 75679 |
| päevane biogaasi tootlikkus | | | | | | | 207,34 |

Praeguste arvatavate sisendite puhul hakkab JKHK-s tekkima 75 679 m³ biogaasi aastas.

3.4.3. Biogaasi ettevalmistamine

Biogaas on veeauruga küllastunud ja sisaldab vähesel määral väävelvesinikku (H₂S), mis on toksiline ja mädamuna lõhnaga gaas. Selle kokkupuutel veeauruga tekib divesiniksulfiidhape, mis kahjustab biogaasi torustikku, SEK-seadmeid ja heitgaasi torustikku. Selle vältimiseks kuivatatakse biogaas ja eraldatakse sellest väävel. Biogaasi koostis ja omadused peavad vastama SEK seadme tootja poolt etteantud kvaliteedinõuetele, et minimeerida hooldustööde mahtu ja vältida sisepõlemismootori kahjustumist kütuse poolt [8].

Kääritis kasutatakse bioloogilist väävli eraldamist, kuna see toimib kõige paremini kääritites, millel on biogaasiruum kääritusmahuti kohal. Sellisel juhul toimub väävli eraldamine käärimiskambris bakteri *Sulfobacter oxydans* ja hapniku koostoimel. See bakter muudab väävelvesiniku hapniku juuresolekul elementaarseks väävliks. Piisava väävlibakteri arvu saavutamiseks peab neile ehitama lisa kasvukohti, milleks sobivad näiteks puidust konstruktsioonid. Bakterite elutegevuseks vajalik hapnik kääritusmahutis võib põhjustada käärimisprotsessi häirumist [8].

Kaitsmaks biogaasist soojuse ja elektri tootmisel kasutatavat mootorit, tuleb biogaasist eraldada veeaur. Seda tehakse biogaasi kuivatamise teel. Käärimiskambris on biogaasi relatiivne niiskus 100%, millest osa vett koos seal lahustunud gaaside ja aerosoolidega kondenseerub jahtumisel gaasitorustikus, mis on selleks puhuks ehitatud väikese kaldega. Gaasitorustiku kõige madalamas punktis toimub vee kogumine ja selle regulaarne eemaldamine. Seega peab väljutuskoht olema kergesti ligipääsetav ja ehitatud külmakindlalt [8].

3.4.4. Biogaasi kasutamine

Viimaseks toodetakse biogaasijaamas biogaasist soojust ja elektrit koostootmissüsteemi abil. Koostootmisgeneraatorites eraldatatakse mehaaniline energia soojusenergiast, mis muudetakse generaatorites elektrienergiaks [18]. JKHK on soojuse ja elektri koostootmise seadmeks vähese biogaasi koguse tõttu sobilik kasutada väikest sisepõlemismootorit.

Väiksemates biogaasijaamades kasutatakse sädesüütega mootoreid, mis on odavamad ja väikeste mahtude juures on neil ka suurem kasutegur. Selliste mootorite tööaeg on 8000 tundi aastas [8]. Sädesüütega mootoris segatakse biogaas õhuga segamiskambris, kust segu juhitakse kõrgel rõhul põlemiskambrisse, kus seda piserdatakse diiselkütusega. Diiselkütus süttib rõhu ja temperatuuri tõusu tõttu silindrites [25].

4. JKHK Biogaasijaam

4.1. Sõnniku ja lisasubstraadi kääritisse lisamise tehnika ja eeltöötlemine

Biogaasijaama reaktorisse substraadi lisamise vajaduse ja mahu määrab mikroorganismide vajadus kasutada substraati toiduks, tootmaks võimalikult palju biogaasi [8].

JKHK biogaasijaam hakkab töötama pooltsüklilisel läbivoolumeetodil, mis tähendab, et värsket substraati lisatakse käärituskambrisse väikestes kogustes mitu korda päevas. Sama kogus substraati, mis lisati, väljub samal ajal ülevoolumeetodi teel kääritusjäägi hoidlasse. Kääriti on läbivoolu meetodi korral alati täidetud ja tühjendatakse ainult remonttöödeks. Sellise meetodiga on kääritusmahuti ruum maksimaalselt kasutatud ja biogaasi toodang ühtlasem, kuid sellega kaasneb ka oht, et substraat läbib kääriti liiga kiiresti, mis võib tähendada, et pole saavutatud maksimaalne biogaasi tootlikkus [8].

Farmis oleva pumba abil pumbatakse vedelsõnnik maa-alust trassi mööda vedelsõnniku eelmahutisse, mis asub maa-all. Kui vedelsõnnikut ei vajata kääritisse pumpamiseks, suletakse vedelsõnniku toru siibriga ja see juhitakse otse vedelsõnnikuhooldlasse. Maa-aluse kääriti eelmahutist pumbatakse vedelsõnnikut automatiseeritud rootorpumbaga regulaarsete intervallide tagant kääritisse. Pumpamine mahutites toimib ka vedelsõnniku homogeniseerimisena.

Sõnniku transportimise torustik on mõeldud pikaajaliseks kasutamiseks. Sellepärast valitakse torud, mis on äärmiselt vastupidavad ning nende seinakanalid on roostevabast terasest. Substraaditorustikud peavad olema vähemalt 300 mm läbimõõduga [8]. Substraadi tagasijooksu käärituskambrist torustikku välditakse tagasilöögiklappidega.

Tahesõnniku kogumise plats on betoonitud ja kolmest küljest seintega piiratud. Koppkalluriga transporditakse vajalik kogus substraadi tahke materjali jaotus süsteemi.

JKHK biogaasijaam tuleb väike ja seal kasutatakse tahesubstraadi jaotamiseks spetsiaalselt biogaasijaamade tarvis väljatöötatud tahesubstraadi etteandesüsteemi.

JKHK rahatav biogaasijaama ja õppelaboratooriumi tehnoloogiline skeem on ära toodud asendiplaanil (lisa 1).

4.1.2. Kääriti

Kääriti on silindrikujuline raudbetoonist ehitis, mille sobiv suurus arvutuste põhjal on 500 m³. Kääriti keskel on tugipost toetamaks raudbetoonist katust. Käärituskambrile sobib isolatsioonimaterjaliks mineraalvill. Soojusisolatsiooni paksus on 10 cm nii maa all kui peal. Soojustuseks, kaitseks ilmastiku eest ja esteetilise välimuse andmiseks kaetakse käärituskamber trapetsplekiga [8].

Kääritis on käärimisprotsessi temperatuur mesofiilse temperatuurivahemiku ülemisel piiril ehk 40 °C. See temperatuur ei tohi muutuda rohkem kui +/- 2-3°C, sest metaanibakterid on protsessis osalevatest mikroorganismidest kõige tundlikumad temperatuuri kõikumistele [26]. Mesofiilses protsessis osaleb palju erinevaid organisme ja kogu protsess on tänu sellele stabiilsem ja suudab paremini pidada vastu ajutistele häiretele. Liikide rohkus aitab lihtsamini ja kiiremini lagundada ka erinevaid orgaanilisi aineid [27]. Kääritid on soojustatud siseseintele paigaldatavate roostevabast terasest torudega. Neid köetakse biogaasi põletamisel saadud soojusenergiaga.

Sellisesse kääritisse sobib aeglane labasegisti. Labad, mis segavad substraati, on kinnitatud horisontaalsele segamisvõllile. Nii on võimalik saavutada segamise efekt juba ühe võlli pöördega. Sellise segisti hooldus toimub väljaspool käärituskambrist. Samuti asub segisti elektrimootor kääritist väljas ja selle hooldus on lihtsasti teostav [8].

4.1.3. Kääritusjäägi hoidla

Kääriti toimib pooltsüklilisel läbivoolu meetodil. Kääritisse lisatakse värsket substraati ning suunatakse rõhu surve torudes esimesse kaetud kääritusjäägi hoidlasse, mis toimib ka kui järelkääriti. See kääritusjäägi hoidla toimib samuti läbivoolu meetodil. Seega ülevooluga suunatakse sealt kääritusjääk vedelsõnniku hoidlasse.

4.1.4. Gaasitorustik

Gaasitorustiku abil juhitakse tekkinud biogaas kääritist ja kaetud kääritusjäägi hoidlast soojuste ja elektri koostootmisseadmesse. Vältimaks käärimisel tekkiva vahu sattumist gaasialdustorustikku, tuleb see kääritis paigutada võimalikult kõrgele [8].

Tekkiva biogaasi kogust mõõdetakse kohe pärast käärituskambrit olevast gaasitorust, et ei oleks tekkinud veel rõhu kadumist. Selleks kasutatakse gaasikulumõõturit (gaasi kulumõõtaja), mis väljendab biogaasi kogust Nm^3/h [8].

Biogaasi kuivatamine ja jahutamine toimub samuti gaasitorustikus. Saavutamaks parimat tulemust biogaasi jahutamisel, ehitatakse gaasitorustik piisavalt pikk ning maa sisse. Tuleb jälgida, et maa-aluste torustike ehitamise ja eksploatatsiooni käigus ei tekiks torude läbivajumise võimalust. Selle vältimiseks tihendatakse torude alune pinnas liivapatjade ja killustikuga. Jahtumise käigus toimub ka biogaasi kuivamine [8].

Biogaasi koostist (oluliseimad metaan ja süsihappegaas) mõõdetakse infrapunase kiirguse neelamise põhimõttel töötava gaasianalüsaatoriga. Saadud tulemusi kasutatakse käärimisprotsessi juhtimiseks. Gaasianalüsaatorid võivad olla niiskustundlikud, mistõttu peab mõõtemehhanism asetsema gaasitorustiku lõpus, kuhu on jõudnud juba kuivanud ja jahtunud biogaas [8].

4.1.5. Soojuse ja elektri koostootmisjaam

Soojuse ja elektri koostootmiseks tuleb kasutada soojuse ja elektri koostootmiseadet (SEK), mis on varustatud sise põlemismootoriga. SEK peab sisaldama sellele sobivat generaatorit, soojusvahetit heitgaaside, mootori jahutusvedeliku ja õlisüsteemis tekkiva soojuse taaskasutamiseks kaugküttesüsteemis ning biogaasijaamas kääritusmahuti soojendamiseks, elektri- ja juhtimisseadmeid energia juhtimiseks elektrivõrku ja ka kogu SEK automaatjuhtimisseadmestikku [8].

Sise põlemismootor on lihtsa ehitusega ja odav, seega on seda sobilik kasutada ka õppetöös. Selle hoolduse ja parandusega saavad hakkama JKHK õpilased.

4.1.6. Küünalpõleti

Biogaasijaam on varustatud küünalpõletiga (hädaabi põleti) juhuks, kui tuleb vabaneda keskkonnale ohutult liigsest biogaasist. Selline vajadus võib tekkida, kui biogaas ei mahu enam hoidlasse või on vaja hooldada mikroturbiini. Küünalpõleti on üksikehitise väikese vundamendiga, valmistatud roostevabast metallist. Küünalpõleti võimsus on 20 m³/tunnis ja biogaasi põlemistemperatuur on 800 ja 1000 °C vahel [8].

Arutelu

JKHK rajatavas biogaasijaamas ja õppelaboratooriumis kasutatakse substraadiks väga erinevat liiki sõnnikut. Nende kogumine toimub erinevatest kohtadest ja erineval ajal. Seega tuleb arvestada, et substraadi pealevool pole mitte alati ühtlane. Samuti tuleb kontrollida nende mõju üksteisele ja tahe- ning vedelsõnniku segunemist käärítés. Enamuse substraadist moodustab veisesõnnik, mis on laialdaselt kasutusel ka teistes biogaasijaamades. Sellega on tagatud ka korrapärane biogaasijaama töö ja biogaasitootlikkus.

Kuna kasutatavat substraati on väga vähe, on ka biogaasi tootlikkus madal ning biogaasijaam väike. Sellest tulenevalt on biogaasijaama kasum minimaalne ja arvestades veel biogaasi koguse kõikumisi, võib tekkida ka kahjum. Kuid JKHK rajatava biogaasijaama ja õppelaboratooriumi eesmärk on siiski välja koolitada tulevasi spetsialiste, mitte majanduslik kasum.

Majanduslikke rahavoogusid prognoosides peaksid JKHK finantsjuhid arvestama ja jälgima võimalikke muutusi taastuvenergia toetuste süsteemis. Teised praegu Eestis teostamisel olevad biogaasijaamade projektid on taotlenud raha sihtasutuse Keskkonnainvesteeringute Keskuse (KIK) kaudu Euroopa Regionaalarengufondist, mille eesmärk on taastuvenergiaallikate laialdasem kasutamine energia tootmiseks. Selle üheks tingimuseks on aga, et taotleja osutab kaugkütteteenust või müüb soojusenergiat kaugkütte piirkonda. Eelnimetatut pole aga JKHK plaaninud teha. Seega võiks JKHK kasutada KIKi poolt pakutavat rohelist investeerimisskeemi, mille eesmärk on ka taastuvenergiat laialdasem kasutamine energia tootmiseks, kuid seda fondi rahastatakse CO₂ kvoodimüügist ja see sobib ka toetatavate tegevuste kohalt rajatavale biogaasijaamale [28].

Biogaasi tootmise ja kasutamise võimalused Järvamaa Kutsehariduskeskusesse rajatava õppekompleksi näitel

Egon Oraste

Kokkuvõte

Kehtiva elektrituruseaduse mõttes on biomassist toodetud biogaas taastuv energiaallikas ja sellest toodetud elektrienergia on taastuenergia. Biogaasi keskkonnakaitseline tähtsus peitub fossiilsete kütuste kasutamise vähenemises, millega omakorda väheneb õhku paisatava CO₂ kogus. Oluline on ka kasvuhoonegaaside emissiooni vähenemine põllumajanduses ja käärimisjäägi sotsiaalse mulje paranemine.

Eestis on võimalik toota biogaasi: loomade sõnnikust, kasutamata põllumaadelt niidetud biomassist, poollooduslikelt rohumaadelt niidetud biomassist, reoveemudast, biolagunevatest jäätmetest ja prügilagaasist. Kõigist nendest sisenditest on teoreetiliselt võimalik toota aastas 523 639 500 m³ biogaasi. Arvestades sellist biogaasi potentsiaali Eestis, tekib vajadus ka selles vallas koolitatud inimeste järele.

Tagamaks JKHK kõrgetasemeline kutse- ja kõrghariduse õpe biogaasijaamade projekterijate, seadistajate ja operaatorite väljaõppeks, rajatakse sinna biogaasijaam õppekompleksina.

JKHK biogaasijaamas kasutatakse substraadiks kooli loomafarmis tekkivat sõnnikut. Kasutades biokeemilise metaanitekke potentsiaali katset, on JKHK 2012 aasta märtsis määranud biogaasi tootlikkust kohalikest sõnnikutest. Kõige suurem osa substraadist kuulub veisesõnnikule, nii vedelale (1 680 t/a) kui ka tahkele (840 t/a). Veise vedelsõnniku puhul oli biogaasi tootlikkus 247 l/oKA kohta. Kuna kohaliku tahesõnniku tootlikkuse andmed puudusid, siis edaspidised arvutused teostati kirjandusest valitud veise tahesõnniku andmete põhjal. Vasikate tahesõnniku ja silo andmed olid palju madalamad võrreldes kirjandusallikatest leitavaga, vastavalt siis 92

l/oKA ja 183 l/oKA kohta. Kogu teoreetiline biogaasi tootlikkus JKHK biogaasijaamas on 75 679 m³/a, millest on võimalik toota umbes 150 MW·h elektrienergiat ning 230 MW·h soojusenergiat.

Biogaasijaam rajatakse õppefarmi juurde. Biogaasijaama kompleksi jaoks ehitatakse 500 m³ kääriti ja üks kaetud kääritusjäägi hoidla (500 m³), mis käitub ka järelkääritina. Biogaasijaam on varustatud soojuse ja elektri koostootmiseseadmega, milleks sobivaim on sisepõlemismootor. Kuna tegemist on õppekompleksiga on oluline mootori lihtsus ja kohapealne remondi võimalus.

Biogas production and utilization opportunities by the example of Järva County Vocational Training Centre

Egon Oraste

Summary

Fossil fuel sources are fast diminishing and irreplaceable. The alarming energy demand and consumption rate of the present global status is currently exponentially exceeding the rate of local supply sources, becoming an issue of concern.

The usage of renewable energy is becoming more and more popular and essential all over the world and also in Estonia. According to the European Union climate and energy package all member countries have to decrease their usage of energy by 20%; decrease greenhouse gases emissions by 20%; increase the usage on renewable energy by 20% and increase the total share of biofuels used for transport in the European Union by 10%. Also the production of coal based energy has an important influence on the environment and has the consequent of increasingly growing energy cost. The main renewable energy sources in Estonia are bioenergy, windenergy and slightly hydroenergy.

The production of biogas has the benefit in energetics, agriculture and is also useful for the environment and the employment of the local people. It is possible to produce biogas from landfills, sewage sludge and also dung.

Estonia has a large potential for biogas production, but there is no opportunity to study for biogas plant developer, operator or adjuster in any of the universities or vocational schools. Aim of this Master's thesis is to analyze Järva County Vocational Training Centre (JKHK) and to propose technical solutions to build and operate the biogas plant. Potential for biogas production in Estonian is calculated based on data from Statistics Estonia. Biochemical methane potential test was carried out by JKHK in the year 2012 in order to determine JKHK's biogas productivity from local dung and herbaceous biomass. Results of the biochemical methane potential test showed that JKHK's biogas

plant annual biogas yield is 75 679 m³/a, which can produce 150 MW·h of electricity and 230 MW·h of thermal energy. Technological suggestions in this thesis are the base to start planning the biogas complex and the production of biogas.

Kasutatud kirjandus:

1. Regionaalne biogaasistrateegia ja selle rakenduskava väljatöötamine. Aruanne. Euroopa Liit, Tartu 2012
2. Tamm, T., Biogaasijaamad kaasaegse sõnnikukäitluse osana. BalticBiogas, Tallinn 2012
3. Säästva arengu sõnaseletusi. [e-andmebaas] http://www.seit.ee/sass/?ID=1&L_ID=22 (9.03.2013)
4. Olt, J., Lepa, J., Jõgi, E., Menind, A. (2007) *Biogaasi tootmistehnoloogiad. – Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine, Vol VII & IX, pp. 45-55.*
5. Renewable energy concepts. Biogas composition. Kättesaadav: <http://www.renewable-energy-concepts.com/biomass-bioenergy/biogas-basics/gas-composition.html> (15.03.2013)
6. Salminen, E., Rintala, J. (2002). *Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste - a review. – Bioresource Technology, 83 (1), pp. 13-26.*
7. Settler, M. (2011). *Anaerobic processes for waste treatment and energy generation. – Integrated Waste Management – Vol 2, pp. 216-246.*
8. Biogaasi tootmine ja kasutamine. Käsiraamat. 2009./ Toim A. Normak, E. Volmer, K. Orupõld, A. Kaasik, Ü. Kask. Tartu: Eesti Põllumeeste Keskliit.
9. *Biogas technology: A training manual for extension, Session 1 System Approach to Biogas Tehnology. (1996). Food and Agriculture Organization of the United Nations. [www] <http://www.fao.org/sd/EGdirect/EGre0022.htm> (16.03.2013).*
10. Eesti statistika 2010
11. Vettik, R., Tamm, K. Vedelsõnniku kogused ja paiknemine. EMVI.
12. PRIA. E-kiri. 3.04.2013. Tanel Tärna – tanel.turna@pria.ee
13. Sustainable Energy & Environment Solutions. National report on current status of biogas production – the republic of Estonia. OÜ Mõnus Minek. Kättesaadav: www.gashighway.com
14. Heinsoo, K., Melts, I., Sammul, M., Holm, B. 2009. The potential of Estonian semi-natural grasslands for bioenergy production. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 137 (2010), 86-92.

15. Vares, V., 2008. Biomassi tehnoloogiauringud ja tehnoloogiate rakendamine Eestis. Lõpparuanne. Tallinna Tehnikaülikool.
16. Biogas FAQ. Electrigas. http://www.electrigaz.com/faq_en.htm (3.04.2013)
17. Koostaja: Oja, A., Toimetaja: Reinsoo, K., Roose, A. Eesti biogaasisektori ülevaade: hetkeseis ja arenguvajadused. 2011. OÜ Mõnus Minek, Tartu Ülikool.
18. Planning and installing bioenergy systems: a guide for installers, architects and engineers. 2005./ German Solar Energy Society, Ecofys: James & James (Science Publishers)
19. Keskkonnaminister määrus 48 lisa 13095479. (2008). Riigi Teataja. [www] <https://www.riigiteataja.ee/akt/13086529/htmlilisa/13095479> (14.04.2013)
20. Kaasik, A. (2004). Teadus- ja arendustöö tellimuslepingu nr. 566 aruanne. Tartu.
21. Leola, A., Leola, T., Luts, V. 2006. Sõnnikuhoidlate hindamine. Jäneda. http://www.agri.ee/public/sonnikuhoidla_loplik.pdf (15.04.2013)
22. Kossmann, W., Pönitz, U., Habermehl, S., Hoerz, T., Krämer, P., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., Klopotek, F., Krieg, A., Euler, H. (2011). *Biogas Digest. Biogas – Application and product development. Vol 2.* [www] <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogas-volume2.pdf> (15.04.2013)
23. Schlegel, M., Kanswohl, N., Rössel, D., Sakalauskas, A. (2008). *Essential technical parameters for effective biogas production. – Agronomy Research 6, pp. 341-348.*
24. Veeseadus. (1994). Riigi Teataja. [www] <https://www.riigiteataja.ee/akt/121122011019> (08.04.2013)
25. Mitzlaf, K. (1988). *Engines for Biogas. Eschborn: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH.*
26. *Microbiological Handbook for Biogas Plants. 2010./ A. Schnürer, A. Jarvis. Malmö: Swedish Waste Management Development Committee.*
27. Léven, L., Schnürer, A. (2005) *Effect of temperature on biological degradation of phenols, benzoates and phthalates under methanogenic conditions. – International Biodeterioration & Biodegradation, Vol 55, pp. 153-160.*
28. Taastuvenergeetika. Keskkonnainvesteeringute keskus. <http://www.kik.ee/et/energeetika/taastuvenergeetika.html>. (29.04.2013)

29. Järvamaa Kutsehariduskeskus. E-kiri. 12.04.2013. Rein Oselin –
rein.oselin@jkhk.ee

Lisa 1. Õppekompleksi tehnoloogiline skeem

